

Bernward Märländer, Tina Lange, Antje Wulkow

Dispersal Principles of Sugar Beet from Seed to Sugar with Particular Relation to Genetically Modified Varieties¹

Das Ausbreitungspotenzial der Zuckerrübe vom Saatgut bis zum Zucker unter besonderer Berücksichtigung genetisch veränderter Sorten

Abstract

The taxon *Beta* comprises different cultivated and wild beet species assigned to three genepools in relation to their crossability. In Europe, the distribution area of wild beet is limited to a few mountainous and coastal sites, and *Beta vulgaris* ssp. *maritima* L. Arcang. is the only wild beet species of importance in sugar beet cultivation/multiplication areas. In Germany it can be found on Helgoland Island and at coastal sites between Fehmarn Island and Kiel. In 2010, sugar beet was cultivated on roughly 1.5 million ha in Europe, 380,000 ha of which were in Germany (WVZ 2010). Basic and certified seed are solely produced and processed in the favourable climate of a few regions in northern Italy and southern France, whereas pre-basic seed is exclusively produced in the immediate vicinity of a few breeding stations in Europe. The seed companies are solely responsible for seed production and processing and place great emphasis on relevant management.

Hybrid variety seed is produced via Stecklings, which are planted in rows to ensure pollen transfer from the male fertile pollinator to the male sterile maternal line. For four weeks during flowering, pollen can be transported over a distance of > 500 m by wind. To prevent seed contamination by cross-pollination, seed production is spatially separated from sugar beet growing areas and wild beet habitats. After harvest, the seed is delivered without losses in sealed containers first to regionally and later

centrally located seed processing stations. After processing, the seed is marketed in sealed packages.

The pelleted seed is placed precisely into the prepared seed bed and covered with soil. Seed dispersal is rare, but can occur within areas susceptible to water erosion. Such erosion can be avoided by mulching. Seeds split open by mice are incapable of germination because the endosperm is eaten. About 90% of seeds capable of germination (germination capacity in the laboratory about 95%) emerge. Seeds that do not emerge are not viable under the respective environmental conditions in the field.

Sugar beet are biennial plants forming a beet in their first season. If the beets are not harvested, flowering shoots appear in the second year after vernalisation. However, the formation of flowering shoots (bolters) in the first year is possible (probability < 0.05%) owing to the genetic constitution of the plants and/or certain weather conditions. The flowers of bolters from hybrid varieties are semi-fertile, that is the seed set is lower than that of bolters from formerly grown, fully fertile varieties. Cross-pollination from cultivated beet to wild beet populations and vice versa requires spatially overlapping populations, synchronous flowering periods as well as adequate wind strength, wind direction and low air humidity. Because of the different flowering periods of cultivated

¹ Full text in English is available on the website of the IfZ: <http://www.ifz-goettingen.de/>

Institut

Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ), Göttingen

Kontaktanschrift

Prof. Dr. Bernward Märländer, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen, Germany, E-Mail: maerlaender@ifz-goettingen.de, tiedemann@ifz-goettingen.de

Zur Veröffentlichung angenommen

6. Oktober 2011

and wild beet, their populations maintain their genetic divergence. A gene flow from cultivated beet to wild beet populations can be prevented through spatial separation of sugar beet cultivation.

Annual bastards result from crosses between wild beets, annual bolting cultivated beets and flowering seed beets. Because they flower earlier, they are more crucial in terms of gene flow than bolters from hybrid varieties that flower later. Bolting sugar beets as well as bastards are of minor agronomic value and, therefore, usually eliminated by hand, mechanically or partly by selective herbicides. If such bolters are not removed, they develop seeds and establish a seed bank, becoming a permanent reservoir for germinating weed beets.

The sugar beet root consists of two parts: the beet comprising the root, hypocotyl and lower compressed stem with dead petioles; and the crown, which is the upper compressed stem with living petioles. The upper part of the stem is potentially capable of regeneration. During harvesting, the beets are topped mechanically, but not in an optimal way for each beet. Losses of small beets and crowns of low topped beets that are capable of regeneration can be reduced by the adjustment of working speeds and lifters to the harvesting conditions. However, a certain proportion of crowns and small beets that are more or less capable of regeneration remain in the field, which are either buried through grubbing or ploughing during the sowing of the following crop or remain on the surface through mulching. Such remains are a good feed for wild boars, wild geese and others. Small beets or beet parts that survive over winter can completely be controlled by agronomic measures in the following crop. Damage caused by game animals can also occur during the vegetation period but, in general, the upper compressed stem with living petioles that is capable of regeneration is eaten preferentially. Immediately after the harvest, the beets are delivered to the sugar factory or stored temporarily in clamps at the field margin. Proper loading and locking of the goods to be conveyed as well as the correct return of lost beets and beet parts during loading effectively prevent the dispersal of plant material potentially capable of regeneration.

In the sugar factory, the beets are cleaned in the beet washing house – either immediately or after temporary storage – and subsequently extracted at high temperatures. Cleaned leaf remains or small beet parts are incapable of regeneration and are either sold as animal feed together with pressed pulp or fermented in biogas plants in the sugar factory. Washed soil tare is stored for about three years and returned to the field or used for other purposes. Therefore, the sugar factory is a „closed system“, in which all plant parts capable of regeneration are degenerated, products are sold and residual material is recycled. Besides sugar production, sugar and fodder beets are used as a substrate for biogas plants.

Key words: Distribution areas, seed propagation, seed processing, incross, outcross, pollen transfer, small beets, beet residues, closed systems

Zusammenfassung

Das Taxon *Beta* umfasst verschiedene Kulturrüben- und Wildrübenarten, die entsprechend ihrer Kreuzbarkeit drei Genpools zugeordnet werden. Die Verbreitung der Wildrübenarten ist in Europa auf wenige Gebirgs- und Küstenstandorte begrenzt. In Regionen mit Zuckerrübenanbau potentiell bedeutsam und in Deutschland ausschließlich existent ist die Wildrübe *Beta vulgaris* ssp. *maritima* L. Arcang., deren Vorkommen lediglich auf der Insel Helgoland sowie an Küstenstreifen zwischen der Insel Fehmarn und Kiel dokumentiert ist. Die Zuckerrübe wurde 2010 in Mitteleuropa auf etwa 1,5 Mio. ha, in Deutschland auf 380.000 ha angebaut (WVZ 2010). Die Vermehrung- und Aufbereitung von Saatgut konzentriert sich auf wenige, klimatisch günstige Regionen in Norditalien und Südfrankreich, für die Produktion von Basis- und zertifiziertem Saatgut sowie für Vorstufen- und Zuchtmaterial auf die direkte Umgebung von wenigen Zuchtstationen in Mitteleuropa. Saatgutvermehrung und -aufbereitung erfolgen mit äußerst gezieltem Management ausschließlich und in alleiniger Verantwortung der Züchtungsunternehmen.

Die Vermehrung erfolgt über Stecklinge im Reihenaufbau, um eine gezielte Pollenübertragung von der männlich fertilen Vaterlinie auf die männlich sterile Mutterlinie zur Erzeugung von Hybridsorten zu gewährleisten. Während der Blütezeit von etwa vier Wochen kann eine Pollenübertragung durch Wind über eine Distanz > 500 m erfolgen. Zur Vermeidung von Ein- und Auskreuzung erfolgt die Saatgutproduktion konzentriert auf wenigen Standorten, räumlich isoliert vom Zuckerrübenanbau sowie von Gebieten, in denen Wildrübenpopulationen wachsen. Nach der Ernte wird das Saatgut in Containern verlustfrei zu regionalen und zentralen Aufbereitungsstationen transportiert und technisch aufbereitet. Das Saatgut kommt ausschließlich in verschlossenen Verpackungen in den Handel.

Das pillierte Saatgut wird präzise in das vorbereitete Saatbett abgelegt und mit Boden bedeckt. Ein Saatgutaustrag ist auf wassererosionsgefährdeten Flächen durch Abschwemmung möglich, kann aber durch Mulchsaat weitestgehend verhindert werden. Von Mäusen geknackte Samen sind nicht regenerationsfähig, da deren Keimling gefressen wird. Etwa 90% der keimfähigen Samen (Laborkeimfähigkeit ca. 95%) laufen auf. Samen, die nicht auflaufen, sind im Feld unter den jeweiligen Umweltbedingungen nicht lebensfähig.

Zuckerrüben sind zweijährige Pflanzen und entwickeln im ersten Vegetationsjahr als Ernteorgan die Rübe. Das generative Wachstum von Zuckerrüben würde nach entsprechender Vernalisation im zweiten Vegetationsjahr mit der Bildung blütenbildender Stängel (Schosser) erfolgen. Allerdings können sich auch (Wahrscheinlichkeit < 0,05%) bereits im ersten Vegetationsjahr bei kühler Witterung durch genetische Konstitution oder ungünstige Witterungsbedingung während der Samenreife Schosser bilden. Die Blüten von Schossern aus Hybridsorten sind semifertil/-steril, so dass der fertile Samenansatz im

Gegensatz zu Schossern aus früheren angebauten, vollfertilen Sorten geringer ist. Aus-/Einkreuzung von Kulturrübenformen in Wildrübenpopulationen und vice versa setzt räumliche Nähe, gleichen Blühzeitpunkt sowie entsprechende Windstärke, -richtung und geringe Luftfeuchtigkeit voraus. Aufgrund des unterschiedlichen Blühzeitraums von Kulturrüben und Wildrübenarten behalten deren Populationen trotz räumlicher Nähe zum Zuckerrübenanbau überwiegend ihre genetische Divergenz. Ein wirksamer Schutz vor Einkreuzung von Kulturrüben in Wildrübenpopulationen kann durch räumliche Isolierung des Zuckerrübenanbaus erreicht werden.

Durch Genfluss von Wildrüben und einjährig schossenden Kulturrüben in schossende Zuckerrüben entstehen durch Hybridisierung und anschließende Entwicklung und Verbreitung von Samen Bastardrüben, die wiederum einjährig sind. Durch die frühere Blüte sind diese kritischer bezüglich Aus-/Einkreuzung zu bewerten als später blühende Schosser aus Hybridsorten. Schossende Zuckerrüben sowie Bastardrüben sind agronomisch minderwertig und werden daher aus Kulturrübenbeständen üblicherweise manuell, mechanisch oder teilweise mit nicht selektiven Herbiziden eliminiert. Ohne Regulierung können Schosser von Kultur- und Bastardrüben Samen bilden und eine dauerhaft keimende Samenbank für Unkrautrüben etablieren.

Der Rübenkörper besteht aus der Rübe mit Wurzel, Hypokotyl und unterem Abschnitt der gestauchten Sprossachse mit abgestorbenen Blattansätzen sowie dem Kopf als oberem Abschnitt der gestauchten Sprossachse mit lebenden Blattansätzen, der potentiell regenerationsfähig ist. Während der Ernte wird der Kopf maschinell von der Rübe entfernt, wobei nicht bei jeder Rübe ein optimaler Köpfschnitt zu realisieren ist. Verluste an kleinen Rüben oder nicht optimal, sondern zu tief geköpften regenerationsfähigen Köpfen können durch angepasste Fahrgeschwindigkeit und optimale Einstellung des Roders verringert werden. Trotzdem verbleibt ein gewisser Anteil mehr oder weniger regenerationsfähiger Köpfe oder kleiner Rüben im Feld, die bei anschließender Aussaat der Folgefrucht entweder durch Grubbern oder Pflügen vergraben werden oder bei Mulchsaat auf der Bodenoberfläche verbleiben und eine gute Futtergrundlage für Wildschweine, Wildgänse u.a. sind. Den Winter überstehende, kleine Rüben oder sonstige Rübenteile können durch agronomische Maßnahmen in der Folgefrucht aber sicher beseitigt werden. Auch während der Vegetationsperiode ist Fraß durch Wildtiere möglich, wobei jedoch in aller Regel die regenerationsfähige gestauchte obere Sprossachse bevorzugt gefressen wird. Die Rüben werden entweder sofort nach der Ernte oder nach Einlagerung in eine Miete am Feldrand verladen und in die Zuckerfabrik transportiert. Dabei kann durch sachgemäßes Verladen, eine Sicherung des Transportgutes und eine ordnungsgemäße Rückführung von verlorenen Rüben und Rübenteilen während der Verladung die Ausbreitung potentiell regenerationsfähigen Pflanzenmaterials wirksam verhindert werden.

In der Zuckerfabrik werden die Rüben frisch oder nach Zwischenlager gewaschen und bei hohen Temperaturen

extrahiert. Abgereinigte Blattreste und kleine Rübenteile sind nicht mehr regenerationsfähig und werden entweder mit Pressschnitzeln verkauft oder in Biogasanlagen der Zuckerfabrik fermentiert. Abgewaschene Rübenerde wird etwa drei Jahre gelagert und in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Die Zuckerfabrik stellt somit ein „geschlossenes System“ dar, in dem sämtliche regenerationsfähigen Pflanzenteile degeneriert, daraus gewonnene Produkte verkauft und Reststoffe in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Neben der Zuckerproduktion dienen Zucker- und Futterrüben als Ausgangsstoffe zur Fermentation in Biogasanlagen landwirtschaftlicher Betriebe und werden dort rückstandslos umgesetzt.

Stichwörter: Verbreitungsgebiete, Saatgutvermehrung, Saatgutaufbereitung, Einkreuzung, Auskreuzung, Pollenübertragung, kleine Rüben, Rübenrückstände, „geschlossene Systeme“

1 Einleitung

Der Anbau gentechnisch veränderter Nutzpflanzen ist in der Europäischen Union rechtlich stringent geregelt. Der Schutz von Mensch, Tier und Umwelt steht dabei im besonderen Fokus. Jedweder kommerzieller Anbau bedarf einer **Genehmigung für das Inverkehrbringen** gentechnisch veränderter Sorten (bzw. deren Saatgut). Dazu ist vom anmeldenden Unternehmen ein Antrag an die jeweilig zuständige nationale Behörde, in Deutschland das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Berlin, zu stellen, die dann für das Antragsverfahren auf Ebene der EU unter Einbindung verschiedener Institutionen, z.B. der European Food Safety Authorisation (EFSA), zuständig ist. In das Antragsverfahren werden in Deutschland neben dem BVL weitere Institutionen als Benennungs- bzw. Einvernehmensbehörden mit unterschiedlichem Einspruchsrecht eingebunden. Besonderen Vorrang haben dabei Institutionen mit Bezug zur Umweltbewertung.

Für Zuckerrüben hat bisher lediglich die Technologie gentechnisch veränderter Herbizidtoleranz (Glyphosat) die Praxisreife erreicht (MÄRLÄNDER et al., 2003). Ein Anbau entsprechend gentechnisch veränderter Zuckerrüben erfolgt bisher nur in den USA, dort allerdings auf nahezu der gesamten Anbaufläche (KNISS, 2011). Wesentliche Ursache für den hohen Anbauumfang ist dort die hohe Vorzüglichkeit der Unkrautregulierung mit glyphosathaltigen Herbiziden in Folge eines vergleichsweise hohen Unkrautdrucks, dem Auftreten äußerst schwer bekämpfbarer Unkrautarten und z.T. schwieriger Standort- und Witterungsbedingungen, die in einer verminderten Wirkung konventioneller Herbizide resultieren können. Auch wenn in den meisten Anbaugebieten in Europa diese Bedingungen zumeist nicht so stringent gegeben sind, würde ein Anbau **gentechnisch veränderter, herbizidtoleranter Zuckerrüben** durchaus sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile haben (MÄRLÄNDER, 2005; MAY, 2003; DEWAR et al., 2003). Dem steht aller-

dings eine sehr niedrige gesellschaftspolitische Akzeptanz des Anbaus gentechnisch veränderter Nutzpflanzenarten gegenüber. In der EU erfolgt mit Ausnahme von Spanien (etwa 75 000 ha Mais) kein großflächiger, kommerzieller Anbau gentechnisch veränderter Nutzpflanzen.

Für Zuckerrüben ist ein Antrag auf Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Zuckerrüben mit Toleranz für Glyphosat (Roundup Ready-Technologie) gestellt (EFSA, 2008). Im Rahmen des Antragsverfahrens muss unter anderem das Potenzial einer **Ausbreitung durch vegetative oder generative Pflanzenteile**, insbesondere eine Ein- und Auskreuzung über Pollen in Wildrübenarten quantifiziert werden. Dabei sind im Vergleich zu anderen Nutzpflanzenarten taxonomische, biologische und anbautechnische Besonderheiten einschließlich der spezifischen Situation von Saatgutvermehrung und Rübenverarbeitung von Zuckerrüben zu berücksichtigen.

Im folgenden Beitrag wird das Ausbreitungspotenzial der Zuckerrübe charakterisiert. Grundlage dafür waren langjährige Erfahrung in Forschung und Lehre zu Züchtung, Vermehrung und Anbautechnik, intensives Literaturstudium sowie hilfreiche Kommentare von Fachkollegen. Werden organisatorische oder rechtliche Regelungen erläutert, bezieht sich das zumeist auf die Situation in Deutschland.

2 Taxonomie von Kultur- und Wildrübenarten und deren Hybridisierung

Die Gattung *Beta* gehört zur Familie der *Chenopodiaceae* und umfasst zahlreiche Wild-, Kultur- und Unkrautformen, die FRESE (2010, nach JASSEM, 1992 und KADEREIT et al., 2006) drei **Genpools** zuordnet. Genpool 1 umfasst Kultur- und Wildarten, die leicht kreuzbar sind, dem Genpool 2 werden Wildarten zugeordnet, die nach Kreuzung mit Kulturformen sterile Nachkommen haben, während Wild-

arten des Genpools 3, wenn überhaupt, nur mittels artifizierender Kreuzungsmethoden Hybriden (Tab. 1) bilden. Basierend auf Untersuchungen von LETSCHERT et al. (1994) sowie weiterentwickelt von LANGE et al. (1999) und FRESE (1998) werden die **Kulturformen** (cultivar group) *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* im Wesentlichen durch morphologische Merkmale eingeteilt in **Zuckerrüben** (sugar beet group), **Futterrüben** (fodder beet group), **Gartenrüben** (garden beet group) und **Blattrüben** (leaf beet group). Im Genpool 1 werden den Kulturformen die Wildrübenarten *Beta vulgaris* ssp. *maritima* L. Arcang. und *Beta vulgaris* ssp. *adanensis* (Pamukc. ex Aellen) Ford-Lloyd & J. T. Williams als Unterarten mit sehr leichter Kreuzbarkeit sowie *Beta macrocarpa* Guss. und *Beta patula* Aiton als eigenständige Wildarten zugeordnet.

Die **Wildrübe** *B. v.* ssp. *maritima* als nächste Verwandte der Zuckerrübe kommt als einzige Wildrübenart in Deutschland nur in kleinen Populationen und nur an wenigen Standorten (Helgoland, Ostseeküste) vor (DRIESSEN et al., 2001; OECD, 2001; FRESE, 1998). Die anderen Wildrübenarten sind in Deutschland nicht zu finden, in Europa aber mehr oder weniger verbreitet (Tab. 2). Das Verbreitungsareal von *B. v.* ssp. *adanensis* umfasst Gebiete in der Nähe von Adana (Südosttürkei), auf Zypern und den griechischen Inseln (Rhodos, Kos u.a.). *B. patula* ist nur auf einer kleinen Insel in der Nähe von Madeira zu finden (PINHEIRO DE CARVALHO et al., 2010). *B. macrocarpa* besitzt zwei Verbreitungsgebiete im Osten (griechische Inseln und Israel) und im Westen Europas (Südostspanien bis Südportugal, Teile der nordwestafrikanischen Küste) (FRESE, 1998). Wildrübenarten des Genpools 2 kommen ausschließlich in Gebirgslagen Griechenlands über 1800 m NHN und in westlichen Gebieten Osteuropas über 300 m NHN vor (BUTTLER, 1977). Wildrübenarten des Genpools 3 sind räumlich begrenzt im westlichen Mittelmeerraum in Spanien und auf den kanarischen Inseln einschließlich Madeira zu finden (BRAMWELL und BRAMWELL, 1974).

Tab. 1. Genpoolkonzept des Taxon *Beta* und Zuordnung der Kultur- und Wildrübenarten (verändert nach JASSEM, 1992 und KADEREIT et al., 2006 aus FRESE, 2011)

Genpool 1	Genpool 2	Genpool 3
<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i>	<i>Beta corolliflora</i>	<i>Patellifolia patellaris</i>
<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i>	<i>Beta macrorhiza</i>	<i>Patellifolia procumbens</i>
<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>adanensis</i>	<i>Beta lomatogona</i>	<i>Patellifolia webbiana</i>
<i>Beta macrocarpa</i>	<i>Beta trigyna</i>	
<i>Beta patula</i>	<i>Beta</i> × <i>intermedia</i>	
	<i>Beta nana</i>	

Tab. 2. Verbreitungsgebiet der Wildarten der Gattung *Beta* L. nach FRESE (1998), Genpools zugeordnet (FRESE, 2011)

Genpool	Wildarten	Verbreitungsgebiet
1	<i>B. vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i> <i>B. vulgaris</i> ssp. <i>adanensis</i> <i>B. patula</i> , <i>B. macrocarpa</i>	Küsten von Nord- und Westeuropa und des Mittelmeerraums einschließlich Nordwestafrika und Kanarische Inseln, Balkanländer, Kaukasusregion und Vorderasien bis Bangladesch
2	<i>B. corolliflora</i> , <i>B. macrorhiza</i> <i>B. lomatogona</i> , <i>B. trigyna</i> <i>B. intermedia</i> <i>B. nana</i>	Hüglige und gebirgige Regionen in der Türkei, Armenien (Kaukasus) und in benachbarten Ländern Osteuropas bis Asien Wenige Hochgebirgslagen Griechenlands
3	<i>B. patellaris</i> , <i>B. procumbens</i> <i>B. webbiana</i>	Kanarische Inseln, Küsten Nordwestafrikas und Südostspaniens

Die Zuckerrübe und die Wildrübe *B. v. ssp. maritima* sowie die anderen Formen von *B. vulgaris* sind miteinander kreuzbar, es werden noch fertile Nachkommen gebildet. Eine **Hybridisierung** und Bildung von Bastarden über Pollen zwischen anderen Arten des Genpools 1 ist ebenfalls möglich, während zwischen Kulturrübenformen und den Wildrübenarten der Genpools 2 und 3 mehr oder weniger hohe Kreuzungsbarrieren vor allem wegen geringer Homologie der Chromosomen bestehen (ABE und TSUDA, 1987). Einige Autoren berichten allerdings von erfolgreichen Kreuzungen über Pollen zwischen *B. vulgaris* und Arten des Genpools 2 (VAN GEYT et al., 1990). Es bleibt aber unklar und ist wenig wahrscheinlich, dass eine Introgression durch natürliche Rekombination möglich ist (VAN GEYT et al., 1990). Bastarde aus *B. vulgaris* spp. und Wildrübenarten der Genpools 2 und 3 sterben meist aufgrund von Wurzelnekrosen im Keimlingsstadium ab, erlangen also nicht die generative Phase. Allerdings gelang in einigen Fällen die Erzeugung von Bastarden über Pollen (SPECKMANN und DE BOCK, 1982; HELJBROEK et al., 1983; LÖPTIEN, 1984) und deren Nutzung zur Erstellung monosomer Additionslinien durch z.B. Pfropfung der Bastarde auf Kulturrübenunterlagen. Wegen fehlender oder seltener natürlicher Rekombination ist deshalb ein Gentransfer aus Wildrübenarten der Genpools 2 und 3 in *B. vulgaris* selbst unter experimentellen Bedingungen sehr selten (JUNG und WRICKE, 1987) und nur artifiziell möglich. Deshalb erscheint ein Gentransfer aus Kulturrüben in Wildarten des sekundären Genpools als unwahrscheinlich und in den tertiären Genpool als ausgeschlossen.

Unter **Unkrautrüben** versteht man i) Kulturrüben oder Bastarde, die als Unkraut in Beständen von Kulturrüben und anderen Kulturpflanzen vorkommen und sich aus dem Saatgut von Schossern in Kulturrübenbeständen entwickelt haben, und ii) Wildrüben des Taxon *Beta*, die als Unkraut in Kulturpflanzenbeständen, vor allem Zuckerrüben, vorkommen. Da Wildrüben in West- und Mitteleuropa inkl. Deutschland gar nicht oder nur punktuell vorkommen, haben sie als Unkraut in Kulturpflanzenbeständen keine Bedeutung. In Südosteuropa, z.B. in Griechenland, können sie jedoch im Einzelfall ein erhebliches Problem bei der Unkrautregulierung darstellen.

Bastarde mit Zuckerrüben entstehen entweder durch Kreuzung von Wildrübenarten oder schossenden anderen Kulturformen (*B. v. ssp. vulgaris*, z.B. Mangold, leaf beet group) mit Schossern aus Zuckerrübenbeständen oder bei deren Saatgutvermehrung. Solche Bastardrüben klassifizieren LANGE et al. (1999) taxonomisch als *B. v. ssp. vulgaris*, da sie sich bezüglich Morphologie und Verbreitungsgebiet von Wildrübenarten unterscheiden. So sind Bastarde aus Zuckerrüben und Rote Bete (garden beet group) in Rübenbeständen als Rüben mit üblicher Form und Größe, jedoch auffallend roter Färbung leicht zu erkennen. Im Folgenden soll der Begriff Bastard und nicht **Hybride** verwendet werden, obwohl diese durch intraspezifische Hybridisierung entstehen. Stattdessen wird der Begriff Hybride zur Definition des Sortentyps von Zuckerrüben verwendet (BSA, 2008).

Voraussetzung für die Entstehung von Unkrautrübenpopulationen auf Basis von Bastarden ist, dass die Kreuzungspartner Zuckerrübe und Wildrübe in denselben Gebieten vorkommen und dass sich ihre **Blühperiode** überlappt, was für *B. v. ssp. vulgaris* und *B. v. ssp. maritima* mit regionalen Unterschieden in den Sommermonaten grundsätzlich gegeben ist (OECD, 2001; BARTSCH und SCHMIDT, 1997; BARTSCH et al., 1999). Allerdings isolieren die Züchtungsunternehmen die Vermehrungsgebiete (Kap. 5) räumlich so, dass Vermehrungen nicht in der Nähe von Wildrübenpopulationen durchgeführt werden. Auch werden in der Nachbarschaft von Vermehrungsfeldern andere Kulturformen, z.B. Gartenrüben, kontinuierlich auf Schosser überwacht und diese gegebenenfalls vor der Blüte entfernt. Der Anbau von Kulturrüben erfolgt aus Isolierungsgründen nicht in direkter räumlicher Nähe zu Vermehrungsbeständen oder wird von den Züchtungsunternehmen ebenfalls rigoros auf Schosser kontrolliert.

3 Verbreitung und Etablierung von Kultur-, Wild- und Bastardrüben

Sämtliche Kultur-, Wild- und Bastardformen der Art *B. vulgaris* werden in Europa gefunden, wobei sich deren Verbreitungsgebiete überlappen können. Kultur-, Wild-

und Bastardformen können somit im selben geographischen Gebiet wachsen und sich unter Umständen kreuzen (DRIESSEN, 2003).

Zuckerrüben wurden bis zur Reform der Zuckermarktordnung 2005 in nahezu allen Mitgliedsstaaten der EU auf 2,2 Mio. ha angebaut (Tab. 3); seitdem erfolgte eine Verminderung der Anbaufläche auf etwa 1,5 Mio. ha. In Irland, Lettland, Slowenien und Portugal (Kontinent) wurde der Anbau komplett eingestellt und in Finnland, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Italien, Griechenland und Spanien stark reduziert. Aufgrund der hohen Flächenproduktivität konzentriert sich der Zuckerrübenanbau zumeist auf bevorzugte Ackerbaustandorte in Ländern mit ausgeglichene ozeanischen Klima (Mitteleuropa). In Deutschland (380 000 ha, 2009, WVZ 2010) sind diese Standorte z.B. die Börde- und Gäulandschaften. Der Anbau von Zuckerrüben zur Verwertung in Biogasanlagen gewinnt zunehmend an Bedeutung, allerdings liegen Anbaustatistiken dazu nicht vor. Schätzungsweise werden etwa 10 000 ha Zuckerrüben (2010/11) zur Biogasverwertung genutzt.

Der Anbau von **Futterrüben** blieb in den letzten Jahren konstant niedrig und umfasst etwa 5000 ha (BSA, 2008), das entspricht etwa 0,05% der genutzten Ackerfläche in Deutschland und spiegelt die Situation in Europa wider. Über **Garten- und Blattrüben** liegen keine Anbaustatistiken vor. Neben einigen wenigen großen Anbauflächen ist jedoch ein Anbau in kleinerem Umfang insbesondere in Südeuropa z.B. von Mangold (leaf beet group) bekannt.

Wildrüben verschiedener Arten (Tab. 2) wachsen ebenfalls in unterschiedlichen geographischen Gebieten Europas. Von diesen Arten ist die Wildrübe *B. v. ssp. maritima* L. Arcang. am weitesten verbreitet und wächst als einzige Wildrübenart in Deutschland. *B. v. ssp. maritima* bevorzugt Küstenstandorte mit salzhaltigen (5–18‰), nährstoffreichen Böden der Meeresspülsäume, felsige Ufer und Kiesstrände, sie besitzt eine geringe Winterhärte (DRIESSEN, 2003; CIFA, 2002). Somit ist ihr Lebensraum

auf die nordwestlichen und südlichen Regionen Europas mit ozeanischem bis mediterranem Klima beschränkt. Vorkommen sind beschrieben an den Küsten Westeuropas in den Ländern Irland, Großbritannien, Schweden, Dänemark, Niederlande, Belgien und Deutschland und an den Küsten Südeuropas in den Ländern Portugal, Spanien, Italien, Frankreich, Griechenland und Bulgarien (DRIESSEN, 2003). In Deutschland galt die Insel Helgoland lange Zeit als einziger Standort für Wildrüben, so dass eine Bastardierung mit Zuckerrüben aufgrund der Entfernung zum Festland nicht möglich war. Im Jahr 1997 wurde jedoch auch ein Vorkommen von Wildrüben auf vierzehn Standorten entlang der deutschen Ostseeküste zwischen der Insel Fehmarn und Kiel dokumentiert (DRIESSEN, 2001). Durch anthropogene Verschleppung wachsen Wildrüben gegenwärtig auch im Binnenland in Ruderalgesellschaften (DRIESSEN, 2003), wobei eine exakte Standortbeschreibung nicht vorliegt.

Unkrautrüben sind in Europa seit dem Rückgang der mechanischen Unkrautregulierung in den 1960/70er Jahren in Zuckerrübenbeständen vertreten und gehen ursächlich auf Schosser zurück, die in Zuckerrübenbeständen nicht entfernt wurden (Kap. 9). Das Vorkommen von Unkrautrüben ist vor allem im atlantischen Klima und bei mäßig warmer Frühjahrswitterung mit höherer Schossinduktion in den Ländern Irland, Großbritannien, Deutschland, Belgien, Frankreich und Spanien bedeutend (BOUDRY et al., 1993). Unkrautrüben wachsen in Zuckerrübenbeständen oftmals nesterweise (LEHNERT, 2007) oder am Feldrand (MESSEAN et al., 2006) sowie anthropogen verbreitet auf Brachflächen und Ödland (BOUDRY et al., 1993).

4 Lebenszyklen von Kultur-, Wild- und Bastardrüben

Der Lebenszyklus der Kultur-, Wild- und Bastardformen wird nach deren **Blütezeitpunkt** in Abhängigkeit vom

Tab. 3. Zuckerrübenanbaufläche (in 1000 Hektar) in ausgewählten Ländern Europas (WVZ, 2010)

Länder	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Deutschland	428	353	376	325	380
Italien	254	92	86	74	62
Irland	31	0	0	0	0
Griechenland	42	29	14	14	23
Spanien	102	104	60	50	51
Portugal (Kontinent)	8	4	3	1	0
Finnland	31	24	23	14	15
Tschechische Republik	63	56	44	44	53
Ungarn	58	46	36	15	14
Lettland	14	10	0	0	0
Slowakei	32	728	19	15	16
Slowenien	5	7	0	0	0
EU gesamt	2182	1740	1651	1403	1541

Vernalisationsbedarf beschrieben, eine Einteilung erfolgt in einjährige und zwei- oder mehrjährige Formen. Einjährige (sommerannuelle) Formen benötigen eine Vegetationsperiode für die Keimung, die vegetative Ausbildung von Spross (Blattrosette) und (Speicher-) Wurzel sowie Sprosstreckung, Blütenbildung, Befruchtung und Samenreife, anschließend sterben die Pflanzen ab. Die Dauer der Vegetationsperiode kann dabei durch Trockenheit oder Frost stark verkürzt sein (KELLER et al., 1999; GEISLER, 1980).

Dagegen umfasst der Lebenszyklus zweijähriger (biennueller) Formen zwei Vegetationsperioden, die durch eine Kälteperiode (Vernalisation) oder Trockenheit getrennt sind. Zweijährige Formen wachsen im ersten Vegetationsjahr vegetativ und speichern zur **Überdauerung** Nährstoffe in der (Speicher-) Wurzel oder in den Blättern. Nach längeren, anhaltend tiefen Temperaturen sowie hoher und langer Belichtungsintensität (Vernalisation) erfolgt mit dem Beginn der zweiten Vegetationsperiode die generative Phase und schließlich das Absterben der Pflanze spätestens im Spätsommer (KELLER et al., 1999;

GEISLER, 1980). Mehrjährige (perennierende) Formen haben einen Lebenszyklus von mindestens zwei Jahren mit vegetativem Wachstum im ersten Jahr und Blüte im zweiten sowie ggf. weiteren Jahren. Für in Europa vorkommende Formen des Taxon *Beta* sind mehrjährige perennierende Formen aber nicht systematisch beschrieben (KELLER et al., 1999; GEISLER, 1980).

Die Kulturformen **Zuckerrübe** und Futterrübe sind zweijährig. Im ersten Vegetationsjahr wird eine Blattrosette und eine Speicherwurzel (Rübe) gebildet, mit Beginn des zweiten Vegetationsjahrs erfolgt das Schossen der gestauchten Sprossachse (Rübenkopf) mit anschließender Blüte und Abreife. Der Lebenszyklus der Zuckerrübe kann, wie auch bei anderen bedeutenden Fruchtarten üblich, durch die so genannte BBCH-Skalierung (MEIER et al., 1993) systematisch gegliedert werden (Abb. 1). Nach der Aussaat im Frühjahr öffnet sich die Samenschale durch Wasseraufnahme und der Samen platzt (BBCH 01/03). Aus dem geplatzen Samen treten die Keimwurzeln und der Keimspross aus, der die Bodenoberfläche durchbricht (BBCH 05/09). Am Keimspross

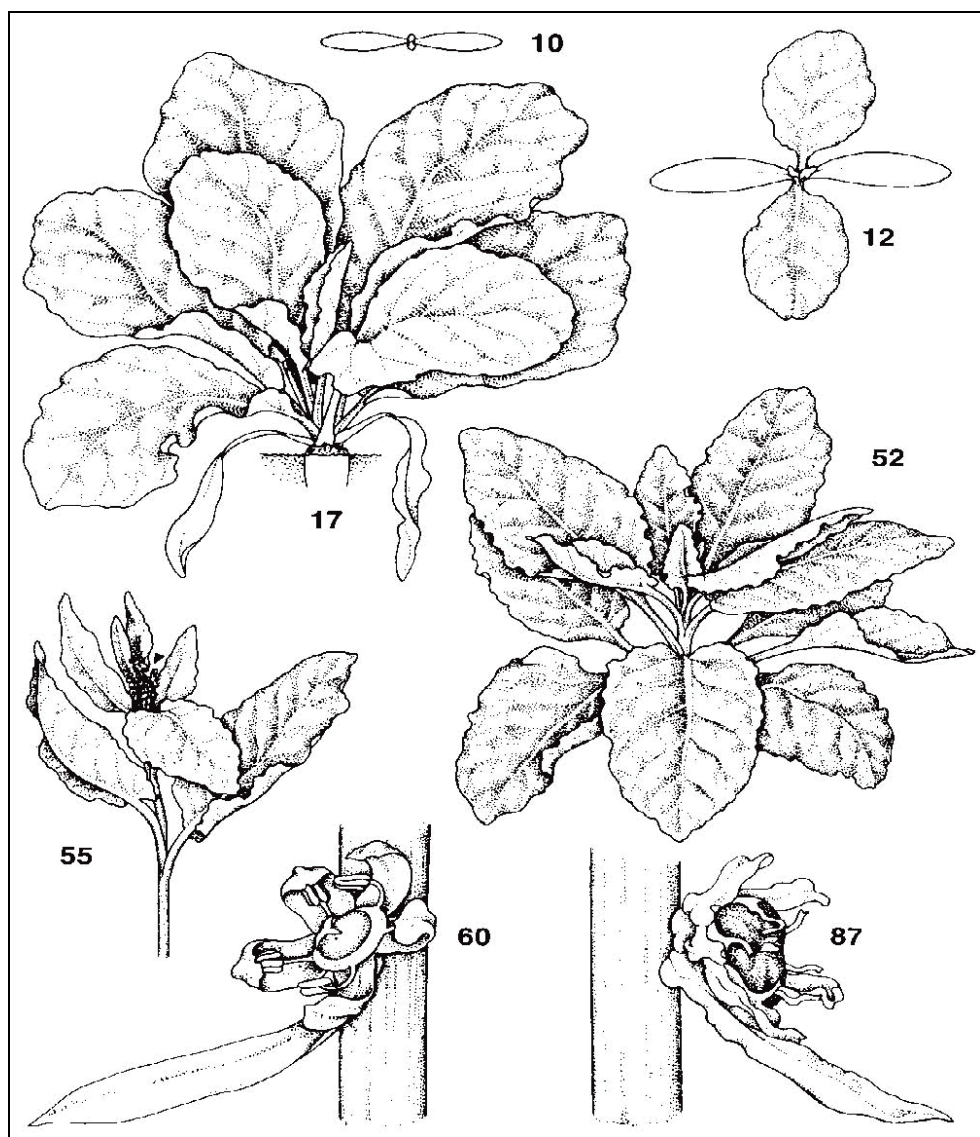


Abb. 1. Phänologische Entwicklungsstadien von Zuckerrüben mit Codierung: 10 Keimblätter waagrecht entfaltet, 12 2 Laubblätter entfaltet, 17 Laubblätter entfaltet, 52 Hauptsproß 20 cm lang, 55 erste Blütenknospen an Nebentrieben sichtbar, 60 erste Blüten am unteren Teil des Blütenstandes offen, 87 Pericarp hart und Samenschale dunkelbraun (MEIER et al., 1993).

entfalten sich etwa waagrecht die beiden Keimblätter. Anschließend erfolgt die **vegetative Entwicklung** und Entfaltung der ersten beiden Laubblätter. Alle späteren Blätter entwickeln sich in einer 5/13 quirlständigen, spiralförmigen Anordnung (BBCH 10/19) (STIEBER und BERINGER, 1984). Das Wachstum führt ab etwa dem zehnten Laubblatt zum Reihenschluss, wobei sich die Laubblätter der einzelnen Rübenpflanzen in einer Reihe berühren (ca. 20 cm Pflanzenabstand) und später zum Bestandesschluss, wobei sich bis zu 90% der Laubblätter benachbarter Rübenreihen (45/50 cm Abstand) berühren (BBCH 31/39). Gleichzeitig entwickelt sich eine weiße, fleischige Pfahlwurzel, die an Hypokotyl und oberer Primärwurzel erheblich anschwillt, spezifisch für das Taxon *Beta* sekundäres Dickenwachstum und Verholzung aufweist und im Herbst des ersten Jahres als Rübenkörper erntefähig ist (BBCH 49) (MEIER et al., 1993).

Wird die Zuckerrübe zur Saatgutproduktion angebaut, so werden durch eine Aussaat im Sommer gezielt kleinere Rübenkörper (maximaler Durchmesser 5 cm), die Stecklinge, produziert. Nach der Überwinterung mit kühlen Temperaturen von 4–7°C (Vernalisation) erfolgt im zweiten Vegetationsjahr die **generative Entwicklung** mit Bildung von Schossern (blütentragende Stängel, CIFA, 2002). Der Schosser besteht aus einem gestreckten Hauptspross, der Nebensprosse bildet (BBCH 51/54). Haupt- und Nebensprosse bilden etwa 5–6 Wochen nach dem Beginn der reproduktiven Phase sichtbar Blüten, aus denen anschließend der Fruchtansatz hervorgeht (BBCH 55/69). Die nachfolgende Fruchtentwicklung umfasst die Reifung von Samen und Samenschale (BBCH 71/87) und endet mit der Vollreife des Samens sowie der sorten- oder artentypischen Färbung der Samenschale (BBCH 89). Die anschließende Verfärbung der Laubblätter leitet das Absterben der Pflanze ein (BBCH 91/97) (MEIER et al., 1993; CIFA, 2002).

Zuckerrüben sind selbstinkompatibel, allerdings existieren selbstfertile Pflanzen in nahezu jeder Population, die je nach spezifischer Allelkonfiguration zu Selbstinkompatibilität von Zuchtlinien führen (ODENBACH und SCHIEDER, 1997). Allerdings besteht auch Protandrie (Vormännlichkeit), das heißt die Blüten einer Pflanze öffnen sich und entlassen den Pollen, bevor die Narben derselben Pflanze befruchtungsfähig sind. Ohne Selektion auf Selbstinkompatibilität sind Zuckerrüben Fremdbefruchter mit überwiegender **Windbestäubung**. Eine Pollenübertragung durch Insekten ist aber möglich (BARTSCH et al., 1999; FÉNART et al., 2007).

Die Entwicklung von **Futterrüben** entspricht dem Lebenszyklus von Zuckerrüben. Allerdings ist die Entwicklung der Blätter (Form, Anzahl, Größe, Stellung) in einem stärkeren Maße abhängig vom Trockensubstanzgehalt des sich entwickelnden Rübenkörpers und damit variabler als bei Zuckerrüben. Das Masseverhältnis von Blatt zu Rübe bei Futterrüben variiert von 1:3 bis 1:9,5 (RÖSTEL, 1999) und ist damit wesentlich weiter als bei Zuckerrüben, die ein Verhältnis von 1:2 bis 1:2,75 aufweisen (KENTER, 2003).

Im Gegensatz zur Zuckerrübe besitzen **Wildrübenarten** mehr oder weniger dickfleischige, plagiotrop wachsende Blätter und einen sehr kleinen, verholzten Rübenkörper, der spezifisch für das Taxon *Beta* ebenfalls über sekundäres Dickenwachstum verfügt. Wildrübenarten sind einjährige, zweijährig oder mehrjährig überwinternde Pflanzen, bei denen zunehmend die Tendenz zur Einjährigkeit besteht, entsprechend ihrer geographischen Herkunft in Europa von Nord nach Süd und von Ost (einjährig bzw. im ersten Jahr blühend) nach West (zweijährig bzw. im zweiten Jahr blühend) (LETSCHERT, 1993), wobei der Zusammenhang zwischen Verbreitungsort und Blühverhalten für *B. v. ssp. maritima* als besonders eng beschrieben ist (VAN DLJK, 1998).

Bastarde mit *B. v. ssp. maritima* benötigen im Gegensatz zur Zuckerrübe *B. v. ssp. vulgaris* eine erheblich kürzere Vernalisationszeit (BOUDRY et al., 1993) und haben zumeist einen einjährigen Vegetationszyklus (MESSEAN et al., 2006), der bezüglich der Entwicklungsgeschwindigkeit und Vegetationsdauer je nach Grad der Hybridisierung variieren kann. Der Beginn der Schosserbildung der Bastardrüben ist somit variabel, wobei in der Regel relativ schnell nach der Keimung Schosser gebildet werden. Bastardrüben bilden in Relation zu ihrer Entwicklungsdauer unterschiedlich große Schosser und damit auch eine unterschiedliche Anzahl von Blüten und Samen sowie nur mehr oder weniger kleine Rübenkörper aus, die einen geringen und anbautechnisch bedeutungslosen Zuckerertrag liefern (DRIESSEN, 2003).

5 Saatgutvermehrung

Zuckerrübensorten sind Hybridsorten, das heißt das Saatgut entsteht durch gezielte Kreuzung verschiedener elterlicher Komponenten. Zur Erzeugung von Hybrid Saatgut wird ein **Hybridmechanismus** benötigt, der die Selbstung verhindert und die Fremdbestäubung garantiert. Bei Zuckerrüben wird hierfür die cytoplasmatische männliche Sterilität (*cytoplasmic male sterility*, cms) genutzt (MANN et al., 1989; BOSEMARK, 1993; RAN und MICHAELIS, 1995; DUCOS et al., 2001). Die cms beruht auf einer Veränderung der mitochondrialen DNA, die in Kombination mit bestimmten Kerngenen zu Pollensterilität führt (SKARACIS und BIANCARDI, 2005). Bei Zuckerrüben entstand entsprechendes Zuchtmaterial erstmals um 1960 in den USA, entwickelt von OWEN (1945). Mit dem cms-System wurde gleichzeitig Monogermie als Merkmal von Zuckerrübensorten eingeführt.

Die mütterliche Komponente einer Hybridsorte ist männlich steril, monogerm und diploid, während der Bestäuber männlich fertil, multigerm und di- bzw. tetraploid ist (Abb. 2). Zur Erhaltung der männlich sterilen mütterlichen Linien werden genetisch komplementäre „Maintainer“ eingesetzt, die in Erinnerung an ihren Entdecker OWEN auch O-Typen genannt werden. Um einen hohen Saatgutertrag bei der Vermehrung von Hybridsorten zu gewährleisten, erfolgt zumeist die Kombination mehrerer, genetisch unterschiedlicher ms (männlich ste-

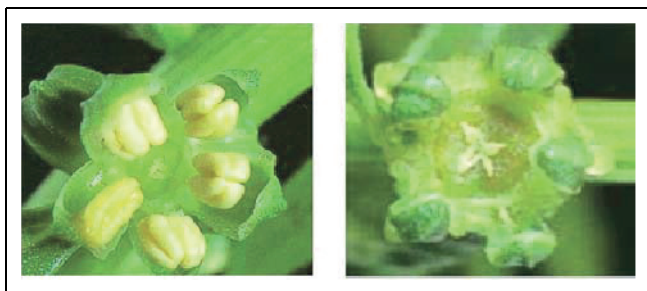


Abb. 2. Monogermene, männlich fertile (links) und männlich sterile (rechts) Zuckerrübenblüte (Foto: STRUBE-DIECKMANN).

riler)- und O-Typen. **Hybridsorten** bei Zuckerrüben sind deshalb „Drei- oder Mehrweg-Hybriden“ (Abb. 3). Aufgrund der genetischen Konstitution der Hybriden mit männlich steriler Elterlinie sind aus dem Saatgut direkt gewachsene Schosser in Zuckerrübenbeständen ebenfalls steril/semi-steril und das Saatgut insbesondere aus triploiden Sorten nur mehr oder weniger keimfähig.

Zuckerrübensorten haben unterschiedliche Ploidiestufen (BSA, 2008). Voraussetzung für die Entwicklung triploider Sorten war die Entdeckung der polyploidisierenden Wirkung des Colchicins (BLAKESLEE und AVERY, 1937). Mit Hilfe dieses Mitose-Hemmstoffs konnte tetraploides Ausgangsmaterial geschaffen und als väterlicher Kreuzungspartner diploider steriler Mutterlinien eingesetzt werden. Triploide Sorten sind zumeist wüchsiger und können über einen höheren Rübenantrag verfügen. Jedoch ist für die Selektion einfach vererbter Merkmale, insbesondere Resistenz, diploides Zuchtmaterial von Vorteil. Im Anbau existieren deshalb sowohl di- als auch triploide Sorten.

Das verkehrsfähige Saatgut von Hybridsorten entspricht nach dem deutschen Saatgutrecht zertifiziertem Saatgut, dessen Produktion durch offizielle Institutionen kontrolliert und anerkannt wird, während das Saatgut der unterschiedlichen Elterlinien Basis- oder Vorstufensaatgut darstellt. Die gesamte Saatgutproduktion bei Zuckerrüben erfolgt europaweit in alleiniger Verantwortung der Züchtungsunternehmen. Die Produktion von **zertifiziertem Saatgut** konzentriert sich dabei auf wenige Regionen in Norditalien und Südfrankreich, wobei auf eine räumliche Isolierung größten Wert gelegt wird. Die Produktion von Basis- und Vorstufensaatgut erfolgt zumeist in denselben Regionen, ist aber auch in Zuchtstationen möglich, die in verschiedenen Regionen Europas existieren. Aufgrund der höheren Bedeutung von Einkreuzungen in Vorstufen wird dabei äußerster Isolierung zu Kulturrübenbeständen höchste Aufmerksamkeit zugemessen, und ggf. auftretende Schosser auch in größerer Entfernung werden konsequent bereinigt. Zur Eingrenzung von Fremdbestäubung sind vom Gesetzgeber für Vermehrungsbestände bei Rüben in Deutschland Mindestdistanzen vorgegeben (Tab. 4). In den Vermehrungsgebieten erfolgt jedoch von den Züchtungsunternehmen eine sehr viel restriktivere Handhabung, um Einkreuzungen weitestgehend zu vermeiden (KOCKELMANN und MEYER, 2006).

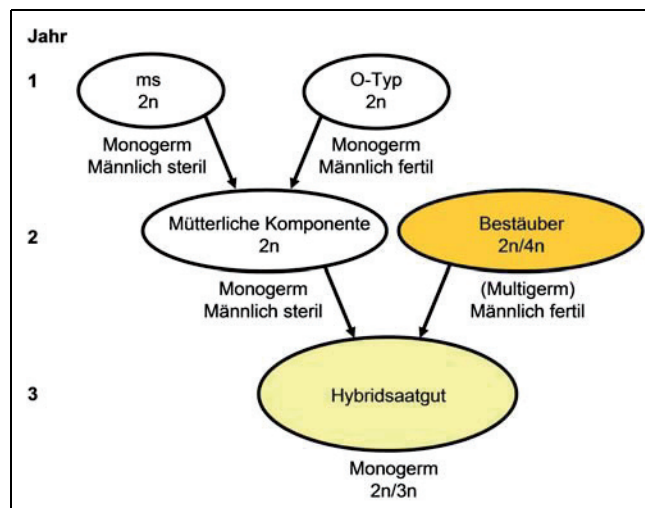


Abb. 3. Erzeugung von monogermem Hybridsaatgut bei Zuckerrüben (Dreiweghybride), n = Ploidiestufe.

Die Saatgutvermehrung findet in den oben genannten Regionen statt, da in diesen Gebieten das Klima für die Überwinterung, vegetative Entwicklung, Blüte und Reife der Pflanzen und damit die Saatgutqualität günstig ist. Wichtig ist zum einen, dass die Temperaturen über Winter ausreichend lang und tief genug sind, um den Vernalisationsreiz auszulösen, aber auch hoch genug, um Schäden durch Frost zu vermeiden. Zum anderen wird eine ausreichend niedrige Luftfeuchtigkeit benötigt, um die Blühzeit zu konzentrieren und damit eine gleichmäßige Reife zu gewährleisten (MEYERHOLZ, 1999). Weiterhin spielen boden- und pflanzenhygienische sowie arbeitswirtschaftliche Bedingungen eine Rolle bei der Auswahl der **Vermehrungsfelder**. Die Vermehrung von Zuckerrüben kann entweder über das so genannte Direktverfahren oder über Stecklinge erfolgen (KOCKELMANN und MEYER, 2006). Im Direktverfahren erfolgt eine Aussaat im Spätsommer und die Pflanzen überwintern im Feld. Bei der Vermehrung über Stecklinge erfolgt eine räumliche Separierung der Anzucht von den Feldern, auf denen später die eigentliche Vermehrung erfolgt. Aufgrund der höheren Sicherheit und Flexibilität der Saatguterzeugung ist der Anteil an Vermehrungen über Stecklinge in der Vergangenheit sehr stark gestiegen und stellt derzeit das Standardverfahren dar (BORNSCHEUER et al., 1993). Bei diesem Verfahren wird zur Produktion der Stecklinge der Elternkomponenten im ersten Jahr das Basissaatgut im Spätsommer ausgesät, die Ernte der Stecklinge erfolgt entweder vor Winter mit Einlagerung oder im Februar des folgenden Jahres mit anschließender direkter Aussaat in die Vermehrungsfelder.

Das am weitesten verbreitete Verfahren zur Produktion von monogermem **Hybridsaatgut** ist der Streifenanbau, das heißt die Stecklinge der Mutter- und Vaterkomponente werden in Reihen gepflanzt (BORNSCHEUER et al., 1993). Dabei stehen wenige Reihen der Pollenspenderpflanzen zwischen Streifen mit Pflanzen der mütterlichen Komponente (KOCKELMANN und MEYER, 2006). Das Schossen der Pflanzen setzt ab Mitte April ein, die Blüte beginnt Ende

Tab. 4. Anforderungen an den Feldbestand bei Rüben (Mindestentfernungen; aus Anlage 2 zu § 6 Satz 1 SaatgutV)

Mindestentfernungen [m]	
Für die Erzeugung von Basissaatgut zu Bestäubungsquellen der Gattung <i>Beta</i> ¹	1000
Für die Erzeugung von zertifiziertem Saatgut von Zuckerrübe zu diploiden Zuckerrübenbestäubungsquellen, wenn der vorgesehene Pollenspender ausschließlich tetraploid ist	600
Für die Erzeugung von zertifiziertem Saatgut von Zuckerrübe zu diploiden Zuckerrübenbestäubungsquellen, wenn der vorgesehene Pollenspender oder einer der vorgesehenen Pollenspender diploid ist	300
Zu tetraploiden Zuckerrübenbestäubungsquellen, wenn der vorgesehene Pollenspender oder einer der vorgesehenen Pollenspender diploid ist	600
Zu tetraploiden Zuckerrübenbestäubungsquellen, wenn der vorgesehene Pollenspender ausschließlich tetraploid ist	300
Zu Zuckerrübenbestäubungsquellen, bei denen der Ploidiegrad unbekannt ist	600
Zwischen zwei Vermehrungsflächen zur Erzeugung von Zuckerrübensaatgut ohne männliche Sterilität	300
Zu allen vorstehend nicht genannten Bestäubungsquellen der Gattung <i>Beta</i>	1000

¹ Bei Feldbeständen von Samenträgern muss zu nicht hierunter fallenden benachbarten Beständen, bei Feldbeständen zur Erzeugung von Stecklingen muss zu allen benachbarten Beständen ein Trennstreifen von mindestens doppeltem Reihenabstand vorhanden sein.

Mai und dauert ungefähr vier Wochen. Nach weiteren vier bis sechs Wochen, in denen die Reife stattfindet, erfolgt die Ernte (Anfang Juli bis Anfang August). Es wird nur das Saatgut auf den männlich sterilen Mutterpflanzen geerntet, die Pflanzen der Pollenspender (Väter) werden nach der Blüte aus dem Bestand entfernt (MEYERHOLZ, 1999). Die Ernte erfolgt mit konventioneller, jedoch auf die spezifischen Notwendigkeiten von Zuckerrübensaatgut ausgerichteter Druschtechnik, wobei für eine gleichmäßigere Abreife die Bestände zuvor in Schwaden gelegt werden. Während der Ernte kommt es zu mehr oder weniger hohen Verlusten an Saatgut, das durch ein gezieltes Bodenmanagement schnell zur Keimung gebracht wird. Trotzdem erfolgt eine erneute Vermehrung auf demselben Feld erst nach einigen Jahren (KOCKELMANN und MEYER, 2006). Beim Anbau über Stecklinge kann dabei sicher zwischen Pflanzen, die aus Stecklingen austreiben, und aus der Samenbank auflaufende Zuckerrüben, die mechanisch entfernt werden, unterschieden werden.

Der Vermehrungsfaktor bei Zuckerrüben ist sehr hoch (> 500), so dass sich die Vermehrungsflächen für eine Versorgung des Zuckerrübenanbaus mit Saatgut in Europa insgesamt auf wenige 1000 ha Fläche beschränken (MEYERHOLZ, 1999). Aufgrund der sehr hohen Qualitätsansprüche an das Saatgut und der sehr spezifischen Produktionstechnik bei der Vermehrung erfolgt ausschließlich ein **Vertragsanbau** mit äußerst gezieltem Management durch die Züchtungsunternehmen. Das geerntete Saatgut wird umgehend an die züchtereigenen Aufbereitungsstationen in den Vermehrungsgebieten geliefert und – sofern erforderlich – zur Konservierung getrocknet (MEYERHOLZ, 1999). Die technisch äußerst aufwändige Aufbereitung des Saatgutes, dessen Lagerung und Pillierung erfolgen ausschließlich unternehmensintern in „geschlossenen Systemen“.

6 Sortenzulassung

Eine Sorte landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten ist durch die national geregelte Zulassung vertriebsfähig, wobei die Vertriebsfähigkeit in allen Mitgliedstaaten der EU grundsätzlich gegeben ist, wenn sie in mindestens einem Mitgliedstaat zugelassen ist (SaatG § 3). Darüber hinaus können auch in der EU nicht zugelassene Sorten vertrieben werden, sofern besondere Voraussetzungen gegeben sind. Da das Sorten- und Saatgutrecht in Deutschland das Inverkehrbringen und die Zulassung besonders konsequent regelt, soll daran exemplarisch die Beschreibung von Zucker- und Futterrübensorten erläutert werden. Für die Zulassung einer Sorte sind sowohl die Beschreibung der Werteeigenschaften (für die landwirtschaftliche Nutzung) als auch der Registermerkmale (für den Sortenschutz) erforderlich. Werteeigenschaften umfassen die für den Anbau in Abhängigkeit von Standort und Witterung mehr oder weniger stark variierenden Werteeigenschaften, z.B. Ertrag, Qualität, Anfälligkeit gegen Krankheiten. Für die Beschreibung einer Sorte werden Registermerkmale herangezogen, die eine Sorte mit sehr hoher Umweltstabilität eindeutig charakterisieren (z.B. bei Gerste optisch leicht bestimmbare morphologische Merkmale der Ähre). Die Zulassung einer Sorte erfolgt nur, wenn der landeskulturelle Wert (SaatG § 34) gegeben ist. In Deutschland bedeutet dies im Gegensatz zu vielen anderen EU-Mitgliedstaaten, dass die Sorte in der Gesamtheit ihrer Werteeigenschaften besser sein muss als vergleichbare zugelassene Sorten. Außerdem muss für die zu prüfende Sorte im Vergleich zu allen anderen bisher eingetragenen Sorten Unterscheidbarkeit gegeben sowie Homogenität und Beständigkeit vorhanden sein (SaatG § 31/§ 32/§ 33).

Für Futterrüben existieren zahlreiche Werteeigenschaften und Registermerkmale. Diese dienen neben der Sortenbeschreibung auch der Ermittlung des Wertes von Futter-

rüben als Viehfutter entsprechend der Nutzungsrichtung. Für Zuckerrüben existieren jedoch nur wenige Registermerkmale, die für die Unterscheidbarkeit vieler Sorten nicht ausreichend sind. Es werden deshalb bei Zuckerrüben, im Gegensatz zu den meisten anderen landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten, für die registerliche Beschreibung hilfsweise die Werteigenschaften hinzugezogen (Tab. 5). Als Konsequenz ergibt sich daraus, dass (z.B. im Gegensatz zu Gerstensorten mit morphologischen Registermerkmalen mit sehr hoher Umweltstabilität) bei Zuckerrüben die registerliche Beschreibung einer gewissen Variation unterliegt, die sich aus der Präzision der Schätzung der hilfsweise als Registermerkmale herangezogenen Werteigenschaften ergibt. Die Wertprüfungen und nachfolgenden Sortenversuche sind deshalb bei Zuckerrüben durch die Notwendigkeit einer hohen statistischen Belastbarkeit gekennzeichnet. Um die Versuchsdurchführung dennoch effizient gestalten zu können, werden sämtliche Zuckerrübensorten, die sich im Verkauf befinden, im integrierten Sortenprüfwesen bundesweit einheitlich hinsichtlich versuchstechnischer Standards, Standardsorten und Auswertung geprüft.

Die Testung der Sorten erfolgt in Regelprüfungen sowie teilweise in Sonderprüfungen. Regelprüfungen erfolgen für die Sortenleistung mit und ohne Befall durch Rizo-*mania* (*Beet necrotic yellow vein virus, BNYYV*), mit und ohne Fungizidapplikation sowie mit Befall durch Nematoden (*Heterodera schachtii*) für die mit den entsprechenden Eigenschaften, auch in Kombination, zugelassenen Sorten. In allen Regelprüfungen erfolgt die Bestimmung der Einzelparameter von Ertrag und Qualität, die Berechnung der zusammengesetzten Parameter, insbesondere des Bereinigten Zuckerertrages als wesentlicher Indexgröße und zusätzlich bei entsprechendem Auftreten von

Krankheiten wie Blattflecken oder Vergilbung eine Bonitur auf Anfälligkeit (Tab. 5). Der Feldaufgang sowie das Schossverhalten, getestet unter besonders schossinduzierenden Bedingungen, werden nur in den Sortenprüfungen nach der Zulassung untersucht, da sie wesentlich von der Vermehrungspartie beeinflusst werden können (ANONYM, 2010). Eine Sonderprüfung besteht für Nematodenresistenz (Vermehrungsfaktor) im Gewächshaus und weiterhin zzt. eine methodische Untersuchung zur Resistenz/Toleranz gegenüber *Rhizoctonia solani* mit künstlicher Infektion im Freiland. Mit zugelassenen Sorten wird ein Sortenscreening zur Anfälligkeit gegenüber *Ditylenchus dipsaci* durchgeführt. Seit 2008 existiert zusätzlich ein „Biomasse-Sortenversuch“, um für möglicherweise zukünftig relevante Nutzungsrichtungen frühzeitig eine Einschätzung der Sortenleistung zu gewährleisten.

Sämtliche Aufgaben im Rahmen der Wertprüfung fallen in die Zuständigkeit des Bundessortenamtes. Die weiterführenden Sortenversuche werden nicht bundesländerbezogen, sondern durch das IfZ bundesweit organisiert und durchgeführt (ANONYM, 2010). Zuckerrübensorten werden in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes kontinuierlich beschrieben. Für das Jahr 2009 sind für den Anbau in Deutschland 127 Sorten zugelassen, wobei jedoch nur etwa 30 Sorten einen wesentlichen Anbauumfang haben und die zehn anbaustärksten Sorten auf etwa 240 000 ha angebaut werden. Der Anbau einer Sorte setzt deren Zulassung voraus und ist in den Branchenvereinbarungen zwischen Zuckerfabrik und Rübenanbauern geregelt. Für gentechnisch veränderte Sorten ist eine Genehmigung zum Inverkehrbringen nach EU-Recht Voraussetzung für die Aufnahme in die Wertprüfung nach nationalem Recht.

Tab. 5. Registermerkmale und Werteigenschaften bei Zuckerrüben (verändert nach BSA, 2005)

Registermerkmale ¹ Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit		Werteigenschaften ³ landeskultureller Wert		
Ploidie	diploid triploid tetraploid	MA⁴	Ertrag und Qualität	Anfälligkeit für Blattkrankheiten
		2,8	Rüben-ertrag	<i>Cercospora beticola</i>
		1,5	Zucker-gehalt	<i>Erysiphe betae</i>
Germität	monogerm multigerm	1,8	Ber. Zucker-gehalt	<i>Ramularia beticola</i>
		2,5	Zucker-ertrag	<i>Uromyces betae</i>
		3,5	K-Gehalt	
Hypokotylfarbe²	1 < 19%	12,0	Na-Gehalt	Neigung zum Schossen
anthocyanverfärbt (in 5 Klassen)	2 20 – 39%	3,5	K+Na-Gehalt	
	3 40 – 59%	7,0	Amino-N-Gehalt	
	4 60 – 79%			
	5 > 80%			

¹ zusätzlich hilfsweise Werteigenschaften in rel. Mindestabständen (MA)

² an 200 Pflanzen gemessen

³ nur für Registerprüfung, Merkmale in Ausprägungsstufen 1–9 bonitiert: 1 – sehr niedrig bzw. fehlend; 9 – sehr hoch

⁴ Mindestabstände (MA) geben den minimalen Unterschied (relativ) zwischen zwei Sorten an; Bezugsgröße ist das Standardsortiment = 100

7 Technologische Qualität von Zuckerrüben

Neben der kontinuierlichen züchterischen Verbesserung von Resistenz- und Toleranzeigenschaften gegen verschiedene Krankheiten (Tab. 5) haben Ertrag und Qualität besondere Bedeutung für den biologisch-technischen Fortschritt. Die Züchtung von Zuckerrüben richtet sich nach den Anforderungen, die die Zuckerindustrie an die Verarbeitbarkeit des Rohstoffs Rübe stellt. Die Verarbeitbarkeit von Zuckerrüben ist abhängig von deren technologischer Qualität, die als Summe aller Eigenschaften der Zuckerrübe definiert ist, die einen Einfluss auf die Gewinnung und Ausbeute des Weißzuckers haben (WINNER, 1981). Die technologische Qualität von Zuckerrüben wird unterschieden in physikalische Eigenschaften wie Erdanteil, Köpfqualität und Schneidfestigkeit, biologische Eigenschaften wie Schossfestigkeit und Krankheitsresistenz sowie die **stoffliche Zusammensetzung** der Zuckerrübe (WINNER, 1981). Der Verarbeitungsprozess in der Fabrik wird insbesondere durch die chemische Zusammensetzung der Zuckerrübe beeinflusst (HOFFMANN, 2006). Die Rübe besteht zu 75–78% aus Wasser. Die Trockenmasse beinhaltet 15–18% Zucker (Saccharose), 1–1,2% Rohprotein, 0,1% Rohfett, 1,1–1,3% Rohfaser, 1,0–1,2% Pektinstoffe, 2,8–3,0% stickstofffreie Extraktstoffe (außer Saccharose) und 0,7–0,9% anorganische Bestandteile (Tab. 6, SCHIWECK, 1983, OECD, 2002). Der höchste Zuckerverlust in der Fabrik entsteht durch die nicht kristallin gewinnbare Saccharose, die in der Melasse verbleibt. Der Zuckerverlust wird mit Hilfe einer Gleichung geschätzt, die den so genannten Standardmelasseverlust bei der Verarbeitung unter standar-

disierten verarbeitungstechnologischen Bedingungen und basierend auf den Konzentrationen der Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und α -Amino-Stickstoff definiert (I) (HOFFMANN, 2006).

$$\text{SMV} = 0,12 (\text{K}+\text{Na}) + 0,24 \text{ AmN} + 0,48$$

(BUCHHOLZ et al., 1995) (I)

SMV: Standardmelasseverlust (% der Rübenfrischmasse)
K+Na: Konzentration an Kalium und Natrium (mmol 100g⁻¹ Rübenfrischmasse)

AmN: Konzentration an α -Amino-Stickstoff (mmol 100g⁻¹ Rübenfrischmasse)

Die Züchtung auf technologische Qualität der Zuckerrübe zielt auf eine genotypische Verbesserung der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe ab, d.h. Standardmelasseverluste zu vermindern und so die Effizienz beim Verarbeitungsprozess zu Zucker zu erhöhen (HOFFMANN, 2006). Der technologische Fortschritt im **Bereinigten Zuckerertrag** als Indexgröße für alle Ertrags- und Qualitätsparameter ist bei Zuckerrüben vergleichsweise hoch, wobei das standortbedingte Ertragspotential in der Praxis durch z.B. frühere Ernte und lange Lagerdauer, Befall mit Krankheiten und Schädlingen oder Anbau auf schlechteren Standorten nicht vollständig genutzt werden kann. Aufgrund der spezifischen Vermehrungsstruktur von Hybridsorten kann der **biologisch-technische Fortschritt** nicht direkt in züchterische, anbautechnische und klima-bedingte Anteile untergliedert werden. Nach FUCHS et al. (2008), JAGGARD (1999), JAGGARD et al. (2007) sowie LIMB (2007) kann davon ausgegangen werden, dass die Umwelt

Tab. 6. Mittlere chemische Zusammensetzung der Zuckerrübe (ROTHER, 1998)

Rübenfrischmasse [mmol/100 g] wenn nicht anders vermerkt	Mittelwert	Minimum	Maximum
Wasser [%]	77,15	66,46	91,55
Trockenmasse [%]	22,85	8,45	33,54
Saccharose [%]	17,41	13,62	19,70
Kalium	4,23	2,72	9,18
Natrium	0,65	0,12	4,60
α -Amino-Stickstoff	1,39	0,12	4,26
Red. Zucker	0,64	0,36	3,41
Kalzium	0,74	0,39	1,21
Magnesium	1,16	0,73	1,77
Phosphat	0,37	0,17	0,65
Chlorid	0,25	0,06	1,87
Oxalat	0,97	0,58	1,43
Citrat	0,36	0,18	0,75
Malat	0,13	0,04	0,25
Nitrat	0,30	0,05	1,95
Betain	1,68	0,69	2,87
Lösl. Gesamt-N	5,46	1,86	12,87

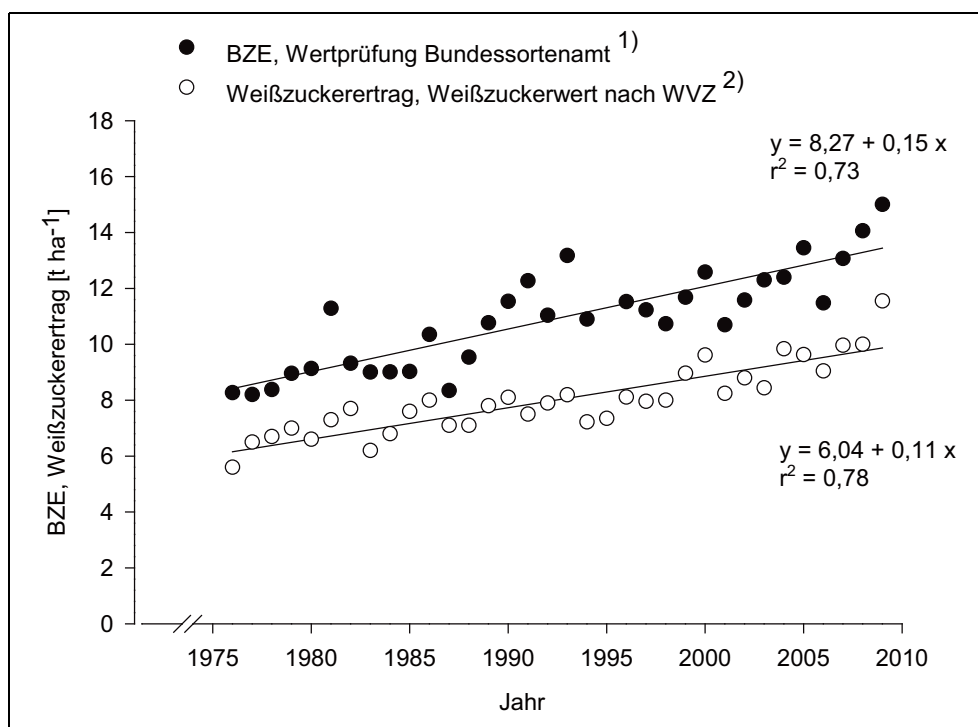


Abb. 4. Bereinigter Zuckerertrag (BZE) der vom Bundessortenamt neu zugelassenen Sorten im Vergleich zum Weißzuckerertrag von 1976–2009, ¹Zulassungsjahre 2004–2008 ohne Sorten mit Nematoden- oder Rhizoctoniatoleranz, ab 2009 mit Nematodentoleranz/-resistenz, aber ohne Rhizoctoniatoleranz, ²tatsächlich erzeugter Zucker (ANONYM, 2010).

(Standort, Witterung) und das Anbaumanagement sowie deren Interaktionen etwa 2/3 und der züchterische Fortschritt etwa 1/3 zur Erhöhung des Bereinigten Zuckerertrages beitragen (LOEL et al., 2010). Die Ertragsbildung wird im Wesentlichen durch einen kontinuierlich steigenden Rübenanbau infolge intensiver Hybridzüchtung erreicht. Der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) erhöhte sich in den neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung des Bundessortenamtes zwischen 1976 und 2007 um etwa 1,4% p. a. (Abb. 4).

8 Rübenernte und Rübenverarbeitung

Der **Rübenkörper** der Zuckerrübe ist ein vegetatives Speicherorgan und setzt sich aus unterschiedlichen Segmenten zusammen, zu deren Unterscheidung die lebenden und abgestorbenen Blattansätze und die beiden seitlichen Wurzelrinnen herangezogen werden. Der Rübenkörper untergliedert sich somit botanisch in den oberen Abschnitt der gestauchten Sprossachse mit lebenden Blattansätzen, den unteren Abschnitt der gestauchten Sprossachse mit abgestorbenen Blattansätzen, das Hypokotyl und die Wurzel mit Wurzelrinne (Abb. 5). Von diesen Segmenten ist nur die obere Sprossachse mit den lebenden Blattansätzen potentiell regenerationsfähig. Tatsächlich kann eine dauerhafte Regeneration einer Pflanze aber nur erfolgen, wenn gleichzeitig zumindest noch Teile der Wurzel mit Wurzelrinne existieren. Der Rübenkörper mit Wurzel, aber ohne lebende Blattansätze, ist dagegen nicht regenerationsfähig. Da diese morphologischen Segmente sich nicht nur äußerlich unterscheiden, sondern auch erhebliche Unterschiede in der Qualität für die Verarbeitung aufweisen, ist in den Bran-

chenvereinbarungen zwischen Zuckerunternehmen und Anbauverbänden festgehalten, dass nur optimal geköpft erntete Rüben in die Zuckerfabrik geliefert werden dürfen.

Je mehr Sprossmaterial mit der Rübe geliefert wird, desto weniger ist das Material für die Zuckergewinnung geeignet, da der Gehalt an Zucker geringer, der Gehalt an Nichtzuckerstoffen jedoch wesentlich höher ist (MAHN und HOFFMANN, 2001; MAHN et al., 2002). Dies führt dazu, dass der Melasseanfall erheblich höher ist, zudem ist der Aufwand zur Gewinnung des Zuckers höher. Aus diesem Grund wird die Rübe bei der Ernte geköpft, dabei wird der Rübenkopf maschinell von der Rübe abgetrennt. Unter Voraussetzung einer optimalen Köpfung entspricht der

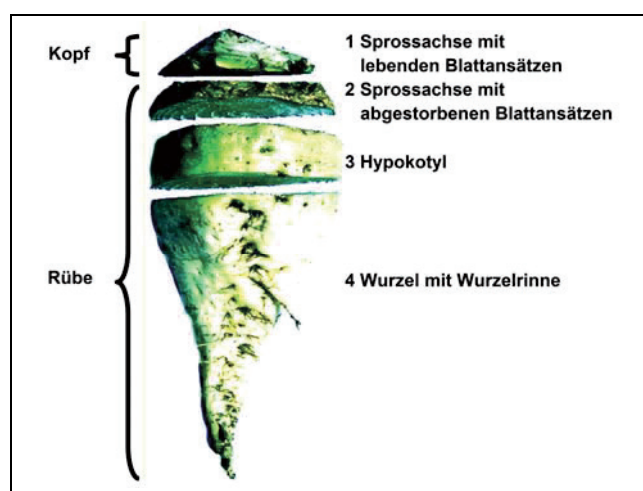


Abb. 5. Morphologische Segmente der Zuckerrübe (MAHN et al., 2002, in Anlehnung an ARTSCHWAGER, 1926)

Rübenkopf etwa dem Abschnitt der oberen Sprossachse mit lebenden Blattansätzen (Abb. 5). Allerdings ist technisch nicht bei jeder Rübe eine optimale Köpfung zu realisieren, so dass ein mehr oder weniger hoher Anteil an zu hoch oder zu tief geköpften Rüben und damit an potentiell regenerationsfähigen Köpfen im Feld verbleibt (Kap. 12). Die geköpften Rüben werden zur Verarbeitung in die Zuckerfabrik transportiert. Zurzeit existieren Bestrebungen, den geernteten Ertrag dadurch zu steigern, dass Zuckerrüben nicht mehr geköpft, sondern lediglich entblättert werden (WULKOW und HOFFMANN, 2011). Dieses Verfahren befindet sich maschinentechnisch noch in der Entwicklung, würde aber dazu führen, dass weniger Anteile der gestauchten Sprossachse auf dem Feld verbleiben.

Das Verfahren der Zuckergewinnung aus Zuckerrüben in **Zuckerfabriken** besteht seit Anfang des 19. Jahrhunderts und wurde seitdem kontinuierlich weiterentwickelt (REINEFELD und THIELECKE, 1984; HARVEY und DUTTON, 1993; VAN DER POEL et al., 1998; OECD, 2002; HOFFMANN, 2006; Abb. 6). In der Zuckerfabrik werden qualitätsbestimmende Werteigenschaften (Zucker-, Kalium-, Natrium-, Amino-N-Gehalt) von jeder Anfuhrcharge (ca. 25 t) bei der Lieferung der Zuckerrüben analysiert und vom Landwirt je Feld ackerbauliche Maßnahmen aufgezeichnet, so dass eine lückenlose **Dokumentation** und **Rückverfolgbarkeit** zum Feld gegeben und vertraglich geregelt ist. Die Rüben werden nach der Entladung und gegebenenfalls nach Zwischenlagerung in der Rübenwäsche gereinigt, wobei Steine, lose Erde und lose Blattreste abgetrennt und anhaftende Erde abgewaschen werden (GUYOT et al., 2003).

Die losen Blattreste werden mit dem Krautfänger aus dem Washwasser entfernt; ferner werden kleinere Rübenbruchstücke über Siebe aus dem Wasser abgetrennt. Beide Fraktionen werden als **Rübenkleinteile** abgepresst, danach entweder frisch als Futtermittel an Landwirte abgegeben oder zur Trocknung den Schnitzeln beigemischt. Auf-

grund der Größe der Siebe sind die Rübenteile zu klein, um regenerationsfähig zu sein.

Die Suspension aus abgewaschener Erde und Wasser enthält, wenn überhaupt, organische Rübenteilchen, die kleiner als 1 mm sind und damit zu klein, um potentiell regenerationsfähig zu sein. Die organische Substanz des Abwassers wird in einer Kläranlage mit Biogasanlage zu CH_4 und CO_2 fermentiert. Die abgewaschene **Rübenerde** wird je nach Standort ein bis drei Jahre, zum Teil unter anaeroben Bedingungen, in Kassetten gelagert, bis sie stichfest ist. Danach wird sie zumeist wieder auf landwirtschaftliche Flächen zurückgeführt oder anderweitig im Stoffkreislauf verwendet, z.B. im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen. Rübenteile sind in dieser Rübenerde nicht mehr vorhanden.

Die Rüben und eventuelle Rübenköpfe werden zur **Zuckergewinnung** in den Schneidmaschinen zu bleistiftstarken Schnitzeln geschnitten und danach mit Rohsaft in der Schnitzelmaische angewärmt. Im Extraktionsturm werden aus den Schnitzeln bei etwa 65–72°C mit heißem Wasser der Zucker und andere lösliche Stoffe über eine Stunde im Gegenstromprinzip extrahiert. Die entzuckerten Schnitzel (Rübenmark) werden danach aus dem Extraktionsturm ausgetragen und weiter in die Schnitzelpressen geleitet. Davon wird je nach Fabrik unterschiedlich ein geringer Teil (5%) als Pressschnitzel an die Landwirte direkt abgegeben, der größere Teil (95%) wird getrocknet und zu Pellets gepresst. Aufgrund der Zerkleinerung und des Einwirkens hoher Temperatur für längere Zeit sind in den Schnitzeln die Zellwände vollständig zerstört, da sich Pektin auflöst (BAOUCH et al., 2004). Insgesamt stellt die Zuckerfabrik ein „geschlossenes System“ dar, so dass eine Ausbreitung regenerationsfähiger Pflanzenreste oder gar schossender Rüben ausgeschlossen werden kann.

Zucker- und Futterrüben werden zunehmend auch in **Biogasanlagen** fermentiert, da sie aufgrund ihres hohen

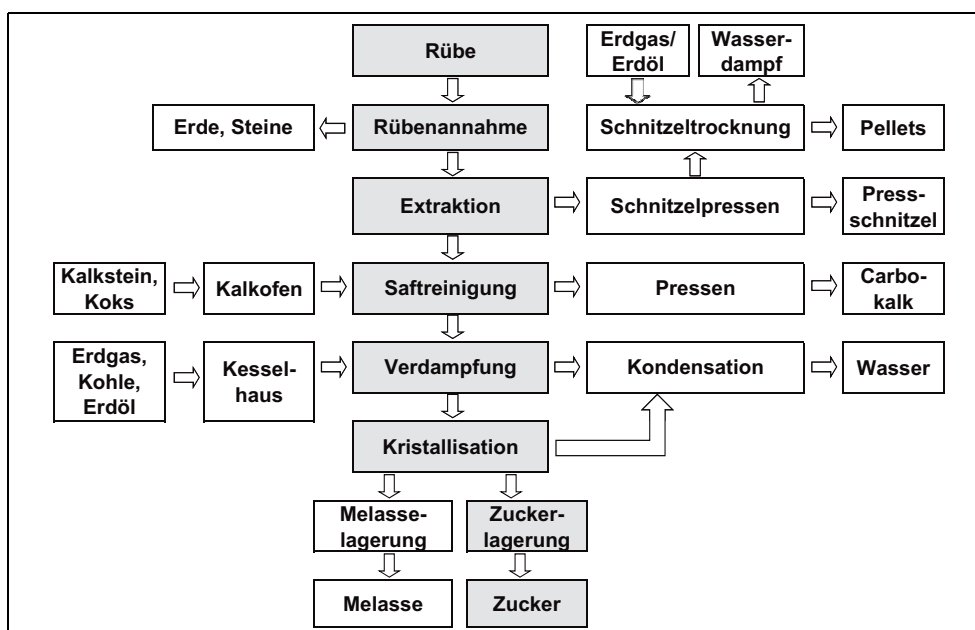


Abb. 6. Schema der Zuckergewinnung in der Zuckerfabrik mit Nebenprodukten

Ertrages und der Zusammensetzung mit einem hohen Anteil an leicht umsetzbaren Kohlenhydraten ein optimales Substrat darstellen (STARKE und HOFFMANN, 2011). Da der Rübenkopf gut fermentierbar ist, werden „Biogasrüben“ zumeist höher geköpft oder nur entblättert, so dass prinzipiell weniger regenerationsfähige Rübenköpfe auf dem Feld verbleiben. Auch für die Verwertung in Biogasanlagen werden die Rüben zunächst gewaschen und zerkleinert. Das gesamte Pflanzenmaterial hat eine Verweilzeit von mehr als 30 Tagen unter anaeroben Bedingungen und wird vollständig zu CH₄ und CO₂ umgesetzt. In den Biogastrückständen sind deshalb keine identifizierbaren und damit regenerationsfähigen Bestandteile von Rüben sowie auch Pathogenen mehr vorhanden (VARRELMANN und SEEBA, 2009).

9 Schosserbildung und Schosserregulierung

Zuckerrüben sind zweijährige Pflanzen, bei denen Schossen und Samenbildung normalerweise erst im zweiten Vegetationsjahr erfolgen (Kap. 4). Die zweijährige Zuckerrübe hat als Langtagpflanze einen Vernalisationsanspruch, der durch die Witterung im Winterhalbjahr in Mitteleuropa stets erfüllt wird. Genetisch bedingt und/oder ausgelöst durch bestimmte Witterungskonstellationen kann die Bildung von **Schossern** jedoch bereits im ersten Vegetationsjahr erfolgen. Unter Schossern versteht man demnach einzelne, im ersten Vegetationsjahr schossende und somit einjährige Pflanzen in einem Zuckerrübenbestand, während blühende Pflanzen in Vermehrungsbeständen Samenträger genannt werden. Schosser können eine unterschiedliche Herkunft haben (Tab. 7).

Bei Kulturrüben ist die **Neigung** zum **Schossen** im ersten Vegetationsjahr auch genetisch bedingt und wird in den Sortenversuchen üblicherweise bewertet. Die Anzahl der Schosser lag in den Sortenleistungsvergleichen 2006–2008 (125 Versuche) für 22 Zuckerrübensorten (ohne Spezialsorten) im Mittel zwischen 0,0% und 0,05% (ANONYM, 2008). Schossfestigkeit ist ein Zuchtziel und

hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht. Weiterhin ist, im Vergleich zu früher angebauten, offen abblühenden Sorten, bei den jetzt angebauten Hybridsorten die Fertilität von Schossern und damit die Keimfähigkeit der Samen geringer, so dass die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Unkrautrüben (Kap. 10) ebenfalls geringer ist.

Voraussetzung für das Schossen bei Kulturrüben sind anhaltend tiefe Temperaturen im Frühjahr, wobei der **Vernalisationsbedarf**, das heißt die Länge der zum Schossen benötigten Phase mit tiefen Temperaturen, genetisch bedingt ist (LEXANDER, 1980). Je nach Sorte und Entwicklungsstadium der Pflanze wird bei Tagesdurchschnittstemperaturen von < 5°C (Schossinduktion geringer) bzw. 5–12°C (Schossinduktion stärker) das Schossen induziert. Temperaturen > 12°C haben keine Wirkung bezüglich der Umsteuerung der Pflanzen in die generative Phase. Bei Pflanzen mit mehr als acht Laubblättern nimmt die Wahrscheinlichkeit der Schossinduktion deutlich ab. Schossen wird darüber hinaus durch Langtagbedingungen (Tageslänge über 12 h) während und 14 Tage nach der Kältephase und in geringerem Ausmaß durch Stress z.B. infolge von Trockenheit, Nässe oder Herbizidbehandlung (BÜRCKY, 1986) gefördert. Dagegen können eine hohe Lichtintensität während der Kältephase und hohe Temperaturen (> 20°C) 14 Tage nach der Kältephase den Schossreiz besonders in kontinentalem Klima wieder aufheben (**Devernalisation**; LONGDEN, 1986). Eine gewisse Schossinduktion kann auch durch ungünstige Witterungskonstellation (kühl und nass) bereits während der Samenreife in Vermehrungsbeständen erfolgen.

Bei der Saatgutvermehrung können Wildrüben oder andere Kulturrüben (z.B. Rote Bete, garden beet group, aus Gärten in der Nähe der Vermehrungsfelder) in Zuckerrüben einkreuzen. Diese Bastarde sind daraufhin im Saatgut enthalten und werden mit den Zuckerrüben ausgesät. Solche Bastardrüben sind zumeist einjährig.

Die Züchtungsunternehmen treffen Maßnahmen zur Verhinderung der Einkreuzung von Wildrüben bei der Vermehrung (Kap. 5), weshalb das Risiko der Entstehung von Schossern aus Bastardrüben gering ist. Außerdem

Tab. 7. Herkunft, schossauslösende Faktoren, Verteilung auf der Fläche und Morphologie von Schossern (verändert nach LEHNERT, 2007; VIARD et al., 2002)

	Schosser aus Kulturrüben	Schosser aus Bastardrüben	Schosser aus Unkrautrüben
Herkunft	Ausgesäte Zuckerrüben	Ausgesäte Zuckerrüben, Einkreuzung von Wild- oder Kulturrüben bei der Saatgutvermehrung	Samen der zuvor geschossten Kultur- und Bastardrüben aus dem Samenvorrat im Boden
Auslöser	Witterung, Genetik	Genetik (kein Vernalisationsanspruch)	Genetik
Verteilung	in der Saatreihe	in der Saatreihe	in und zwischen den Saatreihen
Wuchshöhe	> 1 m	< 90 cm	< 90 cm
Verzweigung	wenig	stark	stark
Stängel	dick	dünn	dünn
Rübenkörper	klein	sehr klein	sehr klein

wird das Saatgut vor dem Inverkehrbringen auf Schosser aus Bastardrüben im Gewächshaus unter Langtagbedingungen geprüft und ggf. werden Saatgutpartien verworfen. Der Test auf sog. *easy bolters*, die nur einen geringen Vernalisationsanspruch haben, erfolgt durch mittelfrühe Aussaat unter schwach vernalisierenden Bedingungen (KWS, 2009). Die **Regulierung von Schossern** kann je nach Besatzdichte von Hand (ziehen, hacken), maschinell (hacken, mähen, schlegeln) oder chemisch erfolgen. Ist der Besatz gering ($< 500 \text{ ha}^{-1}$), können die Schosser relativ einfach von Hand entfernt werden. Dabei werden die Schosser spätestens bei Blühbeginn aus dem Boden gezogen und im Feld belassen, ohne dass sich Samen bilden. Falls die Samenreife bereits begonnen hat, müssen die Schosser vom Feld entfernt werden. Die Bereinigung erfolgt ein- bis dreimal bis etwa Ende Juli (LEHNERT, 2007), da das Schossen über eine längere Zeit erfolgt. Diese Methode der Regulierung der Schosser ist für den Zuckerrübenanbau in Deutschland eine bewährte, einfache, sichere, zumeist kostengünstige Standardmaßnahme mit hohem Wirkungsgrad (annähernd 100%). Bei einem höheren Anteil ($500\text{--}10000 \text{ ha}^{-1}$) an Schossern aus Unkrautrüben, die in und zwischen den Reihen auflaufen, kann die Maschinenhacke im 6-Blattstadium bis zum Reihenschluss ein- bis dreimalig (Auflaufen der Unkrautrüben erfolgt über einen längeren Zeitraum) eingesetzt werden. Auf diese Weise werden allerdings nur die Schosser zwischen den Reihen erfasst, denn Unkrautrüben, die zu dicht an den Zuckerrüben wachsen, werden oftmals nicht entfernt (BUDDMEYER und PETERSEN, 2001). In den Reihen ist deshalb eine zusätzliche Bereinigung von Hand notwendig, die kostenintensiv ist und im Einzelfall infolge niedriger Erlöse pro ha unterlassen wird.

Die **chemische Bekämpfung von Schossern** mit nicht-selektiven Herbiziden kann mit einer speziellen Applikationstechnik erfolgen, welche die Schosser in einer Höhe von 30–80 cm mit dem Wirkstoff bestreicht. Die Wirkung der Behandlung liegt je nach eingesetzter Technik bei 60–90% (LEHNERT, 2007). Ein wesentlicher Nachteil dieser Technik ist, dass Nachbarrüben geschädigt werden können. Die Herbizidbehandlung erfolgt zweimalig im Abstand von acht Tagen. Die Bekämpfung von Schossern in Nachfrüchten ist relativ einfach, da die üblicherweise eingesetzten Herbizide, z.B. Wachstumsstoffe, eine sehr hohe Wirkung selbst auf schon geschosste Unkrautrüben in Getreide haben.

Falls gentechnisch veränderte, **glyphosatolerante Zuckerrüben** zugelassen und angebaut werden, würde sich die Regulierung von Unkrautrüben erheblich vereinfachen. Da durch die gentechnische Veränderung die Wirkung von Glyphosat äußerst selektiv ist, würden die Unkrautrübenpopulationen im Rahmen der normalen Unkrautregulierung mit glyphosathaltigen Herbiziden mit sehr hoher Wirkung und ohne zusätzliche Kosten ebenfalls reguliert (MÄRLÄNDER, 2005; SCHÜTTE et al., 2004). Es ist davon auszugehen, dass dann die Bedeutung von Unkrautrüben drastisch abnimmt, solange nicht durch mangelndes Schossermanagement neue glyphosatolerante Unkrautrübenpopulationen entstehen.

10 Samenbanken und Unkrautrüben

Samen von Schossern von Kultur- und Bastardrüben, die vor der Samenreife nicht entfernt worden sind, fallen aus und gehen in den **Samenvorrat** im Boden (Samenbank) über. Aus diesen Samen können in den folgenden Jahren Unkrautrüben auflaufen, die sowohl in als auch zwischen den Reihen im Kulturpflanzenbestand stehen. Unkrautrüben konkurrieren mit Zuckerrüben um Nährstoffe, Wasser und Licht, wodurch Ertrags- und Qualitätsverluste bei Zuckerrüben auftreten (MAY, 2009). Weiterhin behindern Unkrautrüben und daraus resultierende Schosser die Rübenernte durch die kräftigen, verholzten Stängel, die die Rodeaggregate verstopfen können. Allerdings stellt dies für moderne 6-reihige Erntetechnik keine Behinderung mehr dar. Schließlich können sich bei der Verarbeitung in der Zuckerfabrik durch die faserreichen Schosserrüben Probleme durch schlechte Schneidbarkeit, sehr niedrige technologische Qualität u.a. ergeben.

Unkrautrüben sind aufgrund ihrer Abstammung von im ersten Vegetationsjahr geschossten Kulturrüben nahezu ausschließlich einjährig, das heißt sie schossen im ersten Vegetationsjahr (LIZ, 2009). Ohne Schosserregulierung bilden diese wiederum Samen, die den Samenvorrat im Boden erhöhen. Schossende Unkrautrüben können je Schosser > 1500 Samen bilden. Pro Jahr verlieren etwa die Hälfte dieser Samen ihre Keimfähigkeit. Daher ist nach unzureichender Schosserregulierung in einer Vegetationsperiode der resultierende Samenvorrat im Boden ohne Hinzukommen neuer Samen selbst nach etwa zehn Jahren noch nicht endgültig erschöpft (MAY, 2009).

Die Stärke der Verunkrautung von Feldern durch Unkrautrüben variiert von Feld zu Feld und ist abhängig von der Anzahl der Samen im Boden (SOUKUP et al., 2002). Der Samenvorrat im Boden auf Flächen in Westdeutschland geht vor allem auf Saatgut von Sorten mit einem extrem hohen Anteil von Schossern zurück, die bei der Einführung monogemer Hybridsorten vor mehr als 25 Jahren angebaut wurden und vorher nicht konsequent auf Schossfestigkeit selektiert und getestet worden sind. Anders als in Westdeutschland wurden in der ehemaligen DDR aufgrund von Autarkiebestrebungen Vermehrungen durchgeführt, die auf einzelnen Flächen potentiell zur Erhöhung des Samenvorrates im Boden beitrugen. Gegenwärtig entwickeln sich Schosser aus Kultur- und Bastardrüben aufgrund der konsequenten Züchtung/Vermehrung sowie Kontrolle des Saatguts und in den neuen Bundesländern aufgrund der sehr weiten Fruchtfolge (fünfjährig oder weiter) nur in sehr geringem Umfang. Daher existieren insgesamt in Deutschland nur noch auf weniger als 5% der Anbauflächen **Unkrautrübenpopulationen** (MERKES und LADEWIG, 2000), deren Bedeutung bundesweit wegen kontinuierlicher mechanischer Regulierung stetig abnimmt, im Einzelfall jedoch auch an Bedeutung gewinnt.

Bei anderen Kulturarten, wie z.B. Raps (PEKRUN, 1993), ist das Phänomen der **Dormanz** bekannt, was einen physiologischen Ruhezustand von Samen nach der Reife beschreibt, in dem selbst bei günstigen Umweltbedin-

gungen keine Keimung erfolgt. Die Erfahrung aus Vermehrungen zeigt aber, dass der überwiegende Teil der Samen bei Zuckerrüben sofort nach der Reife bzw. dem Ausfallen keimt, so dass Dormanz zumindest bei Vermehrungssaatgut von Zuckerrüben keine Rolle spielt.

Vergrabene Samen von Schossern keimen jedoch zunächst nicht und können durch **ackerbauliche Maßnahmen**, z.B. Pflügen oder Mulchen, in den Folgejahren in die keimungsrelevante obere Bodenschicht gelangen und dort als Unkrautrüben keimen. Die Keimung dieser Unkrautrüben erfolgt bei günstigen Wetterbedingungen in Abhängigkeit vom Alter der Samen, den Bodeneigenschaften, der Fruchtfolge sowie den Anbau- und Unkrautregulierungsmaßnahmen (SCHWEIZER und MAY, 1993). Die Keimkraft und Konkurrenzfähigkeit samenbürtiger Unkrautrüben ist im Kulturpflanzenbestand (z.B. Zuckerrüben) abhängig vom Zeitpunkt der Bildung der Samenträger der Mutterpflanze und der Anzahl und dem Gewicht der gebildeten Samen (BUDEMEYER und PETERSEN, 2002). Samenbanken und aufgelaufene Unkrautrüben können durch Bodenbearbeitung reguliert werden, wenn die Saatbettbereitung für den Rübenanbau bereits im Herbst erfolgt, nachdem die „erste Welle“ der Unkrautrüben gekeimt ist, und im Frühjahr mit einer zweiten flachen Saatbettbereitung oder der Applikation von Glyphosat vor der Rübenaussaat. Erfolgt dagegen die Saatbettbereitung im Frühjahr, bevor die Unkrautrübensamen keimen, werden die Samen der Unkrautrüben ebenfalls zur Keimung angeregt und laufen zusammen mit dem ausgesäten Saatgut auf, allerdings erheblich unregelmäßiger (JAGGARD, 2001), da ihre Saatgutqualität wesentlich schlechter ist als die von vermehrtem Saatgut.

11 Aus- und Einkreuzung

Aus- und Einkreuzungen bezeichnen eine ungewollte Pollenübertragung (FÉNART et al., 2007) zwischen Vermehrungsbeständen, Schossern von Kulturrüben, Unkrautrüben- und Wildrübenpopulationen. Als Auskreuzung wird dabei bevorzugt ein Genfluss in Wildrübenpopulationen im natürlichen Habitat bezeichnet, während Einkreuzung jedwede Pollenübertragung in Vermehrungsbestände beschreibt.

Voraussetzung für eine Aus- bzw. Einkreuzung ist, dass i) die Arten untereinander kreuzbar sind, ii) entsprechende Individuen oder ganze Populationen in denselben Gebieten vorkommen und iii) ihre Blühperiode zumindest überlappt (VIARD et al., 2004). Nur die Arten des Genpools 1 (Kultur- und Wildformen) sind untereinander kreuzbar (Kap. 2). Aufgrund des geographisch relativ begrenzten Vorkommens der Wildarten *B. v. ssp. adanensis*, *B. macrocarpa* und *B. patula* ist in diesem Kontext nur die Wildart *B. v. ssp. maritima* als potentieller **Kreuzungspartner** von Kulturrüben zu berücksichtigen. Tatsächlich konnten BARTSCH und SCHMIDT (1997) für Populationen in Norditalien zeigen, dass ein Gentransfer über Schosser zwischen Zuckerrüben und *B. v. ssp. maritima* stattfinden kann.

In Kulturrübenbeständen unterscheidet man Fröhsscher, die bis zum 15. Juli auftreten und potentiell die Samenreife erreichen können, und Spätschosser, die nach dem 15. Juli auftreten und bis zur Ernte zwar noch blühen können, in der Regel jedoch nicht ausreifen. Je nach Sorte und Umweltbedingungen beginnt die Blüte der Pflanzen fünf bis sechs Wochen nach dem Schossen und dauert ungefähr vier Wochen. Die Narben bleiben für mehr als zwei Wochen befruchtungsfähig, wodurch die Wahrscheinlichkeit der Windbestäubung und anschließenden Befruchtung relativ hoch ist. Die **Blühperiode** von Zuckerrüben in Mitteleuropa liegt zwischen Juni und August (BAROCKA, 1985); in den Vermehrungsgebieten in Südeuropa beginnt die Blüte entsprechend früher Ende Mai (Kap. 5). Der Blühzeitpunkt von *B. v. ssp. maritima* entspricht etwa dem von Samenträgern aus Vermehrungsbeständen von Kulturrüben. Allerdings ist die Synchronisation der Blühdauer der Einzelpflanzen von *B. v. ssp. maritima* erheblich geringer, da diese im natürlichen Habitat über einen längeren Zeitraum keimen und somit in den entsprechenden Populationen potentiell über einen längeren Zeitraum blühende Einzelpflanzen existieren. Durch die konsequente Selektion auf Schossfestigkeit blühen dagegen die Schosser aus Kulturrübenbeständen, wenn überhaupt, einheitlich relativ spät.

Die Anzahl der Pollen von fertilen Zuckerrüben wird auf > 10 000 je Anthere geschätzt. Bei 10 000 Blüten pro Pflanze sind das > 500 Millionen Pollen pro vollfertiler Pflanze (SCHNEIDER, 1942). Dies entspricht für vollfertile Bestäuber in Vermehrungsbeständen einer Anzahl von etwa 2,5 Billionen Pollen pro ha. Die **Pollenschüttung** erfolgt entsprechend des unterschiedlichen Blühbeginns der Blüten auf der Einzelpflanze von unten nach oben zunächst verhalten, zeigt insbesondere in Vermehrungsbeständen mit hoher Synchronisation des Blühzeitpunktes ein ausgesprochenes Maximum und verringert sich mit zunehmender Dauer der Blütezeit (ALCARAZ et al., 1998; ELLIOTT und WESTON, 1993). Die Pollen einer Blüte weisen eine nahezu einheitliche Größe von ca. 15–27 µm auf, wobei allerdings genotypische Unterschiede bestehen (ARTSCHWAGER, 1933). Der Pollen tetraploider Genotypen ist weniger konkurrenzkräftig als der diploider Genotypen, da die Pollenkörner größer sind und der Pollen weniger leicht aus den Antheren entlassen wird (HECKER, 1988; SCOTT und LONGDEN, 1970); dies hat Bedeutung für die Vermehrung triploider Sorten über tetraploide Bestäuber. Die Anzahl Pollenkörner sowie deren Übertragung schwankt in Abhängigkeit von Standort und Wetter (ALCARAZ et al., 1998; ELLIOTT und WESTON, 1993). Die Lebensdauer der Pollen beträgt maximal 24 Stunden (OECD, 2001) je nach Umweltbedingungen, insbesondere in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit.

Pollen von windbestäubenden Pflanzen kann über größere Distanzen (> 500 m) transportiert werden. LAVIGNE et al. (2002) fanden in Frankreich durch Kulturrüben bestäubte Wildrüben sogar über 1000 m von Vermehrungsbeständen entfernt. Die Menge der durch Wind übertragenen Pollen und damit die Auskreuzungsrate ist abhängig von Windstärke und -richtung (HOYLE und CRESSWELL,

2007; GERDEMANN-KNÖRCK und TEGEDER, 1997). Es gibt verschiedene experimentelle Ansätze zur Bestimmung der Auskreuzungsraten und -distanzen. Einen Überblick geben DARMENCY et al. (2009) (Tab. 8). Allerdings ist ein Vergleich der Auskreuzungsdistanzen, die in verschiedenen Untersuchungen ermittelt wurden, aufgrund unterschiedlicher Versuchsansätze (isolierte bzw. gemischte Pflanzenbestände, Standort und Verbreitung der Pollenspender, natürliche Hindernisse) sowie der Verwendung von heterogenem Pflanzenmaterial (männlich steril, Unkrautrüben, Wildrüben, Wildrübenarten) nur eingeschränkt möglich. Die Übertragung von Merkmalen zwischen Zucker- und Wildrüben erfolgt normalerweise in drei Schritten: (1) Hybridisierung, anschließende (2) Entwicklung und (3) Verbreitung von Bastardrüben. Diese können dabei als indirekte Genüberträger dienen (CUGUEN et al., 2004). Allerdings zeigen Studien von CUGUEN et al. (2004), dass ein Gentransfer von Zucker- (über Unkraut-) zu Wildrüben auch bei für **Pollenübertragung** und Befruchtung günstigen Umständen (gegenseitige Kreuzbarkeit, Pollenübertragung durch den Wind, räumliche Nähe der Standorte) nicht notwendigerweise stattfinden muss. Sie wiesen in ihren Untersuchungen nach, dass Populationen von Zucker-, Wild- und Unkrautrüben, die an Küstenstandorten Südfrankreichs in unmittelbarer Nähe (1–10 km) zueinander wuchsen, genetisch divergent blieben.

Die Erhaltung der genetischen Besonderheiten zwischen den *Beta*-Formen Zucker-, Wild- und Unkrautrübe kann vornehmlich durch deren unterschiedliche Blütezeiten erklärt werden. Früh blühende Schosser aus Unkrautrüben sind daher bezüglich Auskreuzung kritischer zu bewerten als Schosser aus Hybridsorten mit deutlich späterem **Blühzeitpunkt** und verminderter Fertilität. ALIBERT et al. (2003) stellten fest, dass ein Genfluss zwischen den *Beta*-Formen weiterhin erheblich eingeschränkt wird durch die Lage der Zuckerrübenfelder zur Hauptwindrichtung, durch partielle Selbstkompatibilität, das hohe Befruchtungspotential (Pollenschüttung) von *B. v. ssp. maritima* innerhalb der jeweiligen Population sowie durch die räumliche Distanz zwischen den

Vegetationsgebieten der einzelnen *Beta*-Formen. Schließlich hat die Pollendichte, die sich aus der Populationsgröße von Wildrüben beziehungsweise der Anzahl von Schossern aus Kulturrüben/Unkrautrüben ergibt, eine erhebliche Bedeutung für die „innere Isolierung“ insbesondere der Wildrübenpopulationen.

Nach ALIBERT et al. (2003) hat ein möglicher Genfluss zwischen den *Beta*-Formen keine besondere Bedeutung (Invasivität). Genfluss, der eine Übertragung von Genen, Genomen, Chromosomen oder Chromosomsegmenten von einer *Beta*-Form auf die andere darstellt, wurde nur in einem geringen Umfang bei 24 von 803 untersuchten Fällen von CUGUEN et al. (2004) festgestellt. Hierbei wurden vor allem Fremdgenbeimischungen in einer von zehn untersuchten Wildrübenpopulation gefunden, die in unmittelbarer Nähe einer Zuckerrübenpopulation wuchs, die eine große Anzahl von Unkrautrüben im Bestand aufwies. Diese Situation, in der die *Beta*-Formen miteinander auf demselben Feld bzw. in benachbarten Feldern/Arealen wachsen, ist sehr selten. Dann könnte allerdings eine genetische Anpassung der *Beta*-Formen durch **spezifische Hybridisierung** erfolgen und das betroffene Gebiet zunehmend von Bastardrüben besiedelt werden, sofern entsprechende Wetterbedingungen die Pollenausbreitung begünstigen. Diese Möglichkeit des Genflusses auf lokaler Ebene zwischen den *Beta*-Formen muss nach Angaben von CUGUEN et al. (2004) zukünftig genauer bezüglich ihres invasiven Charakters beachtet werden, wobei die relative Fitness der hybridisierten Pflanzen bisher unbekannt ist.

12 Regeneration vegetativer Pflanzenteile

Die Rübe als Erntegut ist ein vegetatives Organ, das in Teilen oder ganz, wenn es dem Verwendungszweck nicht zugeführt wird, grundsätzlich vegetativ regenerationsfähig ist. Beim Anbau von Kulturrüben kann es deshalb neben einem Genfluss über Pollen grundsätzlich auch zu einer **Überdauerung** von **vegetativen Pflanzenteilen** über die Vegetationsperiode hinaus kommen. Nach Ver-

Tab. 8. Pollenflug bei Zuckerrüben (verändert nach DARMENCY et al., 2009)

Entfernung [m]	Maximale Auskreuzungsrate	Referenz
10–200	2,1% bei 200 m	ALIBERT et al. (2005)
30–606	0,3% bei 606 m	ARCHIMOWITSCH (1949)
0,2–23	0,07% bei 19 m	BATEMAN (1947)
25–75	8% bei 75 m	BRANTS et al. (1992)
0–30	0,1% bei 30 m	DARK (1971)
6–300	1,3% bei 280 m	DARMENCY et al. (2007)
9–75	0,3% bei 75 m	MADSEN (1994)
10–300	40% bei 200 m	SAEGLITZ et al. (2000)
1–15	10% bei 10 m	STEWART und CAMPBELL (1952)
3–15	12% bei 15 m	VIGOUROUX et al. (1999)

nalisation über Winter sind die Pflanzenteile grundsätzlich in der Lage, in die generative Phase überzugehen und über die anschließende Blüte einen Genfluss zu ermöglichen. Ganz im Gegensatz zu Schossern aus Kultur- und Unkrautrüben (überwiegend einjährig), überträgt das vegetativ überdauernde Pflanzenmaterial, sobald es blüht, genetisch Schossfestigkeit. Grundsätzlich könnten vegetative Pflanzenteile auch aus dem ersten Jahr in Vermehrungsbeständen im ungeschossten Zustand (Trotzer) überdauern, jedoch existiert aufgrund des äußerst gezielten Vermehrungsmanagements durch die Züchtungsunternehmen diese Form der Überdauerung mit späterer, ungewollter Blüte nicht.

Verbleiben kleine Rüben oder potentiell regenerationsfähige Segmente des Rübenkörpers nach der Ernte im Boden oder auf dem Feld, so ist deren Überdauerung in Abhängigkeit von der Art und Größe, Ablagetiefe im Boden, Überlebensraten, dem Wiederaustrieb sowie den Kultur- und Anbaumaßnahmen der Folgefrucht möglich (ELLIOT und WESTON, 1993; BUDDEMEYER und PETERSEN, 2002). Der Wiederaustrieb und die Entwicklung des **vegetativen Durchwuchses** beginnt normalerweise im Frühjahr früher als die Entwicklung der Pflanzen der angebauten Kultur, da der Konkurrenzdruck geringer ist und nach vegetativer Überdauerung größere Nährstoffreserven vorhanden sind als bei Samen von Kulturrüben. Buddemeyer und Petersen (2002) konnten zeigen, dass mit zunehmender Arbeitstiefe beim Anbau der Folgefrucht zeitlich verzögert weniger Durchwuchs austreibt. Daraus ergibt sich, dass durch spezifische ackerbauliche Maßnahmen, wie z.B. tiefes Pflügen und damit einem Vergraben der Pflanzenreste, ein gezieltes Management des Durchwuchses möglich ist.

Rückstände kleiner Rüben und Rübensegmente im Feld entstehen vorwiegend beim **Roden** der Rüben und bei der Übergabe an die Reinigungsorgane, beim Reinigen in der Erntemaschine und beim Entleeren des Bunkers im Freiland. Rodeverluste entstehen durch zu flach eingestellte Schare, wobei es besonders unter trockenen Erntebedingungen an Erdstrom fehlt, der die Rüben zum Aufnahme- und Reinigungsorgan leitet. Die Reinigung erfolgt je nach verwendeter Erntetechnik z.B. durch Wendewalzen, Siebband und Siebsterne. Werden die Rüben bei der Reinigung großen Krafteinwirkungen ausgesetzt, steigen die Bruchverluste. Abgebrochene Rübenstücke sind jedoch nur im Ausnahmefall vermehrungsfähig. Dagegen treten **Verluste an kleinen Rüben** dort auf, wo die Abstände zwischen Leitrosten und Siebsterne zu groß sind. BAVOROVÁ (2001) stellte fest, dass der Anteil kleiner Rüben von der Bestandesdichte abhängig ist, wobei mit zunehmender Bestandesdichte der Anteil an kleinen Rüben mit einem maximalen Durchmesser von < 9 cm ansteigt. Die dafür erforderlichen Bestandesdichten von > 100 000 Pflanzen pro ha sind jedoch in der Praxis nicht üblich. Dagegen können kleine Rüben vor allem durch ein ungleichmäßiges Auflaufen der Kulturrübenbestände im Frühjahr entstehen, wenn früh aufgelaufene, größere Rüben ihre später aufgelaufenen kleineren Nachbarn unterdrücken (BÜCHSE, 1999). Der Verlust

an kleinen Rüben in der Erntemaschine kann verringert werden, indem die Einstellung optimal an den Pflanzenbestand angepasst wird. Eine optimale Rodegeschwindigkeit trägt außerdem dazu bei, den Anteil nicht optimal geköpfter Rüben zu verringern (BAVOROVÁ, 2001). Rüben, die zu hoch geköpft werden, können Blattstiele und Blattknospen am Rübenkörper behalten. Bei Rüben, die zu tief geköpft werden, besteht die Möglichkeit, dass regenerationsfähige Segmente auf dem Feld verbleiben, wobei deren Anteil an der Gesamternte relativ gering ist (BAVOROVÁ, 2001). Zusammenfassend gewährleisten an die Erntebedingungen angepasste Fahrgeschwindigkeiten sowie sorgfältige und individuelle Einstellungen des Roders geringe Ernteverluste bei Zuckerrüben und damit eine geringe Gefahr von vegetativem Durchwuchs.

Die Zuckerrüben werden nach der Ernte etwa je zur Hälfte direkt in die Fabrik transportiert oder mehr oder weniger lange zwischengelagert. Diese Lagerung erfolgt in Deutschland ausnahmslos auf dem Feld. An diesen Stellen am Feldrand verbleiben deshalb verstärkt Rübenstücke und -bruchstücke. Eine Verfrachtung von Rübenstücken aus dem Feld auf Feldränder oder in Gräben kann während der **Verladung** und dem gleichzeitigen Abreinigen von Boden erfolgen, wenn Rübenmieten aus den Feldern auf Transporteinheiten auf Feldwegen übergeladen werden. Durch eine ordnungsgemäße Rückführung der Rübenbruchstücke und kleinen Rüben zurück auf die Felder und anschließendes Management entsprechend der Ernteverluste im Feld kann diese Möglichkeit einer Ausbreitung wirksam verhindert werden.

Das Management des regenerationsfähigen Durchwuchses von Kulturrüben zur sicheren Verhinderung der Blüte ist durch Anbaumaßnahmen in der **Nachfrucht** einfach zu gestalten. Da ein Anbau von Zuckerrüben nach Zuckerrüben nicht existiert, sondern Winterweizen oder eine Sommerung, z.B. Mais oder Kartoffeln, nach Zuckerrüben angebaut werden, kann durch die Anwendung von Herbiziden im konventionellen Landbau oder mechanische Unkrautregulierung im ökologischen Landbau eine sichere Bekämpfung des regenerativen Durchwuchses von Zuckerrüben gewährleistet werden.

13 Ausbreitung durch Mensch, Tier und Umweltfaktoren

Die Saatgutvermehrung und Verarbeitung von Zuckerrüben erfolgen in „geschlossenen Systemen“. Deshalb beschränkt sich eine unbeabsichtigte, nicht kontrollierbare Ausbreitung von Pollen, Samen oder vegetativen Pflanzenteilen (z.B. durch Bodenerosion, Wildschäden oder Ernte- und Transportverluste) auf den Anbau von Zuckerrüben. Die Aussaat von Zuckerrüben erfolgt in Europa ausschließlich mit pilliertem Saatgut, wobei die fachgerechte Befüllung und Entleerung der Einzelkornsämaschinen **Saatgutverluste** verhindert. Das Saatgut wird etwa 2 cm tief abgelegt und mit Boden bedeckt. Die Bodenbedeckung sämtlicher Saatkörner ist zur Wasseraufnahme des Saatgutes und der Keimung jeder Einzelpflanze sowie als gute fachliche Praxis zum Vogelschutz

erforderlich. Eine gleichmäßige Entwicklung der Einzelpflanzen sowie des Bestandes werden gewährleistet und sind für die Optimierung von Ertrag und Qualität erforderlich. Die Aussaat ist technisch und pflanzenbaulich insgesamt sehr ausgereift. Das Saatgut hat aufgrund der hoch technologisierten Saatgutaufbereitung eine Keimfähigkeit (potentielle Lebensfähigkeit, Labor) von > 95%, der Feldaufgang liegt bei nahezu 90% (ANONYM, 2008). Die während des Feldaufgangs nicht gekeimten Samen laufen auch im Verlauf der Vegetationsperiode nicht auf, da sie unter den spezifischen Umweltbedingungen im Feld nicht lebensfähig sind.

Verluste an Saatgut, das noch nicht gekeimt ist, können z.B. durch **Mäusefraß** oder **Erosion** erfolgen. Vogel- und Mäusefraß ist dagegen bei sachgerechter Aussaat (s.o.) auszuschließen. Mäusefraß tritt insbesondere auf, wenn nach der Aussaat kein Niederschlag fällt. Die Mäuse sind dann in der Lage, das Saatgut durch die lockere Bodenschicht zu orten, auszugraben und den regenerationsfähigen Keimling zu fressen (DEWAR und COOKE, 2006). Durch Wassererosion kann jedoch sofort nach der Aussaat eine Verfrachtung von Saatgut erfolgen. Wassererosion kann durch konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat sehr gut kontrolliert werden (HENRIKSSON und HÅKANSSON, 1993; MESSEAN et al., 2006), so dass der Bodenabtrag äußerst gering ist (Abb. 7). Konservierende Bodenbearbeitung ist in Regionen mit Erosionsgefährdung Standard und erfolgt aus wirtschaftlichen Gründen sogar auf etwa 40% der gesamten Anbaufläche (MERKES et al., 2003; LADEWIG, 2008). Zusätzlich dürften die neuen Regelungen zum Erosionsschutz im Rahmen von Cross Compliance durch die Verpflichtung zur Mulchsaat auf Flächen mit hoher Erosionsgefährdung (CCWasser2, DIREKTZAHLVERPFLV, 2009) das Auftreten von Erosion weiter senken und das Risiko der Verfrachtung von Saatgut durch Wassererosion sehr gering halten. Aufgrund der hohen Masse ist eine Verfrachtung von Saatgut durch Wind nicht möglich.

Der Keimling und die junge Zuckerrübenpflanze bis etwa BBCH 14/16 (Kap. 4) sind aufgrund der geringen Größe und Widerstandsfähigkeit sehr anfällig für mechanische Beschädigungen. Ein Freilegen dieser Pflanzen durch Erosion oder ein Fraß durch z.B. Hasen führt deshalb zum Absterben der Pflanzen (RIECKMANN und STECK, 1995; BÖRNER, 1971). Die Überlebensfähigkeit der Einzelpflanzen steigt im Verlauf der Vegetationsperiode mit einsetzender Rübenbildung, allerdings nimmt proportional auch die Wahrscheinlichkeit einer Verfrachtung der Pflanzen durch Wassererosion ab, die etwa ab BBCH 16/18 kaum noch möglich ist. Durch Winderosion erfolgt keine Ausbreitung von regenerationsfähigen Einzelpflanzen, da diese auf sandigen Böden entweder unbeschädigt bleiben oder durch die vom Wind ausgeblasenen Sandkörner über der Bodenoberfläche mehr oder weniger abgeschnitten werden. Bis zur Ernte können Einzelpflanzen durch **Hasen**, **Kaninchen**, **Wildschweine** u.a. gefressen werden, wobei davon auszugehen ist, dass aufgrund der hohen Schmackhaftigkeit bevorzugt die Rübenköpfe und der obere Teil der Speicherwurzel, das heißt die regenerationsfähigen Pflanzenteile, verzehrt werden.

Rübenbruchstücke stellen nach der Ernte und bei Mulchsaatverfahren mit Verbleib der Erntereste auf der Bodenoberfläche eine hervorragende **Futtergrundlage** z.B. für in Mitteleuropa überwinternde Wildgänse u.a. dar. Eine Verschleppung von Pflanzenteilen aus dem Feld ist bisher nicht beschrieben worden, zumal, wie oben aufgeführt, von einem bevorzugten Verzehr gerade der regenerationsfähigen Teile der Zuckerrübe ausgegangen werden kann. Das Absammeln von Zuckerrüben durch Menschen zur Herstellung von Sirup hat keine Bedeutung mehr und würde mit einer sicheren Verhinderung der Regenerationsfähigkeit verbunden sein.

Der **Transport** von Zuckerrüben zur Zuckerfabrik erfolgt nahezu ausschließlich mit LKWs oder großen

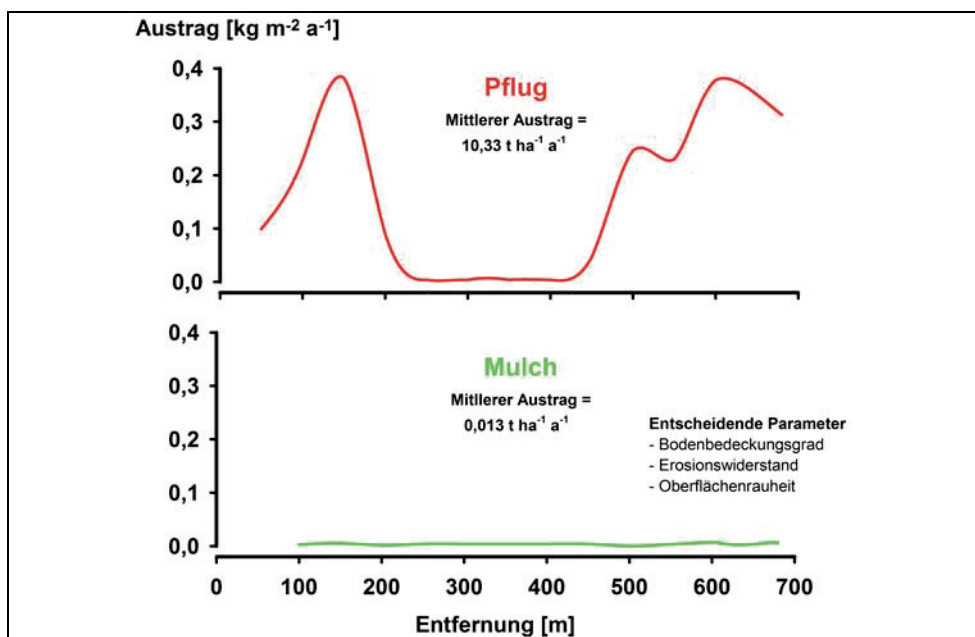


Abb. 7. Feststoffaustrag unter Zuckerrüben Simulation mit EROSION 2D/3D (WEGENER, 2001)

Anhängern mit einer Nutzlast von etwa 25 t je Anfuhr. Bei ordnungsgemäßer Verladung und Sicherung des Transportgutes entsprechend StVO kann ein Verlust von Rüben während des Transportes sicher verhindert werden.

14 Das Ausbreitungspotenzial der Zuckerrübe – eine abschließende Bewertung

Die **Züchtung** von Zuckerrüben erfolgt europaweit in nur wenigen Zuchtstationen, in denen aus zuchtmethodischer Sicht eine höchstmögliche Isolierung gegen Einkreuzung jedweder Art durch die Züchtungsunternehmen sichergestellt wird. Dies schließt die Erzeugung von Vorstufen- und Basissaatgut ein. Die **Vermehrung** von zertifiziertem Saatgut erfolgt ausschließlich in der Verantwortung der Züchtungsunternehmen auf nur wenigen 1000 ha Fläche, die zur systematischen Isolierung gegen Einkreuzungen räumlich auf nur wenige Gebiete in Norditalien und Südfrankreich konzentriert sind. In diesen Gebieten erfolgt weder ein paralleler Rübenanbau noch existieren Wildrübenpopulationen von *B. v. ssp. maritima*; mögliche Einkreuzungen aus generativen Pflanzen gartenbaulich genutzter Kulturrüben werden durch konsequente Kontrolle der Nachbarflächen unterbunden. Eine Ausbreitung von vegetativem Pflanzenmaterial (z.B. Stecklinge) sowie das Management des Ausfallsaatgutes unterliegen strengster Kontrolle. Nur so können die Züchtungsunternehmen qualitativ hochwertiges Saatgut einschließlich einer für das Ausbreitungspotenzial besonders wichtigen, vermehrungsbedingten geringen Neigung zum Schossen garantieren. Nach der Ernte wird das Saatgut unverzüglich an die wenigen regionalen und danach zentralen, hoch leistungsfähigen Aufbereitungsanlagen der Züchtungsunternehmen geliefert. Ab diesem Zeitpunkt kann deshalb für sämtliche weitere Prozessschritte der **Saatgutaufbereitung** und Konfektionierung bis zur Anlieferung des Saatgutes an den Landwirt in verschlossenen Verpackungen von einem „**geschlossenen System**“ ausgegangen werden (Abb. 8).

Der Anbau von Zuckerrüben erfolgt klar abgegrenzt auf Feldern, anschließend erfolgt der **Transport** in die Zuckerfabrik, bei dem durch sachgerechte Verladung Verluste ausgeschlossen werden können. In der **Zuckerfabrik** werden die Zuckerrüben zerkleinert und bei hohen Temperaturen extrahiert (Abb. 8), so dass regenerationsfähige Pflanzenteile nicht mehr existieren. Die vor Beginn des Fabrikationsprozesses abgereinigten Rübenkleinteile sind ebenfalls nicht mehr regenerationsfähig, so dass die Zuckerfabrik im Sinne einer Ausbreitung ebenfalls ein „**geschlossenes System**“ ist. Eine unbeabsichtigte Ausbreitung von Zuckerrüben beschränkt sich deshalb auf den Anbau im Feld.

Eine **Ausbreitung** von **Samen** kann während der Aussaat durch ordnungsgemäße Handhabung sowie von Aussaat bis Keimung durch konservierende Bodenbearbeitung (Erosionsschutz) sicher verhindert werden und hat daher keine Bedeutung (Abb. 8). Werden kleine Zuckerrüben

aus dem Boden entfernt, sind sie kaum überlebensfähig. Mit zunehmender Größe steigt die Fitness an, die Wahrscheinlichkeit einer Verfrachtung nimmt jedoch entsprechend ab (z.B. durch Erosion). **Wildschäden** führen bis zur Ernte durch Verzehr zur Vernichtung der Pflanzen. Während der Ernte verbleiben Rübenbruchstücke und kleine Rüben auf dem Feld, die potentiell regenerationsfähig sein können und in vielen Regionen über Winter eine ökologisch überaus wertvolle Futtergrundlage für Wildtiere sind. Ein Ausbreitungspotenzial ist dadurch nicht gegeben. Wenn trotzdem vegetativer Durchwuchs entsteht, kann dieser in der Nachfrucht durch gezielte Bodenbearbeitung vor der Aussaat oder die Applikation üblicher Herbizide (im ökologischen Landbau mechanische Bereinigung) sicher verhindert werden. Bei der Verladung nach der Ernte kann eine Verfrachtung von Rübenbruchstücken und **kleinen Rüben** aus den Feldern in direkt benachbarte Areale erfolgen. Durch ordnungsgemäßes Management kann eine Ausbreitung sicher verhindert werden.

Eine Verbreitung von Genen aus der Zuckerrübe in Wildrüben und andere Kulturformen des Taxon *Beta* kann potentiell nur über **Pollenflug** erfolgen. Pollenflug setzt blühende Zuckerrüben voraus, die sich entweder aus überwinterten **regenerationsfähigen vegetativen Pflanzenteile** entwickeln, **Schosser** aus dem gesäten Saatgut sind oder aus einjährigen Unkrautrüben stammen. Bei modernen Hybridsorten ist eine hohe Schossfestigkeit gegeben. Wenn trotzdem Schosser auftreten, kann die notwendige Bereinigung vollständig durch mechanische Maßnahmen erfolgen. Schossende **Unkrautrüben** können ebenfalls mechanisch und – mit Einschränkung – auch durch selektive Herbizide in Zuckerrüben kontrolliert werden. Die Bedeutung von Unkrautrüben nimmt in der Praxis aufgrund kontinuierlicher Bekämpfung generell ab, jedoch im Einzelfall durchaus auch zu. Der Anbau gentechnisch veränderter, herbizidtoleranter Zuckerrüben würde gezielt und ohne zusätzlichen Aufwand die Bekämpfung erheblich vereinfachen. Können blühende Unkrautrüben nicht ausgeschlossen werden, ist eine Auskreuzung in Wildrübenpopulationen durch räumliche Trennung zu Produktionsfeldern leicht zu verhindern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die spezifische Biologie, Anbauorganisation und Nutzung von Zuckerrüben das Ausbreitungspotenzial sowohl generativ über Pollenflug als auch vegetativ über regenerationsfähige Pflanzenteile bei ordnungsgemäßem Anbau nicht existiert oder äußerst gering ist. Wenn blühende Unkrautrübenpopulationen nicht verhindert werden können, ist eine räumliche Isolierung des Zuckerrübenanbaus zu Wildrübenpopulationen zur Verhinderung der Auskreuzung und Erhaltung der genetischen Divergenz erforderlich. Das für die Züchtung und Vermehrung von Zuckerrüben notwendige Management einschließlich Isolierung zu Wildrübenpopulationen und Verhinderung von Einkreuzung aus anderen Kulturrüben liegt in höchster Eigenverantwortung der Züchtungsunternehmen.

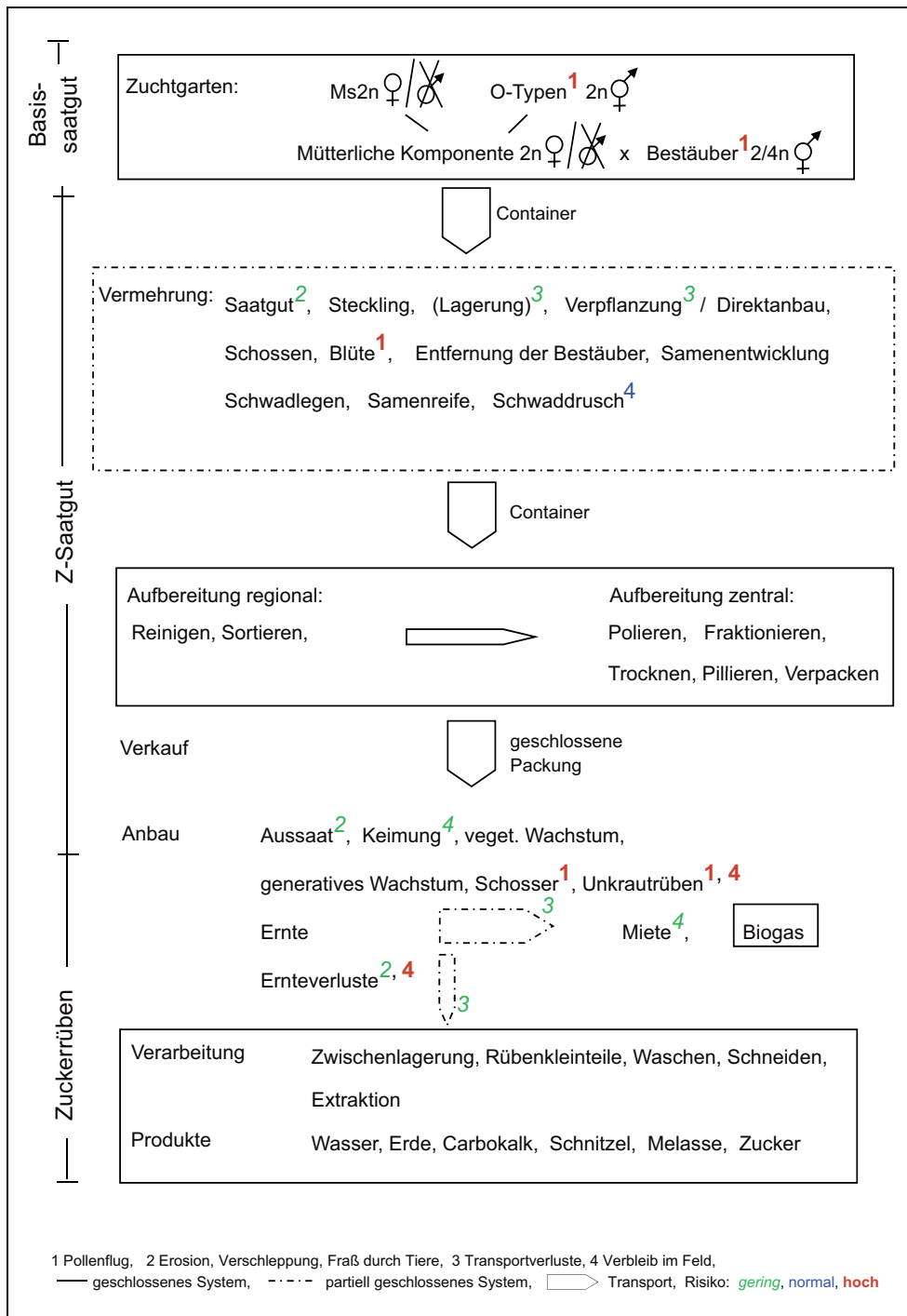


Abb. 8. Ablaufschema Verluste während der Vermehrung, dem Anbau und der Verarbeitung von Zuckerrüben (verändert nach MESSAN et al., 2006)

Danksagung/Acknowledgement

„Das dieser Veröffentlichung zu Grunde liegende wissenschaftliche Gutachten wurde im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.“

Den Gutachtern des Manuskripts sei für die ausgesprochen fundierten und hilfreichen Kommentare insbesondere zur Taxonomie ausdrücklich gedankt. Die Autoren danken aus dem Institut für Zuckerrübenforschung C. Hoffmann, H.-J. Koch, E. Ladewig und M. Varrelmann für kritische Anmerkungen zu einzelnen Kapiteln sowie

C. Kenter und S. v. Tiedemann für die textliche Überarbeitung des Entwurfs. Weiteren Fachkollegen sei für Hinweise und Anregungen zur Verbesserung des Manuskripts gedankt.

Literatur

ABE, J., C. TSUDA, 1987: Genetic analysis for isozyme variation in the section *Vulgares*, genus *Beta*. *Jpn J. Breed.* **37**, 253-261.
 ALCARAZ, G., T. GEUTER, G. LAILLET, D. RAGEOT, 1998: Sugar beet pollen biology. *Proc. 61th IIRB Congress, Brussels*, pp. 393-399.

- ALIBERT, B., H. SELLIER, A. SOUVRE, 2003: Flux de gènes entre la betterave sucrière GM et les betteraves rudérales dans les conditions de la production de semences au champ. Proc. 66th IIRB Congress, Brussels.
- ALIBERT, B., H. SELLIER, A. SOUVRE, 2005: A combined method to study gene flow from cultivated sugar beet to ruderal beets in the glass-house and open field. Eur. J. Agron. **23**, 195-208.
- ANONYM, 2008: Koordinierte Versuche Zuckerrüben 2008 in Deutschland. Ergebnisse der regionalen Arbeitsgemeinschaften, zusammengestellt vom Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen.
- ANONYM, 2010: Koordinierte Versuche Zuckerrüben 2010 in Deutschland. Ergebnisse der regionalen Arbeitsgemeinschaften, zusammengestellt vom Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen 1-211.
- ARCHIMOWITSCH, A., 1949: Control of pollination in sugarbeet. Bot. Rev. **15**, 613-628.
- ARTSCHWAGER, E., 1926: Anatomy of vegetative organs of the sugar beet. J. Agric. Res. **33**, 143-176.
- ARTSCHWAGER, E., 1933: The time factor in fertilization and embryo development in the sugar beet. J. Agric. Res. **47**, 823-843.
- BAOUCH, A., M. EL AMRANI, K. FARES, C. GHOUAM, Q. R'ZINA, M. CREPEAU, J. THIBAUT, 2004: Behaviour of phenolic acids associated with cell wall polysaccharides during sugar beet processing. Int. Sugar J. **106**, 69-72.
- BAROCKA, K.H., 1985: Zucker- und Futterrüben (*Beta vulgaris* L.). In: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, HOFFMANN, W., A. MUDRA, W. PLARRE (Hrsg.), Berlin und Hamburg, Paul Parey, 245-285.
- BARTSCH, D., M. SCHMIDT, 1997: Influence of sugar beet breeding on populations of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* in Italy. J. Veget. Sci. **8**, 81-84.
- BARTSCH, D., M. LEHNEN, J. CLEGG, M. POHL-ORF, I. SCHUPHAN, N.C. ELLSTRAND, 1999: Impact of gene flow from cultivated beet on genetic diversity of wild sea beet populations. Mol. Ecol. **8**, 1733-1741.
- BATEMAN, A.J., 1947: Contamination of seed crops II: Wind pollination. Heredity **1**, 235-246.
- BAVOROVÁ, M., 2001: Einfluss von Bestandesdichte, Pflanzenverteilung und Rodegeschwindigkeit auf die Qualität der Zuckerrüben-ernte. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- BLAKESLEE, A.F., A. AVERY, 1937: Methods of introducing doubling of chromosomes in plants. J. Heredity **28**, 393-411.
- BÖRNER, H., 1971: Pflanzenkrankheiten und -schutz 2. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- BORNSCHUEER, E., K. MEYERHOLZ, K.H. WUNDERLICH, 1993: Seed production and quality. In: The sugar beet crop: Science into practice, COOKE, D.A., R.K. SCOTT (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 120-155.
- BOSEMARK, N.O., 1993: Genetics and breeding. In: The sugar beet crop: Science into practice, COOKE, D.A., R. K. SCOTT (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 66-119.
- BOUDRY, P., M. MÖRCHEN, P. SAUMITOU-LAPARDE, P. VERNET, H. VAN DIJK, 1993: The origin and evolution of weed beets: consequences for the breeding and release of herbicide-resistant transgenic sugar beets. Theor. Appl. Genet. **87**, 471-478.
- BRAMWELL, D., Z. BRAMWELL, 1974: Wild flowers of the Canary Islands. Cheltenham, UK, Stanley Thornes Ltd.
- BRANTS, I., A. BUCHTER-LARSEN, S. WATERS, 1992: Safety assessment of the deliberate release of genetically modified sugar beet. Annual report BRIDGE European Council project CT-910298.
- BSA (BUNDESSORTENAMT), 2005: Richtlinien für die Prüfung der Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit von Zuckerrüben.
- BSA (BUNDESSORTENAMT), 2008: Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln).
- BUCHHOLZ, K., B. MÄRLÄNDER, H. PUKE, H. GLATTKOWSKI, K. THIELECKE, 1995: Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerind. **120**, 113-121.
- BÜCHSE, A., 1999: Bedeutung und Ursachen von Nachbarschaftseffekten in Sortenversuchen bei Zuckerrüben. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- BUDDEMEYER, J., J. PETERSEN, 2001: Untersuchungen zur Populationsdynamik von Unkrautrüben – Unkrautrübensamenproduktion in der Folgekultur. Mitt. Deut. Phytomedizinische Ges. Nr. 4, 43-44.
- BUDDEMEYER, J., J. PETERSEN, 2002: Reproduction potential of seed-borne weed beet and sugar beet harvest residues. Proc. 65th IIRB Congress, Brussels, pp. 407-412.
- BÜRCKY, K., 1986: Ertrag und Qualität von Zuckerrüben bei unterschiedlichem Anteil an Schossern im Bestand. Zuckerind. **111**, 862-867.
- BUTTLER, K., 1977: Revision von *Beta* Sektion *Corollinae* (*Chenopodiaceae*). I. Selbststerile Basisarten. Mitt. Botanik München **13**, 255-336.
- CIFA (CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY), 2002: Biology Document Bio2002-01: The biology of *Beta vulgaris* L. (sugar beet). <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/dir/bio0201e.shtml>.
- CUGUEN, J., J.F. ARNAUD, M. DELESCLUSE, F. VIARD, 2004: Gene flow within the *Beta* species complex: genetic diversity of weed and wild sea beet populations within the French sugar beet production area. Proc. 67th IIRB Congress, Brussels, pp. 135-149.
- DARK, O.S., 1971: Experiments on the cross-pollination of sugar beet in the field. J. Natl. Inst. Agric. Bot. **12**, 242-266.
- DARMENCY, H., Y. VIGOUROUX, T.G. GESTAT DE GARANBÉ, M. RICHARD-MOLARD, C. MUCHEMBLED, 2007: Transgene escape in sugar beet production fields: data from six years farm scale monitoring. Environ. Biosafety Res. **6**, 197-206.
- DARMENCY, H., E.K. KLEIN, T.G. GESTAT DE GARANBÉ, P.H. GOUYON, M. RICHARD-MOLARD, C. MUCHEMBLED, 2009: Pollen dispersal in sugar beet production fields. Theor. Appl. Genet. **118**, 1083-1092.
- DEWAR, A.M., D.A. COOKE, 2006: Pests. In: Sugar beet, Draycott, A.P. (ed.), Blackwell Publishing, pp. 316-358.
- DEWAR, A.M., M.J. MAY, I.P. WOJWOD, L.A. HAYLOCK, G.T. CHAMPION, B.H. GARNER, R.J.N. SANDS, A. QI, J.D. PIDGEON, 2003: A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. P. Roy. Soc. Lond. B. Bio. **270**, 335-340.
- DIREKTZAHLVERPFLV, 2009: Direktzahlungen – Verpflichtungsverordnung vom 04. November 2004 (BGBl. I S. 2778), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 19. Februar 2009 (BGBl. I S. 395).
- DRIESSEN, S., 2003: *Beta vulgaris* ssp. *maritima* an Deutschlands Ostseeküste; Kartierung, genetische und physiologische Charakterisierung und ihre Rolle als Kreuzungspartner für transgene Zuckerrüben. Dissertation Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, <http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=971103690>.
- DRIESSEN, S., M. POHL, D. BARTSCH, 2001: RAPD-PCR analysis of the genetic origin of sea beet (*Beta vulgaris* ssp. *maritima*) at Germany's Baltic Sea coast. Basic. Appl. Ecol. **2**, 341-349.
- DUCOS, E., P. TOUZET, P. SAUMITOU-LAPARDE, P. VERNET, J. CUGUEN, 2001: Nuclear effect on mitochondrial protein expression of the CMS Owen cytoplasm in sugar beet. Theor. Appl. Genet. **102**, 1299-1304.
- EFSA, 2008: Application for authorization of H7-1 sugar beet for cultivation and associated uses in the European Union according to Regulation (EC) No 1829/2003 on genetically modified food and feed. AZ/Application Number: EFSA-GMO-DE-2008-63. <http://registerofquestions.efsa.europa.eu/roqFrontend/questionLoader?question=EFSA-Q-2008-782>, verifiziert 19.09.2011.
- ELLIOTT, M.C., G.D. WESTON, 1993: Biology and physiology of the sugar beet plant. In: The sugar beet crop: Science into practice, Cooke, D.A., R.K. Scott (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 37-66.
- FÉNART, S., F. AUSTERLITZ, J. CUGUEN, J.F. ARNAUD, 2007: Long distance pollen-mediated gene flow at a landscape level: the weed beet as a case study. Mol. Ecol. **16**, 3801-3813.
- FRESE, L., 1998: Praktisches Genpoolmanagement bei einem Fremdbefruchter – Zuckerrüben und verwandte Wildarten. Schriften zu genetischen Ressourcen, ZADI Bonn, Band 08: Züchterische Nutzung pflanzen genetischer Ressourcen – Ergebnisse und Forschungsbedarf, Tagungsband eines Symposiums vom 29.09.–01.10.1997 in Gatersleben, S. 26-38.
- FRESE, L., 2010: Conservation and access to sugar beet germplasm. Sugar Tech. **12** (3-4), 207-219.
- FUCHS, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2008: Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte. Pflanzenbauwissenschaften **12** (2), 69-77.
- GEISLER, G., 1980: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Berlin und Hamburg, Paul Parey.
- GERDEMANN-KNÖRCK, M., M. TEGEDER, 1997: Kompendium der für Freisetzung relevanten Pflanzen; hier: *Brassicaceae*, *Beta vulgaris*, *Linum usitatissimum*. Texte Umweltbundesamt 38/97.
- GUYOT, R., M. LEFEVRE, M. SWIDERSKI, 2003: Beet yard and beet washer-latest development. Zuckerind. **128**, 26-30.
- HARVEY, C.W., J.V. DUTTON, 1993: Root quality and processing. In: The sugar beet crop: Science into practice, COOKE, D.A., R.K. SCOTT (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 571-617.
- HECKER, R.J., 1988: Pollen characteristics of diploid and tetraploid sugarbeet. J. Sugar Beet Res. **25** (1), 55-62.
- HEIJBROEK, W., A.J. ROELANDS, J.H. DE JONG, 1983: Transfer of resistance to beet cyst nematode from *Beta patellaris* to sugar beet. Euphytica **32**, 287-298.
- HENRIKSSON, L., I. HÅKANSSON, 1993: Soil management and crop establishment. In: The sugar beet crop: Science into practice, COOKE, D.A., R.K. SCOTT (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 157-177.
- HOFFMANN, C., 2006: Zuckerrüben als Rohstoff. Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung. Habilita-

- tionsschrift Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Weender Druckerei.
- HOYLE, M., J. CRESSWELL, 2007: The effect of wind direction on cross-pollination in wind-pollinated GM crops. *Ecological Applications* **17**, 1234-1243.
- JAGGARD, K., 1999: The origins of yield improvement in the national sugar beet crop since 1970. *British Sugar Beet Rev.* **67**, 7-11.
- JAGGARD, K., 2001: The growth of sugar beet in 2000. *British Sugar Beet Rev.* **69**, 2-4.
- JAGGARD, K., A. QI, M.A. SEMENOV, 2007: The impact of climate change on sugar beet yield in the UK 1976-2004. *J. Agric. Sci.* **145**, 367-375.
- JASSEM, B., 1992: Species relationships in the genus *Beta* as revealed by crossing experiments. In: FRESE L. (ed.) A report on the 2nd International Beta Genetic Resources Workshop, Braunschweig, 24.-28.06.1991 International Crop Network Series No. 7, Rome, IPGRI.
- JUNG, C., G. WRICKE, 1987: Selection of diploid nematode-resistant sugar beet from monosomic addition lines. *Plant Breeding* **98**, 205-214.
- KADEREIT, G., S. HOHMANN, J.W. KADEREIT, 2006: A synopsis of *Chenopodiaceae* subfam. *Betoideae* and notes on the taxonomy of *Beta*. *Willdenowia* **36**, 9-19.
- KELLER, E.R., H. HANUS, K.U. HEYLAND, 1999: Handbuch des Pflanzenbaus Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- KENTER, C., 2003: Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Witterung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- KNISS, A.R., 2011: Comparison of Conventional and Glyphosate-Resistant Sugarbeet the Year of Commercial Introduction in Wyoming. *Journal of Sugar Beet Research* **47**, 127-134.
- KOCKELMANN, A., U. MEYER, 2006: Seed Production and Quality. In: Sugar beet, DRAYCOTT, A.P. (ed.), Blackwell Publishing, pp. 89-113.
- KWS, 2009: http://www.kws.de/aw/KWS/Germany/Service_Presse/haeufig_gestellte_fragen/zuckerrueben/Artikel_FAQ_ZR/~ghm/Unkrautrueben_Schosser/. verifiziert 03.06.2009.
- LADEWIG, E., 2008: Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben – Ergebnisse der Umfrage 2008. (Persönliche Mitteilung).
- LANGE, W., W.A. BRANDENBURG, T.S. DE BOCK, 1999: Taxonomy and cultonomy of beet (*Beta vulgaris* L.). *Bot. J. Linnean Society* **130**, 81-96.
- LAVIGNE, C., E.K. KLEIN, D. COUVET, 2002: Using seed purity data to estimate an average pollen mediated gene flow from crops to wild relatives. *Theor. Appl. Genet.* **104**, 139-145.
- LEHNERT, J., 2007: Heute Schosser, morgen Unkrautrübe. Die Zuckerrübenzeitung **4**, 10-11.
- LETSCHERT, J.P.W., 1993: *Beta* section *Beta*: biogeographical patterns of variation and taxonomy. PhD Thesis, Wageningen Agric. Univ. Papers 93-1, 1-155.
- LETSCHERT, J.P.W., W. LANGE, L. FRESE, R.G. VAN DEN BERG, 1994: Taxonomy of Beta Section Beta. *J. Sugar Beet Res.* **31** (1-2), 69-85.
- LEXANDER, K., 1980: Present knowledge on sugar beet bolting mechanisms. *Proc. 43th IIRB Congress, Brussels*, pp. 245-258.
- LIMB, R., 2007: 70 tonnes per hectare and beyond. *British Sugar Beet Rev.* **75**, 4-5.
- LIZ, 2009: <http://www.liz-online.de/gi/ps/unkraut/schosser.htm>, verifiziert 04.06.2009.
- LOEL, J., C. KENTER, C. HOFFMANN, 2010: Analyse des Zuchtfortschritts von Zuckerrüben. *Zuckerind.* **136**(2), 109-118.
- LONGDEN, P.C., 1986: Influence of the seed crop environment on the quality of sugar beet seed. *Proc 49th IIRB Congress, Brussels*, pp. 1-16.
- LÓPTIEN, H., 1984: Breeding nematode-resistant beets. I Development of resistant alien additions by crosses between *Beta vulgaris* L. and wild species of the section *Patellares*. *Z. Pflanzenzüchtung* **92**, 208-220.
- MADSEN, K.H., 1994: Weed management and impact on ecology of growing glyphosate tolerant sugarbeets (*Beta vulgaris* L.). PhD thesis, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- MAHN, K., C. HOFFMANN, 2001: Berechnungssätze zur Schätzung des Melassezuckerabfalls bei qualitativ heterogenen Zuckerrüben. *Zuckerind.* **126**, 120-128.
- MAHN, K., C. HOFFMANN, B. MÄRLÄNDER, 2002: Distribution of quality components in different morphological sections of sugar beet. *Eur. J. Agron.* **17**, 29-39.
- MANN, V., L. MCINTOSH, C. THEURER, J. HIRSCHBERG, 1989: A new cytoplasmic male sterile genotype in the sugar beet *Beta vulgaris* L.: a molecular analysis. *Theor. Appl. Genet.* **78**, 293-297.
- MÄRLÄNDER, B., 2005: Weed control in sugar beet using genetically modified herbicide-tolerant varieties – a review of economics for cultivation in Europe. *J. Agron. Crop Sci.* **191**, 64-74.
- MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN, N. STOCKFISCH, 2003: Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agron. Crop Sci.* **189**, 201-226.
- MAY, M., 2003: Integrated crop management in sugar beet. *Int. Sugar J.* **105**, 78-82.
- MAY, M., 2009: Control of weed beet and bolters. *Sugar Beet Rev.* **77** (2), 34-35.
- MEIER, U., L. BACHMANN, E. BUHTZ, H. HACH, R. KLOSE, B. MÄRLÄNDER, E. WEBER, 1993: Phänologische Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (*Beta vulgaris* L. ssp.). Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **45** (2), 37-41.
- MERKES, R., E. LADEWIG, 2000: Umfrage zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau in Deutschland seit 1994. *Proc. 63th IIRB Congress, Interlaken*, pp. 441-448.
- MERKES, R., COENEN, H., HESSE, F., G. SCHÜTZ, 2003: Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben – Ergebnisse der Umfrage 2002. *Zuckerindustrie* **128**, 425-433.
- MESSEAN, A., F. ANGEVIN, M. GÓMEZ-BARBERO, K. MENRAD, E. RODRÍGUEZ-CEREZO, 2006: New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture. European Commission Joint Research Centre (DG JRC), Institute for Prospective Technological Studies, Technical Report EUR 22102 EN, ISBN 92-79-01231-2.
- MEYERHOLZ, K.H., 1999: Erzeugung von Zuckerrübensaatgut. In: Handbuch des Pflanzenbaus Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen, KELLER, E.R., H. HANUS, K.U. HEYLAND (Hrsg.), Stuttgart, Eugen Ulmer.
- ODENBACH, W., O. SCHIEDER, 1997: Biologie der Fortpflanzung und Vermehrung. In: Biologische Grundlagen der Pflanzenzüchtung, ODENBACH, W. (Hrsg.), Berlin und Hamburg, Paul Parey.
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION, DEVELOPMENT), 2001: Series on harmonization of regulatory oversight in biotechnology no. 18, Consensus document on the biology of *Beta vulgaris* L. (sugar beet), OECD environment, health and safety publications, ENV/JM/MONO(2001)11.
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION, DEVELOPMENT), 2002: Series on the safety of novel foods and feeds no. 3, Consensus document on compositional considerations for new varieties of sugar beet: key food and feed nutrients and anti-nutrients, OECD environmental health and safety publications, ENV/JM/MONO(2002)4.
- OWEN, F.V., 1945: Cytoplasmically inherited male-sterility in sugar beets. *J. Agric. Res.* **71** (10), 423-440.
- PEKRUN, C., 1993: Untersuchungen zur sekundären Dormanz bei Raps (*Brassica napus* L.). Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- PINHEIRO DE CARVALHO, M. A. A., H. NÓBREGA, L. FRESE, G. FREITAS, U. ABREU, G. COSTA, S. FONTINHA, 2010: Distribution and abundance of *Beta patula* Aiton and other crop wild relatives of cultivated beets on Madeira. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 357-366.
- RAN, Z., G. MICHAELIS, 1995: Mapping of a chloroplast RFLP marker associated with the CMS cytoplasm of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Theor. Appl. Genet.* **91** (6-7), 836-840.
- REINEFELD, E., K. THIELECKE, 1984: Die Technologie des Zuckers. *Chemie in unserer Zeit* **18**, 181-190.
- RIECKMANN, W., U. STECK, 1995: Krankheiten und Schädlinge der Zuckerrübe. Gelsenkirchen, Th. Mann.
- RÖSTEL, H.J., 1999: Futterrübe. In: Handbuch des Pflanzenbaus Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen, KELLER, E.R., H. HANUS, K.U. HEYLAND (Hrsg.), Stuttgart, Eugen Ulmer, 449-476.
- ROTHER, B., 1998: Die technische Qualität der Zuckerrübe unter dem Einfluss verschiedener Anbaufaktoren. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- SaatG (Saatgutverkehrsgesetz) in: Sorten- und Saatgut-Recht 2006, RUTZ, W. (Hrsg.), 11. Aufl., Bergen, Agrimedia GmbH.
- SaatgutV (Saatgutverordnung) in: Sorten- und Saatgut-Recht 2006, RUTZ, W. (Hrsg.), 11. Aufl., Bergen, Agrimedia GmbH.
- SAEGLITZ, C., M. POHL, D. BARTSCH, 2000: Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants. *Mol. Ecol.* **9**, 2035-2040.
- SCHWECK, H., 1983: Zucker, Rohr- und Rüben. In: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 24, Weinheim, Chemie.
- SCHNEIDER, F., 1942: Züchtung der Beta-Rüben. In: Handbuch der Pflanzenzüchtung, Berlin und Hamburg, Paul Parey.
- SCHÜTTE, G., U. STACHOW, A. WERNER, 2004: Agronomic and environmental aspects of the cultivation of transgenic herbicide resistant plants. -UBA- Texte 11/01 Umweltbundesamt, Berlin 111 S.
- SCHWEIZER, E.E., M.J. MAY, 1993: Weeds and weed control. In: The sugar beet crop: Science into practice, COOKE, D.A., R.K. SCOTT (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 485-519.
- SCOTT, R.K., P.C. LONGDEN, 1970: Pollen release by diploid and tetraploid sugarbeet seed crops. *Ann. Appl. Biol.* **66**, 129-135.

- SKARACIS, G.N., E. BIANCARDI, 2005: Male sterility. In: BIANCARDI, E., L.G. CAMPBELL, G.N. SKARACIS, M. DE BIAGGI. Genetics and Breeding of Sugar Beet. Enfield, NH, USA, Science Publishers, p. 61.
- SOUKUP, J., J. HOLEC, P. VEJL, S. SKUPINOVÁ, P. SEDLÁK, 2002: Diversity and distribution of weed beet in the Czech Republic. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 67-74.
- SPECKMANN, G.J., T.S.M. DE BOCK, 1982: The production of alien monosomic additions in *Beta vulgaris* as a source for introgression of resistance to beet root nematode (*Heterodera schachtii*) from *Beta* species of the section *Patellares*. Euphytica **31**, 313-323.
- STARKE, P., C. HOFFMANN, 2011: Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung. Zuckerind **136**, 242-250.
- STEWART, D., S.C. CAMPBELL, 1952: The dispersion of pollen in sugar beet seed plots. Proc American Society of Sugar Beet Technologists, 7th general meeting, pp. 459-469.
- STIEBER, J., H. BERINGER, 1984: Dynamic and structural relationships among leaves, roots, and storage tissue in the sugar beet. Bot. GAZ. **145**, 465-473.
- VAN DER POEL, P.W., H. SCHIWECK, T. SCHWARZ, 1998: Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Berlin, Dr. Albert Bartens KG.
- VAN DLIK, H., 1998: Variation for developmental characters in *Beta vulgaris* ssp. *maritima* in relation to latitude: The importance of in situ conservation. In: FRESE, L., L. PANELLA, H.L. SRIVASTAVA, W. LANGE (eds.) International Beta genetic resources network. Report 4th International Beta genetic resources workshop and World Beta network conference. Izmir, Turkey, 28.2.-3.3.1996, p. 23-29.
- VAN GEYT, J.P.C., W. LANGE, M. OLEO, T.S.M. DE BOCK, 1990: Natural variation within the genus *Beta* and its possible use for breeding sugar beet: a review. Euphytica **49**, 57-76.
- VARRELMANN, M., E. SEEBA, 2009: Können Krankheitserreger der Zuckerrübe die Biogasproduktion überleben? Zuckerrübe **58**, 186-188.
- VIARD, F., J. BERNARD, B. DESPLANQUE, 2002: Crop-weed interactions in the *Beta vulgaris* complex at a local scale: allelic diversity and gene flow within sugar beet fields. Theor. Appl. Genet. **104**, 688-697.
- VIARD, F., J.F. ARNAUD, M. DELESCLOSE, J. CUGUEN, 2004: Tracing back seed and pollen flow within the crop-wild *Beta vulgaris* complex: genetic distinctiveness vs. hot spots of hybridization over a regional scale. Mol. Ecol. **13**, 1357-1364.
- VIGOUROUX, Y., H. DARMENCY, T. GESTAT DE GARANBÉ, M. RICHARD-MOLARD, 1999: Gene flow between sugar beet and weed beet. In: Gene flow and agriculture. Relevance for transgenic crops, LUTMAN, P.J.W. (ed.), British Crop Protection Council, symposium proceedings no. 72, Farnham, pp. 83-88.
- WEGENER, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen - Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Cuvillier.
- WINNER, C., 1981: Zuckerrübenanbau. Frankfurt (Main), DLG.
- WINNER, C., 1993: Evolution of cultivated *Beta* species. In: The sugar beet crop. History of the crop, Cook D.A., R.K. Scott (eds.), London, Chapman & Hall, pp. 3-7.
- WVZ, 2010: Jahresbericht 2009/10. Wirtschaftliche Vereinigung Zucker, Bonn.
- WULKOW, A., C. HOFFMANN, 2011: Ertrag und Qualität geköpfter und entblätterter Zuckerrüben: Theoretisches Potenzial und praktische Bedeutung. Zuckerind. **136**, 234-241.