

Übersichtsarbeiten

Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench): Nutzung, Genetik, Züchtung

F. J. Zeller

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): utilization, genetics, breeding

1. Einführung

Der Buchweizen ist eine in Europa seit dem Mittelalter weithin bekannte Nahrungspflanze. Er ist weder mit der Buche noch mit dem Weizen verwandt. Sein Name lässt sich auf die Ähnlichkeit seiner Fruchtform und -farbe mit Bucheckern (Früchte der Buche) und die seines Mehlkörpers mit Weizenmehl zurückführen. Im Gegensatz zu den einkeimblättrigen Getreidearten, den Cerealien, gehört der

Buchweizen zu den zweikeimblättrigen Pflanzenarten. Man zählt ihn daher wie Amarant und Reismelde (Quinoa) zu den ‚Pseudocerealien‘. Trotz einer Produktion von etwa 3.2 Mio. t weltweit (FAO, 2001; Tab. 1) gehört der Buchweizen nicht nur züchterisch, sondern auch anbaumäßig zu den vernachlässigten Pflanzenarten. Die wichtigsten buchweizen-produzierenden Länder sind China mit einer Erzeugung von über 1.7 Mio. t, Russland mit 680.000 t und die Ukraine mit 527.000 t, gefolgt von Polen mit über 66.000 t,

Summary

Although common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) is a staple food in some countries, its cultivation and breeding has been neglected. The main reason for this is the low seed yield. Due to heterostyly and open-pollination by insects the seed-set is only 12 %. Through the discovery of a wild species, *F. homotropicum*, which is homostylic and self-fertile, the self-fertility mechanism controlled by a single gene can be transferred from the wild into the cultivated species. In this way the yield can significantly be increased in the future. The cultivated buckwheat originates from the wild species *F. esculentum* ssp. *ancestrale* still distributed in Southern China. Together with *F. homotropicum* these two species serve as an important genetic reservoir of genetic resources belonging to the primary genepool and are already being used in breeding. *F. esculentum* is not only an edible crop plant, but also a multi-purpose medicinal plant because of its antioxidative polyphenolic compounds (flavonoids) with potential benefits to human health. The most well-known drug is rutin.

Key words: origin, *Fagopyrum* species, genetic resources, phenolic compounds.

Zusammenfassung

Obwohl Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) in manchen Ländern eine wichtige Nahrungspflanze ist und dort vielseitig genutzt wird, gehört er anbaumäßig wie züchterisch zu den vernachlässigten Kulturpflanzen. Hauptursache dafür ist sein niedriger Kornertrag. Wegen seiner Selbstinkompatibilität liegt der Kornansatz nur bei etwa 12 %. Durch die Entdeckung einer Wildart, *F. homotropicum*, die homostyl selbstfertil ist, lässt sich der Selbstfertilitätsmechanismus, der durch ein einziges Gen bedingt wird, jetzt von der Wildart in die Kulturart übertragen. Dadurch kann der Ertrag in Zukunft deutlich erhöht werden. Der Gemeine Buchweizen stammt von der wilden Art *Fagopyrum esculentum* ssp. *ancestrale* ab, die in Südchina heute noch vorkommt. Zusammen mit *F. homotropicum* bildet diese Art ein wichtiges Reservoir genetischer Ressourcen, die zum primären Genpool gehören und in der Züchtung bereits Eingang gefunden haben. *F. esculentum* ist aber nicht nur eine wertvolle Nahrungspflanze, sondern wegen seiner antioxidativ wirksamen, gesundheitsfördernden Polyphenole (Flavonoide) eine vielseitig nutzbare Arzneipflanze. Die bekannteste Substanz ist das Glykosid Rutin.

Schlagworte: Herkunft, *Fagopyrum*-Arten, genetische Ressourcen, sekundäre Inhaltsstoffe.

den USA mit 65.000 t, Brasilien mit 50.000 t und Frankreich mit 25.000 t. China ist nicht nur bedeutendster Produzent, sondern mit fast 106.000 t auch größter Exporteur von Buchweizen (FAO, 2001). Japan importiert mehr als 103.000 t Buchweizen jährlich, hauptsächlich für seine Nudelproduktion.

Tabelle 1: Produktion von Buchweizen in Tonnen (nach FAO, 2001)
Table 1: Production of buckwheat in tonnes (after FAO, 2001)

Land	Produktion (2001)	Fläche in ha
China	1.700.000	900.000
Russland	680.000	1.015.000
Ukraine	527.000	603.000
Polen	66.877	54.732
USA	65.000	65.000
Brasilien	50.000	47.000
Frankreich	25.000	12.000
Kasachstan	25.000	57.200
Japan	23.000	37.400
Kanada	17.000	15.000
Weißrussland	12.000	25.000
Bhutan	6.000	7.000
Südkorea	2.000	2.000
Moldawien	2.000	8.000
Slowenien	0.686	0.635
Welt	3.235.403	2.887.812

Nach LI und YANG (1992) stammen archäologische Reste von Buchweizensamen, die in der Nähe der Stadt Xian (Provinz Shaanxi) gefunden wurden, aus der Zeit der Handynastie (200 vor Chr. bis 200 nach Chr.). WANG (1989, zitiert bei OHNISHI, 1998b) berichtet über Buchweizenfunde aus einem Dorf in der Nähe von Chamdu (Osttibet), die in die Zeit um 2.600 vor Chr. datiert werden. Das bedeutet, dass Buchweizen in Tibet bereits vor etwa 5000 Jahren angebaut worden ist.

Es wird angenommen, dass sich der Buchweizen von Südchina und Tibet über mehrere Handelswege nach Osten und Westen ausgebreitet hat. Ein Handelsweg führte wahrscheinlich über Nordchina und Korea bis nach Japan (OHNISHI, 1998b). Nach TSUKUDA et al. (1986) lässt sich Buchweizenanbau in Japan schon in der Frühen Jomon-Periode (5.000 bis 3.000 v. Chr.) nachweisen. Ein weiterer Handelsweg führte über Bhutan und Nepal in Richtung Pakistan (NAKAO, 1957; MURAI und OHNISHI, 1996). Über Kirgistan, Tadschikistan und Usbekistan (Seidenstraße) dürfte der Buchweizen nach Europa gelangt sein (OHNISHI, 1998b), eine Annahme, die mit Hilfe von Vergleichen der genetischen Variabilität zahlreicher Isoenzymgene von Populationen in Europa, entlang der Seidenstraße und in Nordchina unterstützt wird (OHNISHI, 1993a).

In Deutschland war Buchweizen bis ins 19. Jahrhundert als Nutzpflanze weit verbreitet. Im Jahre 1396 wurde er erstmals in einem Nürnberger Archiv urkundlich erwähnt (REINHARDT, 1911) und 40 Jahre später in einem Geldregister des mecklenburgischen Amtes Gadebusch genannt (BERTSCH, 1947). Auch im Rheinland (Raum Neuss und Köln) ist er im 14. Jahrhundert nachgewiesen (KNÖRZER et al., 1999). Gemessen an den archäologischen Fundmengen nimmt die Bedeutung des Buchweizens im 16. Jahrhundert weiter zu und er erfährt im 17. Jahrhundert den Höhepunkt seiner Verbreitung (LEHMANN, 1940). Auch im folgenden Jahrhundert wird er noch in den Geest- und Sandgebieten Ostfrieslands, der Gegend um Hannover, Münster, Lüneburg, Oldenburg, in Holstein, in der Lausitz, zusammen mit der Rispenhirse, in Brandenburg, Pommern, Ostpreußen und in der Neumark angebaut (LEHMANN, 1940; HANELT, 1981). Die wichtigsten Anbaugelände in Westdeutschland waren die Mittelgebirgslagen im Odenwald, Taunus, Westerwald, Vogelsberg, Spessart, Hunsrück und der Eifel, während in Süddeutschland sein Anbau niemals eine große Rolle spielte. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts ging die Anbaufläche in ganz Deutschland stetig zurück, 1815: 330.000 ha, 1875: 250.000 ha, 1900: 117.000 ha, 1925: 21.000 ha, 1936: 900 ha (BERTSCH, 1947). Um das Jahr 1850 wurden in den bayerischen Regierungsbezirken Unterfranken noch 1.755 ha, in Oberfranken 206 ha und in Oberbayern nur noch 134 ha angebaut (LEHMANN, 1940). In dieser Zeit wird der Buchweizen zunehmend von den Getreidearten und der Kartoffel als Stärkelieferanten verdrängt. In den Nachbarländern dagegen erfuhr er nicht den starken Rückgang wie in Deutschland. In den 1920er Jahren betrug seine Anbaufläche in Russland noch 2,6 Mio. ha, in Frankreich 355.000 ha, in Polen 290.000 ha und in Österreich 19.000 ha (BECKER-DILLINGEN, 1927). Heute wird Buchweizen in Deutschland noch auf einer Fläche von etwa 2.500 ha (AUFHAMMER, 2000, briefliche Mitteilung) angebaut.

Im folgenden werden Nutzungsmöglichkeiten des Buchweizens, seine Abstammung und Genetik beschrieben. Darüber hinaus wird auf die vorhandenen genetischen Ressourcen in Wild- und Kulturarten sowie auf den Stand der Forschung morphologischer, biochemischer und molekularer Marker als Voraussetzungen für züchterische Verbesserungen eingegangen. Schließlich werden primäre und sekundäre Inhaltsstoffe und ihre Bedeutung für die menschliche und tierische Ernährung sowie ihre Verwendung in der pharmazeutischen Industrie erörtert.

2. Produkte aus Buchweizen

Der Buchweizen wird in der menschlichen Ernährung vielseitig genutzt. Er wird zu Grütze, Grieß und Mehl verarbeitet. In Kärnten und der Steiermark isst man heute noch den breiartigen ‚Haidensterz‘, in Südtirol kennt man die aus Mehl gebackenen ‚Plentenknödel‘. ‚Plenten‘ leitet sich vom italienischen *polenta* = Brei ab. Die Knödel in Schleswig-Holstein waren früher aus Buchweizenmehl, Fett, Essig, Sirup oder Honig mit Obstfüllung zusammengesetzt (KÖRBER-GROHNE, 1987). In Frankreich wird aus dem Mehl eine besondere Form der *crêpes salées*, die *galletes*, gesalzene Buchweizenpfannkuchen, hergestellt. In Slowenien bäckt man Buchweizenbrot, das aus 30 % Buchweizen- und 70 % Saatweizenmehl zusammengesetzt ist (KREFT et al., 1998). Auch werden in Slowenien *struklji* (Strudel) aus Buchweizenmehl hergestellt. In mehreren Ländern Europas und in Nordamerika sind Pfannkuchen (*pancakes*), Biscuits, Nudeln und andere Buchweizengerichte bekannt. In osteuropäischen Ländern ist *kasha*, Buchweizengrütze, weit verbreitet. In Russland sind die *blini* (*blintschiki*), Eierpfannkuchen aus Buchweizenmehl, Nationalgericht. Da bei ihrer Herstellung nicht selten Klumpen entstehen, gibt es im Russischen das geflügelte Wort: = **первый блин комом** der erste Blin wird immer ein Klumpen, was so viel bedeutet wie ‚aller Anfang ist schwer‘. In Japan und Korea werden große Mengen Buchweizenmehl zu sogenannten *soba*- und *sabakiri*- bzw. *makkuksu*-Nudeln verarbeitet. Nach Japan wird fast die gesamte Buchweizenproduktion Australiens, Kanadas und große Mengen aus China exportiert. Japan ist weltgrößter Buchweizen- Importeur.

In China ist *wantuo* eine seit mehr als 100 Jahren bekannte Mehlspeise aus Buchweizen. Hell grünlich gefärbte *helao*-Nudeln, ebenfalls aus Buchweizenmehl hergestellt, werden zusammen mit einer Soße aus Essig, Salz, Zwiebeln, Pfeffer und Sesamöl gegessen (LIN et al., 1998). Ein anderes traditionelles Gericht in China sind die sogenannten Katzenohrnudeln aus Buchweizenmehl. In mehreren Ländern Südostasiens werden aus ungesäuertem Buchweizenteig *chapati* hergestellt. Buchweizenmehl gemischt mit Wasser ergibt die knusprig-gebratene *pakora*. Aus Mehl und Kartoffeln werden *parathas* hergestellt.

3. Biologie, Abstammung und Cytologie

Der Buchweizen ist wie Rhabarber und Sauerampfer ein Knöterichgewächs und gehört der Familie der Polygonaceae

an. Die einjährige, raschwüchsige Pflanze kann bis zu 1.50 m groß werden. Sie trägt wechselständige, gestielte, herzpfeilförmig zugespitzte, glänzende Laubblätter, deren Nebenblätter zu einer kragenförmigen, die Achse umhüllenden ‚Ochrea‘ verwachsen sind. Die zwittrigen Blüten sitzen in kurzen, zu Doldenrispen zusammengestellten, blattwinkel- und endständigen Scheintrauben. Die Blütenhülle ist blumenkronartig und fünfteilig. Sie besitzt acht freistehende Staubblätter. Der aus drei Fruchtblättern zusammengesetzte Fruchtknoten ist von einem drüsigen Ring umgeben (BECKER-DILLINGEN, 1927; OPPERER, 1982). Der Buchweizen ist selbst-inkompatibel und dimorph heterostyl, das heißt, verschiedengriffelig mit kurz- und langgriffeligen Blüten. Die Fremdbestäubung erfolgt hauptsächlich durch Bienen, Fliegen, Schwebfliegen und Hummeln. Der Wind trägt offenbar kaum zur Bestäubung bei (ADHIKARI und CAMPBELL, 1998). In den weiß- bis rosa-farbigen Blüten reifen dreikantige, 4 bis 6 mm lange Nüsse (Achänen), deren Tausendkorngewicht zwischen 15 bis 30 g liegt. Der Keimling (Embryo) besitzt breite, mehrfach zusammengefaltete Keimblätter.

Seit dem 19. Jahrhundert (DE CANDOLLE, 1884) glaubte man, dass der Buchweizen seinen Ursprung im nördlichen China, in der Gegend des Flusses Amur oder in Sibirien hat. Anfang der 1990er Jahre fand der Japaner Ohmi OHNISHI (1991, 1998b) in den südlichen Provinzen Chinas, Sichuan und Yunnan, den wilden Vorfahren des Gemeinen Buchweizens: *Fagopyrum esculentum* ssp. *ancestrale*. Diese Subspezies ist einjährig und besitzt den gleichen Chromosomensatz ($2n = 16$) wie die kultivierte Form. Wie diese ist sie heterostyl, hat einen ähnlichen Habitus, ihre Blüten und Achänen sind jedoch kleiner als die der Kulturform. Die Wildspezies besitzt eine verhältnismäßig lange Keimruhe und wirft im Gegensatz zur Kulturform ihre Früchte kurz nach der Reife ab.

Mitosechromosomen der Wurzelspitzen des Buchweizens sind nur sehr schwer zu gewinnen. Besser eignen sich für eine Präparation Vegetationskegel der Stengelspitzen im Zweiblattstadium. Nach Behandlung mit 8-Hydroxychinolin, Fixierung in 3 : 1 Ethanol/Essigsäure, Hydrolyse in 1N Salzsäure und Behandlung in 4 %iger Cellulose/Pektinase lassen sich die Chromosomen gut sichtbar machen (CHEN, 1999a). Zur Präparation der Meiosechromosomen werden junge Infloreszenzen in Carnoy-Lösung fixiert und in 1 %iger Karminessigsäure gefärbt. Danach werden Quetschpräparate hergestellt. Bislang liegen nur sehr wenig Untersuchungen zum Verhalten der Meiosechromosomen in Bastarden kultivierter Buchweizen und verwandter Arten vor.

4. Biodiversität und Genetik

4.1 Genetische Ressourcen

Neben mehreren anderen wilden, bisher unbekanntem *Fagopyrum*-Arten fand OHNISHI während einer Exkursion durch das südliche China in Sichuan und Yunnan die neue Art *Fagopyrum homotropicum* (OHNISHI, 1991; OHNISHI und ASANO, 1999). Diese Wildart ähnelt *F. esculentum* ssp. *ancestrale*, der Ausgangsform des Gemeinen Buchweizens, in vielen morphologischen und physiologischen Merkmalen, im Gegensatz zu ihr ist sie jedoch homostyl selbstbestäubend. Die kleinen Blüten sind kleistogam und meistens rosa-farben (OHNISHI, 1998a). *F. homotropicum* wächst auf felsigen, nährstoffarmen Böden und bildet im Freien nur wenig Früchte aus. Diese werden wie in anderen Wildarten gleich nach der Reife abgeworfen. Während die Mehrzahl der in Südchina gefundenen *F. homotropicum*-Populationen wie *F. esculentum* eine diploide Chromosomenzahl von $2n = 16$ besitzen, war der Chromosomensatz in drei Populationen in Nordwest-Yunnan bzw. Südwest-Sichuan tetraploid (OHNISHI und MATSUOKA, 1996). Aufgrund der großen Ähnlichkeit biochemischer und molekular-genetischer Marker nehmen OHNISHI und MATSUOKA (1996) an, dass *F. homotropicum* und die Subspecies *F. esculentum* ssp.

ancestrale, die in den Provinzen Sichuan und Yunnan sowie in Tibet vorkommt, miteinander eng verwandt sind. Beide Species sind darüber hinaus miteinander und mit dem Gemeinen Buchweizen kreuzbar (CAMPBELL, 1997; WOO et al., 1999a). Da in entsprechenden Kreuzungsbastarden ohne Schwierigkeiten Genaustausch zwischen homologen Chromosomen stattfindet, zählt man diese drei Arten zum primären Genpool (HARLAN, 1975; Tabelle 2).

Eine weitere, vom Menschen kultivierte Art, ist der Tatarische Buchweizen (*Fagopyrum tataricum*). Er ist wie *F. homotropicum* homostyl selbstbestäubend, die Kronblätter sind grün und seine Wuchshöhe liegt zwischen 30 und 90 cm. Hervorzuheben ist seine geringe Frostempfindlichkeit (BECKER-DILLINGEN, 1927), starke Wüchsigkeit (Biomasse) und sein hoher Fruchtansatz (CAMPBELL, 1997). Er ist im südlichen China, in Bhutan und Nepal weit verbreitet (OHNISHI, 1993a) und dürfte wie der Gemeine Buchweizen seinen Ursprung im nordöstlichen Yunnan (Südchina) haben (TSUJI und OHNISHI, 2000). Für *F. tataricum* gibt es in Osttibet sehr wahrscheinlich noch ein zweites Genzentrum (TSUJI und OHNISHI, 2001). Der Tatarische Buchweizen ist spätestens um das Jahr 1734 aus dem Fernen Osten nach Europa gekommen (WEIN, 1925). Im Jahre 1735 wurde er erstmals in Leipzig, ein Jahr später in St. Petersburg und 1737 in Brandenburg und den Nieder-

Tabelle 2: Genpools, Chromosomenzahlen, Befruchtungssysteme und Verbreitungsgebiete verschiedener *Fagopyrum*-Arten
Table 2: Genepools, chromosome numbers, breeding systems and distribution of different *Fagopyrum* species

Art	Chr. zahl	Befruchtungssystem	Hetero-/homostyl	Verbreitung
Primärer Genpool				
<i>F. esculentum</i>	16	selbststeril	heterostyl	weltweit
<i>F. esculentum</i> ssp. <i>ancestrale</i>	16	selbststeril	heterostyl	Sichuan, Yunnan, Tibet
<i>F. homotropicum</i>	16, 32	selbstfertil	homostyl	Sichuan, Yunnan
Sekundärer Genpool				
<i>F. tataricum</i>	16	selbstfertil	homostyl	China, Bhutan, Nepal Zentral- und Südchina, Tibet, Kaschmir,
<i>F. tataricum</i> ssp. <i>potanini</i>	16	selbstfertil	homostyl	Nord- Pakistan
<i>F. cymosum</i> , 2x	16	selbststeril	heterostyl	Zentral- und Südchina, Tibet
<i>F. cymosum</i> , 4x	32	selbststeril	heterostyl	Zentral- und Südchina, Tibet, Nordthailand, Butan, Nepal, Kaschmir
<i>F. giganteum</i> = 4x <i>F. tataricum</i> x 4x <i>F. cymosum</i>	32	selbstfertil	heterostyl	Synthetischer Bastard; Genbank Sankt Petersburg, Russland
Tertiärer Genpool				
<i>F. gracilipes</i>	16, 32	selbstfertil	homostyl	Guizhu, Shaanxi, Sichuan, Yunnan, Bhutan
<i>F. capillatum</i>	16	selbstfertil	heterostyl	Yunnan
<i>F. urophyllum</i>	16	selbststeril	heterostyl	Sichuan, Yunnan
<i>F. pleioramosum</i>	16	selbstfertil	heterostyl	Sichuan
<i>F. callianthum</i>	16	selbstfertil	heterostyl	Sichuan
<i>F. leptopodium</i>	16	selbststeril	heterostyl	Yunnan
<i>F. lineare</i>	16	selbststeril	heterostyl	Yunnan
<i>F. sturice</i>	16	selbststeril	heterostyl	Yunnan

landen nachgewiesen. Der feldmäßige Anbau erfolgte jedoch erst später (BECKER-DILLINGEN, 1927). Mit Hilfe von *in vitro*-Kulturen gelang es WAGATSUMA und UN-NO (1995) in Japan zum ersten Mal, einen fertilen Bastard zwischen *F. esculentum* und *F. tataricum* herzustellen. Wenig später erhielten auch SAMIMY et al. (1996) in den USA mit Hilfe der Embryonenkultur einen Bastard zwischen *F. esculentum* und *F. tataricum*. Die Bastardpflanzen besaßen wie *F. tataricum* homomorphe Blüten und wie *F. esculentum* weiße Kronblätter. In der Nachkommenschaft konnten jedoch keine fertilen Nachkommen selektiert werden (BJÖRKMAN, 2000, briefliche Mitteilung). CAMPBELL (1997) berichtete über einen Bastard zwischen *F. homotropicum* und *F. tataricum*.

Der Tatarische Buchweizen stammt sehr wahrscheinlich von *Fagopyrum tataricum* ssp. *potanini* ab (Tabelle 2), einer selbstfertilen, weiß-blühenden Wildart, die eine lange Keimruhe besitzt und ihre Früchte kurz nach der Reife abwirft. Man findet diese Art heute noch im Norden der Provinz Sichuan, in Tibet, Nepal, Kaschmir und im nördlichen Pakistan (OHNISHI, 1998b).

Eine andere in Zentral- und Südchina sowie in Tibet vorkommende Wildart ist *F. cymosum*. Sie ist frost-tolerant, perennierend, heterostyl fremdbestäubend, bildet Rhizome aus und hat einen buschigen Wuchs (KROTOV, 1968; YASUI und OHNISHI, 1998b; YAMANE und OHNISHI, 2001). *F. cymosum*, die am weitesten verbreitete *Fagopyrum*-Wildart, galt bis zur Entdeckung von *F. esculentum* ssp. *ancestrale* im Jahre 1991 zu Unrecht als der Vorfahre des Gemeinen und Tatarischen Buchweizens (CAMPBELL, 1976). Mit Hilfe von RFLP-Analysen der cpDNA (KISHIMA et al., 1995), Vergleichen von cpDNA-Sequenzen des *rbcL*-Gens für die große Untereinheit der Ribulose-1,5-Biphosphat Carboxylase und des *accD*-Gens für eine der Untereinheiten der Acetyl-CoA-Carboxylase (YASUI und OHNISHI, 1998b) und von Kern-DNA-Vergleichen (YASUI und OHNISHI, 1998a) wurde die Verwandtschaft zu anderen *Fagopyrum*-Arten untersucht und gefunden, dass *F. cymosum* mit *F. tataricum* genetisch näher verwandt ist als mit *F. esculentum*. Neben der diploiden Form gibt es von *F. cymosum* eine natürliche, tetraploide Form, die in China bis nach Kaschmir verbreitet ist (OHNISHI, 1998a; YAMANE und OHNISHI, 2001; Tabelle 2).

KROTOV (1975) sowie KROTOV und DRANENKO (1973) berichteten über einen interspezifischen Bastard zwischen $4x$ -*F. tataricum* und $4x$ -*F. cymosum*. Dieser Bastard, der heterostyl selbstfertil und weißblühend ist, erhielt den Namen *F. giganteum*. Er wurde mit Hilfe von Embryo- und

Kallus-Kulturen später auch mit *F. esculentum* gekreuzt. Aus dieser Kombination ging ein neuer Bastard hervor (HIROSE und UJIHARA, 1998). Die Blüten der Bastardpflanzen sind kurzgriffelig, selbstfertil und grün-farben. Unter Verwendung von Eizellenkulturen wurde auch eine tetraploide und eine diploide Kombination *F. esculentum* x *F. cymosum* hergestellt (UJIHARA et al., 1990; HIROSE et al., 1993; HIROSE und UJIHARA, 1998). Stengel und Blätter der Bastardpflanzen variierten zwar, in ihrem allgemeinen Habitus ähnelten sie aber dem *F. cymosum*-Elter, die Blüten waren heteromorph selbstinkompatibel. Auch CHEN (1999b) gelang die Herstellung eines Bastard zwischen $4x$ -*F. esculentum* und $4x$ -*F. cymosum*, den er mit tetraploidem *F. esculentum* rückkreuzte. Die BC_1 -Pflanzen besaßen in den Pollenmutterzellen der Metaphase I der Meiose 16 Bivalente. WOO et al. (1999c) konnten mit Hilfe der Embryonenkultur F_1 -Bastarde zwischen *F. cymosum* und *F. esculentum*, *F. tataricum* sowie *F. homotropicum* herstellen. Die Ausbeute an fertilen Pflanzen in den Nachkommenschaften war jedoch in fast allen Kombinationen sehr gering. Die Arten *F. tataricum* und *F. cymosum* sind nur mit Hilfe zellbiologischer Methoden mit *F. esculentum* kreuzbar. Da Gene deswegen nur sehr schwer in den Gemeinen Buchweizen übertragbar sind, gehören diese beiden Arten dem sekundären Genpool an (HARLAN, 1975; Tabelle 2).

Eine Reihe weiterer *Fagopyrum*-Wildarten wurde beschrieben, die mit dem Gemeinen Buchweizen bisher jedoch nicht gekreuzt werden konnten. Dazu gehören *F. gracilipes* und *F. cappilatum*. *F. gracilipes* kommt in China und Bhutan vor (OHNISHI, 1998a; TSUJI et al., 1999). Diese wilde Art hat einen aufrechten oder kriechenden Wuchs, rosa- oder weiß-farbene Kronblätter, wird 10 bis 80 cm hoch und ist stark verzweigt. Die Blüten sind homostyl selbstbestäubend, der Chromosomensatz ist entweder diploid ($2n = 16$) oder allo-tetraploid, $2n = 32$ (CHEN, 1999a). *F. cappilatum* ähnelt morphologisch *F. gracilipes*, hat aber einen aufrechten Wuchs. Diese Wildart, die in der Provinz Yunnan vorkommt, kann mehr als 1 m groß werden. Die Blüten sind weiß-farben, der Chromosomensatz ist diploid, $2n = 16$ (OHNISHI, 1998a). *F. urophyllum* ist eine diploide, heterostyl fremdbestäubende, meist weiß-blühende, buschartige Wildart, die in den südchinesischen Provinzen Sichuan und Yunnan vorkommt (OHNISHI, 1998a). Charakteristisch für *F. pleioramosum*, die bis zu 1 m hoch werden kann, ist seine starke Verzweigung und der kriechende Wuchs (OHNISHI, 1998a). Obwohl heterostyl, entstehen die Samen durch Selbstbefruchtung. Die Pflanzen sind weiß-blühend und besitzen einen diploiden Chromo-

somensatz. Bisher ist diese Art nur in der Provinz Sichuan gefunden worden. Auch bei *F. callianthum* ist die Blüte heterostyl, aber weitgehend selbstfertil. Die großen Kronblätter sind rosa-farben, die Laubblätter dreieckig geformt. Die Pflanze wird nur etwa 40 cm hoch, ist wenig verzweigt und wirkt in ihrem gesamten Erscheinungsbild äußerst attraktiv (OHNISHI, 1998a). *F. callianthum* wurde am Oberlauf des Min-Flusses in der Provinz Sichuan entdeckt. *F. callianthum*, *F. capillanthum* und *F. pleioramosum* sind alle genetisch mit *F. gracilipes* eng verwandt (OHNISHI und MATSUOKA, 1996).

Auch die Arten *F. leptopodium* und *F. lineare* kommen in der Provinz Yunnan vor. Sie sind diploid, weiß-blühend, heterostyl selbststeril und haben nur eine sehr geringe Wuchshöhe (10 cm). Im Habitus sehr ähnlich unterscheiden sie sich jedoch in der Blattmorphologie (HIROSE und UJIHARA, 1998). Auch die Wildart *F. stative* wurde in Yunnan gefunden. Sie ähnelt oberirdisch der Art *F. leptopodium*, ist aber im Gegensatz zu dieser annuell und bildet Wurzelknollen aus. Beide Arten sind miteinander kreuzbar und ihre Bastarde fertil (OHSAKO und OHNISHI, 1998). Sämtliche *Fagopyrum*-Wildarten, die mit *F. esculentum* weder mit konventionellen noch mit Hilfe zellbiologischer Methoden kreuzbar sind und Gene nur mit Hilfe molekularer Werkzeuge in den Gemeinen Buchweizen übertragen können, werden dem tertiären Genpool zugeordnet (HARLAN, 1975; Tabelle 2).

Viele in den Ursprungsgebieten des Buchweizens noch vorhandene Landrassen, Zuchtsorten und Wildarten sind wichtige genetische Ressourcen für die Züchtung. In der Chinesischen Nationalen Genbank in Peking lagern zur Zeit mehr als 2.800 *Fagopyrum*-Herkünfte und zusätzlich Samenmuster von mehr als 100 Wildarten (LI et al., 1998). Weitere umfangreiche Kollektionen befinden sich nach CAMPBELL (1997) in Russland (St. Petersburg), Kanada (Winnipeg), Japan (Tsukuba und Ibaraki), Indien (Simla), Nepal (Kathmandu), Slowenien (Laibach), USA (Fort Collins), Deutschland (Braunschweig und Gatersleben) sowie Frankreich (Le Rheu).

4.2 Morphologische und biochemische Marker

Ohmi OHNISHI von der Kyoto Universität in Japan berichtete seit den 70er Jahren in zahlreichen Artikeln über das Auftreten natürlicher Mutanten in Buchweizen-Populationen. Anhand von Kreuzungen analysierte er die Vererbung der Gene, die Anzahl der für die mutierten Merkmale infra-

ge kommenden Loci sowie Genfrequenzen. Für chlorophyll-defekte Mutanten fand er nahezu 100 Genloci (OHNISHI, 1972, 1982), für genetisch weibliche Sterilität einen Prozentsatz von 0.1, für männliche Sterilität von 0.6 bei nahezu einer Million untersuchter Individuen (OHNISHI, 1985).

OHNISHI und NAGAKUBO (1982) sowie OHNISHI und OHTA (1987) analysierten darüber hinaus mehr als 30 verschiedene Verzweigungsmutanten, die sie mit Hilfe von Allelietests sechs Genloci zuordnen konnten. Alle diese Gene werden rezessiv vererbt. MINAMI et al. (1999) berichteten über ein Verzweigungsgen, das in Kanada als spontane Mutante entdeckt worden war. Die Verzweigung erfolgt durch eine Reduzierung der Stengellänge innerhalb der vier untersten, vor allem der zweiten und dritten Internodien. Alle anderen Internodien und Pflanzenorgane haben eine unveränderte Wuchslänge. Da Aussaatzeitpunkt, Pflanzenabstand und Düngung keinen Einfluss auf den Habitus der Mutante haben und dieser Verzweigungstyp den Ertrag nicht reduziert, wird diese Linie in Kanada und Japan bereits zur Verbesserung der Standfestigkeit züchterisch genutzt.

Charakteristisch für den Gemeinen Buchweizen ist sein indeterminierter Wuchs. Das Gen, das für dieses Merkmal verantwortlich ist, führt dazu, dass die Pflanzen ohne Unterbrechung bis zur Ernte oder bis zum Ende der Vegetation durch Frosteinbruch kontinuierlich neue Blüten und Blätter ausbilden. Das Gen für dieses Merkmal wird dominant vererbt und mit dem Symbol *DET* bezeichnet. Sein rezessives Allel (*det*) manifestiert einen determinierten Wuchs. Es wurde von FESENKO (1968) zum ersten Mal beschrieben. Determinierter Wuchs kommt in mehreren Buchweizensorten in Russland vor (MARTYNENKO und FESENKO, 1989), ist aber auch in slowenischen, bosnischen und italienischen Populationen verbreitet (OHNISHI, 1993b). Die beiden Gene für determinierten Wuchs aus Russland und Südeuropa sind allel (MARTYNENKO, 1998). Nach KREFT (1989) führt das rezessive Gen zu einem früheren, gleichmäßigen Abreifen der Früchte, zu einem verminderten Fruchtabwurf und zu einer höheren Fruchtzahl je Blütenstand. Gleichmäßigeres Abreifen der Samen konnte von FUNATSUKI et al. (2000) in einem Vergleich einer japanischen indeterminierten Sorte und einer aus dieser Sorte entwickelten *det*-Linie jedoch nicht bestätigt werden.

Ein weiteres, für den Buchweizen typisches Merkmal ist seine ausgeprägte Verzweigung. Russische Wissenschaftler der Landwirtschaftlichen Akademie in Orel versuchen schon seit langem, die Verzweigung durch Nutzung indu-

zierter Mutationen zu reduzieren. Durch Einkreuzung eines intermediär vererbten Gens für eine begrenzte sekundäre Verzweigung haben MARTYNENKO (1995) und FESENKO et al. (1998) in den letzten Jahren mehrere Sorten gezüchtet, die sich dank dieses Gens auch durch frühe Reife und einen höheren Ertrag auszeichnen.

Der Gemeine Buchweizen ist wegen der Heterostylie seiner Blüten selbstinkompatibel und im großflächigen Anbau mindestens zu 95 % auf die Bestäubung der Honigbiene angewiesen (BJÖRKMAN, 1995). Eine einzelne Buchweizenpflanze kann bis zu 1.800 Blüten produzieren, von denen aber nur etwa 12 % Früchte ansetzen (WOO et al., 1999a). Um den Fruchtansatz und damit den Ertrag zu erhöhen, versucht man schon seit langem, die Selbstfertilität des Tatarischen Buchweizens in den kultivierten Buchweizen zu übertragen. Da aber die beiden Arten sexuell miteinander nicht kreuzbar sind, wurden zellbiologische Methoden eingesetzt. Einer japanischen und einer amerikanischen Arbeitsgruppe gelang es vor wenigen Jahren, mit Hilfe der Embryonenkultur diese beiden Arten zu hybridisieren. Der eigentliche Durchbruch zur Übertragung der Selbstfertilität in den kultivierten Buchweizen wurde jedoch durch die Entdeckung und Nutzung der homostyl selbstbestäubenden Wildart *F. homotropicum* (OHNISHI, 1991) erzielt. Mit Hilfe der Embryonenkultur gelang CAMPBELL (1995, 1997) als erstem die Kreuzung zwischen *F. esculentum* und *F. homotropicum* und damit die Übertragung der Selbstfertilität aus der Wildart in die kultivierte Art. Da beide *Fagopyrum*-Arten dem primären Genpool angehören, kann in der Meiose der F_1 -Pflanzen homologes Crossingover stattfinden. Bei dem Gen für Homo/Heterostylie handelt es sich um multiple Allelie. Langgriffelig heterostyl ist homozygot rezessiv (ss), kurzgriffelig homostyl ist homozygot (SS) oder heterozygot (Ss) dominant, sowohl in *F. esculentum* als auch in *F. homotropicum* (S^bS^b). F_1 -Bastarde aus der Kreuzung der beiden Arten miteinander sind homostyl heterozygot (S^bs). Die F_2 -Generation spaltet nach Selbstung der F_1 -Generation im Verhältnis 3 (homostyl) : 1 (heterostyl) auf (WOO et al., 1999a; ADACHI et al., 2000).

Neben Genen für züchterisch wichtige und andere morphologische Merkmale wurden in den letzten Jahren auch zahlreiche Gene für Blattisoenzyme und Samenproteine beschrieben. Allein sieben Isoenzymloci wurden anhand umfangreicher Spaltungsanalysen untersucht und ihren entsprechenden Kopplungsgruppen zugeordnet (OHNISHI und OHTA, 1987).

Die Samenproteine lassen sich elektrophoretisch (SDS-PAGE) aufschließen und einzelne Genotypen aufgrund

ihrer Bandenmuster unterscheiden. ROGL und JAVORNIK (1996) erhielten innerhalb eines Molekulargewichtsbereiches von 30 bis 54 kDa bei 24 Buchweizensorten 14 verschiedene Elektropherogramme. Dabei zeigte sich, dass die genetische Variabilität der Proteinbiotypen innerhalb der Sorten erheblich größer ist als zwischen den Sorten.

5. Inhaltsstoffe

5.1 Proteine, Kohlenhydrate und Fette: Ernährungsphysiologische Aspekte

Proteine, Stärke, Fette und sekundäre Inhaltsstoffe sind die wichtigsten, wirtschaftlich nutzbaren Komponenten des Buchweizensamens. Das Protein macht 11 bis 15 % der Sameninhaltsstoffe aus (MAZZA, 1993; CAMPBELL, 1997). Etwa 70 % davon sind salzlösliche Globuline, 25 % wasserlösliche Albumine und ca. 4 % Gluteline (RADOVIC et al., 1999). Da die Samen des Buchweizens praktisch keine Prolamine enthalten, sind sie für die Ernährung Zöliakie-Krankter gut geeignet. Ebenso wie bei den Reserveproteinen anderer dikotyler Pflanzenarten herrscht bei den Globulinen des Buchweizens der Typ mit der Sedimentationskonstante 13S vor, der eine typische ‚Legumin‘-Struktur besitzt. Dieses Protein setzt sich aus sechs Untereinheiten zusammen, die aus einer großen, sauren (M_r 32 bis 43.000) und einer kleinen, basischen Untereinheit (M_r 20 bis 23.000) bestehen (RADOVIC et al., 1996; MAKSIMOVIC et al., 1996). Während der 13S-Globulintyp in den Keimblättern synthetisiert wird, ist ein weiterer Typ, ein 8S-Globulin, dem ‚Vicilin‘ sehr ähnlich, endosperm-spezifisch und setzt sich aus einer Gruppe von Untereinheiten mit einer Molekularmasse von 57 bis 58.000 kDa zusammen (RADOVIC et al., 1996). Die Albumin-Fraktion besteht hauptsächlich aus niedermolekularen Polypeptiden und wird daher auch als 2S Albumin bezeichnet (RADOVIC et al., 1999).

Bemerkenswert ist der im Vergleich zu Getreidearten mehr als doppelt so hohe Gehalt der essentiellen Aminosäure Lysin (MARSHALL und POMERANZ, 1982; NAMAI, 1992; Tabelle 3). Auch die Gehalte an Threonin, Tryptophan und schwefelhaltigen Aminosäuren sind verhältnismäßig hoch und begründen die hohe biologische Wertigkeit von 93 des Buchweizenproteins (EGGUM et al., 1981). Die biologische Wertigkeit der Sojabohne liegt bei 73 und die des Weizens bei 66. Der hohe Lysingehalt im gesamten Samenprotein des Buchweizens geht hauptsächlich auf die hohen Gehalte in

der 13S Globulin-Fraktion (6.9 %; ROUT et al., 1997) und der 2S Albumin-Fraktion (5.6 %; RADOVIC et al., 1999) zurück. Obwohl der Cysteingehalt in der Albuminfraktion mit 0.7 % ungewöhnlich niedrig ist, scheint der hohe Gehalt an schwefelhaltigem Methionin (9.2 %) für ein funktionstüchtiges Albumin als Schwefelquelle für die Samenkeimung auszureichen (RADOVIC et al., 1999).

Buchweizenprotein besitzt nur eine niedrige Verdaulichkeit. EGGUM et al. (1981) führen dieses Phänomen, das in der Tierernährung von großem Nachteil ist, auf die Ballaststoffe und den hohen Tanningehalt in den Samen zurück. Auch IKEDA et al. (1991) glauben, dass der hohe Tanningehalt und Protease-Inhibitoren Hauptursachen für die geringe Verdaulichkeit des Proteins sind. KAYASHITA et al. (1997) wiesen bei Ratten nach Fütterung mit Buchweizenprotein eine deutliche Senkung des Cholesterolspiegels im Blut nach und erklären diese Beobachtung mit der niedrigen Proteinverdaulichkeit.

Stärke ist das wichtigste Kohlenhydrat in den Samen. Der Stärkegehalt liegt je nach Genotyp zwischen 37 und 70 % (JAVORNIK, 1986). Die Stärkekörner haben eine runde bis polygonale Gestalt und einen Durchmesser von 2 bis 7 mm (ACQUISTUCCI und FORMAL, 1997). Der Amylosegehalt liegt mit 21 bis 26 % (KIM et al., 1977; QUIAN und KUHN, 1999a) in einem ähnlichen Bereich wie bei Getreidearten. Hinsichtlich ihrer technologischen Verarbeitung besitzt Buchweizenstärke höhere Quellvolumina und Verkleiste-

rungstemperaturen als vergleichbare Getreidearten (LI et al., 1997; QUIAN et al., 1998; QUIAN und KUHN, 1999a, b). Die Retrogradation der Buchweizenstärke ist jedoch langsamer als die von Mais- oder Weizenstärke (QUIAN et al., 1998).

Im Zusammenhang mit Untersuchungen ernährungsphysiologischer Wirkungen der Stärke von Buchweizenerzeugnissen fanden SKRABANJA et al. (2001) einen Anteil von 6 % resistenter Stärke in gekochter Grütze. Als resistente Stärke werden Fraktionen und Abbauprodukte natürlicher Stärken bezeichnet, die im Dünndarm des Menschen nicht verdaut werden. Der verminderte Abbau der Buchweizenstärke wird mit hohen Gehalten an Tanninen und Phytinsäure in Verbindung gebracht. Der Glykämische Index (GI) liegt für Grütze mit 61 und für Buchweizenbrot mit 66 bis 74 verhältnismäßig niedrig und könnte für die Blutzuckerwirksamkeit von Bedeutung sein. Damit ist Buchweizen ein Lebensmittel, das über seinen Nährwert hinausgehende positive Wirkungen auf Stoffwechselfunktionen des Menschen hat ('functional food').

Buchweizensamen enthalten auch eine Anzahl löslicher Kohlenhydrate. Vor allem der Embryo und die Aleuronschicht besitzen sechs verschiedene Fagopyritole, Galactosyl-Derivate des *D-chiro*-Inositols. Die wichtigsten sind: Fagopyritol B1, -B2 und -B3 sowie Fagopyritol A1, -A2 und -A3 (OBENDORF, 1998; STEADMAN et al., 2000). Fagopyritol B1 kommt am häufigsten vor und ist offenbar auch an der Toleranz des Buchweizens gegenüber Austrocknung

Tabelle 3: Proteingehalt (N x 6.25) in Prozent und Aminosäurezusammensetzung (g/100 g Protein) von Buchweizenschrot und ganzen Körnern (nach MARSHALL und POMERANZ, 1982*; NAMAI, 1992**)

Table 3: Protein content (N x 6.25) in percentage and amino acid composition (g/100 g protein) of buckwheat groat and whole seeds (after MARSHALL and POMERANZ, 1982*; NAMAI, 1992**)

Aminosäure	*Gehalte (g/100 g Protein im ganzen Korn)	*Gehalte (g/100 g Protein) im Schrot	**Gehalte (g/100 g Protein) im Mehl
Alanin	4.3	4.4	–
Arginin	9.2	10.0	10.1
Cystein	1.6	1.8	1.6
Glutaminsäure	18.5	19.3	–
Glycin	6.6	6.2	–
Histidin	2.6	2.6	2.2
Isoleucin	4.0	3.7	3.7
Leucin	6.7	6.2	6.2
Lysin	6.0	5.9	6.2
Methionin	2.3	2.8	1.8
Phenylalanin	4.8	4.8	4.2
Prolin	3.8	3.8	–
Serin	4.9	4.6	3.9
Threonin	4.0	3.8	–
Tyrosin	2.0	2.1	1.5
Valin	5.3	4.9	–
Lysin + Methionin + Tryptophan	12.4	12.4	–
Gesamtprotein	13.8	16.4	–

während der Samenreife beteiligt (HORBOVICZ et al., 1998). D-*chiro*-Inositol ist möglicherweise darüber hinaus als Therapeutikum wirksam. Über erste Erfolge in der Behandlung nieren-insuffizienter Rhesusaffen mit Typ-2 Diabetes mellitus berichten ORTMEYER et al. (1995). D-*chiro*-Inositol verstärkt außerdem bei oraler Einnahme die Insulintätigkeit bei Patienten mit polyzystischem Ovarialkarzinom (NESTLER et al., 1999). Wenn sich diese Ergebnisse bestätigen lassen, könnten sich für Buchweizen in der diätetischen Ernährung neue Möglichkeiten eröffnen.

Der Anteil des Rohferts, das hauptsächlich im Keimling angereichert ist, liegt bei geschälten Buchweizenkörnern zwischen 2.1 und 3 % (EGGUM et al., 1981; MAZZA, 1993). Dabei ist die einfach-ungesättigte Ölsäure zu etwa 36.5 %, die mehrfach-ungesättigte α -Linolensäure zu 35.5 % und die gesättigte Palmitinsäure zu etwa 14.8 % vertreten (MAZZA, 1993). Der Ballaststoffgehalt liegt bei nur 1.2 bis 1.6 % i.T. (MAZZA, 1993).

Es gibt Menschen, die beim Verzehr oder bei der Herstellung von Buchweizenprodukten allergisch reagieren. Die Allergene können insbesondere bei Kindern Nesselsucht, Asthma und anaphylaktischen Schock auslösen. Diese Symptome treten bereits kurz nach dem Verzehr auf. Die Sofortreaktion (Typ-1-Reaktion) basiert auf der Aktivität von Antikörpern der Klasse Immunglobulin E (IgE), die hochspezifisch mit bestimmten Bereichen des Allergenmoleküls reagieren (HOFFMANN-SOMMERGRUBER, 2000). Als Hauptallergen bei der Auslösung der Buchweizenallergie wird ein Protein mit einer Molekularmasse von 24 kDa, des Fag e 1, postuliert (URISU et al., 1994). Neuere elektrophoretische und immun-chemische Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass das Hauptallergen eine Molekularmasse zwischen 9 und 24 kDa hat (NAIR und ADACHI, 1998; PARK et al., 2000; YOSHIMASU et al., 2000; FUJINO et al., 2001).

5.2 Sekundäre Inhaltsstoffe: Pharmakologische Aspekte

5.2.1 Phenolische Verbindungen

In zahlreichen höheren Pflanzen kommen phenolische Verbindungen vor.

Viele Polyphenole besitzen antioxidative Eigenschaften, indem sie freie Sauerstoffradikale oder einzelne Elektronen abfangen und binden. Dadurch können sie die Autoxidation ungesättigter Fettsäuren verhindern. Durch Unterbrechung der Radikalkettenreaktion kann darüber hinaus die

Bildung der oxidierten LDL- (Low-Density-Lipoprotein) Fraktion unterbunden werden (FRANKEL, 1999; MUKODA et al., 2001). Die Antioxidantien bewirken, daß Buchweizensamen viel seltener und langsamer verderben als Samen anderer Nutzpflanzen. Neben den antiatherogenen Effekten sind Polyphenole in der Lage, die Plättchenaggregation im Blut zu hemmen, so dass sie zum Schutz vor koronaren Herzkrankheiten beitragen (HERTOG et al., 1995). Ihre antikarzinogene Wirkung wird noch durch die Fähigkeit erweitert, die Bioverfügbarkeit von Nahrungskarzinogenen und deren metabolische Aktivierung zu reduzieren.

Früher hat man die Polyphenole unter dem Begriff Tannine zusammengefasst. Heute unterteilt man sie in Phenolcarbonsäuren und Flavonoide. Übersichten zu chemischen Strukturen der Flavonoide, ihr Vorkommen in den verschiedenen Pflanzenarten und entsprechende Literaturhinweise wurden kürzlich veröffentlicht (HARBORNE und BAXTER, 1999). Flavonoide sind insbesondere in der Schale und den äußeren Schichten der Buchweizensamen enthalten. OOMAH und MAZZA (1996) fanden 387 mg/100 g Gesamt-Flavonoide in Samen kanadischer Sorten und 1314 mg/100 g in der Schale. Über niedrigere Werte (18.8 mg/100 g im Samen und 74 mg/100 g in den Schalen) einer polnischen Sorte berichten DIETRICH-SZOSTAK und OLESZEK (1999), während QUETTIER-DELEU et al. (2000) in einer französischen Sorte ähnlich hohe Werte sowohl im Mehl (313 mg/100 g) als auch in den Schalen (333 mg/100 g) nachweisen konnten. Daraus geht hervor, dass der Genotyp (Sorte) ganz erheblich den Gesamtgehalt an Flavonoiden des Buchweizens beeinflusst (OOMAH et al., 1996).

Nach dem Oxidationsgrad der C-Atome unterteilt man die Flavonoide in Flavonole, Flavonole, Flavone und weitere Phenylchromanderivate.

5.2.1.1 Flavonole

Das bekannteste in Buchweizen vorkommende Flavonol ist das Aglykon Quercetin mit seinen Glykosiden Hyperosid (Quercetin-3-O-galactosid), Quercitrin (Quercetin-3-O-rhamnosid) und Rutin (Quercetin-3-O-rhamnosyl (1 → 6)-glycosid). DIETRICH-SZOSTAK und OLESZEK (1999) fanden in Buchweizensamen 2.7 bis 3.2 mg/100 g Quercetin. Auch in der Schale ist Quercetin nachzuweisen (WATANABE et al., 1997). HAGELS et al. (1995) fanden in Blütenständen europäischer Sorten 0.3 % Quercitrin und etwa 0.04 % Hyperosid. Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit haben gezeigt, dass die Glykoside wie auch das Aglykon selbst im menschlichen Darm aufgenommen werden (GRAEFE et al., 1999).

COUCH et al. (1946) berichten, dass Buchweizenblätter, -blüten und -stengel besonders hohe Gehalte an Rutin besitzen. Mit Hilfe moderner Methoden, wie der Kapillarelektrophorese, konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. KREFT et al. (1999) wiesen nach, dass Rutin mit etwa 300 ppm in Blättern, 1000 ppm in Stengeln und mehr als 46.000 ppm in den Blüten auftritt. Auch HAGELS et al. (1995) fanden die höchsten Rutingehalte in den Blüten. Der Rutingehalt ist jedoch stark sortenabhängig (KITABAYASHI et al., 1995a) und wird darüber hinaus von der Photoperiode wesentlich beeinflusst (NÖLL, 1955; CERGEL et al., 1998). Verschiedene Arbeitsgruppen haben sehr unterschiedliche Rutingehalte ermittelt, wie aus Tabelle 4 hervorgeht. Der Rutingehalt ist in Tatarischem Buchweizen besonders hoch (KITABAYASHI et al., 1995b; OHSAWA and TSUTSUMI, 1995).

Rutin wird zur Behandlung von Blutgefäßfragilität und Bluthochdruck eingesetzt (GRIFFITH et al., 1944; KIESEWETTER et al., 1997; GRÜTZNER und PATZ, 1998). Darüber hinaus kommt die Droge therapeutisch bei chronischer Venen-Insuffizienz zum Einsatz (YILDZOGLE-ARI et al., 1991; IHME et al., 1996; OOMAH und MAZZA, 1996; GRÜTZNER, 1998; FRIEDERICH et al., 2000). Während Rutin in Deutschland in Form von Tabletten und Buchweizenkraut-Tee (Fagorutin) verabreicht wird, konsumiert man die Substanz in Japan mit der täglichen Nahrung, hauptsächlich in Form von Soba-Nudeln (OHSAWA und TSUTSUMI, 1995). Da jedoch das in Buchweizenmehl enthaltene Rutin durch Kochen zu 90 % verlorengeht, nimmt man dieses Flavonoid in Japan im Anschluss an die Hauptmahlzeit in Form von Soba-yu-Suppe zu sich. Wegen dieser Art der Lebensmittelzubereitung besteht in Japan ein großes Interesse an hohen Rutingehalten im Buchweizenmehl. Obwohl Tatarischer Buchweizen bis zu 100 mal höhere Rutingehalte als *F. esculentum* besitzt (Tabelle 4),

werden Nudeln aus Tatarischem Buchweizen wegen ihres bitteren Geschmacks in Japan abgelehnt (OHSAWA und TSUTSUMI, 1995).

5.2.1.2 Flavanole und Flavone

Auch die zu den Flavonolen gehörenden Protocatechusäure, Catechine und Epicatechine, die zu Proanthocyanidinen oligomerisieren und bei saurer oxidativer Hydrolyse in entsprechende Anthocyanidine übergehen (z. B. Einwirkung von Säure an der Luft) sind Antioxidantien (HAGERMAN et al., 1998) und können die Lipidperoxidation durch Chelatisierung von Metallionen verhindern. Alle diese Substanzen wurden in Buchweizenmehl, -grütze und -schalen nachgewiesen (WATANABE et al., 1997; WATANABE, 1998; QUIAN et al., 1999; QUETTIER-DELEU et al., 2000). In Kalluskulturen von Buchweizen-Hypokotylgewebe fanden MOUMOU et al. (1992) zwischen 0.6 bis 1.8 mg/g TS Procyandin B2 und zwischen 3.5 bis 6.0 mg/g TS Procyandin B2-3'-*O*-gallat.

Die Flavone Orientin und Isoorientin, Glycoside des Aglykons Luteolin sowie Vitexin und Isovitexin, Glycoside des Aglykons Apigenin wurden alle in Buchweizenschalen, aber nur Isovitexin im Samen nachgewiesen (DIETRICH-SZOSTAK und OLESZEK, 1999).

5.2.2 Fagopyrin

Insbesondere junge Buchweizenpflanzen enthalten den Farbstoff Fagopyrin, ein Derivat des 2,2,-Dimethylnaphthodianthrons. Die höchsten Gehalte (0.08 %) werden in den Blütenständen, niedrigere Gehalte (0.05 %) in den Blättern gefunden (HAGELS et al., 1995). Nach Aufnahme frischer Buchweizenpflanzen durch wiederkäuende Nutztiere und

Tabelle 4: Rutingehalte in Mehl und Schalen verschiedener *F. esculentum* bzw. *F. tataricum*-Sorten nach Ergebnissen mehrerer Autoren
Table 4: Contents of rutin in flour and hulls of several *F. esculentum* and *F. tataricum* cultivars, respectively, after results of several authors

Herkunft bzw. Land	Gehalte (mg/100 g)		Autoren
	Mehl	Schalen	
<i>F. esculentum</i> Deutschland	3.8–10.1	–	QUIAN et al. (1999) DIETRICH-SZOSTAK (1999) QUETTIER-DELEU et al. (2000) OHSAWA & TSUTSUMI (1995) KITABAYASHI et al. (1995) WATANABE et al. (1997) OOMAH & MAZZA (1996) OHSAWA & TSUTSUMI (1995)
Polen	17.8	33.0	
Frankreich	2.3	5.2	
Japan	20	–	
Japan	14.5–18.9	–	
Japan	–	4.3	
Kanada	34.3–62.3	36.9–112.9	
<i>F. tataricum</i> Japan	1.250	–	

Schweine können phototoxische Reaktionen auftreten (Fagopyrismus). Diese bereits von MERIAN (1915) beschriebene Buchweizenkrankheit manifestiert sich vor allem an wenig behaarten oder unbehaarten Körperteilen von Tieren, die längere Zeit hellem Tageslicht ausgesetzt waren (BROCKMANN und SANDERS, 1950). Werden die Tiere ins Dunkle gebracht, klingen die Symptome der ‚Lichtkrankheit‘ wieder ab (PATZ und GRÜTZNER, 1998). In gebrauchsfertigen Teemischungen aus Buchweizenkraut, die in Apotheken und Reformhäusern angeboten werden, ist Fagopyrin nicht nachweisbar (KÖTTER und THEURER, 1996).

6. Toleranz gegenüber Stress

Ein für Pflanzen bedeutender abiotischer Stressfaktor ist Aluminium-Toxizität. Während die Mehrzahl der Kulturpflanzenarten gegenüber Aluminiumionen (Al) im Boden durch Unterbrechung des Wurzelwachstums und der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen mit starken Ertragsdepressionen reagiert (ROUT et al., 2001), hat der Buchweizen einen Mechanismus entwickelt, der es ihm erlaubt, auch auf sogenannten sauren Böden zu gedeihen (MA et al., 1997). Die Wurzeln nehmen passiv Al-Ionen auf und formen sie anschließend in Al-Oxalat (1 : 3) um. Nach Ligandenaustausch und Umwandlung von Al-Oxalat in Al-Citrat wandert das Aluminium in das Xylem (ZHENG et al., 1998; MA et al., 1998). Durch Komplexbildung mit Oxalsäure werden die Al-Ionen detoxifiziert. Aufgrund erneuten Ligandenaustausches wird Al schließlich als Al-Oxalat (1 : 3) in den Blättern akkumuliert (MA und HIRADATE, 2000).

Etwa 12 % der landwirtschaftlich genutzten Ackerfläche in der Welt sind saure Böden (VON UEXKÜLL und MUTERT, 1995). Der Buchweizenanbau könnte dank seiner Al-Toleranz auf solchen Böden, die zum Beispiel in Südamerika (Brasilien) weit verbreitet sind, noch stärker ausgedehnt werden.

Der Buchweizen wird von verhältnismäßig wenigen Krankheiten und Schädlingen befallen. Geringe Schäden treten in Indien durch die Pilze *Spacelotheca fagopyri* (Brand), *Septoria polygonicola*, *Cercospora fagopyri* und *Phytophthora fagopyri* (JOSHI und RANA, 1995) auf. In China kommt gelegentlich der Mehltau (*Erysiphe polygoni*), in Japan *Ascochyta italica* und *Sclerotinia libertiana* und in Korea *Puccinia fagopyri* vor (JOSHI und RANA, 1995). In Nordamerika treten sporadisch *Botrytis*, *Peronospora* und *Rhizoctonia* auf. In Brasilien wurden das Tabak-Kräuselvi-

rus, in Kanada das Asternvergilbungs-Virus und in Russland das Mosaikvirus festgestellt (JOSHI und RANA, 1995). In kleineren Anbauversuchen in Süddeutschland wurde keinerlei nennenswerter Krankheits- und Schädlingsbefall gefunden (AUFHAMMER und KÜBLER, 1991). Es ist jedoch anzunehmen, dass sich bei einer Zunahme des Buchweizenanbaus auch der Krankheitsdruck verstärken wird.

In Kanada versucht man, die im Feldanbau des Buchweizens vorherrschenden Unkrautarten Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Rauhaariger Amarant (*Amaranthus reflexus*) und Ackersenf (*Sinapis arvensis*) mit Herbiziden zu bekämpfen. Dabei hat sich gezeigt, dass Zuckerrübenherbizide mit dem Wirkstoff Desmedipham im Nachauflaufverfahren erfolgreich eingesetzt werden können (FRIESEN, 1988; WALL und SMITH, 1999).

7. Biotechnologie

Zur Beschleunigung der Herstellung homozygoter Genotypen sind haploide Pflanzen in der Züchtung sehr erwünscht. Wenn der haploide Chromosomensatz spontan oder künstlich wieder verdoppelt wird, ist Homozygotie in sehr viel kürzerer Zeit zu erreichen als mit Hilfe konventioneller Methoden. Bei Buchweizen wurden mehrere Versuche unternommen, mit Hilfe der Antherenkultur haploide Pflanzen zu induzieren (BOHANEK, 1997; BERBEC und DOROSZEWSKA, 1998). Bis heute ist jedoch kein Durchbruch erzielt worden.

Aus Hypocotylteilen junger Keimpflanzen konnten auf Nährmedien Gewebekulturen angezogen werden, die sich zu ganzen Pflanzen regenerieren ließen (WOO et al., 1997). Ebenfalls mit Hilfe von Hypocotylstücken gelang es, das R-Plasmid von *Agrobacterium rhizogenes* in Pflanzenteile zu transformieren und auf Nährmedien zu starker Wurzelhaarproduktion anzuregen. Der Gehalt an Catechinen und Proanthocyanidinen in den transformierten Pflanzenteilen war höher als der in Buchweizenwurzeln, die vom Feld stammten oder aus nicht-transformierten Kalluskulturen gewonnen wurden (TROTIN et al., 1999).

Kürzlich ist es auch gelungen, Protoplasten sowohl aus keimenden Mikrosporen als auch aus Eizellen zu isolieren (WOO et al., 1999b; 2000). Diese Zellen ohne Zellwand eignen sich für zukünftige somatische Fusionen und Regenerationen zu ganzen Pflanzen.

Molekulare Marker sind geeignet, Gene für agronomisch wichtige Eigenschaften zu identifizieren und gleichzeitig im Genom zu lokalisieren. Bei Buchweizen liegen bislang erst

wenige Arbeiten mit molekularen Markern vor. Untersuchungen zu Verwandtschaftsbeziehungen innerhalb der Gattung *Fagopyrum* wurden mit Plastiden-DNA (OHSAKO und OHNISHI, 1998) oder mittels kern-kodierter Gene als RFLP- (Restriction Fragment Length Polymorphism) Sonden durchgeführt (YASUI und OHNISHI, 1998a). RAPD- (Random Amplified Polymorphism DNA) Marker wurden zur Bestimmung der genetischen Variabilität von Buchweizensorten und Verwandtschaftsbeziehungen von Sorten und verschiedenen Spezies (KUMP und JAVORNIK, 1996; SUVOROVA et al., 1999) sowie zur Identifizierung von Markern für das Gen *Holho* (Homo-/Heterostylie) eingesetzt (ALL et al., 1998; ADACHI et al., 2000). NAGANO et al. (1998) berichten über die Etablierung von AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) in Kreuzungen zwischen *F. esculentum* und der Wildart *F. homotropicum* sowie Versuche, eng gekoppelte Marker bei der Selektion des *Holho*-Genlocus in Nachkommenschaftsgenerationen zu nutzen. Molekulare Karten liegen jedoch noch nicht vor. Auch die Zuordnung der acht Kopplungsgruppen zu ihren entsprechenden Chromosomen ist bislang noch nicht erfolgt.

8. Ausblick

Die Übersicht hat gezeigt, daß der Buchweizen wegen seiner hohen biologischen Wertigkeit und seiner Gehalte an antioxidativ wirksamen Polyphenolen sehr vielseitig genutzt werden kann. Umfangreiche klassisch-genetische Untersuchungen liegen vor, die zur Etablierung einer Genkarte geführt haben. Molekular-genetische Methoden werden bereits eingesetzt, um die Kopplungskarten zu vervollkommen und sie ihren entsprechenden Chromosomen zuzuordnen. Die genetischen Ressourcen der mit dem Gemeinen Buchweizen *F. esculentum* kreuzbaren Wildformen *F. esculentum* ssp. *ancestrale* und *F. homotropicum*, die dem primären Genpool angehören, sind erschlossen und werden bereits züchterisch genutzt. Dabei scheint die Übertragung der Selbstfertilität von der Wild- in die Kulturform sowie die Verwendung der Mutanten Halbverzweigung und determinierter Wuchs in Zukunft eine sehr viel höhere Ertragsleistung möglich zu machen als bisher. Das Samenprotein mit seinen hohen Gehalten an essentiellen Aminosäuren und die gesundheitsfördernden sekundären Inhaltsstoffe sind beste Voraussetzungen für die Nutzung des Buchweizens als ‚funktionelles Lebensmittel‘. Einer Nutzung in der Tierernährung steht zur Zeit die verhältnis-

mäßig niedrige Verdaulichkeit des Proteins entgegen. Durch Senkung der Gehalte an antinutritiven Substanzen (Tannine, Protease-Inhibitoren) mit Hilfe klassisch-pflanzenzüchterischer Methoden müssten sich in Zukunft Sorten entwickeln lassen, die den Buchweizen zu einer alternativen Nutzpflanze machen können.

Literatur

- ACQUISTUCCI, R. and J. FORNAL (1997): Italian buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch: Physico-chemical and functional characterization and *in vitro* digestibility. *Nahrung* 41, 281–284.
- ADACHI T., L. CHEN, S. H. WOO, J. ALL and M. NAGANO (2000): How to control biodiversity of crops by means of biotechnology? Some approaches to overcoming breeding barriers. In: K. OONO, T. KOMATSUDA, K. KADOWAKI and D. VAUGHAN (Eds.): *Integration of Biodiversity and Genome Technology for Crop Improvement*, Sato Printing, Tsukuba, Japan, 73–76.
- ADHIKARI, K. N. and C. G. CAMPBELL (1998): Natural outcrossing in common buckwheat. *Euphytica* 102, 233–237.
- ALL, J., M. NAGANO, G. A. PENNER, C. G. CAMPBELL and T. ADACHI (1998): Identification of RAPD markers linked to the homostylar (*Ho*) gene in buckwheat. *Breed. Sci* 48, 59–62.
- AUFHAMMER, W. und E. KÜBLER (1991): Zur Anbauwürdigkeit von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*). *Die Bodenkultur* 42, 31–43.
- BECKER-DILLINGEN, L. (1927): *Handbuch des Getreidebaus*, Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg.
- BERBEC, A. and T. DOROSZEWSKA (1998): Callus formation and plant regeneration in anther cultures of three buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars. *Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat*, Winnipeg, Manitoba, Canada, V, 48–52.
- BERTSCH, F. (1947): *Geschichte unserer Kulturpflanzen*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- BJÖRKMAN, T. (1995): The role of honey bees (Hymenoptera: Apidae) in the pollination of buckwheat in Eastern North America. *J. Econ. Entomol.* 88, 1739–1745.
- BOHANEK, B. (1997): Haploid induction in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). In: S. M. JAIN, S. K. SOPORY and R. E. VEILLEUX (Eds.): *In vitro Haploid Production in Higher Plants*. Vol. 4, Kluwer Acad. Publ., 163–170.

- BROCKMANN, H. E. W. and E. SANDERS (1950): Fagopyrin, a photodynamic pigment from buckwheat (*F. esculentum*). *Naturwissenschaften* 37, 43.
- CAMPBELL, C. G. (1976): Buckwheat, *Fagopyrum* (Polygonaceae), In: N. W. SIMMONDS (Ed.): *Evolution of Crop Plants*. Longman, London and New York, 235–236.
- CAMPBELL, C. G. (1995): Inter-specific hybridization in the genus *Fagopyrum*. Proc. 6th Intern. Symp. Buckwheat, Ina, Japan, 255–263.
- CAMPBELL, C. G. (1997): Buckwheat. *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 19. Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- CANDOLLE, A. DE (1884): L'origine des plantes cultivées. Deutsche Übersetzung: Der Ursprung der Kulturpflanzen, Leipzig.
- CERTEL, S., S. BINGEL, M. GAUDSCHAU and R. MARQUARD (1998): Phytotronversuch zum Einfluss der Photoperiode und Luftfeuchte auf die Biomassebildung und den Rutingehalt bei verschiedenen Buchweizensorten. In: R. MARQUARD and E. SCHUBERT (Hrsg.): *Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen*, Gießen, 101–106.
- CHEN, Q.-F. (1999a): A study of resources of *Fagopyrum* (Polygonaceae) native to China. *Bot. J. Linn. Soc.* 130, 53–64.
- CHEN, Q.-F. (1999b): Hybridization between *Fagopyrum* (Polygonaceae) species native to China. *Bot. J. Linn. Soc.* 130, 177–185.
- COUCH, J. G., J. NAGHSKI and C. F. KREWSON (1946): Buckwheat as a source of rutin. *Science* 103, 197–198.
- DIETRICH-SZOSTAK, D. and W. OLESZEK (1999): Effect of processing on the flavonoid content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grain. *J. Agric. Food Chem.* 47, 4384–4387.
- EGGUM, B., I. KREFT and B. JAVORNIK (1981): Chemical composition and protein quality of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Qual. Plant. Foods Hum. Nutr.* 30, 175–179.
- FAO (2001): FAOSTAT-Statistics database, Internet: <http://apps.fao.org/>
- FESENKO, N. V. (1968): A genetic factor responsible for the determinant type of plants in buckwheat. *Genetika* 4, 165–166, in Russisch.
- FESENKO, N. V., G. E. MARTYNEKO, V. V. KOLOMEICHENKO, V. I. SAVKIN and M. A. FESENKO (1998): Peculiarities of production process of limited branching buckwheat variety Ballada. Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, I, 209–216.
- FRANKEL, E. N. (1999): Food antioxidants and phytochemicals: present and future perspectives. *Fett* 101, 450–455.
- FRIEDERICH, M., C. STUHLFELDER and C. THEURER (2000): Der Buchweizen – Arzneipflanze im Wandel der Zeit. *Z. Phytotherapie* 21, 106–114.
- FRIESEN, G. H. (1988): Wild mustard, *Sinapis arvensis*, control in common buckwheat, *Fagopyrum esculentum*, with desmedipham and fluorochloridone. *Weed Technol.* 2, 175–178.
- FUJINO, K., H. FUNATSUKI, M. INADA, Y. SHIMONO and Y. KIKUTA (2001). Expression, cloning and immunological analysis of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seed storage proteins. *J. Agric. Food Chem.* 49, 1825–1829.
- FUNATSUKI, H., W. MARUYAMA-FUNATSUKI, K. FUJINO and M. AGATSUMA (2000). Ripening habit of buckwheat. *Crop Sci.* 40, 1103–1108.
- GRAEFE, E. U., H. DERENDORF and M. VEIT (1999): Pharmacokinetics and bioavailability of the flavonol quercetin in humans. *Intern. J. Clin. Pharmacol. Therap.* 37, 219–233.
- GRIFFITH, J. Q., J. F. COUCH and M. A. LINDAUER (1944): Effect of rutin on increased capillary fragility in man. *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.* 55, 228–229.
- GRÜTZNER, K. I. (1998): Klinik. In: A. MÜLLER und G. SCHIEBEL-SCHLOSSER (Hrsg.): *Buchweizen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 83–96.
- GRÜTZNER, K. I. und B. PATZ (1998): Pharmakologie. In: A. MÜLLER und G. SCHIEBEL-SCHLOSSER (Hrsg.): *Buchweizen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 49–69.
- HAGELS, H., D. WAGENBRETH and H. SCHILCHER (1995): Phenolic compounds of buckwheat herb and influence of plant and agricultural factors (*Fagopyrum esculentum* Moench and *Fagopyrum tataricum* Gärtner). Proc. 6th Intern. Symp. Buckwheat, Ina, Japan, II, 801–809.
- HAGERMAN, A. E., K. M. RIEDL, G. A. JONES, K. N. SOVIK, N. T. RITCHARD, P. W. HARTZFELD and T. L. RIECHEL (1998): High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 46, 1887–1892.
- HANELT, P. (1981): Zur Geschichte des Anbaues von Buchweizen und Rispenhirse in der Lausitz. *Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz* 55, 1–13.
- HARBORNE, J. B. and H. BAXTER (1999): *The handbook of*

- natural flavonoids. Vol. 1 and Vol. 2, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- HARLAN, J. R. (1975): Crops and Man, American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- HERTOG, M., D. KROMHOUT, C. ARAVANIS, H. BLACKBURN, R. BUZINA, F. FIDANZA, S. GIAMPAOLI, A. JANSEN, A. MENOTTI, S. NEDELJKOVIC, M. PEKKARINEN, B. SIMIC, H. TOSHIMA, E. FESKENS, P. HOLLMAN and M. KATAN (1995): Flavonoid intake and long-risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. Arch. Intern. Med. 155, 381–386.
- HIROSE, T. and A. UJIHARA (1998): Buckwheat flower pictorial. Fagopyrum 15, 71–82.
- HIROSE, T., A. UJIHARA, H. KITABAYASHI and M. MINAMI (1993): Morphology and identification by isozyme analysis of interspecific hybrids in buckwheats. Fagopyrum 13, 25–30.
- HOFFMANN-SOMMERGRUBER, K. (2000): Plant allergens and pathogenesis-related proteins. Int. Arch. Allergy Immunol. 122, 155–166.
- HORBOVICZ, M., P. BRENAC and R. L. OBENDORF (1998): Fagopyritol B1, O- α -D-galactopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-D-*chiro*-inositol, a galactosyl cyclitol in maturing buckwheat seeds associated with desiccation tolerance. Planta 205, 1–11.
- IHME, N., H. KIESEWETTER, F. JUNG, K. H. HOFFMANN, A. BIRK, A. MÜLLER and K. I. GRÜTZNER (1996): Leg oedema protection from a buckwheat herb tea in patients with chronic venous insufficiency: a single-centre, randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial. Eur. J. Clin. Pharmacol. 50, 443–447.
- IKEDA, K., T. SAKAGUCHI, T. KUSANO and K. YASUMOTO (1991): Endogenous factors affecting protein digestibility in buckwheat. Cereal Chem. 68, 424–427.
- JAVORNIK, B. (1986): Buckwheat in human diets. Proc. 3rd Intern. Symp. Buckwheat, Pulawy, Polen, 51–77.
- JOSHI, B. D. and R. S. RANA (1995): Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). In: J. T. WILLIAMS (Ed.): Cereals and Pseudocereals, Chapman & Hall, London, 85–127.
- KAYASHITA, J., I. SHIMAOKA, M. NAKAJOH, M. YAMAZAKI and N. KATO (1997): Consumption of buckwheat protein lowers plasma cholesterol and raises fecal neutral sterols in cholesterol-fed rats because of its low digestibility. J. Nutr. 127, 1395–1400.
- KIESEWETTER, H., J. KOSCIELNY, K. GRÜTZNER, A. MÜLLER, K. H. HOFFMANN und A. BIRK (1997): Buchweizenkraut-/Troxerutin-Kombination bei chronisch venöser Insuffizienz. Z. Phytotherapie 18, 341–346.
- KIM, S. K., T. R. HAHN, T. W. KWON and B. L. D'APOLLONIA (1977): Physicochemical properties of buckwheat starch. Korean J. Food Sci. Techn. 9, 138–143.
- KISHIMA, Y., K. OGURA, K. MIZUKAMI, T. MIKAMI and T. ADACHI (1995): Chloroplast DNA analysis in buckwheat species: phylogenetic relationships, origin of the reproductive systems and extended inverted repeats. Plant Sci. 108, 173–179.
- KITABAYASHI, H., A. UJIHARA, T. HIROSE and M. MINAMI (1995a): Varietal differences and heritability for rutin content in common buckwheat, (*Fagopyrum esculentum* Moench). Jpn. J. Breed. 45, 75–79.
- KITABAYASHI, H., A. UJIHARA, T. HIROSE and M. MINAMI (1995b): On the genotypic differences for rutin content in tartary buckwheat, (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). Jpn. J. Breed. 45, 189–194.
- KNÖRZER, K.-H., R. GERLACH, J. MEURERS-BALKE, A. J. KALIS, U. TEGTMEIER, W. D. BECKER und A. JÜRGENS (1999): Pflanzenspuren, Archäobotanik im Rheinland: Agrarlandschaft und Nutzpflanzen im Wandel der Zeiten. Rheinland Verlag, Köln.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1987): Nutzpflanzen in Deutschland. Konrad Theiss Verlag, Stuttgart.
- KÖTTER, U. und CH. THEURER (1996): Occurrence of fagopyrin, a naphthodianthrone from *Fagopyron* species in the dried leaves of buckwheat and its transition into different preparations. Phytomedizin 3, Suppl. I, 225.
- KREFT, I. (1989): Breeding of determinate buckwheat. Fagopyrum 9, 57–59.
- KREFT, I., S. M. KNAPP and I. KREFT (1999). Extraction of rutin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds and determination by capillary electrophoresis. J. Agric. Food Chem. 47, 4649–4652.
- KREFT, I., V. SKRABANJA, S. IKEDA, K. IKEDA, R. FRANCISCI und G. BONAFACCIA (1998): Neue ernährungsphysiologische Aspekte von Buchweizen-Lebensmitteln. Getreide, Mehl und Brot 52, 27–30.
- KROTOV, A. S. (1968): Ein perennierender Buchweizen (russ.). Selektivs. Semenov 4, 78–79.
- KROTOV, A. S. (1975): Krupjanye kultury (gréča, proso, ris) In: P. M. ZUKOVSKIJ (Ed.): Kulturnaya Flora SSR, (Kultivierte Flora der Sowjetunion), Leningrad, Kolos 3, 7–118.
- KROTOV, A. S. und E. T. DRANENKO (1973): Amfidiploid gréča *Fagopyrum giganteum*. Bull. VIR, V3, 41–44.
- KUMP, B. and B. JAVORNIK (1996): Evaluation of genetic variability among common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) populations by RAPD markers. Plant Science 114, 149–158.

- LEHMANN, H. (1940): Der deutsche Buchweizenanbau und seine Entwicklung in den letzten hundert Jahren. Hirzel Verlag, Leipzig.
- LI, Q. Y. and M. X. YANG (1992): Preliminary investigation on buckwheat origin in Yunnan. Proc. 5th Intern. Symp. Buckwheat, Taiyuan, China, 44–46.
- LI, Y., J. WANG, Y. CAO, W. GAO, J. FANG and X. LOU (1998): The use of genetic resources in crop improvement: lessons from China. Genet. Res. Crop Evol. 45, 181–186.
- LI, W., R. LIN and H. CORKE (1997): Physicochemical properties of common and tartary buckwheat starch. Cereal Chem. 74, 79–82.
- LIN, R., W. LI and H. CORKE (1998): Spotlight on Shanxi province, China: its minor crops and speciality foods. Cereal, Foods World 43, 189–192.
- MA, J. F., S. HIRADATE, K. NOMOTO and H. MATSUMOTO (1997): Detoxifying aluminium with buckwheat. Nature 390, 569–570.
- MA, J. F., S. HIRADATE and H. MATSUMOTO (1998): High aluminium resistance in buckwheat. II. Oxalic acid detoxifies aluminium internally. Plant Physiol. 117, 753–759.
- MA, J. F. and S. HIRADATE (2000): Form of aluminium for uptake and translocation in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Planta 211, 355–360.
- MAKSIMOVIC, V. R., E. I. VARKONJI-GASIC, S. R. RADOVIC and A. P. SAVIC (1996): The biosynthesis of 13S buckwheat seed storage protein. J. Plant Physiol. 147, 759–761.
- MARSHALL, H. G. and Y. POMERANZ (1982): Buckwheat: description, breeding, production and utilization. In: Y. POMERANZ (Ed.): Advances in Cereal Science and Technology, Vol. 5, 157–211, American Association of Cereal Chemists Inc, St. Paul.
- MARTYNENKO, G. E. (1995): Biological and selectional importance of mutation of limited branching of buckwheat. Proc. 6th Intern. Symp. Buckwheat, Ina, Japan, II, 42–44.
- MARTYNENKO, G. E. (1998) Determinant buckwheat forms. Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, I, 193–201.
- MARTYNENKO, G. E. and N. V. FESENKO (1989): Selection of determinant buckwheat varieties. Proc. 4th Intern. Symp. Buckwheat, Orel, Russland, 343–348.
- MAZZA, G. (1993): Storage, processing and quality aspects of buckwheat seed. In: J. JANICK and J. E. SIMON (Eds.): New Crops, John Wiley & Sons, New York, 251–255.
- MERIAN, L. (1915): Experimentelle Beiträge zur Buchweizenkrankung (Fagopyrismus) der Tiere. Arch. Anat. Physiol. 1, 161–171.
- MINAMI, M., A. UJIHARA and C. G. CAMPBELL (1999): Morphology and inheritance of dwarfism in common buckwheat line, G410, and its stability under different growth conditions. Breeding Science 49, 27–32.
- MURAI, M. and O. OHNISHI (1996): Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. X. Diffusion routes revealed by RAPD markers. Genes Genet. Syst. 71, 211–218.
- MOUMOU, Y., F. TROTIN, J. VASSEUR, G. VERMEERSCH, R. GUYON, J. DUBOIS and M. PINKAS (1992): Procyanidin production by *Fagopyrum esculentum* callus culture. Planta Med. 58, 516–519.
- MUKODA, T., B. SUN and A. ISHIGURO (2001): Antioxidant activities of buckwheat hull extract toward various oxidative stress *in vitro* and *in vivo*. Biol. Pharm. Bull. 24, 209–213.
- NAGANO, M., J. ALL, C. G. CAMPBELL and T. ADACHI (1998): Development of the amplified fragment length polymorphisms (AFLP) technology in the buckwheat. Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, V, 58–71.
- NAIR, A. and T. ADACHI (1998): Characterization of allergenic proteins in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, IV, 16–25.
- NAKAO, S. (1957): Transmittance of cultivated plants through Sino-Himalayan route. In: H. KIHARA (Ed.): Peoples of Nepal Himalaya. Fauna and Flora Research Society, Kyoto, Japan, 397–420.
- NAMAI, H. (1992): Strategies in sustainable conservation and efficient utilization of buckwheat genetic resources in the world, In: Papers presented at IBPGR Workshop on Buckwheat Genetic Resources in East Asia, IBPGR, Rome, 93–104.
- NESTLER, J. E., D. J. JAKUBOWICZ, P. REAMER, R. D. GUNN and G. ALLAN (1999): Ovulatory and metabolic effects of D-*chiro*-inositol in the polycystic ovary syndrome. N. Engl. J. Med. 340, 1314–1320.
- NÖLL, G. (1955): Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Flavonolgehalt von *Fagopyrum esculentum* (L.) Moench und *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertner. Pharmazie 10, 679–691.
- OBENDORF, R. L. (1998): Buckwheat fagopyritols. Proc. 7th Intern. Symp. Buckwheat, Winnipeg, Canada, III, 65–71.
- OHNISHI, O. (1972): Frequency of chlorophyll-deficient and other detrimental genes in Japanese populations of buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. Jpn. J. Genet. 54, 259–270.

- OHNISHI, O. (1982): Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. I. Frequency of chlorophyll-deficient mutants in Japanese populations. *Jpn. J. Genet.* 57, 623–639.
- OHNISHI, O. (1985): Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. III. Frequency of sterility mutants in Japanese populations. *Jpn. J. Genet.* 60, 391–404.
- OHNISHI, O. (1991): Discovery of the wild ancestor of common buckwheat. *Fagopyrum* 11, 5–10.
- OHNISHI, O. (1993a): A memorandum on the distribution of buckwheat species in Tibet and the Himalayan hills: has buckwheat crossed the Himalayas? *Fagopyrum* 13, 3–10.
- OHNISHI, O. (1993b): Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. VIII. Local differentiation of landraces in Europe and the silk road. *Jpn. J. Genet.* 68, 303–316.
- OHNISHI, O. (1998a): Search for the wild ancestor of buckwheat. I. Description of new *Fagopyrum* (Polygonaceae) species and their distribution in China and the Himalayan hills. *Fagopyrum* 15, 18–28.
- OHNISHI, O. (1998b): Search for the wild ancestor of buckwheat. III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat and of tatar buckwheat. *Econ. Bot.* 52, 123–133.
- OHNISHI, O. and N. ASANO (1999): Genetic diversity of *Fagopyrum homotropicum*, a wild species related to common buckwheat. *Genet. Res. Crop Evol.* 46, 389–398.
- OHNISHI, O. and Y. MATSUOKA (1996): Search for the wild ancestor of buckwheat. II. Taxonomy of *Fagopyrum* (Polygonaceae) species based on morphology, isozymes and cpDNA variability. *Genes Genet. Syst.* 71, 383–390.
- OHNISHI, O. and T. NAGAKUBO (1982): Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. II. Frequency of dwarf mutants in Japanese populations. *Jpn. J. Genet.* 57, 641–650.
- OHNISHI, O. and T. OHTA (1987): Construction of a linkage map in common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. *Jpn. J. Genet.* 62, 397–414.
- OHSAKO, T. and O. OHNISHI (1998): New *Fagopyrum* species revealed by morphological and molecular analyses. *Genes Genet. Syst.* 73, 85–94.
- OHSAWA, R. and T. TSUTSUMI (1995): Improvement of rutin content in buckwheat flour. *Proc. 6th Intern. Symp. Buckwheat*, Ina, Japan, I, 365–372.
- OOMAH, B. D. and G. MAZZA (1996): Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. *J. Agric. Food Chem.* 44, 1746–1750.
- OOMAH, B. D., C. G. CAMPBELL and G. MAZZA (1996): Effects of cultivar and environment on phenolic acids in buckwheat. *Euphytica* 90, 73–77.
- OPPERER, J. (1982): Buchweizen: eine Pflanze früherer Jahrhunderte oder eine Pflanze mit Zukunft. Diplomarbeit, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising-Weihenstephan, pp. 121.
- ORTMEYER, H. K., J. LARNER and B. C. HANSEN (1995): Effects of D-*chiro*-inositol added to a meak on plasma glucose and insulin in hyperinsulinemic rhesus monkeys. *Obes. Res.* 3 (Suppl. 4), 605–608.
- PARK, J. W., D. B. KANG, C. W. KIM, S. H. KO, H. Y. YUM, K. E. KIM, C.-S. HONG and K. Y. LEE (2000): Identification and characterization of the major allergens of buckwheat. *Allergy* 55, 1035–1041.
- PATZ, B. und K. I. GRÜTZNER (1998): Toxikologie. In: A. MÜLLER und G. SCHIEBEL-SCHLOSSER (Hrsg.): *Buchweizen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 71–82.
- QUETTIER-DELEU, CH., B. GRESSIER, J. VASEUR, T. DINE, C. BRUNET, M. LUYCKX, M. CAZIN, J. C. CAZIN, F. BAILLEUL and F. TROTIN (2000): Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *J. Ethnopharmacol.* 72, 35–42.
- QUIAN, J. Y. and M. KUHN (1999a): Physical properties of buckwheat starches from various origins. *Stärke* 51, 81–85.
- QUIAN, J. Y. and M. KUHN (1999b): Evaluation on gelatinization of buckwheat starch: a comparative study of Brabender viscoamylography, rapid visco-analysis, and differential scanning calorimetry. *Eur. Food Res. Technol.* 209, 277–280.
- QUIAN, J. Y., D. MAYER and M. KUHN (1999): Flavonoids in fine buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flour and their free radical scavenging activities. *Deutsche Lebensm. Rundsch.* 95, 343–349.
- QUIAN, J., P. RAYAS-DUARTE and L. GRANT (1998): Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chem.* 75, 365–374.
- RADOVIC, S. R., V. R. MAKSIMOVIC and E. I. VARKONJIGASIC (1996): Characterization of buckwheat seed storage proteins. *J. Agric. Food. Chem.* 44, 972–974.
- RADOVIC, S. R., V. R. MAKSIMOVIC, M. J. BRKLJACIC, E. I. VARKONJIGASIC and P. A. SAVIC (1999): 2S albumin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds. *J. Agric. Food Chem.* 47, 1467–1470.

- REINHARDT, L. (1911): Kulturgeschichte der Nutzpflanzen, Verlag Ernst Reinhardt, München.
- ROGL, S. and B. JAVORNIK (1996): Seed protein variation for identification of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars. *Euphytica* 87, 111–117.
- ROUT, M. G., S. SAMANTARAY and P. DAS (2001): Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie* 21, 3–21.
- ROUT, M. K., N. K. CHRUNGGOO and K. S. RAO (1997): Amino acid sequence of the basic subunit of 13S globulin of buckwheat. *Phytochemistry* 45, 865–867.
- SAMIMY, C., T. BJÖRKMAN, D. SIRITUNGA and L. BLACHARD (1996): Overcoming the barrier to interspecific hybridization of *Fagopyrum esculentum* with *Fagopyrum tataricum*. *Euphytica* 91, 323–330.
- SKRABANJA, V., H. G. M. LILJEBERG, I. KREFT and I. M. E. BJÖRCK (2001) Nutritional properties of starch in buckwheat products: studies *in vitro* and *in vivo*. *J. Agric. Food Chem.* 49, 490–496.
- STAEDMAN, K. J., M. S. BURGOON, R. L. SCHUSTER, B. A. LEWIS, S. E. EDWARDSON and R. L. OBENDORF (2000): Fagopyritols, D-*chiro*-inositol and other soluble carbohydrates in buckwheat seed milling fractions. *J. Agric. Food Chem.* 48, 2843–2847.
- SUVOROVA, G. N., H. FUNATSUKI and F. TERAMI (1999): Phylogenetic relationships among cultivars, species and hybrids in the genus *Fagopyrum* Mill. assessed by RAPD analysis. *Russ. J. Genet.* 35, 1428–1432.
- TROTIN, F., C. QUETTIER-DELEU and J. VASSEUR (1999): Genetic transformation of *Fagopyrum* species (buckwheat). In: Y. P. S. BAJAJ (ed.): *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Springer Verlag, Berlin, Vol. 45, 133–148.
- TSUJI, K. and O. OHNISHI (2000): Origin of cultivated Tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) revealed by RAPD analyses. *Genet. Res. Crop Evol.* 47, 431–438.
- TSUJI, K. and O. OHNISHI (2001): Phylogenetic position of east Tibetan natural populations in Tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) revealed by RAPD analyses. *Genet. Res. Crop Evol.* 48, 63–67.
- TSUJI, K., Y. YASUI and O. OHNISHI (1999): Search for *Fagopyrum* species in eastern Tibet. *Fagopyrum* 16, 1–6.
- TSUKUDA, M., S. SUGITA and Y. TSUKADA (1986): Oldest primitive agriculture and vegetational environments in Japan. *Nature* 322, 632–634.
- UEXKÜLL, A. VON and F. MUTERT (1995): Global extent, development and economic impact of acid soils, In: R. A. DATE, N. J. GRUNDON, G. E. RAYMENT and M. E. PROBERT (Eds.): *Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 5–19.
- UJIHARA, A., Y. NAKAMURA and M. MINAMI (1990): Interspecific hybridization in genus *Fagopyrum* – properties of hybrids (*F. esculentum* Moench. x *F. cymosum* Meissner) through ovule culture, In: *Gamma Field Symposium No. 29*, Institute Radiation Breeding, NIAR, MAFF, Japan, 45–51.
- URISU, A., Y. KONDO, Y. MORITA, E. YAGI, M. TSURUTA, T. YASAKI, K. YAMADA, H. KURZUYA, M. SUZUKI, K. TITANI and K. KUROSAWA (1994): Isolation and characterization of a major allergen in buckwheat seeds. *Allergy Clin. Immunol. News* 6, 151–155.
- WAGATSUMA, T. and Y. UN-NO (1995): *In vivo* culture of interspecific ovule between buckwheat (*F. esculentum*) and tatar (*F. tataricum*). *Breed. Sci.* 45, (Suppl. 2), 312.
- WALL, D. A. and M. A. H. SMITH (1999): Weed management in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Can. J. Plant Sci.* 79, 455–461.
- WATANABE, M. (1998): Catechins as antioxidants from buckwheat compounds from buckwheat (*F. esculentum* Moench) groats. *J. Agric. Food Chem.* 46, 839–845.
- WATANABE, M., Y. OHSHITA and T. TSUSHIDA (1997): Antioxidant compounds from buckwheat (*F. esculentum* Moench) hulls. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1039–1044.
- WEIN, K. (1925): Die älteste Geschichte von *Fagopyrum tataricum* Gärtner. *Österr. Bot. Zschr.* 74, 51–57.
- WANG, T. Y. (1989): Buckwheat germplasm resources in Tibet. In: *Buckwheat Research Association in China, Ed., A Collection of Scientific Treatises on Buckwheat in China*, Scientific Publisher, Peking, in Chinese, 49–51.
- WOO, S. H., A. NAIR and T. ADACHI (1997): Somatic embryogenesis and plant regeneration in tissue cultures of wild buckwheat (*Fagopyrum homotropicum* Ohnishi). *Sabrao J.* 29, 97–102.
- WOO, S. H., T. ADACHI, S. K. JONG and C. G. CAMPBELL (1999a): Inheritance of self-compatibility and flower morphology in an inter-specific buckwheat hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 79, 483–490.
- WOO, S. H., T. ADACHI, S. K. JONG and C. G. CAMPBELL (1999b): Isolation of protoplasts from viable sperm cells of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *Can. J. Plant Sci.* 80, 583–585.
- WOO, S. H., Y. J. WANG and C. G. CAMPBELL (1999c): Interspecific hybrids with *Fagopyrum cymosum* in the genus *Fagopyrum*. *Fagopyrum* 16, 13–18.
- WOO, S. H., T. ADACHI, S. K. JONG and C. G. CAMPBELL

- (2000): Isolation of protoplasts from viable egg cells of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Can. J. Plant Sci. 79, 593–595.
- YAMANE, K. and O. OHNISHI (2001): Phylogenetic relationships among natural populations of perennial buckwheat, *Fagopyrum cymosum* Meisn., revealed by allozyme variation. Genet. Res. Crop Evol. 48, 69–77.
- YASUI, Y. and O. OHNISHI (1998a): Phylogenetic relationships among *Fagopyrum* species revealed by the nucleotide sequences of the ITS region of the nuclear rRNA gene. Genes Genet. Syst. 73, 201–210.
- YASUI, Y. and O. OHNISHI (1998b): Interspecific relationships in *Fagopyrum* (Polygonaceae) revealed by the nucleotide sequences of the *RCBL* and *ACCD* genes and their intergenic region. Amer. J. Bot. 85, 1134–1142.
- YILDIZOGLU-ARI, N., V. M. ALTAN, O. ALTINKURT and Y. OZTURK (1991): Pharmacological effects of rutin. Phytotherapy Res. 5, 19–23.
- YOSHIMASU, M. A., J. W. ZHANG, S. HAYAKAWA and Y. MINE (2000): Electrophoretic and immunochemical characterization of allergenic proteins in buckwheat. Int. Arch. Allergy Immunol. 123, 130–136.
- ZHENG, S. J., J. F. MA and H. MATSUMOTO (1998): High aluminium resistance in buckwheat. I. Al-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. Plant Physiol. 117, 745–751.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Friedrich J. Zeller, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Fachgebiet Pflanzenzüchtung und Angewandte Genetik, D-85350 Freising-Weißenstephan; e-mail: zeller@wzw.tum.de

Eingelangt am 12. Februar 2001

Angenommen am 5. Mai 2001