

Journal of Agriculture and Rural Development
in the Tropics and Subtropics

Supplement 81

Herkunft, Diversität und Züchtung der Banane und kultivierter Zitrusarten

Friedrich J. Zeller

Herausgeber der Schriftenreihe:

Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft GmbH, Witzenhausen
Gesellschaft für Nachhaltige Entwicklung mbH, Witzenhausen
Institut für tropische Landwirtschaft e.V., Leipzig
Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften (FB11),
Witzenhausen
Verband der Tropenlandwirte Witzenhausen e.V., Witzenhausen

Redaktion:

Hans Hemann, Witzenhausen

Korrektes Zitat

Friedrich J. Zeller, 2005: Herkunft, Diversität und Züchtung der Banane und kultivierter Zitrusarten, Beiheft Nr. 81 zu Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, kassel university press GmbH

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Verlag:

kassel university press GmbH
www.upress.uni-kassel.de

ISSN: 1613 - 8422

ISBN: 3-89958-116-4

URN: urn:nbn:de:0002-1161

Umschlaggestaltung: Jochen Roth, Melchior v. Wallenberg, Kassel

Druck und Verarbeitung:

Unidruckerei der Universität Kassel

Januar 2005

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
I. Die Banane (<i>Musa spp.</i>)	
Zusammenfassung	9
Summary	10
1. Einführung	10
2. Herkunft, Systematik, Verbreitung	12
3. Genetische Variabilität und Ressourcen	20
4. Cytologie, Molekulargenetik und klassische Genetik	21
5. Krankheiten und Schädlinge	24
6. Biotechnologie	30
7. Züchtung und Perspektiven	31
8. Literatur	32
II. Zitrusarten (<i>Citrus spp.</i>)	
Zusammenfassung	43
Summary	43
1. Einführung	44
2. Systematik und Botanik	47
3. Cytologie und Genetik	51
4. Herkunft und Merkmale wichtiger Zitrusarten	52

4.1 Apfelsine	52
4.2 Mandarine, Clementine, Satsuma, Willowleaf und Cleopatra	56
4.2.1 Mandarine	56
4.2.2 Clementine	59
4.2.3 Satsuma	60
4.2.4 Willowleaf	61
4.2.5 Cleopatra Mandarine	61
4.3 Zitrone und Limette	62
4.4 Grapefruit, Pampelmuse, Pomeranze und Bergamotte	65
4.5 Zedrate, Volkamer Zitrone und Mandarinen- Limette	70
4.6 Dreiblättrige Orange, Kumquat und Rauschalige Zitrone	72
5. Züchtung und Biotechnologie, Kernlosigkeit	74
6. Krankheiten und Schädlinge	76
7. Toleranz gegenüber abiotischen Stressfaktoren	80
8. Zellbiologie	81
9. Perspektiven	84
10. Literatur	86

Vorwort

Bananen und Zitrusfrüchte gehören zu den ältesten gartenbaulichen Nutzpflanzen der Menschheit. Beide Fruchtarten, die aus dem süd-ostasiatischen Raum stammen, werden schon seit mehr als 4000 Jahren angebaut. Für viele Länder in den Tropen und Subtropen ist die Banane, von der zur Zeit etwa 102 Millionen Tonnen jährlich erzeugt werden, wichtiger Exportartikel.

In den Industrieländern ist die Dessertbanane (engl. banana) am bekanntesten. In vielen Entwicklungsländern spielt jedoch die Kochbanane (engl. plantain) als Grundnahrungsmittel eine viel größere Rolle. Während wilde Herkünfte der Banane Samen besitzen, sind die domestizierten Formen meist kernlos. Die Banane wird von zahlreichen biotischen und abiotischen Stressfaktoren bedroht. Wegen extremer Anfälligkeit gegenüber einer Fusariumrasse, welche die Panama- Krankheit auslöst, verschwand in den 1950er Jahren die damals dominierende Dessertsorte Gros Michel innerhalb kurzer Zeit. Durch das Auftreten einer neuen Rasse dieser Pilzkrankheit droht der zur Zeit weltweit verbreiteten Cavendish- Banane das gleiche Schicksal.

Auch zahlreiche Zitrusarten, wie Apfelsine, Zitrone, Limette, Mandarine, Clementine, Satsuma, Pampelmuse, Grapefruit und Pomeranze sind für viele Länder in den Tropen und Subtropen wichtige Exportartikel. Auf einer Fläche von mehr als sieben Millionen Hektar werden zur Zeit fast 103 Millionen Tonnen Zitrusfrüchte jährlich weltweit erzeugt. Häufig dient beim Anbau von Zitruspflanzen eine bestimmte verwandte Art, die sich als tolerant gegenüber Stressfaktoren erwiesen hat, als Unterlage. Die hohe Vermehrungsrate der genetisch homogenen Unterlagen macht diese jedoch extrem anfällig gegenüber Krankheiten, Schädlingen und anderen Stressfaktoren. In Brasilien müssen zur Zeit Millionen von Orangenbäumen, die fast ausschließlich mit Mandarinen- Limette (Sorte Rangpur) veredelt worden sind, gerodet werden, weil sie von dem Citrus Sudden Death bedroht werden. Der Einsatz resistenter Linien in der Züchtung neuer Sorten und eine Abkehr von der Monokultur können dazu beitragen, die genetische Verwundbarkeit der Zitrusarten zu reduzieren.

I. Die Banane (*Musa spp.*)

Zusammenfassung

Dessert- und Kochbananen (*Musa ssp.*) werden auf einer Fläche von mehr als neun Millionen Hektar angebaut. Die jährliche Erzeugung weltweit liegt bei etwa 102 Millionen Tonnen. Afrika und Lateinamerika mit den karibischen Inseln produzieren je 35%, gefolgt von Asien und den Inseln im Pazifik mit etwa 29%. Die Banane rangiert auf Platz acht in der Reihenfolge der wichtigsten Nutzpflanzen für die menschliche Ernährung. Unter Essbananen versteht man Dessert- und Kochbananen. Die Dessertbanane wird roh verzehrt, während die Kochbanane erst nach Kochen genießbar wird. Nur etwa 15% der weltweiten Bananenerzeugung geht in den Export, 85% wird von Kleinbauern für den eigenen Bedarf oder die lokale Vermarktung erzeugt. Bananen sind diploide oder polyploide Abkömmlinge von *M. acuminata* oder sie gehen aus intra- und interspezifischen Kreuzungen zwischen den Wildarten *M. acuminata* und *M. balbisiana* hervor. Sie sind wahrscheinlich vor mehr als 5.000 Jahren im süd-ostasiatischen Raum entstanden und wurden dort durch Selektion aus wilden Arten auch erstmals domestiziert. Die Banane ist eine wichtige Nutzpflanze für die Ernährungssicherung in den Tropen und Subtropen. Sie muss sich jedoch gegenüber zahlreichen Krankheitserregern und Schädlingen behaupten. Insbesondere wird die weit verbreitete und hauptsächlich für den Export angebaute Cavendish-Banane von einer ständig wachsenden Zahl von Pilzen, Viren und Nematoden bedroht. Daher sind große Anstrengungen notwendig, die genetische Basis der Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren, aber auch der Qualität und der Ertragsleistung zu erweitern, um sie dann in der Züchtung zur Verbesserung dieser Eigenschaften einsetzen zu können.

Summary

Origin, diversity and breeding of banana and plantain (*Musa* spp.)

Bananas and plantains (*Musa* spp.) are grown on more than nine million hectares with an annual world production estimated at 102 million tons. Banana ranks eighth in global crop production with main areas in Africa (35%), Asia and the Pacific (29%) and Latin America and the Caribbean (35%). Edible bananas are divided into dessert bananas and plantains. Dessert bananas are palatable when eaten raw, while plantain bananas are generally processed by cooking before consumption. Only about 15% of the banana production worldwide is exported, 85% is grown by small holders and selected for either home consumption or local trade. Bananas are considered to have originated in Southeast Asia where they were first domesticated by selection from wild species more than 5.000 years ago. They are either diploid or polyploid progenies of *M. acuminata* or they are derived from intraspecific or interspecific hybridization between the wild species *M. acuminata* and *M. balbisiana*. Bananas are important components of food security in the tropics and subtropics. However, numerous pests and diseases affecting banana are serious constraints to production. In particular, the most widely grown dessert banana for export, the Cavendish group, is increasingly threatened by a range of fungal and viral diseases and nematodes. Hence there are considerable breeding endeavours needed to enlarge the genetic base of the crop for improving the resistance to biotic and abiotic stress, quality and yield.

1. Einführung

Die Banane nimmt mit einer Produktion von mehr als 102 Millionen Tonnen (Tab. 1) und einer Anbaufläche von über neun Millionen Hektar nach Mais, Reis, Weizen, Kartoffel, Maniok, Gerste und Süßkartoffel den achten Platz unter den Nutzpflanzen für die menschliche Ernährung ein. Man findet die 4 bis 10 m hohen Stauden, die sich hauptsächlich vegetativ vermehren, in fast allen tropischen und subtropischen Ländern der Erde. Die Blattscheiden bilden einen Scheinstamm. Die Blattspreiten (Oberblätter) entwickeln sich im Innern des Scheinstammes. Insgesamt entstehen etwa 25 bis 30 Blätter, die bis zu 6 m lang und 1 m breit werden können.

Tabelle 1: Erzeugung von Dessert- bzw. Kochbananen in 1000 Tonnen (FAO, 2004)**Table 1: Production of dessert bananas and plantains in 1000 tonnes (FAO, 2004)**

Land	Dessertbanane (2003)	Kochbanane (2003)	Export (2002)
Welt	69.286	32.974	
Indien	16.450	-	0.009
Brasilien	6.518	-	0.241
China	5.827	-	0.040
Ekuador	5.609	0.860	4.348
Philippinen	5.500	-	1.685
Mexiko	2.027	-	0.051
Costa Rica	1.863	0.070	1.891
Thailand	1.800	-	0.005
Burundi	1.600	-	-
Kolumbien	1.450	2.925	1.553
Vietnam	1.221	-	0.044
Guatemala	1.000	0.268	1.063
Honduras	0.965	-	0.442
Papua Neuguinea	0.870	-	-
Ägypten	0.849	-	-
Kamerun	0.689	1.200	0.238
Bangladesch	0.654	-	-
Venezuela	0.639	0.760	0.026
Kamerun	0.630	1.200	0.254
Uganda	0.615	10.000	0.002
Panama	0.550	0.106	0.406
Dominikanische Republik	0.481	0.192	0.108
Ghana	0.010	2.300	0.003
Nigeria	-	2.110	-
Peru	-	1.600	0.019
Elfenbeinküste	0.270	1.420	0.256
Kongo	0.313	1.250	0.009

Aus dem unterirdischen, knolligen Rhizom gehen Schösslinge (*sucker*) mit neuen Trieben hervor. Etwa 7 bis 9 Monate nach der Bildung der Schösslinge durchwächst der Blütenstiel den Scheinstamm. Ungefähr 100 Tage später erhebt sich der überhängende Blütenstand aus der Mitte des Scheinstammes auf einer langen, verhältnismäßig schwachen Achse. Der Blütenstand trägt in dichter Folge rot-violett gefärbte Tragblätter. In den Achseln dieser Tragblätter entwickeln sich Querreihen von Blüten, zunächst je 14 bis 18 rein weibliche, dann etwa ebenso viele zwittrige und zuletzt männliche Blüten. Aus jeder weiblichen Blütenreihe entstehen bis zu 20 Bananenhände mit jeweils 10 bis 20 fingerförmigen Früchten (Bananen). Der gesamte Fruchtstand (Büschel) kann mit 60 bis 150 Fingern ein Gewicht von bis zu 60 kg erreichen. Aus den zwittrigen Blüten gehen keine Früchte hervor. Nach der Fruchtreife stirbt die oberirdische Staude ab oder wird mit der Machete entfernt. Die in etwa drei Monaten heranreifenden Früchte sind fünfkantige, aus drei Fruchtblättern verwachsene, unterständige Beeren.

Im folgenden werden Herkunft, Domestikation und Systematik beschrieben. Darüber hinaus wird auf Fortschritte in der molekularen und klassischen Genetik sowie in der Zellbiologie als Voraussetzungen für züchterische Verbesserungen eingegangen. Schließlich werden wichtige Merkmale wie Samenlosigkeit, Wuchshöhe und Krankheitsresistenz erörtert, die dazu beitragen, den Ertrag und die Qualität in Zukunft weiter zu erhöhen.

2. Herkunft, Systematik, Verbreitung

Obwohl weder archäologische noch paläobotanische Funde vorliegen, gilt es als sehr wahrscheinlich, dass die Banane im tropischen, süd-ostasiatischen Raum vor mehr als 5.000 Jahren entstanden ist und dort auch erstmals domestiziert wurde (KIRCH, 1978; YEN, 1993; SIMMONDS, 1995). Dieses Gebiet kann als primäres Genzentrum angesehen werden. In Afrika (Kamerun) wurden Bananen bereits vor 2.500 Jahren angebaut. Dies geht aus Untersuchungen von Phytolithen (winzige Reste versteinelter Pflanzen) hervor, die in Abfallgruben gefunden wurden (MBIDA et al., 2000, 2001). Linguistische Studien deuten darauf hin, dass die Banane in Ostafrika (Madagaskar) bereits vor 3.000 Jahren Fuß gefasst (DE

LANGHE et al., 1994; DE LANGHE and DE MARET, 1999) und sich dann über den Kontinent bis nach Westafrika ausgebreitet hat. Da alle Bananen in Afrika samenlos und triploid sind und keine diploiden Arten natürlich vorkommen, dürften die Formen, die erstmals nach Afrika eingeführt worden sind, bereits domestiziert gewesen sein. Afrika gilt als sekundäres Genzentrum der Banane (STOVER and SIMMONDS, 1987). Portugiesische Seefahrer brachten die Frucht im 15. Jahrhundert von Westafrika auf die Kanarischen Inseln. Nach einem Bericht von G. F. de OVIEDO (1535), einem Zeitgenossen des spanischen Mexiko-Eroberers Hernán Cortés, gelangte die Banane von dort im Jahre 1516 durch den Franziskanermönch Tomás de Berlanga auf die Insel Hispaniola (heute: Dominikanische Republik/Haiti) und damit in den karibisch-lateinamerikanischen Raum.

Die zur Familie der *Musaceae* gehörenden Bananengewächse gliedern sich in die Gattungen *Musa* ($2n = 22, 20$) und *Ensete* ($2n = 18$). Innerhalb der Gattung *Musa* unterscheidet man die Sektionen Eumusa, Rhodochlamys, Australimusa und Callimusa (SIMMONDS, 1995). Während die Arten der beiden ersten Sektionen $2n = 22$ Chromosomen besitzen und miteinander kreuzbar sind (SHEPHERD, 1999), haben die Arten der beiden letzten Sektionen ein Chromosomenpaar weniger: $2n = 20$. Einige zur Gattung *Musa* gehörende Arten und Unterarten sind in Tab. 2 zusammengefasst. Von der Gattung *Ensete* hat nur *E. ventricosum* ($2n = 18$), die abessinische Banane, wegen der Nutzung ihrer Stärke und Fasern eine regionale Bedeutung in Ostafrika erlangt (SIMMONDS, 1995; TSEFAYE and LÜDDERS, 2003). Fast alle kultivierten Bananen gehen auf die Arten *Musa acuminata* (AA-Genom) und/oder *M. balbisiana* (BB-Genom) zurück. Beide Arten wachsen heute noch wild in den Tropen Südostasiens. Ohne Bestäubung bildet die wilde, diploide *M. acuminata* zwar kleine, aber mehr oder weniger essbare, parthenokarpe Früchte aus. Einige AA- Bananen wurden kultiviert. Die wichtigsten essbaren, vor allem in Malaysia, Indonesien und Papua Neuguinea verbreiteten diploiden *A. acuminata*-Sorten sind Pisang Mas (BAKRY, 2001) und Pisang Ambon Putih. Pisang ist in Malaysia und Indonesien die Bezeichnung für Banane.

Tabelle 2: Klassifizierung der zu den Sektionen Eumusa, Rhodochlamys, Australimusa und Callimusa gehörenden *Musa*- Arten (nach DANIELLS et al., 2001)

Table 2: Classification of *Musa* species belonging to sections Eumusa, Rhodochlamys, Australimusa and Callimusa (after DANIELLS et al., 2001)

Eumusa		Rhodochlamys	
2n = 22	<i>M. acuminata</i> (AA- Genom)	2n = 22	
	ssp. <i>banksii</i>		<i>M. laterita</i>
	ssp. <i>burmannica</i>		<i>M. ornata</i>
	ssp. <i>burmannicoides</i>		<i>M. sanguinea</i>
	ssp. <i>errans</i>		<i>M. velutina</i>
	ssp. <i>malaccensis</i>		
		Australimusa	
		2n = 20	
	ssp. <i>microcarpa</i>		<i>M. angustigemma</i>
	ssp. <i>siamea</i>		<i>M. fehi</i>
	ssp. <i>truncata</i>		<i>M. lolodensis</i>
	ssp. <i>zebrina</i>		<i>M. maclayi</i>
	<i>M. balbisiana</i> (BB- Genom)		<i>M. peekelii</i>
	Gruppe 1:		<i>M. textilis</i>
	I-63, HND		
		Callimusa	
		2n = 20	
	Gruppe 2:		<i>M. coccinea</i>
	Los Banos, MPL, 10852,		<i>M. gracilis</i>
	Singapuri, Etikehel,		<i>M. violascens</i>
	Butohan		

Durch natürliches Auftreten unreduzierter Gameten während der Meiose können auto-triploide Formen (AAA) entstehen. Zu dieser polyploiden Gruppe gehören die Kochbananen und die für den Export so wichtigen Dessertbananen. Bis in die späten 50er Jahre dominierte die Dessertsorte Gros Michel im Welthandel. Die großen und robusten Pflanzen bilden schwere, symmetrische Hände mit langen

und schmalen Früchten. Nach epidemieartigem Auftreten der so genannten Panama-Krankheit in Mittelamerika verschwand die Gruppe Gros Michel jedoch und wurde durch Sorten der Cavendish Gruppe, die gegenüber dieser Krankheit resistent waren, abgelöst. Die Cavendish- Pflanzen sind im Wuchs kleiner als die von Gros Michel, damit weniger windempfindlich und leichter zu ernten. Schösslinge dieser Bananen wurden bereits im Jahre 1826 von China nach England gebracht, 1836 nach dem Herzog von Devonshire ‚Cavendish‘ genannt und gelangten von dort nach Samoa, zu den Fidschi Inseln, nach Hawaii, Australien und Papua Neuguinea. Französische Missionare sollen diesen Bananentyp direkt aus China zu den Kanarischen Inseln gebracht haben, von wo sie in die Karibik sowie nach Mittel- und Südamerika gelangt sind. Cavendish- Bananen dominieren zur Zeit den Weltmarkt der Exportdessertfrüchte (ROBINSON, 1996).

Man unterscheidet fünf verschiedene Cavendish- Typen: Dwarf Cavendish, Giant Cavendish, Robusta, Lacatan und Red bzw. Green Red (ROBINSON, 1996; RAY, 2002). Die nur 1.80 m bis 2 m großen Dwarf Cavendish- Formen (Tab.3) passen sich an das jeweilige Klima ihres Anbaugebietes gut an, trotzen den Winden und sind darüber hinaus sehr ertragreich. Sie zählen zu den kleinwüchsigen Bananen überhaupt. Ein großer physiologischer Nachteil dieser Zwergbananen ist jedoch *choke throat* (Würgehals). Dieses Phänomen tritt in Anbauregionen auf, in denen niedrige Temperaturen im Winter das normale Blattschieben durch die kurzen Internodien beeinträchtigen und auf diese Weise das Durchwachsen des Blütenstiels durch den Scheinstamm verhindern. Inzwischen wurden die Zwergbananen zum Teil durch größere Typen (Giant Cavendish) ersetzt (Tab. 3). Die Sorten des Robusta- Typs sind noch wüchsiger als die Giant- Sorten und können 3 bis 4 m hoch werden. Sorten des Lacatan- Typs gibt es in Malaysia, Mittelamerika und in der Karibik. Sie sind kommerziell jedoch weniger bedeutend. Auch Sorten des Red bzw. Green Red Typs, deren Namen auf die Farbe der Schale hinweist, haben nur lokale Bedeutung. Die morphologischen Unterschiede innerhalb der Cavendish-Gruppe gehen weitgehend auf einzelne somatische Mutationen zurück. Neben den AAA-Dessertbananen gibt es noch einige Kochbananensorten (Tab. 3), die in Ostafrika verbreitet sind.

Tabelle 3: Ploidiestufen, Genome bzw. Genomkombinationen und bekannte Sorten agronomisch wichtiger Eumusa-Arten (nach ROBINSON, 1996; BAKRY, 2000; DANIELLS et al., 2001; Ray, 2002)

Table 3: Ploidy levels, genomes, genome combinations and well-known varieties of significant Eumusa species

Ploidie stufe	Art	Genom	Bekannte Gruppen, Sorten und Synonyme
diploid	<i>M. acuminata</i>	AA (Dessert B., Bier B.)	Pisang Mas, Rose, Pisang Lilin, Pisang Ambon Putih, Paka, Pisang Jari Buaya, Borneo, Matti, Galeo, Calcutta-4, Bie Yeng, Niy Nyarma Yik, Frayssinette, Sukai Ndiizi, Kisubi
triploid		AAA (Dessert B., Bier B.)	Dwarf Cavendish: Canary Dwarf , Chinese Dwarf , Basrai, Enano Giant Cavendish: Grand Nain, Gran Enana, Mons Marie, Williams Robusta: Congo, Saina, Poyo, Tall Mons Marie, Valerie, Red: Chenkadali, Lalkei Green Red: Dacca, Venkadali Gros Michel: Lowgate, Highgate, Cocos, Ibota: Yangambi km 5,
triploid		AAA (Koch B.)	Lujugira, Mutika, Nakatansese
tetraploid		AAAA (Dessert B.)	IC.2, Bodless Altafort, FHIA-02 (Mona Lisa), FHIA-177
diploid	<i>M. balbisisiana</i>	BB	Bhimkol
diploid	<i>M. balbisisiana</i>	AB (Dessert B.)	Ney Poovan, Saved Velchi, Kunnan, Sukali Ndiizi, Kisubi,

triploid	AAB (Dessert B.)	Mysore: Poovan, Alpan, Champa, Palyeankodan, Pisang Ceylan Silk: Latundan, Pisang Rastali, Apple, Malbhog, Mortman Pome: Ladyfinger, Jwaribale, Pachanada, Virupakshi, Prata Ana Pisang Raja: Grindy, Larip
triploid	AAB (Koch B.)	French Plantain: Eleri, Nendran, Zanzibar, Harton, Gonja, Amou, Obino, Akpakpak, Bobby Tannap, French Clair, Maia Maoli, Orishele, Ntanga, Owang, Ebanga, Psi-Psi French Horn Plantain: Boofu, Sogbe, Koi False Horn Plantain: Agbagba, Esang, Corne, Red Ebanga, Ebanga, Bia Ebanga Horn Plantain: Three Hand Plenty, Ubok Iba, Daluayo, Gabon3
triploid	ABB (Koch B.)	Bluggoe: Gauria, Kothia, Muthia, Sakkai, Burro Cemsa, Chato, Orinoco, Entega, Kivuvu Pisang Awak: Khuay Namwa, Kanthali, Kurpuravalli, Kayinja Battisa, Saba, Cardaba, Pelipita, Klue Tiparot,
tetraploid	AAAB (Dessert B.)	Goldfinger (FHIA-01), FHIA-18, Atan
tetraploid	AABB (Dessert- und Koch B.)	FHIA-03

Auto-triploide AAA- Bananen sind nicht vollkommen steril. Gelegentlich entstehen fertile Eizellen, die in Kreuzungen mit diploiden AA- Formen als weibliche Eltern dienen. Nach Auftreten unreduzierter Gameten können in der Nachkommenschaft solcher Kreuzungen auto-tetraploide AAAA- Formen selektiert werden (Tab. 3). IC.2 gehört zu den ersten Sorten, die bereits in den 1920er Jahren auf Trinidad durch gezielte Züchtung entstanden sind (ORTIZ et al., 1995). Aber so wie IC.2 hat sich auch die Sorte Bodless Altafort, die in den 1960er Jahren in Jamaika gezüchtet worden ist, auf dem Markt nicht durchsetzen können. In jüngster Zeit entstanden in Honduras die sehr krankheitsresistenten AAAA- Stämme FHIA-02 (Mona Lisa) und FHIA-17, von denen sich letzterer auf Grund erster Anbauversuche in Südafrika durch einen hohen Ertrag auszeichnet (ECKSTEIN et al., 1998).

Es gibt nur wenige kultivierte Sorten, die direkt auf die Wildart *M. balbisiana* mit dem diploiden BB- Genom zurückgehen. Am bekanntesten ist die Sorte Bhimkol (Tab. 3), die im indischen Staat Assam von regionaler Bedeutung ist (SINGH, 2002). Zahlreiche Kombinationen zwischen dem A- und dem B- Genom sind bekannt. Auf der diploiden Stufe, AB (Tab. 3), sind die wichtigsten die aus Südindien stammenden und wegen ihres Aromas lokal sehr geschätzten Dessertbananen Ney Poovan und Saved Velchi (BAKRY, 2001). Sie sind kommerziell aber weniger bedeutend. In Ostafrika haben die Dessertbanane Sukali Ndiizi und die Bierbanane Kisubi die größte Verbreitung (KARAMURA, 1998).

Unter den triploiden AAB- Bananen unterscheidet man Dessert- und Kochbananen. Die wichtigste Dessert- Gruppe ist Mysore, die hauptsächlich in Indien vorkommt (SINGH, 2002). Sorten der Silk- Gruppe sind besonders auf den Philippinen, in Malaysia, Indien und in der Karibik verbreitet. Zur Pome- Gruppe gehört die in Australien bekannte Sorte Ladyfinger und mehrere in Indien verbreitete Sorten. Eine weitere, kommerziell allerdings weniger wichtige Gruppe für Malaysia, Indonesien und Florida ist Pisang Raja (Tab. 3). Neben den Dessertbananen gibt es zahlreiche AAB- Kochbananen, die unter den Gruppennamen French Plantain, French Horn Plantain, False Horn Plantain und Horn Plantain zusammen-

gefasst werden (RAY, 2002). Man findet sie hauptsächlich in Indien, Afrika, Mittelamerika, auf den Philippinen und den polynesischen Inseln.

Zu den ABB- Bananen gehören fast ausschließlich Kochbananen und in Ostafrika einige Bierbananensorten. Die Anwesenheit zweier *M. balbisiana*- B- Genome ist die Ursache für sehr robuste und dürre-tolerante Sorten. Man kennt zwei großen Sortengruppen: Bluggoe und Pisang Awak. Bluggoe- Sorten haben eine besondere Bedeutung auf den Philippinen, in Südindien, Ostafrika, in der Karibik und in Lateinamerika. Pisang Awak- Sorten spielen vor allem in Thailand, Nordostindien, Ostafrika und in Indochina eine Rolle. Darüber hinaus gehören die auf den Philippinen verbreiteten Sorten Saba, Cardaba und Pelipita zu den ABB- Bananen (Tab. 3).

Die Mehrzahl der kommerziellen Bananensorten ist triploid. Seit einigen Jahren sind jedoch auch allo-tetraploide Sorten auf dem Markt. Bei der Züchtung dieser Sorten hat sich die in Honduras ansässige Fundación Hondurena de Investigación Agrícola (FHIA) besondere Verdienste erworben. Aus einer Kreuzung der triploiden brasilianischen AAB- Sorte Dwarf Prata mit einer diploiden AA-Form (SH-3142) gingen nach der Entstehung unreduzierter AAB- Gameten auf der weiblichen Seite mehrere AAAB- Typen hervor (ORTIZ et al., 1995). Ein solcher AAAB- Stamm, der zunächst die Bezeichnung FHIA-01 erhielt, hat unter dem Namen Goldfinger in Australien (SMITH et al., 1998), Kuba und einigen anderen Ländern schon eine gewisse Marktbedeutung erlangt. Bemerkenswert ist seine ausgeprägte Resistenz gegenüber Erregern der Schwarzen Sigatoka- und Panama-Krankheit sowie gegenüber Nematoden (Van DEN BERGH et al., 2002). Der Geschmack ist apfelähnlich. Ein anderer aus der gleichen Kreuzung entstandener AAAB- Stamm ist FHIA-18, der ebenfalls gegenüber der Schwarzen Sigatoka- und der Panama- Krankheit resistent ist und in Südafrika (ECKSTEIN et al., 1998), Brasilien (SILVAR et al., 2002) und Kuba bereits gute Ertragsleistungen gezeigt hat. Auch das International Institute of Tropical Agriculture (IITA) in Uganda, Ostafrika, versucht seit längerem die Resistenz gegenüber der Schwarzen Sigatoka-Krankheit durch Züchtung tetraploider AAAB- Formen zu verbessern (KRAENEN and ORTIZ, 1998; FERRIS et al., 1999). Ein weiterer züchterischer Erfolg der

letzten Jahre ist der tetraploide AABB Stamm FHIA-03 aus der Kreuzung eines triploiden ABB- Stammes SH-3386 und einer *M. acuminata*- Linie (ORTIZ et al., 1995; ORTIZ 1997; ROWE and ROSALES, 2000). Der Stamm FHIA-03 ist sehr ertragreich (BAIYERI et al., 2000) und zeichnet sich durch Resistenz gegenüber Erregern der Schwarzen Sigatoka-, der Panama- und der Moko- Krankheit aus. Er ist auf Kuba und Grenada bereits im Anbau. In Uganda wird er jedoch aus Geschmacksgründen vom Verbraucher abgelehnt (SSEMWANGA et al., 2000).

3. Genetische Variabilität und Ressourcen

In den beiden Wildformen der Banane, *M. acuminata* und *M. balbisiana*, die zur Sektion Eumusa gehören (Tab. 2), findet man eine umfangreiche genetische Variabilität (WONG et al., 2001; UDE et al., 2002b). Wegen der hauptsächlich vegetativen Vermehrung der Banane und der Konzentration auf wenige diploide und triploide Genotypen für kommerzielle Zwecke ist die Variabilität dieser Formen jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft. Dies gilt insbesondere für die in China, Laos, Kambodscha, Vietnam, Burma und Sri Lanka wild vorkommenden Formen, die zum Teil noch nicht gesammelt bzw. charakterisiert worden sind (DE LANGHE, 2000). Viele in den Ursprungsgebieten der Banane noch wildwachsende Pflanzen sind wichtige genetische Ressourcen für die Züchtung. Expeditionen zum Sammeln dieser Ressourcen sind daher auch heute noch unverzichtbar. Mit großer Intensität beschäftigt sich das International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP) in Montpellier, Frankreich, mit der Banane. Mehr als 1.140 Bananenvarietäten lagern in der Genbank dieses Instituts (KOO et al., 2003) und können von Forschungseinrichtungen auf der ganzen Welt genutzt werden.

Der Mensch ist schon seit Jahrhunderten aktiv damit beschäftigt, die durch spontane Mutationen entstandene Variabilität der Banane zu selektieren und weiter zu vermehren. Neuerdings helfen darüber hinaus gezielte Selektionen auf Krankheitsresistenz, Frühreife, Toleranz gegenüber Dürre und Windbruch, höhere photosynthetische Effizienz und besseres Nährstoffaneignungsvermögen wertvolle Gene durch Kombinationskreuzung in einzelnen Genotypen anzuhäufen.

SIMMONDS (1962) konnte zeigen, dass sich auch Bastarde zwischen *M. acuminata*- Sorten (Eumusa) und Formen der Sektion *Rhodochlamys* herstellen lassen. Das Auftreten von Bivalenten und Trivalenten in der Metaphase I der Meiose der F₁- Pflanzen (SHEPHERD, 1999) lässt darauf schließen, dass zwischen Chromosomen der beiden Kreuzungseltern Crossingover stattfinden kann. Da auch AFLP- Marker eine enge genetische Verwandtschaft zwischen diesen beiden Sektionen anzeigen (UDE et al., 2002a; WONG et al., 2002), müsste eine Übertragung nützlicher Gene von *Rhodochlamys* in Eumusa möglich sein und sich damit die genetische Variabilität der kultivierten Banane erweitern lassen. WONG et al. (2002) schlagen daher vor, Eumusa und *Rhodochlamys* nicht mehr systematisch zu trennen, sondern in **einer** Sektion zusammenzufassen. Aufgrund von Schnittstellenvergleichen der Chloroplasten-DNA von *M. acuminata* (Eumusa) und *M. laterita* (*Rhodochlamys*) mit Hilfe zehn verschiedener Restriktionsendonukleasen fordern NWAKANMA et al. (2003a) ebenfalls eine Zusammenfassung dieser beiden Sektionen.

Mit Hilfe zellbiologischer Methoden wird man in Zukunft auch Gene der Sektionen *Australimusa* und *Callimusa* in der Bananenzüchtung nutzen können. Gene für Parthenokarpie und Nematodenresistenz (STOFFELEN et al., 2000) sind zum Beispiel bei der zur *Australimusa*- Sektion gehörenden, in Polynesien verbreiteten, rotfarbigen *M. fehi*- Banane (Tab. 2) von praktischem Interesse.

DANIELLS et al. (2001) haben kürzlich im Auftrag von INIBAP einen umfangreichen Katalog über die genetischen Ressourcen der *Musa*- Wildarten sowie zahlreicher kultivierter Bananensorten zusammengestellt. Diese Übersicht mit vielen Illustrationen erleichtert die Nutzung des genetischen Materials in der Züchtung erheblich.

4. Cytologie, Molekulargenetik und klassische Genetik

Die Mitosechromosomen der Banane sind sehr klein (1 bis 2 µm) und daher nicht leicht zu präparieren (LYSAK et al., 1999). Sowohl *M. acuminata* als auch *M. balbisiana* besitzen je ein Satellitenchromosomenpaar. Die *Musa*- Chromosomen sind metacentrisch oder submetacentrisch (PILLAY et al., 2002) Cytologische

Untersuchungen der verschiedenen Meiosestadien erlauben Einblicke in Längenunterschiede, Struktur und das Paarungsverhalten der Chromosomen (SHEPHERD 1999; ADELEKE et al., 2002). Untersuchungen chromosomaler Mutationen wie der Nachweis des Vorliegens reziproker Translokationen in AA- Bananen gehen bereits in die 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurück. In einer umfassenden Studie des International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP), Montpellier, Frankreich, fasst SHEPHERD (1999) die Ergebnisse cytologischer Untersuchungen der letzten 60 Jahre zusammen. Das Auftreten bis zu drei translozierter Chromosomenpaare in Kreuzungen von AA- Sorten/Linien miteinander gibt deutliche Hinweise auf die Chromosomenstruktur. Auch wenn die Identifizierung der beteiligten Chromosomen noch unbekannt ist, können sich fixierte heterozygote Translokationen auf die Gameten- und Samensterilität auswirken. Sterilität ist zwar bei den Dessert- und Kochbananen erwünscht, bei der Verwendung als Eltern für Kreuzungszwecke ist eine Mindestfertilität der Eizellen und der Pollenkörner jedoch notwendig.

Genomische *in situ* Hybridisierungen diploider und polyploider Bananenstämme haben gezeigt, dass sich A- bzw. B- Genome an Hand ihrer Färbung identifizieren lassen (OSUJI et al., 1997; D'HONT et al., 2000). Die bisher hauptsächlich auf Grund phänotypischer Merkmale vorgenommenen Bestimmungen der Genomzusammensetzung der verschiedenen Bananentypen konnten bestätigt werden. Der 2C Wert der DNA pro Zellkern liegt bei *M. acuminata* (A- Genom) in einem Bereich von 1.23 bis 1.27 pg. Das entspricht ungefähr 591 bis 615 Megabasenpaaren (LYSAK et al., 1999). Der 2C- Wert von *M. balbisiana* (B- Genom) ist mit etwa 1.15 pg, entsprechend 535 bis 540 Mbp, um 12% niedriger als der von *M. acuminata* (LYSAK et al., 1999). Damit ist das Genom der diploiden Banane nur wenig größer als das von Kultureis, *Oryza sativa* (0.90 pg), und zählt zu den kleinsten unter den monokotyledonen Nutzpflanzen.

Nicht nur der niedrige DNA- Gehalt pro Zellkern, sondern die wirtschaftliche Bedeutung der Banane waren Anlass dafür, im Jahre 2001 ein *Global Musa Genomics Consortium* zu gründen. Hauptziel dieses Konsortiums ist der Einsatz der neuen molekularen Techniken zur Verbesserung der Banane. Ein erster Erfolg

dieser Initiative ist die Etablierung und Charakterisierung einer BAC- (Bacterial Artificial Chromosome) Bank (VILARINHOS et al., 2003), eine Voraussetzung für eine Basensequenzierung des gesamten AA- Genoms. Als Genomdonor dient dazu der Stamm Calcutta-4 (*M. acuminanata* ssp. *burmannicoides*), der wegen seiner guten Fertilität und Resistenz gegenüber mehreren Pilzen und tierischen Schädlingen häufig als Kreuzungselter eingesetzt wird. Eine über 55.100 Klone umfassende Bibliothek aus Fragmenten der Größe von etwa 100 Kilobasen repräsentiert etwa neun Genomäquivalente (VILARINHOS et al., 2003). Eine ähnliche BAC- Bank wird zur Zeit auch für das BB- Genom entwickelt. Im Jahre 2006 soll die Gesamtsequenzierung des Bananengenoms abgeschlossen sein.

Für ein besseres Verständnis genetischer Unterschiede innerhalb verschiedener Herkünfte der gleichen Art und zwischen verwandten Arten werden DNA-Marker verwendet. Der Einsatz von RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), VNTR (Variable Number of Tandem Repeats), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) und STMS (Sequence Tagged Microsatellite Sites) ergaben für alle Systeme verhältnismäßig hohe Polymorphiegrade zwischen parental Genotypen und innerhalb von Kreuzungsnachkommenschaften (KAEMMER et al., 1997; CROUCH et al., 1999; PILLAY et al., 2001). Für den Nachweis der Abstammung eines Genoms und die Herkunft des Cytoplasmas eines Bananenstammes eignen sich RFLP- (Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus) Analysen von Chloroplasten- und mitochondrialer DNA (CARREEL et al., 2002). Mit Hilfe von Mikrosatelliten lassen sich Genotypen unterschiedlicher Genomzusammensetzung gut unterscheiden (CRESTE et al., 2003). Für die Genomdifferenzierung eignen sich auch molekulare Marker, die auf Veränderungen der Restriktionsschnittstellen in den transkribierten intergenischen Zwischenräumen (ITS) ribosomaler RNA-Gene zurückgehen (NWAKANMA et al., 2003b). Eine partielle molekulare Karte bestehend aus 58 RFLP-, 28 RAPD- Markern und vier Genen für Isoenzymssysteme wurde von FAURE et al. (1993) erstellt. Bisher konnte jedoch weder ein Gen noch ein molekularer Marker einem entsprechenden Chromosom zugeordnet werden.

Klassische Vererbungsstudien bei der Banane beschränken sich bisher auf wenige morphologische Eigenschaften (ORTIZ, 1995). Entweder handelt es sich um

Merkmale von praktischem Interesse oder um spontane Mutationen. Die Unterdrückung des lateralen Knospenwachstums durch Dominanz des Apikalmeristems, zum Beispiel, ist ein limitierender Faktor für die Vermehrung triploider AAB-Bananen durch Schösslinge. Die Vererbung der Apikalen Dominanz geht bei der Kochbananen auf ein einziges rezessives Gen zurück (ORTIZ and VUYLSTEKE, 1994). Das Merkmal verzweigter Wuchs wird in der AAB- Kochbanane Bobby Tannap ebenfalls von einem rezessiven Gen vererbt (ORTIZ and VUYLSTEKE, 1995a).

Auto-triploide AAA- Bananen besitzen in der Regel hohe Samensterilität. Ursache für dieses Phänomen ist jedoch nicht die Triploidie an sich, sondern Parthenokarpie (ORTIZ 1995; ORTIZ and VUYLSTEKE, 1995b). Samenlosigkeit ohne Befruchtung findet man in diploiden *M. acuminata*- Wild- und kultivierten AA-Formen sowie in polyploiden Linien mit A- Genomen. SIMMONDS (1953) postuliert drei unabhängige, komplementär-dominante Genloci, die bei der Expression der Parthenokarpie beteiligt sind. Diese Genloci gehen sehr wahrscheinlich auf die Subspezies *M. acuminata* ssp. *banksii* und/oder *M. acuminata* ssp. *errans* (Tab. 2) zurück und könnten bei der Domestikation der Banane auf den Philippinen und Papua Neuguinea eine wichtige Rolle gespielt haben (CARREEL et al., 2002). In *M. balbisiana* kommen diese dominanten Allele nicht vor. Auf die Vererbung von Genen für Resistenz gegen Krankheitserreger wird im folgenden Kapitel eingegangen.

5. Krankheiten und Schädlinge

Pilze, Viren, Bakterien und Nematoden sind die wichtigsten biotischen Stressfaktoren der Banane. Unter pathogenen Pilzen sind diejenigen, welche die sogenannten Sigatoka- Krankheiten verursachen, am bekanntesten. Vor dem Auftreten der Schwarzen Sigatoka- Krankheit war die Gelbe Sigatoka- Krankheit (GSK) die am weitesten verbreitete Blattkrankheit der Banane. Die ersten Symptome bei GSK sind kleine, längliche, gelb-grüne Flecken auf der Blattoberseite, die sich parallel zu den Leitbündeln entwickeln. Sie können zu vollständiger Vergilbung und zum Absterben der befallenen Blätter führen (MOURICHON et al., 1997; PLOETZ

1998). GSK, die von dem Pilz *Mycosphaerella musicola* verursacht wird, wurde im Jahre 1902 auf der Insel Java erstmals entdeckt (ZIMMERMANN, 1902) und nach dem Flusstal benannt, in dem sie auf den Fidschi- Inseln zwischen 1912 und 1923 epidemische Ausmaße annahm. In den Jahren darauf breitete sich GSK in fast alle bananenbauende Länder aus. Resistenz gegen diesen Pilz wurde in der AAB-Dessert- Banane Mysore, in allen AAB- Kochbananensorten, in den ABB- Sorten Bluggoe, Pisang Awak, Saba, Cardaba und Pelipita (PLOETZ, 1998) sowie in der tetraploiden AAAB- Sorte Goldfinger gefunden (SMITH et al., 1998). Auch in einer somaklonaren Variante, Cien BTA-03, die aus der AAA- Sorte Williams selektiert werden konnte, trat Resistenz gegenüber GSK auf (VIDAL and GARCIA, 2000).

Zur Zeit bedroht aber nicht mehr so sehr die Gelbe, sondern die Schwarze Sigatoka- Krankheit (SSK) die Bananenpflanzungen auf der ganzen Welt. SSK, die von dem Ascomyceten *Mycosphaerella fijiensis* verursacht wird, bildet auf der Blattunterseite dunkelbraune Streifen, die sich zu nekrotischen Flecken ausweiten und große Bereiche des Blattes zerstören können (MOURICHON et al., 1997). Die Erträge können bis zu 50% reduziert sein (CRAENEN and ORTIZ, 1998). Ein Großteil der hohen Ertragseinbußen geht auf das vorzeitige Abreifen der Früchte zurück (MARIN et al., 2003). SSK wurde 1963 erstmals auf den Fidschi Inseln beobachtet (RHODES, 1964), war aber sehr wahrscheinlich schon lange vorher auf den pazifischen Inseln verbreitet (MARIN et al., 2003). Inzwischen kommt SSK in fast allen Bananenpflanzungen der Welt vor und zählt zur Zeit zu den gefährlichsten Krankheiten dieser Fruchtart, deren Bekämpfung mit Fungiziden mehr als ein Viertel der gesamten Produktionskosten ausmachen kann (STOVER and SIMMONDS, 1987). Resistenz gegenüber SSK tritt in diploiden *M. acuminata* Subspezies wie *burmannicoides* (Calcutta-4), *malaccensis* (Pisang Lilin) und *siamea* auf (TENKOUANO et al., 2003), aber auch in diploiden AA-Dessertbananen wie Paka (MOURICHON et al., 1997) und in dem triploiden (AAB) Stamm FHIA-21. In jüngster Zeit wurden Resistenzgene auch in dem auto-tetraploiden AAAA- Stamm FHIA-02, den allo-tetraploiden AAAB- Stämmen FHIA-01, PITA-8 und in FHIA-03 (AABB) nachgewiesen (MOURICHON et al., 1997).

Eine andere wichtige Pilzkrankheit, die in fast allen bananenbauenden Ländern vorkommt, ist die Panama- Krankheit (PK). Diese Krankheit (engl. *Fusarium wilt*), die von dem bodenbürtigen Pilz *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) verursacht wird, wurde 1874 von BANCROFT (1876) in Australien entdeckt. Erste Symptome von PK sind gelb werdende Ränder älterer Blätter, von denen der Erreger auf junge Blätter übergreift (MOORE et al., 1995). Am Ende stirbt die ganze Pflanze. Vier Rassen des Erregers sind bekannt: Rasse 1 befällt Sorten der AAB- Gruppen Silk und Pome und die AAA- Gruppe Gros Michel. Wegen der hohen Anfälligkeit von Gros Michel gegenüber FOC- Rasse 1 verschwand dieser bis in die 1950er Jahre auf dem Dessert-Exportmarkt dominierende Bananentyp und wurde durch die gegenüber der FOC- Rasse 1 resistenten Cavendish- Banane ersetzt. Allein in Mittel- und Südamerika mussten damals mehr als 40.000 Hektar Gros Michel- Bananen gerodet werden (STOVER, 1962). Sorten der triploiden AAB- Gruppe wie Bluggoe und nahe verwandte Kochbananen sind gegenüber FOC Rasse 2 anfällig. Rasse 3 ist avirulent gegenüber der Banane, aber stark virulent gegenüber Helikonien (*Heliconia*), bekannte Zierpflanzen, die auch zur Familie der Musaceen gehören. Die neue FOC- Rasse 4 ist eine große Bedrohung für die Cavendish- Banane und alle Sorten, die auch gegenüber den Rassen 1 und 2 anfällig sind (MOORE et al., 1995). FOC- Rasse 4 ist bereits in Süd- Ostasien (NASIR et al., 1999; PEARCE, 2003), in Australien (PEGG et al., 1996) und in Südafrika (VILJOEN, 2002) weit verbreitet. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis sich diese Rasse auch auf Länder in der Karibik und in Lateinamerika ausbreiten wird (PEARCE, 2003). Da der Erreger bodenbürtig ist, kann er nicht mit Fungiziden bekämpft werden. Vor kurzem berichteten die beiden Taiwan- Chinesen S.-C. HWANG und W.-H. KO (2004) bei der Suche nach Resistenz gegenüber Rasse 4 der Panama- Krankheit von einem Durchbruch. Innerhalb von sechs Jahren ist es den beiden Forschern mit Hilfe von Gewebekulturen einer anfälligen Giant Cavendish- Bananensorte gelungen, unter vielen spontanen Mutanten eine somaklonale Variante zu selektieren, die gegenüber der gefährlichen neuen Rasse 4 der Panama- Krankheit resistent ist. Die mit dem Namen Formosana bezeichnete neue, resistente Sorte besitzt darüber hinaus Fruchtstände, die um 50% schwerer

sind als die der Ausgangsorte. In den Jahren 2002 und 2003 wurden je ca. 2.6 Millionen Keimpflanzen der Sorte Formosana vermehrt und vermarktet. Mit dieser Mutante wird die Bananenzüchtung in vielen von der Panama- Krankheit bedrohten Anbaugeländen auf eine neue Grundlage gestellt.

Große Hoffnungen, dem Pilz *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* beizukommen, setzt man auch auf die Resistenz diploider AA- Formen wie Pisang Jari Buaya, Pisang Lilin und Calcutta-4 (MOORE et al., 1995; PEGG et al., 1996). Zwar wird man die Resistenz der triploiden Cavendish- Banane wegen ihrer Gametensterilität durch Nutzung dieser Resistenzquellen nicht verbessern können, Kreuzungsnachkommenschaften auf der triploiden und tetraploiden Ploidiestufe aber könnten in Zukunft neue resistente Formen hervorbringen. Die auto-tetraploiden AAAA- Stämme FHIA-02 und FHIA-17, die in Honduras gezüchtet worden sind, zeigen Resistenz gegenüber allen FOC- Rassen (PLOETZ et al., 1999). FHIA-17 besitzt darüber hinaus eine hohe Ertragsfähigkeit (ECKSTEIN et al., 1998). Auch in der tetraploiden AAAB- Sorte Goldfinger (FHIA-01), ebenfalls eine Honduras- Züchtung, wurde Resistenz gegenüber der FOC- Rasse 4 nachgewiesen (SMITH et al., 1998).

Neben Pilzerregern wird die Banane von zahlreichen Viren bedroht. Die wichtigste Krankheit ist die Banana Bunchy Top Disease (BBTD), die durch schopfartige Anordnung der Blätter an der Stammspitze charakterisiert ist. BBTD wird durch ein ein-strängiges DNA- Virus verursacht, das von Blattläusen übertragen wird. Die Krankheit ist auf den Pazifikinseln, in Süd- Ostasien und Afrika weit verbreitet, in Amerika aber noch nicht aufgetreten (THOMAS et al., 1994; PLOETZ, 1998). Da bislang keine Resistenz gegenüber BBTD gefunden worden ist, versucht man, durch Quarantänemaßnahmen jede Neuinfektion zu vermeiden. Die Bananenstreifenkrankheit (banana streak disease) wird durch das Banana Streak Virus verursacht. Das zwei-strängige DNA-Virus führt zu chlorotischen bzw. nekrotischen Streifen der Blätter, zu einem gedrungenen Wuchs und nicht selten zu Herzfäule des Scheinstammes und Absterben der ganzen Pflanze (HARPER et al., 2002). Es kommt in mehr als 40 Ländern Afrikas, Asiens, Amerikas und in Australien vor. Resistenz gegenüber diesem Virus wurde kürzlich in dem diploiden

M. balbisiana- Stamm Pisang Klutuk Wulung gefunden (LHEUREUX et al., 2003). Die Anwesenheit eines Potyvirus, das auch von Blattläusen übertragen wird, manifestiert sich durch rot-braune Mosaikmuster an den Deckblättern der männlichen Blütenteile der Fruchtstandenden. Darüber hinaus können sich entlang der Leitbündel der Blätter spindelartige Streifen bilden. Das Virus verursacht die Banana Bract Mosaic Disease (THOMAS and MAGNAYE, 1996), die 1979 zum ersten Mal beschrieben worden ist und in Indien, Sri Lanka, Vietnam und auf den Philippinen auftritt. Es werden insbesondere Bananensorten befallen, die das BB-Genom enthalten. Ertragseinbußen können bei mehr als 40% liegen. Über resistente Sorten ist bislang nichts bekannt.

Bei der von dem Bakterium *Ralstonia solanacearum*, Rasse 2, verursachten Bakterienwelke (Moko Disease) treten bei Befall ähnliche Symptome auf wie bei einem Ausbruch der Panama- Krankheit. Die ersten Blätter werden gelblich-grün, welken und kollabieren schließlich (STANSBURY et al., 2001). Die Gefäßbündel des Stammes verfärben sich dunkelbraun, die Fruchtschalen brechen auf und das Fruchtfleisch bekommt eine graue Farbe. Die Bakterienwelke geht auf Zier-Helikonien zurück und wurde bereits 1910 auf Trinidad zum ersten Mal beobachtet (PLOETZ, 1998). Sie befällt fast alle im Anbau befindliche Dessert- und Kochbananen, besonders aber Sorten der ABB- Bluggoe- Gruppe. Die Welke kommt in Brasilien, Peru, Mittelamerika, auf den karibischen Inseln, in Indien, Australien und auf den Philippinen vor (STANSBURY et al., 2001). Der diploide AA- Stamm SH-669 und *M. acuminata* ssp. *siamea* besitzen Resistenz, die rezessiv vererbt wird (ROWE and RICHARDSON, 1975).

Die gefährlichsten tierischen Schädlinge im Bananenbau sind Nematoden und Wurzelgallenälchen. Der Burrowing- Nematode (*Radopholus similis*) dringt in der Nähe der Wurzelspitzen in die Pflanze ein und ernährt sich hauptsächlich von Rindenzellen. Die Zerstörung der Zellwände, das Auftreten von Nekrosen und der teilweise oder vollständige Zerfall des Wurzelgewebes sind die Folge. *R. similis* befällt alle Cavendish- Bananentypen und viele Kochbananenformen in den Tiefebene Mittel- und Ostafrikas und der Karibik und kann erhebliche Schäden hervorrufen (SARAH et al., 1996). Resistenz gegenüber dem Burrowing-

Nematoden wurde in wilden und kultivierten Formen von *M. acuminata* und *M. balbisiana*, in den AA- Sorten Pisang berlin, Pisang Jari Buaya, Paka und SH-3142 in dem triploiden AAA- Stamm Yangambi km 5 (STOFFELEN et al., 2000; ELSSEN et al. 2002; GUEDIRA et al., 2004) sowie in der tetraploiden AAAB- Sorte Goldfinger (DE WAELE and ELSSEN, 2002) gefunden. In kühleren Klimaten können die Wurzelgallenälchen *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* und die Läsionenälchen *Pratylenchus coffeae* und *P. goodeyi*, vor allem in Süd-Ostasien und auf den Kanarischen Inseln, auftreten (PLOETZ, 1998; PINOCHET, 1998; DE WAELE and DAVIDE, 1998). Die indische AA- Sorte Paka, die AB- Sorte Kunnan und der AAA- Stamm Yangambi km 5 scheinen Resistengene gegenüber *P. coffeae* (COLLINGBORN and GOWEN, 1998) bzw. *P. goodeyi* (PINOCHET, 1998) zu besitzen.

Die Larven des Bananenbohrkäfers (*Cosmopolites sordidus*), engl. banana weevil, gehören zu den wichtigsten käferartigen Schädlingen, die in fast allen Bananenanbaugebieten auftreten. Das Insekt ist ein Rüsselkäfer, der vor allem unter totem Pflanzenmaterial lebt. Das Weibchen legt seine Eier in der Rindenzone des Rhizoms ab. Die cremefarbenen Larven bohren Fraßgänge in das Rhizom hinein (GOLD und MESSIAEN, 2000). Das minimierte Gewebe kann die befallenen Pflanzen derart schwächen, dass sie unter dem Gewicht ihrer Früchte oder durch Wind abknicken. Vor allem in Ostafrika werden die triploiden Hochland- Bananen (AAA), die Kochbananen (ABB) und die Nachkommen aus Kreuzungen zwischen AAB und AA besonders stark befallen (KIGGUNDU et al., 2003). Wirksame Resistenz gegenüber dem Bohrkäfer wurde in triploiden Cavendish- Bananen wie in Yangambi km 5 und in den diploiden *M. acuminata*- Sorten Ndiizi, Kisubi sowie in der AA- Wildart Calcutta-4 gefunden (KIGGUNDU et al., 2003).

6. Biotechnologie

Für die Banane, die hauptsächlich vegetativ vermehrt wird, ist die Regeneration von Zellgeweben oder Einzelzellen zu ganzen Pflanzen von großer Bedeutung. Man schätzt, dass Anfang der 1990er Jahre weltweit mehr als 15 bis 20 Millionen Pflanzen über *in vitro*- Kulturen vermehrt worden sind (ISRAELI et al., 1995). Wie aber in anderen Fruchtarten auch, entstehen während der Kultivierung der Kalli somaklonale Varianten. Die am häufigsten auftretenden Merkmalsveränderungen betreffen die Wuchslänge, Blattform, Farbe und Morphologie des Scheinstammes, des Fruchtstandes und der Finger. Gelegentlich treten Verbesserungen des Fruchtgewichtes, Anzahl der Finger je Fruchtstand und geringere Anfälligkeit gegenüber Pilzkrankheiten auf (NWAUZOMA et al., 2002). Seit einigen Jahren kann man aus jungen Blättern, Kalli, embryogenen Zellsuspensionen und somatischer Embryogenese Protoplasten gewinnen und zu ganzen Pflanzen regenerieren (MEGIA et al., 1992; PANIS et al., 1993; MATSUMOTO and OKA, 1998; ASSANI et al., 2001, 2002). Es ist sicher nur noch eine Frage der Zeit, bis auch Protoplastenfusionen gelingen und sich damit die Möglichkeit eröffnet, Genome unterschiedlicher Herkunft somatisch zu fusionieren. Kürzlich berichteten ASSANI et al. (2003) bei der diploiden Banane *M. balbisiana* erstmals über die erfolgreiche Erstellung haploider Pflanzen aus Antherenkulturen. Die Rege-rationsrate nach acht Monaten Kultivierung lag bei 1.1%. Unter den Regeneraten waren nicht nur haploide, sondern auch diploide Individuen.

Die Erstellung transgener Pflanzen steht erst am Anfang (MAY et al., 1995). Nach Beschuss embryonalen Gewebes mit DNA-beladenen Mikroprojektilen konnten vor kurzem unter Verwendung eines GUS- Reportergens und der selektiven Marker Hygromycin und Geneticin transformierte Pflanzen erstmals regeneriert werden (CROUCH et al., 1998; SAGI et al., 2000). Auch erste Transformationsversuche an meristematischem Gewebe wurden mit Hilfe des *Agrobacterium tumefaciens*- Systems erfolgreich durchgeführt. Mit diesen zellbiologischen und gentechnischen Methoden eröffnen sich neue Möglichkeiten der DNA- Übertragung und damit der Beschleunigung der Züchtung.

7. Züchtung und Perspektiven

Fortschritte in der Anwendung konventioneller und zellbiologischer Methoden haben dazu geführt, dass sich heute durch Züchtung neuer Sorten schneller als früher Erfolge erzielen lassen. Die Nutzung fertiler, krankheitsresistenter diploider Formen mit Genen für Parthenokarpie haben die Möglichkeiten der Selektion polyploider, samenloser und essbarer Zuchtstämme wesentlich verbessert (ORTIZ, 1997). Eine große Anzahl triploider und auch tetraploider Genotypen wurden in den letzten Jahren neu erstellt und dadurch die genetische Variabilität stark erweitert. Die Zusammensetzung der Genome polyploider Genotypen und die Herkunft des Cytoplasmas lässt sich heute sicher bestimmen. Durch Nutzung der Heterosis in Kreuzungen nicht-verwandter Elternlinien wird eine weitere Verbesserung des Leistungspotentials möglich (ORTIZ, 1997).

Eine Herausforderung für die Züchtung ist zur Zeit das epidemieartige Auftreten neuer Rassen wichtiger Krankheitserreger der Banane. Wegen ihrer vegetativen Vermehrung und ihres Anbaus in Monokulturen ist insbesondere das Überleben der triploiden Cavendish- Banane mangels Resistenz gegenüber Rasse 4 des Erregers der Panama- Krankheit, gegenüber Erregern der Schwarzen Sigatoka- Krankheit und gegenüber Nematoden stark gefährdet. Durch Verwendung von Fungiziden, Insektiziden und Nematiziden lassen sich Pilze, außer *Fusarium*, und tierische Schädlinge zwar bekämpfen, aber nur unter Einsatz der Gesundheit der auf den Plantagen arbeitenden Menschen. Mit mehr als 40 Spritzungen im Jahr gehört die Banane zu den chemisch am intensivsten behandelten Fruchtarten. Ein Verschwinden der Cavendish- Banane innerhalb der nächsten zehn Jahre ist daher möglich. Damit könnte dieser Banane das gleiche Schicksal widerfahren wie der Dessertbanane Gros Michel in den 1950er Jahren. Da es schwierig ist, in kurzer Zeit eine im Geschmack und Aussehen ähnliche Banane dem Verbraucher als Ersatz anzubieten, werden gentechnische Methoden vorgeschlagen (PEARCE, 2003), um das Problem der Anfälligkeit gegenüber der Panama- bzw. Sigatoka- Krankheit der Cavendish- Banane zu lösen. Aber selbst wenn die Transformation isolierter Resistenzgene eines Tages gelingen sollte, ist die Akzeptanz transgener Bananen durch den Verbraucher mehr als fraglich. Genetische Resistenz gegenüber der

Panama- und der Schwarzen Sigatoka- Krankheit sowie gegenüber tierischen Schädlingen liegt in diploiden und triploiden Bananenformen vor. Besonders erfolgreich für die Züchtung erwies sich der samen-fertile Stamm SH-3386, der aus einer Kreuzung mit der triploiden ABB Gaddatu, einer *M. balbisiana*- (BB) und einer *M. acuminata*- Linie (AA) mit verzweigtem Wuchs hervorging (ROWE and ROSALES, 2000). In Nachkommenschaften der Kreuzung dieses Stammes mit einer weiteren *M. balbisiana*- Linie wurden in der Zuchtstation FHIA in Honduras zahlreiche Sigatoka-, Panama- und Nematoden- resistente, triploide und tetraploide Stämme selektiert, die zur Zeit auf eine Eignung im praktischen Anbau getestet werden. Das Resistenzproblem scheint mit Hilfe dieser Stämme zwar weitgehend gelöst zu sein, wie der Anbau in Kuba, Grenada, Ostafrika und Australien zeigt. Gravierender ist jedoch der Geschmack des Fruchtfleisches der neuen Stämme. Wenn der Geschmack vom Konsumenten nicht akzeptiert wird, haben die neuen Stämme keine Chance auf dem Markt. Die Kombination hohe Ertragsleistung, verbesserte Merkmale gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren sowie gute Geschmackseigenschaften werden in Zukunft darüber entscheiden, ob sich neue Sorten bei den Dessertbananen wie auch bei den Kochbananen auf den Märkten durchsetzen werden.

8. Literatur

- ADELEKE, M.T.V., PILLAY, M. and OKOLI, B.E.; An improved method for examining meiotic chromosomes in *Musa* L. HortSci 37, 959-961; 2002.
- ASSANI, A., HAICOUR, R. WENZEL, G., COTE, F.X., BAKRY, F., FOROUGH-WEHR, B., DUCREUX, G., AGUILLAR, M.-E. and GRAPIN, A.; Plant regeneration from protoplasts of dessert banana cv. Grande Naine (*Musa* spp., Cavendish sub-goup AAA) via somatic embryogenesis. Plant Cell Rep. 20, 482-488; 2001.
- ASSANI, A., HAICOUR, R., WENZEL, G., FOROUGH-WEHR, B., BAKRY, F., COTE, F.X., DUCREUX, G., AMBROISE, A. and GRAPIN, A.; Influence of donor material and genotype on protoplast regeneration in banana and plantain cultivars (*Musa* spp.). Plant Sci. 162, 355-362; 2002

- ASSANI, A., BAKRY, F., KERBELLEC, F., HAICOUR, R., WENZEL, G. and FOROUGH-WEHR, B.; Production of haploids from anther culture of banana [*Musa balbisiana* (BB)]. *Plant Cell Rep.* 21, 511-516; 2003.
- BAIYERI, K.P., MBAH, B.N., and TENKOUANO, A.; Yield components of triploid and tetraploid *Musa* genotypes in Nigeria. *HortSci* 35, 1338-1343; 2000.
- BAKRY, F. ; La diversité génétique des bananiers et les perspectives de création de nouvelles variétés : pourquoi, comment. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 87, 129-141; 2001.
- BANCROFT, J.; Report of the board appointed to enquire into the cause of diseases affecting livestock and plants, Queensland, 1876. *Votes and Proceedings* 1877, 3, 1011-1038; 1876.
- CARREEL, F., GONZALEZ DE LEON, D., LAGODA, P., LANAUD, C., JENNY, C., HORRY, J.P. and TEZENAS DU MONTCEL, H.; Ascertaining maternal and paternal lineage within *Musa* by chloroplast and mitochondrial DNA RFLP analyses. *Genome* 45, 679-692; 2002.
- COLLINGBORN, F.M.B. and GOWEN, S.R.; Screening Indian cultivars of *Musa* for resistance or tolerance to *Radopholus similis* und *Pratylenchus coffeae*. In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics*, *Acta Horticulturae* 490, 369-372; 1998.
- CRAENEN, K. and ORTIZ, R.; Influence of black Sigatoka disease on the growth and yield of diploid and tetraploid hybrid plantains. *Crop Protection* 17, 13-18; 1998.
- CRESTE, S., NETO, A.T., de OLIVEIRA SILVA, S. and FIGUEIRA, A.; Genetic characterization of banan cultivars (*Musa* spp) from Brazil using microsatellite markers. *Euphytica*, 132, 259-268; 2003.
- CROUCH, J.H., VUYLSTEKE, D.R. and ORTIZ, R.; Perspectives on the application of biotechnology to assist the genetic enhancement of plantain and banana (*Musa* spp.). *Electron. J. Biotechnol.* 1, 11-22; 1998.

- CROUCH, J.H., CROUCH, H.K., CONSTANDT, H., VAN GYSEL, BREYNE, A.P., VAN MONTAGU, M., JARRET, R.L. and ORTIZ, R.; Comparison of PCR-based molecular marker analyses of *Musa* breeding populations. *Molecular Breeding* 5, 233-244; 1999.
- DANIELLS, J., KARAMURA, D. and TOMEKPE, K.; *Musalogue: a catalogue of Musa germplasm. Diversity in the genus Musa* (ARNAUD, E. and SHARROCK, S., compil.) INIBAP, Montpellier, 2001
- D'HONT, A., PAGET-GOY., J., ESCOUTE, J. and CARREEL, F.; The interspecific genome structure of cultivated banana, *Musa* spp. revealed by genomic DNA *in situ* hybridization. *Theor. Appl. Genet.* 100, 177-183; 2000.
- ECKSTEIN, K., FRASER, C., HUSSELMANN, J. and TEMPLE MURRAY, N.; The evaluation of promising new banana cultivars. In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics, Acta Horticulturae* 490, 57-69; 1998.
- ELSEN, A., STOFFELEN, R., TUYET, N.T., BAIMEY, H., DUPRE de BOULOIS, H. and DE WAELE, D.; *In vitro* screening for resistance to *Rodopholus similis* in *Musa* spp. *Plant Sci.* 163, 407-416; 2002.
- FAO; FAOSTAT – Statistics databases. Internet: <http://apps.fao.org/2004>
- FAURE, S., NOYER, J.L, HORRY, J.P., BAKRY, F.,LANAUD, C. and GONZALEZ DE LEON, D.; A molecular marker-based linkage map of diploid bananas (*Musa acuminata*). *Theor. Appl. Genet.* 87, 517-526; 1993.
- FERRIS, R.S.B., ORTIZ, R. and VUYLSTEKE, D.R.; Fruit quality evaluation of plantains, plantain hybrids, and cooking bananas. *Postharv. Biol. Technol.* 15, 73-81; 1999.
- GOLD, C.S and MESSIAEN, S.; The banana weevil *Cosmopolites sordidus*. *Musa* Pest Fact Sheet No. 4, INIBAP, Montpellier; 2000.
- GUEDIRA, A., RAMMAH, A., TRIQUI, Z., CHLYAH, H. CHLYAH B. and HAICOUR, R., Evaluation de la resistance a deux nematodes: *Radolphus similis* et *Meloidogynae* spp. Chez quatre genotypes de bananiers au Maroc. *C.R. Biologies* 327, 745-751, 2004.

- HARPER, G., HART, D., MOULT, S. and HULL, R.; Detection of banana streak virus in field samples of bananas from Uganda. *Ann. Appl. Biol.* 141, 247-257; 2002.
- HWANG, S.-C. and KO, W.-H.; Cavendish banana cultivars resistant to Fusarium wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan. *Plant Dis.* 88, 580, 2004
- ISRAELI, Y., LAHAV, E. and REUVENI, O.; *In vitro* culture of bananas, In: GOWEN, S.R. (ed.) *Bananas and Plantains*, 147-178, Chapman & Hall, London; 1995.
- KAEMMER, D., FISCHER, D., JARRET, R.L., BAURENS, F.-C., GRAPIN, A., DAMDIER, D., NOYER, J.-L., LANAUD, C., KAHL, G. and LAGODA, P.J.L.; Molecular breeding in the genus *Musa*: a strong case for STMS marker technology. *Euphytica* 96, 49-63; 1997.
- KARAMURA, D.A.; Numerical taxonomic studies of the East African highland bananas (*Musa* AAA- East Africa) in Uganda. PhD thesis, University of Reading, Great Britain; 1998.
- KIGGUNDU, A., GOLD, C.S., LABUSHAGNE, M.T., VUYLSTEKE, D.R. and LOUW, S.; Levels of host plant resistance to banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae), in Ugandan *Musa* germplasm. *Euphytica* 133, 267-277; 2003.
- KIRCH, P.V.; Indigenous agriculture on Uvea (Western Polynesia). *Econ. Bot.* 32, 157-181; 1978.
- KOO, B., PARDEY, P. and WRIGHT, B.; The price of conserving agricultural biodiversity. *Nature Biotechnology* 21, 126-128; 2003.
- LANGHE, E. DE; Diversity in the genus *Musa*: its significance and its potential. In: CRAENEN, K., ORTIZ, R., KARAMURA, E.B. and VUYLSTEKE, D.R. (eds.), *Proc. 1st Intern. Conf., Banana & Plantain for Africa*, *Acta Horticulturae* 540, 81-88; 2000.
- LANGHE, E. DE and DE MARET, P.; Tracking the banana: its significance in early agriculture. In: GOSDEN, C. and HATHER J.(eds.) *The Prehistory of Food*, Routledge, London and New York; 1999.

- LANGHE, E. DE, SWENNEN, R. and VUYLSTEKE, D.R.; Plantain in the Early Bantu world. *Azania* 29-30, 147-160; 1994.
- LHEUREUX, F., CARREEL, F., JENNY, C., LOCKHART, B.E.L. and ISKRA-CARUANA, M.L.; Identification of genetic markers linked to banana streak disease expression in inter-specific *Musa* hybrids. *Theor. Appl. Genet.* 106, 594-598, 2003.
- LYSAK, M.A., DOLEZELOVA, M., HORRY, J.P., SWENNEN, R. and DOLEZEL, J.; Flow cytometric analysis of nuclear DNA content in *Musa*. *Theor. Appl. Genet.* 98, 1344-1350; 1999.
- MARIN, D.H., ROMERO, R.A., GUZMAN, M. and SUTTON, T.B.; Black Sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease* 87, 208-222; 2003.
- MATSUMOTO, K. and OKA, S.; Plant regeneration from protoplasts of a Brazilian dessert banana (*Musa* spp., AAB group). In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics, Acta Horticulturae* 490, 455-459; 1998.
- MAY, G.D., AFZA, R., MASON, H.S., WIECKO, A., NOVAK, F.J., ARNTZEN, C.J.; Generation of transgenic banana (*Musa acuminata*) plants via *Agrobacterium*- mediated transformation. *Biotechnology* 13, 486-492; 1995.
- MBIDA, C.M, VAN NEER, W., DOUTRELEPONT, H. and VRYDAGHS, L.; Evidence for banana cultivation and animal husbandry during the first millenium BC in the forest of Southern Cameroon. *J. Archaeol. Sci* 27, 151-162; 2000.
- MBIDA, C.M, W., DOUTRELEPONT, H., VRYDAGHS, L., SWENNEN, R.L., SWENNEN, R.J., BEECKMAN, H., DE LANGHE, E. and DE MARET, P.; First archaeological evidence of banana cultivation in Central Africa during the third millenium before present. *Veget. Hist. Archaeobot.* 10, 1-6; 2001.
- MEGIA, R., HAICOUR, R., ROSSIGNOL, L. and SIHACHAKR, D.; Callus formation from cultured protoplasts of banana (*Musa* ssp.) *Plant Sci.* 85, 91-98; 1992.

- MOORE, N.Y., BENTLEY, S., PEGG, K.G. and JONES, D.R.; Fusarium wilt of banana. *Musa* Disease Fact Sheet No. 5, INIBAP, Montpellier; 1995.
- MOURICHON, X., CARLIER, J. and FOURE, E.; Sigatoka leaf spot diseases. *Musa* Disease Fact Sheet No. 8, INIBAP, Montpellier, 1997.
- NASIR, N., PITTAWAY, P.A., PEGG, K.G. and LISLE, A.T.; A pilot study investigating the complexity of Fusarium wilt of bananas in West Sumatra, Indonesia. *Aust. J. Agric. Res.*, 50, 1279-1283; 1999.
- NWAKANMA, D.C., PILLAY, M., OKOLI, B.E. and TENKOUANO, A.; Sectional relationships in the genus *Musa* L. inferred from the PCR-RFLP of organelle DNA sequences. *Theor. Appl. Genet.* 107, 850-856, 2003a.
- NWAKANMA, D.C., PILLAY, M., OKOLI, B.E. and TENKOUANO, A.; PCR-RFLP of the ribosomal DNA internal transcribed spacers (ITS) provides markers for the A and B genomes in *Musa* L. *Theor. Appl. Genet.* 108, 154-159, 2003b.
- NWAUZOMA, A.B., TENKOUANO, A., CROUCH, J.H., PILLAY, M., VUYLSTEKE, D.R. and DANIEL KALIO, L.A.; Yield and disease resistance of plantain (*Musa* spp., AAB group) somaclones in Nigeria. *Euphytica* 123, 323-331; 2002.
- ORTIZ, R.; *Musa* genetics. In: GOWEN, S.R. (ed.) *Bananas and Plantains*, 84-101, Chapman & Hall, London; 1995.
- ORTIZ, R.; Secondary polyploids, heterosis and evolutionary crop breeding for further improvement of the plantain and banana (*Musa* spp. L.) genome. *Theor. Appl. Genet.* 94, 1113-1120; 1997.
- ORTIZ, R. and VUYLSTEKE, D.R.; Genetic analysis of apical dominance and improvement of suckering behaviour in plantain. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119, 1050-1053, 1994.
- ORTIZ, R. and VUYLSTEKE, D.R.; Inheritance of dwarfism in plantains (*Musa* spp., AAB group). *Plant Breeding* 114, 466-468; 1995a.
- ORTIZ, R. and VUYLSTEKE, D.R.; Effect of the parthenocarpy gene P_1 and ploidy in bunch and fruit traits of plantain-banana hybrids. *Heredity* 75, 460-465; 1995b.

- ORTIZ, R., FERRIS, R.S.B. and VUYLSTEKE, D.R.; Banana and plantain breeding. In: GOWEN, S.R. (ed.) Bananas and Plantains, 110-146, Chapman & Hall, London; 1995.
- OSUJI, J.O., HARRISON, G., CROUCH, J. and HESLOP-HARRISON, J.S.; Identification of the genomic constitution of *Musa* L. lines (bananas, plantains and hybrids) using molecular cytogenetics. *Ann Bot.* 80, 787-793; 1997.
- OVIEDO, G.F. DE ; Historia general y natural de las Indias, Sevilla, Spanien; 1535.
- PANIS, B., WAUWE, A.W., VAN DUREN, M., PEREA-DALLOS, M., CONGER, B.V. and XIAOLONG, T.; Plant regeneration through direct somatic embryogenesis from protoplasts of banana (*Musa* ssp.). *Plant Cell Rep.* 12, 403-407; 1993.
- PEARCE, F.; Going bananas, *New Scientist* 177, 26-30; 2003.
- PEGG, K.G., MOORE, N.Y. and BENTLEY, S.; Fusarium wilt of banana in Australia: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 47, 637-650; 1996.
- PILLAY, M., OGUNDIWIN, A., NWAKANMA, D.C., UDE, U. and TENKOUANO, A.; Analysis of genetic diversity and relationships in East African banana germplasm. *Theor. Appl. Genet.* 102, 965-970, 2001.
- PILLAY, M., TENKOUANO, A. and HARTMAN, J.; Bananas and Plantains: Future Challenges in *Musa* Breeding. In: M. KANG (ed.) *Crop Improvement: Challenges in the Twenty-first Century*, 223-253, Food Products Press, New York; 2002.
- PINOCHET, J.; A review of banana attacking nematodes in the subtropics with emphasis on *Pratylenchus goodeyi* in the Canary Islands. In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics*, *Acta Horticulturae* 490, 353-359; 1998.
- PLOETZ, R.C.; Banana diseases in the subtropics: a review of their importance, distribution and management. In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics*, *Acta Horticulturae* 490, 263-276; 1998.

- PLOETZ, R.C., HAYNES, J.L. and VAZQUEZ, A.; Responses of new banana accessions in South Florida to Panama disease. *Crop Protection* 18, 445-449, 1999.
- RAY, P.K.; *Breeding Tropical and Subtropical Fruits. 3. Banana and Plantain*, 45-83, Springer Verlag, Berlin, 2002.
- RHODES, P.L.; A new banana disease in Fiji. *Comm. Phytopathol. News* 10, 38-40; 1964.
- ROBINSON, J.C.; *Bananas and Plantains*, CAB International, Wallingford, Oxon, Great Britain; 1996.
- ROWE, P.R. and RICHARDSON, D.L.; Breeding bananas for disease resistance, fruit quality and yield. *Tropic. Agric Res. Serv. Bull.*, 2. La Lima, Honduras; 1975.
- ROWE, P.R. and ROSALES, F.; A triploid parental line for breeding disease-resistant cooking bananas for East Africa. In: CRAENEN, K. R., ORTIZ, K.R., KARAMURA, E.B. and VUYLSTEKE, D.R. (eds.), *Proc. 1st Intern. Conf., Banana & Plantain for Africa, Acta Horticulturae* 540, 169-175; 2000
- SAGI, L., REMY, S., CAMMUE, B.P.A., MAES, K., RAEMAEEKERS, T., PANIS, B.; SCHOOF, H. and SWENNEN, R.; Production of transgenic banana and plantain. In: CRAENEN, K., ORTIZ, R., KARAMURA, E.B. and VUYLSTEKE, D.R. (eds.), *Proc. 1st Intern. Conf., Banana & Plantain for Africa, Acta Horticulturae* 540, 203-206; 2000.
- SARAH, J.L., PINOCHET, J. and STANTON, J.; The burrowing nematode of bananas, *Radopholus similis* Cobb, 1913, *Musa Pest Fact Sheet No. 1*, INIBAP, Montpellier; 1996.
- SHEPHERD, K.; *Cytogenetics of the genus Musa*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France; 1999.
- SILVAR, S.D.E., FLORES, J.C.O. and NETO, F.P.L.; Evaluation of banana cultivars and hybrids in four production cycles. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37, 1567-1574; 2002.
- SIMMONDS, N.W.; Segregation in some diploid bananas. *J. Genetics* 51, 458-469; 1953.

- SIMMONDS, N.W.; *The Evolution of Bananas*, Longman Scientific & Technical, Harlow, Great Britain; 1962.
- SIMMONDS, N.W.; Bananas, In: SMART, J. and Simmonds, N.W. (eds.) *Evolution of Crop Plants*, 370-375, Longman Scientific & Technical, Harlow, Great Britain; 1995.
- SINGH, H.P.; Scenario of banana production, utilization and trade, 1-17, Global Conference on Banana and Plantain, October 2002, Bangalore, India; 2002
- SMITH, M.K., HAMILL, S.D., LANGDON, P.W. and PEGG, K.G.; Selection of new banana varieties from the cool subtropics in Australia. In: GALAN SAUCO, V. (ed.) *Proc. Intern. Symp. Banana in Subtropics*, Acta Horticulturae 490, 49-56; 1998.
- SSEMWANGA, J.K., THOMPSON, A.K. and AKED, J.; Quality and acceptability of the new banana cultivar FHIA 3 compared to indigenous Uganda cultivars for matooke preparation. In: CRAENEN, K., Ortiz, R., KARAMURA, E.B. D.R. VUYLSTEKE, D.R. (eds.), *Proc. 1st Intern. Conf., Banana & Plantain for Africa*, Acta Horticulturae 540, 561-567; 2000
- STANSBURY, C., MCKIRDY, S. and POWER, G.; Moko disease. Fact Sheet No. 21, 2001, Agriculture Western Australia; 2001.
- STOFFELEN, R., VERLINDEN, R., XUYEN, N.T., SVENNEN, R. and DE WAELE, D.; Host plant response of *Eumusa* and *Australimusa* banana (*Musa* spp.) to migratory and root-knot nematodes. *Nematology* 2, 907-916; 2000.
- STOVER, R.H.; Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other *Musa* species. *Phytopathol. Paper 4*, Commonwealth Mycol. Instit., Kew, Surrey, Great Britain; 1962.
- STOVER, R.H. and SIMMONDS, N.W.; *Bananas*, 3rd ed. Longman Scientific & Technical, Harlow, Great Britain, 1987.
- TENKOUANO, A., VUYLSTEKE, D.R., OKORO, J., MAKUMBI, D., SWENNEN, R. and ORTIZ, R.; Diploid banana hybrids TMB2x5105-1 and TMB2x9128-3 with good combining ability, resistance to black sigatoka and nematodes. *HortScience* 38, 468-472; 2003.

- THOMAS, J.E. and MAGNAYE, L.V.; Banana bract mosaic disease, *Musa* Disease Fact Sheet No. 7, INIBAP, Montpellier, 1996.
- THOMAS, J.E., ISKRA-CARUANA, M.-L. and JONES, D.R.; Banana bunchy top disease. *Musa* Disease Fact Sheet No. 4, INIBAP, Montpellier; 1994.
- TSEFAYE, B. and LÜDDERS, P.; Diversity and distribution patterns of enset landraces in Sidama, Southern Ethiopia. *Genet. Res. Crop Evol.* 50, 359-371; 2003.
- UDE, G., PILLAY, M., NWAKANMA, D. and TENKOUANO, A.; Analysis of genetic diversity and sectional relationships in *Musa* using AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 104, 1239-1245, 2002a.
- UDE, G., PILLAY, M., NWAKANMA, D. and TENKOUANO, A.; Genetic diversity in *Musa acuminata* Colla and *Musa balbisiana* Colla and some of their natural hybrids using AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 104, 1246-1252, 2002b.
- VAN DEN BERGH, I., NGUYET, D.T.M., TUYET, N.T., NHI, H.H. and DE WAELE, D.; Responses of Vietnamese *Musa* genotypes to *Meloidogyne* spp. under field conditions. *Nematology* 4, 917-923; 2002.
- VIDAL, M. and DE GARCIA, E.; Analysis of a *Musa* spp. somaclonal variant resistant to Yellow Sigatoka. *Plt. Mol. Biol. Rep.* 18, 23-31; 2000.
- VILARINHOS, A.D., PIFFANELLI, P., LAGODA, P., THIBIVILLIERS, S., SABAU, X., CARREEL, F. and D'HONT, A.; Construction and characterization of a bacterial chromosome library of banana (*Musa acuminata* Colla). *Theor. Appl. Genet.* 106, 1102-1106; 2003.
- VILJOEN, A.; The status of Fusarium wilt (Panama disease) of banana in South Africa. *South Afric. J. Sci.* 98, 341-344; 2002.
- WAELE, D. DE and DAVIDE, R.G.; The root-knot nematodes of banana, *Musa* Pest Fact Sheet No. 3, INIBAP, Montpellier; 1998.
- WAELE, D. DE and ELSSEN, A.; Migratory endoparasites: *Pratylenchus* and *Radopholus* species. In: STARR, J.L., COOK, R. and BRIDGE, J. (eds.) *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*, 175-206, CABI Publishing, Egham, Great Britain; 2002.

- WONG, C., R. KIEW, J.P. LOH, L.H. GAN, O. SET, S.K. LEE, S. LUM and GAN, Y.Y.; Genetic diversity of the wild banana *Musa acuminata* Colla in Malaysia as evidenced by AFLP. *Ann. Bot.*, 88, 1017-1025; 2001.
- WONG, C., R. KIEW, G. ARGENT, O. SET, S.K. LEE and GAN, Y.Y.; Assessment of the validity of the sections in *Musa* (Musaceae) using AFLP. *Ann. Bot.* 90, 231-238; 2002.
- YEN, D.E.; The origin of subsistence agriculture in Oceania and the potentials for future tropical food crops. *Econ. Bot.* 47, 3-14; 1993.
- ZIMMERMANN, A.; Über einige tropischer Kulturpflanzen beobachtete Pilze. *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenk. Infektionskrankh. Hyg.* 8, 219; 1902.

II. Zitrusarten (*Citrus spp.*)

Zusammenfassung

Auf einer Fläche von mehr als 7 Millionen Hektar werden zur Zeit fast 103 Millionen Tonnen Zitrusfrüchte weltweit erzeugt. Die wichtigste unter ihnen ist die Apfelsine (*Citrus sinensis*), die zum Frischverzehr und zur Herstellung von Säften dient. Mit mehr als 17 Millionen Tonnen ist Brasilien der bedeutendste Produzent von Apfelsinen. Darüber hinaus werden in vielen Ländern der Tropen und Subtropen Zitronen, Limetten, Mandarinen, Clementinen, Satsumas, Pampelmusen, Grapefruits und Pomeranzen angebaut, die zum Teil wichtige Handelsprodukte sind. Fast alle Zitrusarten stammen aus dem südostasiatischen Raum und sind dort schon seit mehr als 4000 Jahren bekannt. Während die Mehrzahl der Zitrusarten durch Kreuzungen entstanden sind, kann man die Zedrate (*C. medica*), die Mandarine (*C. reticulata*) und die Pampelmuse (*C. grandis*) als echte Spezies ansprechen. Fast alle Zitrusarten werden von Krankheiten und Schädlingen bedroht. Die zur Zeit größten Gefahren für den Zitrusanbau sind die Tristeza- und die Sudden Death- Krankheit. Da Pathogene insbesondere die Unterlagen befallen, müssen zur Zeit viele Millionen Unterlagen gerodet und durch resistente Linien ersetzt werden. Eine weitere große Gefahr für den Zitrusanbau sind abiotische Stressfaktoren wie Frost, Dürre und Salz. Mit Hilfe der klassischen Genetik, Cytogenetik und Zellbiologie werden in der Züchtungsforschung große Anstrengungen unternommen, um diese Probleme zu lösen. Alte Sorten, Zuchtstämme und verwandte, wilde Arten sind ein hervorragendes Potenzial genetischer Ressourcen, gegen die Bedrohung der Zitrusarten durch Stressfaktoren in der Zukunft vorzugehen.

Summary

Origin, diversity and breeding of cultivated *Citrus* species (*Citrus spp.*)

Presently almost 103 million tons of citrus fruits are being produced on an area of 7 million hectares. Among them is the orange (*Citrus sinensis*) which is consumed as fresh food and juice the most important. With a production of more than 17 million tons, Brazil is the largest producer of oranges. Moreover in many

countries of the tropics and subtropics lemons, limes, mandarins, clementines, satsumas, pummelos, grapefruits and sour oranges are being grown and are in part an important merchandise. Almost all citrus varieties originated from the southeast Asian region and have been known for more than 4.000 years. While the majority of citrus species arose through hybridization, citron (*C. medica*), mandarin (*C. reticulata*) and pummelo (*C. grandis*) has been assigned as real species. Almost all citrus species are being threatened by diseases and pests. The currently most important threats for citrus cultivation are the tristeza and the sudden death disease. As the pathogens particularly infect the root stocks, presently millions of root stocks must be eradicated and substituted by resistant lines. Another large threat for citrus cultivation are abiotic stress factors such as frost, drought and salt. With the help of classical genetics, cytogenetics and cell biology large efforts are being undertaken in breeding research in order to solve these problems. Old cultivars, breeding lines and related species are an important potential of genetic resources to combat the threat of stress factors in citrus species in the future.

1. Einführung

Apfelsinen, Zitronen, Limetten, Mandarinen, Clementinen, Satsumas, Pampelmusen, Grapefruits und Pomeranzen sind Pflanzen, deren schmackhafte Früchte jedermann kennt, obwohl sie in unseren Breiten für den Verzehr nicht angebaut werden. Als Kübelpflanzen haben Zitrusarten in den kühleren Regionen allerdings einen hohen Stellenwert. Die weltweit wichtigste, kommerziell angebaute Zitrusfrucht ist die Apfelsine (Orange), die wie fast alle Zitrusarten in Südost-Asien ihre Heimat hat. Zitrusfrüchte, von denen mehr als 102 Millionen Tonnen jährlich erzeugt werden (FAO, 2004), sind für viele Länder wichtige Handelsprodukte. Der folgende Beitrag berichtet über Herkunft, Systematik und Stand der Genetik sowie Möglichkeiten für züchterische Verbesserungen der wichtigsten Zitrusarten.

Es wird angenommen, dass Zitrusfrüchte in China schon seit mehr als 4.000 Jahren angebaut werden. Erste Berichte über die Existenz von Zitrus gehen in die Zeit der Hsia-Dynastie (2.205-1.766 v. Chr.) zurück. In einem der Konfuzius (551-

479 vor Christus) zugeschriebenen ‚Heiligen Büchern Chinas‘ wird über die Hsia-Herrscher berichtet. Fürst Yü war der legendäre Gründer dieser Dynastie. In dem Buch ‚Der Tribut des Yü‘ werden Zitrusfrüchte genannt, die Untergebene dem Fürsten als Tribut zur Verfügung stellen mussten. SCORA (1975) vermutet, dass es sich dabei um Mandarinen und *Citrus junos*, japanisch ‚yuzu‘, handeln könnte, säuerlich schmeckende Zitrusfrüchte, die in Japan und Südkorea heute noch anstelle von Zitronen zur Herstellung von Likören, Marmeladen, Soßen, Salatdressings und Essig verwendet werden (ASADI ABKENAR and ISSHIKI, 2003).

Im Alten Testament heißt es im 3. Buch Mose: ‚Und der Herr redete mit Mose und sprach: Am ersten Tag nehmt schöne Baumfrüchte, Palmwedel, Zweige von dicht belaubten Bäumen und von Bachweiden und seid sieben Tage lang fröhlich vor dem Herrn, eurem Gott‘. Diese Anweisung galt dem Jüdischen Laubhüttenfest, das zur Erinnerung an die Flucht aus Ägypten jedes Jahr gefeiert wird. Bei der von Gott geforderten schönen Baumfrucht handelt es sich um die Zedrate (Zitronat-Zitrone, botanisch *Citrus medica*). Der jüdische Name für diese Frucht ist *etrog*. Er leitet sich vom persischen *torong* für Zedrate ab. Die Frucht für das Fest sollte fehlerlos sein, frisch und duftend, gelb, fleckenlos, mit warzig-höckriger Oberfläche und einer zitzenartigen Spitze.

Aus dem 4. vorchristlichen Jahrhundert ist die von dem chinesischen Dichter Qu Yuan (340-278) viel zitierte ‚Ode an die Orangen‘ (LIU, 2001) erhalten. Im gleichen Jahrhundert unternimmt Alexander der Große seine Eroberungszüge nach Asien und lernt in Medien und Persien den ‚medischen Apfel‘, die Zedrate, kennen. Sie ist die erste Zitrusfrucht, die aus dem Osten in den Mittelmeerraum gelangte. Die leuchtend-gelben, länglich-ovalen Früchte besitzen eine dicke, an ätherischen Ölen reiche Schale, aus der das bekannte Zitronat, auch Sukkade genannt, gewonnen wird. Die Früchte selbst sind ungenießbar, wie schon der griechische Philosoph und Vater der Botanik Theophrast (371-286 vor Christus) in seinem Werk ‚Über die Ursache des Pflanzenwuchses‘ feststellte: ‚Der Apfel ist nicht essbar, aber sehr wohlriechend, so auch das Blatt dieses Baumes ...‘. In der Klassisch Hellenistischen Zeit wurden Skulpturen geschaffen, auf denen die Zedrate und Zitrone eine wichtige Rolle einnehmen. Um 100 vor Christus sind diese beiden

Zitrusfrüchte in Italien auf Mosaiken und Freskengemälden zu sehen (CALABRESE, 1990). Ende des 7. Jahrzehnts vor Christus findet man in Palästina die Zedrate zum ersten Mal auf Münzen. In seiner *Georgica*, einem Lehrgedicht über den Landbau, erwähnt Vergil (70-19 vor Christus) die Zedrate, einer Pflanze aus Medien, und im 4. Jahrhundert nach Christus findet man sie auf einem Mosaik der Geburtskirche in Bethlehem (SPIEGEL-ROY und GOLDSCHMIDT, 1996). Spätestens im 4. und 5. Jahrhundert war die Zedrate als Baum auch in Süditalien in der Gegend um Neapel weit verbreitet. Anfang des 11. Jahrhunderts wird von ihrem Vorkommen in Andalusien, Südspanien berichtet (RAMON-LACA, 2003)

Die älteste Monographie über Orangen geht auf den Chinesen HAN YEN-CHIH (1178) zurück, der während der Südlichen Song Dynastie (1127-1179) in seinem Buch *Chü Lu* über den Anbau und die Pflege zahlreicher Herkunft von Orangen, Mandarinen und Pomeranzen berichtet. Später waren die Araber wesentlich an der Verbreitung der Zitrusfrüchte beteiligt. Mitte des 12. Jahrhunderts wurden Zedrate, Pomeranze, Zitrone und Pampelmuse von den Arabern nach Nordafrika und Europa gebracht. In seiner Schrift *De Vegetabilibus* erwähnt der mittelalterliche Naturforscher, Universalgelehrte und Bischof von Regensburg Albertus Magnus (um 1200-1280) die Pomeranze, die er *Arangus* nannte. Mitte des 17. Jahrhunderts werden Zitrusarten von Giovanni FERRARI (1646) ausführlich in dem Buch *Hesperides* beschrieben. Zitruspflanzen wurden Hesperiden genannt in Anspielung auf die Heraklessage *‚Hesperides‘*. Die gut behüteten goldenen Äpfel im Göttergarten der Hesperiden waren berühmt, galten sie doch für die Menschen als unerreichbar. Mit einer List konnte sich Herakles dieser Früchte bemächtigen. Das bestandene Abenteuer des Herakles wurde als Verheißung der Aufnahme in den Götterhimmel verstanden und die Früchte als Zeichen seiner fast erreichten Unsterblichkeit. Ende des 17. Jahrhundert entwickelte sich in mehreren europäischen Ländern eine Blütezeit der barocken Gartenkunst, in der ausgedehnte Schloss- und Parkanlagen mit verschiedenen Zitruspflanzen entstanden. Die dazugehörigen Überwinterungsquartiere waren die Orangerien. Auch in Nürnberg wurde im Rahmen dieser neuen Gartenkultur von Johann Christoph Volkamer ein Hesperidengarten angelegt und Orangen, Zitronen und Pomeranzen, die Kaufleute

von ihren Geschäftsreisen aus dem Süden mitbrachten, angebaut. Volkamers im Jahre 1708 erschienene Buch ‚Nürnbergische Hesperides über Citruspflanzen‘, das mit Kupferstichen Nürnberger Stadtansichten und Gärten illustriert ist, gilt heute noch als Standardwerk der Citrologie. Vorläufer der Orangerien waren abschlagbare Pomeranzenhäuser, bei denen sich Dach- und Seitenteile abnehmen ließen. Grundmauern eines solches einzigartigen Pomeranzenhauses aus dem 17. Jahrhundert, das damals als Statussymbol galt, wurden kürzlich im Park des Schlosses Ortenburg (Landkreis Passau) entdeckt.

2. Systematik und Botanik

Die Gattung *Citrus* gehört zur Familie der *Rutaceae* oder Rautengewächse. Der Name Citrus wurde von der altgriechischen Bezeichnung κέδρος für Zeder abgeleitet. Schon Theophrast, der über Anzucht und Samenvermehrung der Zedrate berichtet, schreibt: Medien und Persien haben das, was Medischer und Persischer Apfel genannt wird. Und später erwähnt er, dass man mit dem intensiven Geruch der Zedrate Motten und andere Insekten vertreiben kann. Theophrast: ‚Wenn der Apfel zwischen die Kleider gelegt wird, werden diese von den Motten nicht gefressen‘. Da der Duft der Zedrate sehr an den des Zedernholzes erinnert, setzte sich der Begriff Citrus als Name für die ganze Gattung durch.

Da fast alle Zitrusarten miteinander kreuzbar sind und sehr häufig somatische Mutationen hervorbringen, ist ihre Phylogenie und Systematik widersprüchlich und verwirrend (TANAKA, 1954; HODGSON, 1961; SWINGLE and REECE, 1967; BARRETT and RHODES, 1976; SCORA, 1975, 1988; MOORE, 2001). Genetische Untersuchungen über die Verwandtschaft der Zitrusarten lassen aber den Schluss zu, dass es innerhalb der Gattung *Citrus* nur drei wirkliche Arten gibt, nämlich die Mandarine (*C. reticulata*), die Pampelmuse (*C. grandis*) und die Zedrate (*C. medica*). Alle anderen Zitrusformen lassen sich auf Selektionen spontan aufgetretener Mutationen oder Kreuzungen dieser drei Arten zurückführen (SCORA, 1975, 1988; COLETTA FILHO et al., 1998; MOORE, 2001). In Tabelle 1 sind die kommerziell wichtigsten Zitrusarten sowie bekannte Sorten zusammengefasst.

Tab. 1: Systematik kommerziell wichtiger Zitrusarten

Name	Botanische Bezeichnung	Kommerzieller Sortenname
Apfelsine (süße Orange) Rundorangen	<i>C. sinensis</i>	Valencia, Hamlin, Pera, Shamouti (Jaffa), Pineapple, Queen, Gardner, Midsweet, Sunstar, Berna, Salustiana, Valencia Late, Sathgudi, Mosambi, Batavian
Navelorangen		Washington Navel, Navelina, Navel Lane Late, Thomson, Navelate, Newhall, Bahianinha, Palmer, Cara Cara
Blutorangen		Moro, Tarocco, Sanguinello, Sanguinelli, Doble Fina, Entrefina, Maltaise Sanguine
säurefreie Orangen		Lima, Lima Verde, Piralima, Succari, Mosambi
Mandarine (engl. Tangerine)	<i>C. reticulata</i>	Dancy, Poncan, Carvalhais, Fortune, Comun, Mandarino Tardivo di Ciaculli (MTC), Avana
Clementine	<i>C. clementina</i>	Fina, Hernandina, Marisol, Nour Esbal, Oroval, Nules, Oronules, Larache, Clementard, Arrufatina, Loretina
Satsuma	<i>C. unshiu</i>	Miyagawa, Okitsu Wase, Mikan, Owari, Miho Wase, Clausellina, Aoshima, Temprana
Willowleaf (Mediterranean)	<i>C. deliciosa</i>	Willowleaf, Montenegrina, do Rio, Ipanema, Imperial
Cleopatra Mandarine	<i>C. reshni</i>	Cleopatra
Tangor	<i>C. reticulata</i> x <i>C. sinensis</i>	King, Murcott, Afourer, Temple, Ortanique, Mapo, Tacle, Ellendale
Zitrone	<i>C. limon</i>	Femminello Gruppe: F. siracusano, F. commune, F. Santa Teresa, Fino 49 Verna Gruppe: Verna, Lisbon Sizilianische Gruppe: Eureka
Pampelmuse	<i>C. grandis</i> = <i>C. maxima</i>	Thai: Chandler, Kao Panne, Kao Phuang Chinesisch: Goliath, Mato, Shatinyu Indonesisch.: Banpeiyu, Djeroek Deleema, Kopjar
Pomeranze (Bitterorange)	<i>C. aurantium</i>	Seville, Chinotto, Bittersweet, Bouquet de Fleurs, Bouquetiers de Nice, Bouquetier de grandes Fleurs

Name	Botanische Bezeichnung	Kommerzieller Sortenname
Saure Limette	<i>C. aurantifolia</i>	Key Lime (Mexican): Yung, Kagzi, Abhayapuri Tahiti (Persian): Bearss, Idemor, Pond
Süße Limette	<i>C. limettioides</i>	Indian, Columbia, Soh Synteng, Sweet lime, Mitha nimbu, Sakka nimbu, Sarbati chikna
Grapefruit	<i>C. paradisi:</i> <i>C. grandis</i> x <i>C. sinensis</i>	weißfleischig: Duncan, Walters, Marsh rotfleischig: Foster, Hudson, Thompson, Star Ruby, Ruby Red, Henninger, Rio Red , Flame
Tangelo	<i>C. reticulata</i> x <i>C. paradisi</i>	Sampson, Thornton, Orlando, Minneola
Citrange	<i>C. sinensis</i> x <i>Poncirus trifoliata</i>	Coleman, Rust, Morton, Savage, Benton, Carrizo, Troyer
Citrumelo	<i>C. grandis</i> x <i>Poncirus trifoliata</i>	Swingle
Volkamers Zitrone	<i>C. volkameriana</i>	Volkamers Zitrone
Mandarinen Limette	<i>C. limonia</i>	Rangpur Limette
Rauschalige Zitrone	<i>C. jambhiri</i>	Florida rough, Mazoe, Jamberi
Kumquat	<i>Fortunella</i> spp.	Nagami (<i>F. margarita</i>), Marumi (<i>F. japonica</i>), Honkong (<i>F. hindsii</i>), Meiwa (<i>F. crassifolia</i>)
Dreiblättrige Orange	<i>P. trifoliata</i>	Flying Dragon, Rubidoux

Zitruspflanzen sind immergrüne Bäume oder Sträucher mit wechselständigen Blättern. Ihre weißen, manchmal rosa-farbenen Blüten besitzen je fünf Kelch- und Blütenblätter und bis zu 20 Staubblätter. Narbe mit Griffel und Fruchtknoten sind oberständig. Die Zitrusfrucht ist eine Sonderform der Beere, ein Hesperidium. Die Fruchtschale setzt sich aus dem Exokarp (Flavedo) und dem Mesokarp (Albedo) zusammen. Die Flavedoschicht (Epikarp), die sich unter einer wachsbedeckten Epidermis befindet, ist ein Gewebe, das durch Carotinoide rötlich-gelb gefärbt und mit zahlreichen Drüsen, die ätherische Öle enthalten, besetzt ist. Das Albedo ist ein trockenes, weißes Schwammgewebe, an dem die Fruchtsegmente befestigt sind. Bei der Zitrone und sauren Limette sind die Fruchtsegmente mit dem Albedo verwach-

sen, so dass sich die Frucht nicht schälen lässt. Bei der Mandarine und Clementine ist das Albedo nur eine dünne Schicht, die mit dem Flavedo verwachsen ist und sich leicht von den Fruchtsegmenten lösen lässt. Die Fruchtsegmente lassen sich dann gut zerteilen, ohne dass die Trennwände beschädigt werden. Das Endokarp besteht aus einer dünnen Haut, die zahlreiche Saftschläuche (Zotten) in die Fruchtfächer einstülpt. Die 10 bis 14 Fruchtsegmente können jeweils bis zu acht Samen enthalten, meistens entwickelt sich aber nur einer je Segment.

Werden Zitruspflanzen aus Samen gezogen, dauert es in der Regel viele Jahre bis zur Blüte und zum Fruchtansatz. Um die Jugendentwicklung abzukürzen, hat sich in fast allen Zitrusanbauregionen die Veredlung durchgesetzt. Dabei werden Edelreiser mit gut ausgebildeten Knospen und verschiedene Unterlagen verwendet. Die Auswahl der Unterlage hängt von den Boden- und Klimaverhältnissen, der Wasserversorgung und den lokalen, biotischen Stressfaktoren ab.

Einige Zitrusarten wie die Clementine, die Mandarinensorte Imperial, die Tangorsorte Temple, die Pampelmuse, Tahiti Limette und Zedrate bilden nach der Befruchtung ganz normale Embryonen aus. Sie sind monoembryonisch. Bei anderen Arten wie der Apfelsine (Sorte Valencia), Pomeranze, Key Limette, Mandarine (Sorten Dancy, Kara, Carvalhais) und der Grapefruitsorte Marsh entstehen nach der Befruchtung aus ein und derselben Samenanlage gleich mehrere Embryonen. Sie sind polyembryonisch (CAMERON und SOOST, 1969). Unter diesen Mehrfachembryonen sind solche, die einerseits aus der befruchteten Eizelle und andererseits aus diploiden Zellen des Nucellus (Gewebekern), der den inneren Teil der Samenanlage umschließt, hervorgehen (KOLTUNOV et al., 1995). Letztere werden auch Nucellarembryonen genannt. Sie sind mit der Mutterpflanze identisch, genetisch uniform und werden daher bevorzugt zur Vermehrung von Unterlagen, zum Beispiel der Pomeranze, Rauschaligen Zitrone (*C. jambhiri*) und Dreiblättrigen Orange (*P. trifoliata*) verwendet. Für die Züchtung ist das Auftreten der Polyembryonie jedoch von Nachteil (KOLTUNOV et al., 1996), da nucellare, muttergleiche Embryonen von solchen aus der Zygote entstandenen visuell nicht zu unterscheiden sind. Biochemische Marker wie Isoenzyme eignen sich für eine Herkunftsbestimmung solcher Embryonen einer Kreuzung, vorausgesetzt, die Eltern

selbst können an Hand ihre Bandenmuster unterschieden werden (SOOST et al., 1980, TORRES et al., 1978; 1982). Neuerdings werden auch molekulare Marker (RAPD) zur Unterscheidung herangezogen (BASTIANEL et al., 1998; ELISIARIO et al., 1999a).

Das Merkmal Mono/Polyembryonie wird verhältnismäßig einfach vererbt. In Kreuzungen monoembryonischer Linien miteinander bilden alle Nachkommen sexuelle Embryonen. Eine Aufspaltung in beide Typen sind in Kreuzungen zwischen monoembryonischen und polyembryonischen Linien zu erwarten (ROOSE et al., 1995).

Unter Zitrusarten weit verbreitet ist die gametophytische Selbst- Inkompatibilität. Bei diesem Phänomen befinden sich in einem Genort *S* zahlreiche Allele für Selbst-Inkompatibilität (multiple Allelie). Bestäubung durch den eigenen Pollen ist nicht möglich. Trägt der Pollen ein Allel, das mit einem der beiden im Narben- oder Griffelgewebe vorhandenen Allele identisch ist, wird das Wachstum des Pollen durch den Griffel zunächst gehemmt und schließlich verhindert. Sorten der Pampelmuse, Clementine und Zitrone, die Tangelosorten Minneola und Orlando, die Tangorsorten Ellendale und Murcott sowie die Mandarinensorte Fortune sind selbst-inkompatibel (CAMERON und SOOST, 1969). Solche Sorten sind auch untereinander unfruchtbar. Minneola und Orlando können nicht einmal von Pollen anderer Sorten befruchtet werden.

3. Cytologie und Genetik

Die Chromosomengrundzahl aller Zitrusarten ist $x = 9$; die diploide Chromosomenzahl ist $2n = 2x = 18$. Die somatischen Chromosomen sind sehr klein (1 bis 3.5 μm) und hinsichtlich ihrer Morphologie untereinander sehr ähnlich (FROST, 1925; KRUG, 1943; GUERRA et al., 2000). Mit Hilfe der CMA- (Chromomycin A) und der DAPI- (4'-6-diamidino-2-phenylindole) Fluoreszenz lassen sich jedoch mindestens sechs Chromosomenpaare anhand der Bandenmuster sicher identifizieren. Die Banden treten vor allem an den Chromosomenenden und im Centromerbereich auf (GUERRA, 1993). In *C. sinensis* wurde je eine sekundäre Konstriktion proximal in einem der größeren und subterminal in einem der kleineren

Chromosomen beobachtet (PEDROSA et al., 1997). Unter Verwendung von CMA, DAPI und der Giemsa-Färbung gelang es YAMAMOTO und TOMINAGA (2004) anhand ihrer physikalischen Längen und Bandenmuster alle neun Chromosomenpaare einer haploiden Clementine zu identifizieren.

C. sinensis besitzt mit $1C = 0.62$ pg einen verhältnismäßig niedrigen DNA-Gehalt (GUERRA, 1984), der nur wenig höher ist als der von Reis (0.50 pg). Mit Hilfe der Durchflusscytometrie konnte gezeigt werden, dass Zitrusarten 2C-DNA-Gehalte zwischen 0.8 und 1.0 pg besitzen; die Zedrate (*C. medica*) hat den kleinsten, die Mandarine (*C. reticulata*) den größten DNA-Gehalt (OLLITRAULT und MICHAUX-FERRIERE, 1992). Niedrige DNA-Gehalte wurden auch in Zellkernen von Unterlagen mehrerer Zitrusarten gefunden (SEKER et al., 2003).

Mit Hilfe molekularer Marker wurden seit Anfang der 1999er Jahre mehr als 15 Genkarten erstellt. Diese Karten sind Grundlage für eine markergestützte Selektion und für Genklonierungen. Vergleiche von Kopplungsgruppen verschiedener Zitrusarten lassen Schlüsse auf die Gensequenzen und die Struktur der Chromosomen zu. Bei diesem Vorgehen konnten RUIZ und ASINS (2003) zeigen, dass Pomeranze, Volkamers Zitrone und *Poncirus trifoliata* (Dreiblättrige Orange) gemeinsame, aber auch unterschiedliche Sequenzen besitzen. Wahrscheinlich gehen diese Unterschiede auf chromosomale Translokationen und Inversionen innerhalb der Arten zurück, was einen Vergleich ihrer Genome erschwert.

Bei der Genklonierung steht das dominante Gen *CTV* von *P. trifoliata* für Resistenz gegenüber dem Tristeza-Virus im Mittelpunkt (GMITTER et al., 1996; MESTRE et al., 1997; FANG et al., 1998; DENG et al., 2001; YANG et al., 2001, 2003). Eine Isolierung dieses Resistenzgens würde die Möglichkeit eröffnen, es in anfällige Unterlagen anderer Zitrusarten zu übertragen.

4. Herkunft und Merkmale wichtiger Zitrusarten

4.1 Apfelsine

Der deutsche Name Apfelsine bedeutet Apfel aus China. Sehr wahrscheinlich hat *Citrus sinensis* in China oder Nordindien seinen Ursprung (SCORA, 1975; 1988). Wichtigster Produzent der Apfelsine ist Brasilien mit etwa 17.2 Millionen

Tonnen (Tab. 2), gefolgt von den USA (10.5 Mio t), Mexiko (4.0 Mio t) und China (3.8 Mio t). In Europa produzieren Spanien mit über 3.0 Mio t und Italien mit 2.0 Mio t die meisten Apfelsinen. Weltweit werden im Jahr mehr als 62 Mio t Apfelsinen (Tab. 2) erzeugt. Brasilien ist mit mehr als 1 Mio t auch wichtigster Exporteur von konzentriertem Orangensaft (FAO, 2004).

**Tabelle 2: Produktion von Apfelsinen in 1.000 Tonnen
(FAO, 2004)**

Land		Land	
Brasilien	17.222	Ägypten	1.725
USA	10.473	Pakistan	1.400
Mexiko	3.970	Griechenland	1.200
China	3.843	Türkei	1.160
Spanien	3.034	Südafrika	1.082
Indien	2.980	Marokko	0.730
Italien	2.053	Welt	62.171
Iran	1.850		

Die Apfelsine kam etwa Ende des 15. Jahrhunderts mit Hilfe portugiesischer Seefahrer (Vasco da Gama) aus Südostasien nach Südeuropa (RAMON-LACA, 2003). Christoph Columbus selbst soll während seiner zweiten Reise nach Amerika im Jahre 1483 Apfelsinensamen von den Kanarischen Inseln zur Insel Hispaniola (heute: Haiti/Dominikanische Republik) gebracht haben. Von dort gelangten diese nach Kuba, im Jahr 1518 nach Mexiko und wenig später nach Florida (SPIEGEL-ROY und GOLDSCHMIDT, 1996).

Man teilt die Apfelsinen auf Grund morphologischer Unterschiede und Inhaltsstoffe der Früchte in vier Gruppen ein: Rund-, Navel-, Blut- und säurefreie Orangen (Tab.1).

Die bekanntesten Rundorangen sind die kernlosen Sorten Valencia und Hamlin. Die spätreifende, mittelgroße, rund bis länglich ovale Valencia ist die weltweit wichtigste Sorte. Sie wurde Mitte des 19. Jahrhunderts in Portugal identifiziert, stammt aber sehr wahrscheinlich aus China (DAVIES and ALBRIGO, 1994). Die Erträge liegen zwischen 40 bis 50 t/ha. Hamlin ist eine frühreifende Sorte, die 1879 in Florida als Spontanmutante selektiert worden ist. Die Früchte sind klein bis mittelgroß, die Erträge (60 bis 80 t/ha) aber höher als die von Valencia. Die Sorte Shamouti (Jaffa) ist eine kernlose, mittelspäte Rundorange, die 1844 in der Nähe von Jaffa (Israel) als somatische Mutation der Sorte Beladi entstanden ist (SAUNT, 2000).

In Brasilien basiert die Apfelsinenproduktion zu 40% auf der Sorte Pera, zu 24% auf der Sorte Natal, die morphologisch und in ihren Fruchteigenschaften große Ähnlichkeit mit der Sorte Valencia aufweist, und zu 22% auf der Sorte Valencia (AYRES, 2001). Die spät reifende Sorte Pera ist die Grundlage für die Herstellung von konzentriertem Orangensaft und für den Frischverzehr. Ihre Früchte sind mittelgroß und enthalten bis zu zehn Kerne. Die Qualität der Früchte ist besser als die der Sorte Hamlin, aber reicht nicht an die der Sorte Valencia heran (DAVIES und ALBRIGO, 1994). Weitere Rundorangensorten sind die USA- Sorten Pineapple (1860), Queen (1900), Gardner (1976), Midsweet (1976), Sunstar (1976) und die spanischen Sorten Berna, Salustiana und Valencia Late. Die wichtigsten Sorten in Indien sind Sathgudi (= Cheeni), die im Staate Tamil Nadu ihren Ursprung hat, und Batavian (Tab. 1).

Auch die Navel- (Nabel) Apfelsinen gehören zu den Süßorangen. Sie besitzen neben der Hauptfrucht **eine**, manchmal bis zu vier kleine Tochterfrüchte, die als nabelartige Ausstülpungen an der Spitze der Frucht in Erscheinung treten. Die Entwicklung der Navel- Apfelsine nahm in Brasilien mit der Bahia Orange, ihren Anfang. Bei ihr handelt es sich um eine Knospenvariation, die um das Jahr 1800 entstanden ist. Wenige Sämlinge dieser Sorte gelangten 1873 nach Kalifornien. Sie wurde dort Washington Navel genannt und breitete sich über die gesamte USA und viele andere Länder aus. Die kernlose Sorte wird hauptsächlich frisch verzehrt. Auch in Spanien, dem bedeutendsten Apfelsinen produzierenden

Land in Europa, ist Washington Navel wichtigste Navelsorte, gefolgt von der Sorte Navelina, die 1919 in Kalifornien als Spontanmutante selektiert worden ist. Andere Navelsorten sind Bahianinha (Brasilien), Thomson, Newhall, Navelate und Navel Lane Late. Thomson, Navelate und Navel Lane Late sind spontane Mutationen der Sorte Washington Navel, die 1891 in Kalifornien, 1948 in Vinaroz (Castellon de la Plana, Spanien) bzw. 1954 in Australien entdeckt worden sind. Die Sorte Palmer ist 1930 als nucellarer Keimling von Washington Navel in Südafrika entstanden und dort heute noch die am weitesten verbreitete Sorte. Cara Cara, die ursprünglich in Venezuela als Mutante entdeckt worden ist, erfreut sich wegen ihres roten Fruchtfleisches einer ständig zunehmenden Beliebtheit.

Blutorangen sind vor allem in den Mittelmeerländern verbreitet. Sie sind besonders ergiebig bei der Safftherstellung (MOUFIDA und MARZOUK, 2003) Für die Entwicklung des roten Fruchtfleisches sind hohe Temperaturen während des Tages und kühle Nächte von entscheidender Bedeutung. Für die Bildung der roten Farbe ist der sekundäre Inhaltsstoff Anthocyan verantwortlich (MONDELLO et al., 2000). Wichtige Sorten sind Moro, Tarocco, Doble Fina, Sanguinelli und Entrefina. Sanguinelli und Entrefina sind spontanen Mutationen von Doble Fina (Tab. 1).

Die säurefreien Apfelsinen bilden eine kleine Gruppe von Sorten, für die ein süßer, aber sehr fader Geschmack charakteristisch ist. Sie kommen in Spanien, Ägypten, Brasilien, Mexiko und Ostafrika vor, haben dort aber nur lokale Bedeutung. Lima, Lima verde, Piralima, Succari und Mosambi, die aus Mosambique stammt, sind die bekanntesten Sorten (Tab. 1).

Die Entstehung der Apfelsine ist umstritten. Biochemische Untersuchungen mit Blatt- Isoenzymen (TORRES et al., 1978), molekulare Studien mit ISSR (Inter-simple Sequence Repeats) Markern (FANG and ROOSE, 1997) sowie Untersuchungen der Chromosomenbanden mit den Fluorchromen CMA und DAPI (ROOSE et al., 1998; PEDROSA et al., 2000) weisen auf eine monophyletische Entstehung von *C. sinensis* hin. Zahlreiche somatische Mutationen und Selektionen asexuell reproduzierter Klonsorten sind die Basis für ein breites Spektrum phänotypischer Diversität der Apfelsine. Ergebnisse taxonomischer (BARRETT

and RHODES, 1976), biochemischer und cytologischer Untersuchungen (TORRES et al., 1978; SCORA, 1988; MIRANDA et al., 1997) sowie Vergleiche der Cytoplasmen (YAMAMOTO et al., 1993) legen den Schluss nahe, dass *C. sinensis* aus einer Kreuzung zwischen Pampelmuse (*C. grandis*) und Mandarine (*C. reticulata*) hervorgegangen ist. Molekulare Untersuchungen mit SCAR (Sequence Characterized Amplified Regions) und RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) unterstützen diese Annahme (LURO et al., 1995; NICOLOSI et al., 2000).

4.2 Mandarine, Clementine, Satsuma, Willowleaf und Cleopatra

4.2.1 Mandarine

Der Name Mandarine (*C. reticulata*) ist vor allem in den Haupterzeugerländern wie China, Japan, Spanien und Italien üblich (Tab.3). In den USA, Südafrika, Australien und anderen Ländern des englischen Sprachraums wird statt Mandarine die Bezeichnung Tangerine verwendet. Darunter versteht man vor allem Früchte mit intensiv, orangeroter Schalenfarbe (DAVIES und ALBRIGO, 1994). Weltweit werden jährlich fast 19 Millionen Tonnen Mandarinen, Clementinen und Satsumas erzeugt (FAO, 2004). China ist mit 7.4 Millionen Tonnen wichtigster Produzent. Es folgen Spanien mit 2.0 Mio. t und Japan, wo hauptsächlich Satsumas produziert werden, mit 1.2 Mio t (Tab. 3).

Die Mandarine bildet niedrige, schwach wüchsige Bäume mit dichter Belaubung. Im Gegensatz zu anderen Zitrusfrüchten haftet die Schale nur locker an der Frucht und lässt sich daher leicht entfernen. Der Geschmack des Fruchtfleisches ist ausgesprochen süß. Die Mandarine gilt als eigenständige Art (SCORA, 1975; BARRETT and RHODES, 1976; MOORE, 2001).

**Tabelle 3: Produktion von Mandarinen (Tangerinen),
Clementinen und Satsumas in 1.000 Tonnen
(FAO, 2004)**

Land		Land	
Welt	18.799	Südkorea	0.643
China	7.372	Italien	0.577
Spanien	2.035	Ägypten	0.500
Japan	1.200	Pakistan	0.496
Brasilien	0.910	Türkei	0.450
Iran	0.710	Marokko	0.410
Thailand	0.668	Argentinien	0.400

Herkunftsland der Mandarine ist Südostasien (Nordostindien und/oder Südchina). Nach Europa, wo sie OSBECK et al. (1771) erstmals erwähnte, wurde sie Ende des 18. Jahrhunderts eingeführt, zunächst nach England, später nach Malta und andere Mittelmeerländer. Ende des 19. Jahrhunderts gelangte die Mandarine von Nordafrika oder Europa nach Nordamerika. Im Jahre 1867 wurde in Florida aus einem Sämling, vermutlich aus Marokko stammend, die Sorte Dancy und einige Jahre später die Sorte Ponkan ausgelesen (MORTON, 1987). Ponkan ist zur Zeit in Brasilien mit einem Anteil von 60% wichtigste Mandarinentart (SA BORGES und PIO, 2003). Eine neuere Sorte ist Fortune, die in Kalifornien im Jahre 1964 aus einer Kreuzung zwischen Dancy und einer Clementinentart entstand. In Europa sind die beiden italienischen Sorten Avana und Mandarino Tardivo di Ciaculli (MTC) sowie die portugiesischen Sorten Carvalhais und Comun am bekanntesten (ELISIARIO et al., 1999b).

Die Mandarine gehört zu einer Gruppe von Zitrusarten, die phänotypisch äußerst heterogen ist (SWINGLE und REESE, 1967; DAS et al., 2004). Selbst die Verwendung molekularer Marker wie SCAR und RAPD haben bislang keine Erkenntnisse über die Vorfahren der Mandarine gebracht. NICOLOSI et al. (2000) sowie ASADI ABKENAR et al. (2004) postulieren die in China beheimatete *Citrus*

ichangensis als den mütterlichen Vorfahren der Mandarine (*C. reticulata*) Es ist aber auch möglich, dass die in Yunnan, Südchina, heute noch wild wachsende Zitrusart *C. sunki* (GMITTER und HU, 1990) oder ein enger Verwandter dieser Art direkter Vorfahre der Mandarine ist (CORNELIO et al., 2003)

Kreuzungsbastarde der Mandarine (Tangerine) mit der Apfelsine werden mit dem Namen Tangor (Tangerine x Orange) bezeichnet (Tab. 1). Die Tangorsorte King zum Beispiel stammt ursprünglich wahrscheinlich aus Malaysia und gelangte über Japan nach Florida (MORTON, 1987). Die Sorte Murcott (= Honey) geht auf die Arbeitsgruppe um W. Swingle zurück und wurde 1913 in Florida selektiert. Sie ist wahrscheinlich ein natürlicher Bastard zwischen Mandarine und Apfelsine und in Brasilien (SA BORGES und PIO, 2003) und den USA verbreitet. Ihr Fruchtsaft ist äußerst aromatisch. Vermutlich über einen Sämling der Sorte Murcott ist 1982 in Marokko die kernlose Sorte Afourer, die in den USA unter dem Namen Delite vermarktet wird, entstanden. Die mittelgroße, orangefarbene Sorte Temple wurde Ende des 19. Jahrhunderts in Jamaika entdeckt und kam 1919 nach Florida (MORTON, 1987). Auch die kernlose Tangorsorte Ortanique (= Mandora = Topaz) wurde in Jamaika entdeckt. Ihre Früchte schmecken süß-säuerlich, sind aber nicht leicht zu schälen. Ortanique hat in Marokko, Spanien, Brasilien (SA BORGES und PIO, 2003) und in den Vereinigten Staaten eine größere Marktbedeutung. Noch wenig bekannt sind die aus Italien stammende Sorte Mapo und die 1999 zugelassene, aus der Kreuzung zwischen der Clementine Monreal und der Blutorange Tarocco hervorgegangene, triploide und kernlose Sorte Tacle (NICOTRA, 2001). Die Sorte Ellendale, die 1878 in Australien entdeckt wurde, ist wahrscheinlich ein natürlicher Bastard zwischen Mandarine und Süßorange (HODGSON, 1967).

Unter den Mandarinen findet man sowohl mono- als auch polyembryonische Klonsorten, selbstfertile und selbstinkompatible Formen (SWINGLE and REECE, 1967). Zu den Mandarinen zählt man mehrere Gruppen, von denen die Clementine (*C. clementina*), die Satsuma (*C. unshiu*), die Willowleaf- Mandarine (*C. deliciosa*) und die Cleopatra Mandarine (*C. reshni*) die wichtigsten sind.

4.2.2 Clementine

Im Jahre 1898 zog der Leiter des Waisenhauses ‚Misserghin‘ in Algerien, Pater Clement Rodier, junge Pflanzen aus mehreren Mandarinensamen heran. Die Früchte dieser Bäume unterschieden sich in ihrem Aussehen und ihrer Qualität deutlich von den bisher bekannten Mandarinenformen. Die Linie wurde weiter vermehrt, verbreitete sich sehr stark in der Gegend von Oran und wurde nach Pater Clement ‚Clementine‘ genannt (TRABUT, 1902). Anfang des 20. Jahrhunderts gelangte die Clementine nach Spanien und erhielt dort die Bezeichnung Fina (Tab. 1). Diese Sorte wurde wegen ihrer leichten Schälbarkeit und ihres guten Geschmacks sehr geschätzt. Sehr wahrscheinlich gehen alle Clementinensorten auf diese eine, in Algerien entstandene Linie, zurück. Die genetische Variabilität der Clementine ist daher sehr gering. Mehrere neue Sorten sind durch spontane Knospenvariationen aus Fina entstanden, zum Beispiel Oroval (1950) in Quart de les Valls (Valencia), Nules (1953), der zur Zeit wichtigsten Clementinensorte in Spanien, in Castellon de la Plana, Esbal (1966) in Sagunto (Valencia), Hernandina (1966) in Picasent (Valencia), Tomatera in Burrian (Castellon de la Plana). Clemenules wurde 1953 in Nules (Castellon de la Plana), Arrufatina 1968 in Villareal (Castellon de la Plana) und Oronules 1968 ebenfalls in Villareal nach spontaner Knospenmutation von Nules entdeckt. Marisol wurde nach Mutation in Oroval (1950) in Bechi (Castellon de la Plana) selektiert. Die extrem früh reifende Loretina schließlich entstand durch spontane Mutation in Marisol (1992) in Tormos (Alicante). Die häufig durch Knospenvariation auftretenden Änderungen betreffen Reife- und Blütezeit sowie Fruchtqualität. Auf der Suche nach einer Erklärung für die hohe Mutationsrate in der Clementine und anderen Zitrusarten fanden ASINS et al. (1999) sowie BERNET und ASINS (2003) im Genom *copia*- und *gypsy*-ähnliche Retrotransposons. Diese mittelrepetitiven DNA- Sequenzen besitzen wie Retroviren lange, direkte terminale Repeats (LTR), die an ihren Enden von kurzen invertierten Repeats flankiert werden. Unter Verwendung von IRAP's (Inter Retrotransposon Amplified Polymorphisms) ließen sich Veränderungen in der Nucleotidsequenz dieser transponierbaren Elemente nachweisen (BRETO et al., 2001). Anhand der Anzahl der Fragmente bestimmter Größe in den Retrotranspo-

sons verschiedener Sorten konnte eine Zunahme an Mutationen beginnend in der Fina- Gruppe bis hin zu Arrufatina bzw. Oroval/Marisol und Loretina gefunden werden.

DENG et al. (1992) und NICOLOSI et al. (2000) glauben, dass die Clementine ursprünglich aus einer Kreuzung zwischen Mandarine und Süßorange hervorgegangen ist. Sie ist monoembryonisch und wird vegetativ vermehrt.

4.2.3 Satsuma

Dieser Name geht auf Satsuma zurück, der früheren Bezeichnung der heutigen Präfektur Kagoshima am südlichen Ende der japanischen Kyushu Insel. Herkunftsland der Satsuma Mandarine (*C. unshiu*) ist sehr wahrscheinlich China. Von dort kam sie nach Japan (SAUNT, 2000), wo sie noch heute die dominierende Zitrusart ist (Tab. 3). Sie bildet breitwüchsige Bäume mit hängenden Zweigen aus. Ihre kernlosen Früchte sind aromatisch und sehr saftig, die Schale dünn und leicht schälbar. Auf *Poncirus trifoliata*, der Dreiblättrigen Orange (Tab. 1), veredelt, gehören Satsumas zu den kältetolerantesten Zitrusarten überhaupt. Sie können Temperaturen von -9°C tolerieren und sind daher besonders gut an das kühlere Klima in Ostchina, Japan und Spanien angepasst. Die wichtigste Sorte ist Owari (Tab. 1). In Spanien wird sie jedoch allmählich durch die Sorte Okitsu ersetzt, die 1940 in Japan aus der Sorte Miyagawa selektiert worden ist. Eine andere sehr populäre Sorte in Spanien ist Clausellina, eine Knospvariation der Sorte Owari, die 1962 in Almazora (Castellon de la Plana) entdeckt wurde. Sie reift früher als die beiden anderen Sorten. In Japan gibt es mehr als 100 Sorten, zum Beispiel Okitsu Wase (wase = frühreif), Miho Wase, Mikan und Aoshima. In Argentinien wurde im Jahre 2000 die Sorte Temprana zugelassen, die als spontane Mutation von Okitsu selektiert worden ist, aber 10 Tage früher als diese reift (NICOTRA, 2001). Die 1935 in Kalifornien zugelassene, nahezu kernlose Sorte Kara ist eine Kreuzung der Owari Satsuma mit der Tagorsorte King. Die Satsuma- Mandarine besitzt eine äußerst geringe genetische Variabilität, die mit Hilfe molekularer Marker bestätigt werden konnte (FANG und ROOSE, 1999; AHMAD et al., 2003).

4.2.4 Willowleaf

Eine Gruppe von Mandarinen, die wegen ihrer an Weidenblätter erinnernden Blattform Willowleaf- Mandarine (*C. deliciosa*) genannt wird, kam Anfang des 19. Jahrhunderts von Kanton (China) nach Europa. Sie wurde im gesamten Mittelmeerraum sehr populär und ist auch unter dem Namen Mittelmeer (Mediterranean)- Mandarine bekannt (MORTON, 1987). Allerdings ist die Willowleaf- Mandarine in dieser Region inzwischen von Sorten der Clementine und Satsuma verdrängt worden. In Brasilien und Australien werden jedoch noch Sorten angebaut (MACHADO et al., 1996; KOEHLER-SANTOS et al., 2003; SARBORGES und PIO, 2003). Willowleaf wurde in Kalifornien mit der Tangorsorte King gekreuzt und die Sorten Encore (1965), Wilking (1915) und Kinnow (1908) selektiert (WALHEIM, 1996). Letztere ist vor allem in Indien weit verbreitet (SINGH, 1997).

4.2.5 Cleopatra Mandarine

Diese Mandarinenart wird botanisch *C. reshni* bezeichnet. Sie bringt mandarinenähnliche, orange-rote, säuerlich schmeckende Früchte hervor. Cleopatra wird aber weniger wegen seiner Früchte angebaut, sondern dient vor allem als Unterlage für Mandarinen, Tangelos und andere Zitrusarten, vorwiegend in den USA, Brasilien und Spanien. In Venezuela ist Cleopatra neben Volkamers Zitrone wichtigste Unterlage (MENDT, 1988). Obwohl Cleopatra- Unterlagen im allgemeinen zu kleineren Früchten und niedrigeren Erträgen tendieren, sind ihre Dürre-, Frost-, Kalk- und Salztoleranz sehr willkommen (GARCIA et al., 2002; SAULS, 2002). In Kreuzungen mit Pomeranze, *P. trifoliata*, Citrange, Volkamers Zitrone und anderen Arten wird zur Zeit versucht, die Eigenschaften der Unterlagen noch weiter zu verbessern (FORNER-GINER et al., 2003; PEREIRA de CARVALHO COSTA et al., 2003).

4.3 Zitrone und Limette

Die Herkunft der Zitrone (*C. limon*) ist nicht klar. Möglicherweise stammt sie aus dem südlichen China und/oder dem nördlichen Burma (WEBBER et al., 1967). Andere Quellen gehen davon aus, dass die Zitrone in der Punjab Region Pakistans oder in Indien entstanden sein könnte. In China war sie bereits um 500 vor Christus bekannt. Nach Europa gelangte sie dank arabischer Seefahrer zwischen 1000 und 1200 nach Christus. Ende des 14. Jahrhunderts dürfte sie in ganz Spanien und Portugal verbreitet gewesen sein (RAMON-LUCA, 2003).

Mit fast 1.7 Millionen Tonnen ist Mexiko wichtigster Erzeuger von Zitronen und Limetten, gefolgt von Indien mit ungefähr 1.4 Mio t, Argentinien mit 1.2 Mio t und Spanien mit etwa 1 Mio t (Tab. 4). Da die Zitrone Temperaturen unter -4°C nicht toleriert (YELENOSKY, 1985), ist ihr Anbau auf semi-aride bis aride, subtropische Standorte beschränkt. Zitronenbäume sind äußerst wüchsig und dornenbewehrt. Sie blühen das ganze Jahr über und besitzen gleichzeitig Blüten und reife wie unreife Früchte, die durch eine zitronenförmig vorspringende Spitze charakterisiert sind.

Tabelle 4: Produktion von Zitronen und Sauren Limetten in 1.000 Tonnen (FAO, 2004)

Land		Land	
Welt	11.663	USA	0.931
Mexiko	1.694	Italien	0.589
Indien	1.370	Brasilien	0.580
Argentinien	1.200	China	0.401
Spanien	1.061	Türkei	0.400
Iran	1.040		

Die Zitrone ist keine eigenständige Art, sondern aus Kreuzungen zweier Arten miteinander hervorgegangen. MALIK et al. (1974) glauben auf Grund morphologischer Merkmale, dass die Zitrone ein Bastard zwischen Zedrate (*C. medica*)

und der Sauren Limette (*C. aurantifolia*) ist. Untersuchungen mit Blatt- Isoenzymen führten TORRES et al. (1978) zu dem Schluss, dass die Zitrone aus einer Kreuzung zwischen Pomeranze (*C. aurantium*) und der Sauren Limette entstanden sein könnte, während die Verwendung molekularer Marker (RAPD, SCAR) die Zitrone als einen Artbastard zwischen Zedrate und Pomeranze postuliert (NICOLOSI et al., 2000).

Man unterscheidet drei verschiedene Zitronengruppen: Den Femminello, den Verna und den Sizilianischen Typ. Während der Femminello- und Verna- Typ hauptsächlich in Nordafrika und Europa anzutreffen ist, wird der Sizilianische Typ vor allem in den USA und in Südafrika angebaut (HODGSON, 1967; DAVIES und ALBRIGO, 1994; SAUNT, 2000). Die in Italien am meisten verbreiteten Sorten sind Femminello siracusano, F. commune und F. Santa Teresa. Die Früchte besitzen Kerne und einen hohen Säuregehalt. Verna ist die wichtigste Sorte, die in Spanien wächst, gefolgt von Fino (= Primofiori), einer alten spanischen Sorte unbekannter Herkunft. Die etwas länglichen, aber kernlosen Früchte von Verna ähneln morphologisch sehr stark der aus Portugal stammenden Sorte Lisbon, die vorwiegend in Kalifornien und Südafrika angebaut wird. Die wichtigste Sorte des Sizilianischen Typs ist Eureka. Sie gelangte 1958 von Sizilien nach Amerika und wird heute hauptsächlich in Kalifornien, Australien, Südafrika und Israel angebaut (SAUNT, 2000). Mit Hilfe von PCR- Markern, deren Primer- Sequenzen von *copia*- ähnliche Retrotransposons stammen und anderen molekularen Markern, gelang es BERNET et al. (2004) die wichtigsten Zitronensorten zu unterscheiden. Als Hauptunterlagen der Zitrone dienen Pomeranze, Rauschalige Zitrone und Volkamers Zitrone.

Die Saure Limette (*C. aurantifolia*) stammt wahrscheinlich aus dem Malaiischen Archipel (MORTON, 1987; DAVIES und ALBRIGO, 1994). Sie wächst auf mit scharfen Dornen bewehrten 4 bis 5 m hohen Bäumen. Die eiförmigen, glatt- und dünnschaligen Früchte sind kleiner als die der Zitrone und auch bei Vollreife grün bis gelblichgrün gefärbt. Die Saure Limette gilt als eine der kälteempfindlichsten Zitrusarten (YELENOSKY, 1985). Weltweit wichtigste Erzeuger sind Mexiko, Indien und Argentinien (Tab. 4).

Saure Limetten werden als Geschmacksgeber für Longdrinks und Cocktail-Getränke verwendet. Man unterscheidet die Key- Limette, auch Mexikanische oder Westindische Limette genannt, und die Tahiti- Limette, auch Persische Limette genannt (DAVIES und ALBRIGO, 1994). Wichtige Sorten der Key- Limette sind die dornenlose Yung, deren Herkunft unbekannt ist, Kagzi, Abhayapuri und Karimganj, die in Indien verbreitet sind (MORTON, 1987; SINGH, 1997). In einer Kreuzung der Key- Limette mit Grapefruit oder Pampelmuse ist im Jahre 1922 auf Trinidad die Sorte Everglade entstanden. 1905 wurde aus einer Kreuzung der Key- Limette mit einer Zitrone sizilianischen Typs die Sorte Palmetto selektiert (MORTON 1987). Einige Sorten der Tahiti- Limette sind Bearss, Idemor und Pond (MORTON, 1987)

Untersuchungen von NICOLOSI et al. (2000) mit Hilfe molekularer Marker (RAPD, SCAR) lassen den Schluss zu, dass die Key- Limette auf eine Kreuzung zwischen *C. micrantha*, eine Art, die ungenießbare Früchte hervorbringt, und der Zedrate (*C. medica*) zurückgeht. Die Zedrate als einer der beiden Eltern der Sauren Limette wird nach Untersuchungen mit RFLP- Markern auch von FEDERICI et al. (2000) postuliert.

Die Key- Limette wird meistens über Samen vermehrt, weil sie fast ausschließlich Nucellar- Keimlinge über Adventiv Embryonie hervorbringt. Darüber hinaus hat sie eine kurze Jugendentwicklung von nur zwei bis drei Jahren (SAUNT 2000). Ihre Früchte sind klein und kernreich, besitzen aber ein sehr gutes Aroma, die der Tahiti- Limette sind größer, mit ähnlich gutem Aroma, aber fast immer kernlos, weil triploid (MOORE, 2001). In Brasilien wird die Tahiti- Limette bevorzugt mit der Dreiblättrigen Orange (*P. trifoliata*) veredelt (SANCHES STUCHI et al., 2003).

Die Süße Limette (*Citrus limettioides*) ist wirtschaftlich von nur geringer Bedeutung. Sie stammt wahrscheinlich aus Indien und wird dort sowie in Vietnam, Iran, Mittelamerika, Kalifornien, Ägypten und anderen Mittelmeerländern noch angebaut (MORTON, 1987). Ihre Früchte sind mittelgroß und rund. Sie haben eine gelb-orange Farbe und eine zitzenförmige Ausstülpung. Ihre Entstehung ist unklar. Möglicherweise ist sie aus der Kreuzung einer Key Limette mit einer süßen Zitrone

oder Zedrate hervorgegangen (MORTON, 1987). Man kennt die Sorten Indian (= Palestine = Süße Palästinensische Limette), Columbia und Soh Synteng, Mitha nimbu, Sakka nimbu und Sarbati chikna. Letztere werden vorwiegend in Nordwestindien angebaut (SINGH, 1997). Trotz ihrer Virusanfälligkeit wird die Süße Limette für Süßorange und andere Zitrusarten gelegentlich als Unterlage verwendet.

4.4 Grapefruit, Pampelmuse, Pomeranze und Bergamotte

Die Grapefruit (*C. paradisi*) wird oft fälschlich Pampelmuse genannt. Man nimmt an, dass sie Mitte des 18. Jahrhunderts aus einer spontanen Kreuzung zwischen der Pampelmuse (*C. grandis*) und der Apfelsine auf Barbados (Westindische Inseln) entstanden ist (SCORA et al., 1982; KUMATO et al., 1987). Die Grapefruit ist erheblich größer als die Frucht der Apfelsine; sie besitzt eine plattrunde Form und eine zitronengelbe Schale. Die Entstehung des Namens ist umstritten. Einige Forscher nehmen an, dass der Name ‚Grapefruit‘ auf die traubige Anordnung der Blütenstände zurückgeht, andere glauben, die Frucht sei deswegen so genannt worden, weil sie wie Weintrauben schmeckt. Im Jahre 1823 gelangte die Grapefruit nach Florida, USA (GMITTER, 1995), und wird dort seit 1875 kommerziell angebaut. Mit fast 1.9 Million Tonnen sind die USA heute weltgrößter Produzent von Grapefruits (Tab. 5).

Tabelle 5: Produktion von Grapefruits und Pomeranzen in 1.000 Tonnen (FAO, 2004)

Land		Land	
Welt	4.631	Mexiko	0.258
USA	1.872	Argentinien	0.170
Israel	0.270	Türkei	0.140

Man unterscheidet normale und pigmentierte Sorten. Die rosa-rote Farbe des Fruchtfleisches wird nicht durch Anthocyane, sondern durch das krebshemmende

Carotinoid Lycopin gebildet (MATLACK, 1935; MEYER, 2002). Eine der ältesten Grapefruitsorten ist Duncan (Tab. 1), die sehr große, hellfleischige und sehr aromatische Früchte hervorbringt (GMITTER, 1995). Da die Früchte jedoch oft mehr als 50 Samen enthalten, wird die Sorte nicht so sehr für den Frischverzehr, sondern vorwiegend für die Saftproduktion verwendet. Die Ausgangssorte fast aller rotfleischigen Sorten ist die weit verbreitete, weißfleischige, fast samenlose Marsh. Im Jahre 1913 wurde in Florida an einem Baum der Sorte Marsh eine spontan mutierte Frucht entdeckt, aus der später die leicht pinkfleischige Sorte Thompson selektiert wurde. Durch Knospenmutation entstand 1929 in Texas aus Thompson die erste kommerzielle rosafarbene Sorte Ruby Red (GMITTER, 1995). Da der Konsument jedoch eine Saftfarbe bevorzugte, die noch tiefer rot ist, wurden Knospen von Ruby Red mit Neutronenstrahlen behandelt und die Sorte Rio Red selektiert (HENSZ, 1991). Sie wurde 1984 in Texas zugelassen. Auch die 1970 zugelassene, dunkelrotfleischige, kernlose Sorte Star Ruby ist nach Bestrahlung von Samen der kernreichen Sorte Hudson durch Mutation entstanden. Rio Red und Star Ruby werden unter dem Handelsnamen Rio Star vermarktet und nehmen zur Zeit etwa 75% der Grapefrüiterzeugung in Texas ein (SAULS, 2002). Die 1973 aus einem Sämling der Sorte Henderson in Texas entstandene Sorte Flame hat ein ähnlich dunkelrotes Fruchtfleisch wie Star Ruby und gehört zu den schönsten Grapefruitsorten. Auf Grund ihrer Entstehung durch Genmutationen ist die genetische Variabilität innerhalb der Grapefruitsorten sehr gering (AHMAD et al., 2003).

Die Pampelmuse (*C. grandis* = *C. maxima*) stammt sehr wahrscheinlich aus Südchina oder dem Malaiisch-Indischen Archipel (GMITTER und HU, 1990; DAVIS and ALBRIGO, 1994). Ihre Früchte sind rundlich oder birnenförmig und rauschaliger als die der Süßorange. Sie können ein Gewicht von bis zu 8 kg erreichen. Das Fruchtfleisch schmeckt entweder süßlich oder sehr bitter. Es ist in zahlreiche Spalten unterteilt und von zähen Fachhäuten umhüllt. Die Pampelmuse wird als Frucht im 11. bzw. 12. Jahrhundert erstmals erwähnt (RAMON-LACA, 2003). Die Araber brachten sie später nach Spanien. Ende des 17. Jahrhunderts

gelangte sie wahrscheinlich durch seefahrende Spanier und Holländer in die Karibik.

Die Pampelmuse ist eine der drei Zitrusarten, die als eigenständige Spezies anzusprechen ist (SCORA, 1975; BARRETT and RHODES, 1976). Obwohl sie Fremdbefruchter ist, bringen einige Klone nach Selbstung verhältnismäßig wüchsige Nachkommen hervor (MOORE, 2001). Die Sorten der Pampelmuse werden in drei Gruppen untergeteilt: Die Thai-, die Chinesische und die Indonesische Gruppe (SAUNT, 2000). Zur Thai- Gruppe gehören die weißfleischigen Sorten Cao Panne und Kao Phuang sowie die pinkfleischige Sorte Chandler. Die weißfleischigen Sorten Goliath, Mato und Shatinyu zählt man zur chinesischen Gruppe. Die weißfleischigen Sorte Banpeiyu und die pinkfleischige Sorte Djeroek Deleema Kopjar bilden die indonesische Gruppe (Tab. 1).

Aus einer Kreuzung zwischen Pampelmuse und Grapefruit, die an der Universität von Kalifornien in Riverside in den 1970er Jahren durchgeführt worden ist, gingen die beiden triploiden, gelbfarbenen Sorten Oroblanco (= Sweetie) und Melogold hervor (WALHEIM, 1996). Die Früchte von Oroblanco sind etwas größer als die der Grapefruit. Das kernlose Fruchtfleisch ist äußerst saftig und süß. Die Früchte von Melogold sind größer und schwerer als die von Oroblanco. Das Fruchtfleisch ähnelt im Geschmack der Pampelmuse (SOOST und CAMERON, 1980, 1985). Eine aus Israel stammende Sorte mit dem Namen Pomelo ist ebenfalls aus der Kreuzung Grapefruit x Pampelmuse entstanden. Die Sorte, die um 1984 auf den Markt kam, bringt sehr große, birnenförmige Früchte mit einer hell gelblichen Schale hervor. Das Fleisch ist gelb- oder rosafarben und hat einen süßlich herben Geschmack

Ein kommerziell wichtiger Bastard zwischen Grapefruit und der Mandarine ist Tangelo, deren Name sich aus Tangerine x Pummelo ableitet. Die Pampelmuse wird im englischen Sprachgebrauch pummelo genannt. Sie ist ein Elter der Grapefruit. Tatsächlich ist Tangelo eine Kreuzung zwischen Grapefruit und Tangerine (Mandarine). Die ersten Bastardierungen zwischen diesen beiden Arten wurden 1897 durchgeführt. Aus ihnen gingen die Sorten Sampson und Thornton hervor (WEBBER und SWINGLE, 1905). Die bekanntesten, heute kommerziell

genutzten Sorten sind die frosttoleranten Minneola und Orlando. Sie entstanden aus Kreuzungen zwischen der Grapefruitsorte Duncan und der Mandarinensorte Dancy. Minneola ist an ihrem höckerartig ausgebildeten Stielansatz leicht zu erkennen (WALHEIM, 1996). Die Sorte Orlando, deren Abstammung neuerdings in Zweifel gezogen wird (CORNELIO et al., 2003), wurde als Elter in zahlreichen Kreuzungen mit Clementinensorten verwendet (GMITTER, 1995). Die Kombination Orlando x Clementine ergab die Sorte Lee, die 1949 in Florida entstand, die Sorten Robinson und Osceola, die 1959 und die Sorte Nova, die 1964 zugelassen worden sind. Im gleichen Jahr wurde in Kalifornien aus der Kreuzung Orlando x Clementine die Sorte Fairchild und 1963 in Florida aus der Kombination Minneola x Clementine die Sorte Page ausgelesen. Im Jahr 1987 schließlich wurde in Florida aus der Kreuzung [Clementine x Orlando] x Tangorsorte Temple die großfrüchtige, aber kernreiche Sorte Fallglo selektiert, die sich in jüngster Zeit großer Beliebtheit erfreut. Auch die Sorte Ugli (die Hässliche), so genannt wegen ihrer unregelmäßig geformten, schmutzig aussehenden Schale, ist sehr wahrscheinlich eine Kreuzung zwischen Mandarine und Grapefruit (MORTON, 1987). Sie wurde um das Jahr 1917 wildwachsend in Jamaika entdeckt und auf Pomeranze und anderen Unterlagen gepfropft.

Die aus Südchina und Nordburma stammende Pomeranze (*C. aurantium*) oder Bitterorange wächst baumartig mit kugeliger, dicht geschlossener Krone und stark bedornten Zweigen. Die weißen Blüten besitzen einen charakteristisch starken Duft. Die runden bis flachrunden Früchte sind zur Reifezeit leuchtend orange gefärbt. Pomeranze bedeutet ‚Goldener Apfel‘ (poma = Apfel; aurantium = Gold). Aus ihrer südostasiatischen Heimat wurden im 10. Jahrhundert von arabischen Seefahrern Früchte nach Oman, Irak und Syrien gebracht, später nach Palästina und Ägypten, und gelangten von dort Anfang des 11. Jahrhunderts nach Sizilien. Ende des 12. Jahrhunderts kamen sie nach Sevilla, Spanien. Im Englischen wird die Pomeranze noch heute ‚Seville orange‘ genannt.

Die Pomeranze ist wahrscheinlich aus einer Kreuzung zwischen der Mandarine (*C. reticulata*) und der Pampelmuse (*C. grandis*) hervorgegangen (SCORA, 1975; BARRETT und RHODES, 1976). Molekulare Untersuchungen mit

SCAR- und RAPD- Markern unterstützen diese Annahme (NICOLOSI et al., 2000). Während das bitter schmeckende Fruchtfleisch nahezu ungenießbar ist, werden aus der rauen und relativ dicken Schale Marmeladen, Backzutaten und Liköre und aus den Blüten Öle hergestellt. In Streifen geschnitten und in Zucker eingekocht stellt man in England aus den Früchten mit Schale die bekannte ‚Orangenmarmelade‘ (orange jam) her. Wichtigste Sorte ist Seville, die hauptsächlich in Spanien angebaut wird. Ein anderes Produkt ist das Orangeat. Zu dessen Herstellung werden die halbierten Früchte eingesalzen. Nach dem Entsalzen und Überbrühen werden die Schalen von Fruchtfleisch und Kerngehäuse befreit, unter Druck in Zuckerlösungen kandiert und zu Orangeat verarbeitet. Aromastoffe, die durch Destillation aus der Schale gewonnenen werden, finden in der Alkoholindustrie Verwendung, zum Beispiel zur Herstellung von Zitruslikören. Aus den Blüten der in Frankreich angebauten Sorten Bouquet de Fleurs, Bouquetier de Nice und Bouquetiers de grandes Fleurs wird durch Wasserdampfdestillation das ätherische Neroliöl gewonnen, das zur Herstellung von Kölnisch Wasser und anderen Kosmetika verwendet wird.

Die Pomeranze wird in vielen Zitrusanbaugebieten auch als Unterlage genutzt (SAULS, 2002). Wegen ihrer hohen Anfälligkeit gegenüber der Tristeza-Krankheit ist ihre Verwendung zur Zeit jedoch stark rückläufig (MARROQUIN et al., 2004).

Eine Unterart der Pomeranze ist die Chinotto (*C. myrtifolia* oder *C. aurantium* var. *myrtifolium*). Der Baum ist in seinem Aussehen wesentlich kleiner und kompakter als die Pomeranze. Charakteristisch sind seine kleinen, dachziegelartig übereinander-liegenden Blätter, die der Myrte sehr ähneln. Aus ihrer bitteren Schale werden Aromastoffe gewonnen, die zum Beispiel in der italienischen Bitterlimonade Chinotto enthalten sind.

Molekulare Untersuchungen mit RFLP-, RAPD- und SCAR- Markern haben ergeben, dass die Pomeranze und die Zedrate sehr wahrscheinlich Eltern einer anderen Zitrusart, der Bergamotte (*C. bergamia*) sind (FEDERICCI et al., 2000; NICOLOSI et al., 2000). CHAPOT (1962) nimmt dagegen an, dass die Bergamotte ein Bastard aus Pomeranze x Limette (*C. aurantifolia*) ist. Die Herkunft des Namens

Bergamotte ist unklar. Einige bringen ihn mit der spanischen Stadt Berga in Verbindung, andere leiten ihn von Pergamo in der Türkei ab. Die Bergamotte wird hauptsächlich in Reggio di Calabria (Italien) angebaut. Die wichtigsten Sorten sind Fantastico, Femminello und Castagnaro, Unterlage ist die Pomeranze (BARONE et al., 1988). Die Schalen der Bergamotte sind Grundstoff für das Bergamottöl, aus dem Parfüme und Kölnisch Wasser sowie Aromastoffe für Schwarzen Tee (z.B. Earl Gray) hergestellt werden.

4.5 Zedrate, Volkamer Zitrone und Mandarinen- Limette

Wie schon erwähnt, ist die Zedrate (*C. medica*), die ihre Herkunft in Südchina und/oder Indien hat (GMITTER und HU, 1990; DAVIES und ALBRIGO, 1994), eine Zitrusart, die als eine der ersten schon im 4. Jahrhundert vor Christus in den Westen gelangt ist. Untersuchungen mit biochemischen Markern (Isoenzymen) des Zellkerns und molekularen Markern der Chloroplasten- DNA haben gezeigt, dass die Zedrate als eine echte Art bezeichnet werden kann (SCORA, 1975; BARRETT und RHODES, 1976; TORRES et al., 1978, 1982; GREEN et al., 1986; NICOLOSI et al., 2000). Die Zedrate war bei der Entstehung mindestens vier anderer Zitrusarten, nämlich der Zitrone, der Bergamotte, der Sauren Limette und der Volkamer Zitrone als männlicher Elter beteiligt (NICOLOSI et al. 2000; ASADI ABKENAR et al., 2004).

Die Zedrate bildet strauchartige, stark bedornete Bäume, die bis zu 3 m hoch werden können. Die Früchte sind groß, leicht runzelig mit dicker Schale, die sich nicht von Hand schälen lassen. Sie haben ein sehr trockenes Fruchtfleisch, das je nach Sorte süß oder sauer schmeckt. Hauptanbauggebiete der Zedrate in Europa sind Italien, Korsika und Griechenland. Die Sorten werden in zwei Gruppen unterteilt: Die sauren und halbsauren Sorten und Sorten mit einem süßen Fruchtfleisch. Diamante ist die führende Sorte in Italien. Ihre hellgelben, runzeligen Früchte haben eine elipsoide Flaschenform und schmecken säuerlich. Sie können bis zu 30 cm groß und 2 kg schwer werden. Die Etrog- Zedrate wird hauptsächlich in Israel angebaut und spielt dort während des Laubhüttenfestes eine wichtige Rolle. Die spindelförmigen, zitronengelben Früchte besitzen eine fleischige Schale und ein fast

trockenes Fruchtfleisch mit saurem Geschmack. Die Gefingerte Zitrone, auch Buddhas Hand Zitrone genannt, ist vor allem in China und Japan verbreitet. Sie bildet die abstehenden Fruchtsegmente, die von der Schale umschlossen sind, einzeln aus und verleiht der kernlosen Frucht daher ein handförmiges Aussehen mit vielen Fingern. Die Sorte Korsika wird hauptsächlich auf der Mittelmeerinsel Korsika angebaut; ihr Fruchtfleisch ist frei von Säuren.

Die nach J.C. Volkamer benannte Volkamer Zitrone (*C. volkameriana*) bildet sehr robuste und wüchsige Pflanzen aus, die etwas kleiner sind als Zitronenbäume. Die rauschalige, gelb-orange, länglich-ovale Frucht ähnelt der Zitrone. Das Fruchtfleisch ist sehr saftig mit einem säuerlichen Geschmack. CHAPOT (1965), der die Volkamer Zitrone ausführlich beschreibt und illustriert, nimmt an, dass sie aus einer Kreuzung zwischen Zitrone und Pomeranze entstanden ist. Neuere Untersuchungen mit Hilfe molekularer Marker haben jedoch ergeben, dass die Volkamer Zitrone sehr wahrscheinlich ein Kreuzungsbastard zwischen Zedrate und Pomeranze (*C. aurantium*) ist (DENG et al., 1992; NICOLOSI et al., 2000).

Eine weitere, insbesondere für die Veredelung wichtige Zitrusart ist die Mandarinen-Limette (*C. limonia*). Der deutsche wie der botanische Name ist irreführend, da es sich bei dieser Art nicht um eine Limette, sondern um einen natürlichen Kreuzungsbastard handelt. BARRETT und RHODES (1976) nehmen an, dass die Mandarinen-Limette, die wahrscheinlich aus Südchina stammt (GMITTER und HU, 1990), eine Kreuzung zwischen Mandarine (*C. reticulata*) und Pomeranze (*C. aurantium*) ist. Chloroplasten- DNA- Untersuchungen unterstützen die Annahme der Mandarine als weiblicher Elter. Die Pomeranze oder die Zedrate gelten als mögliche Polleneltern (FEDERICI et al., 2000). Die wichtigste Sorte der Manarinen-Limette ist die Rangpur Limette. Der 4 bis 6m hohe Baum wächst schnell heran und bildet Früchte, die der Mandarine in Farbe und Aussehen sehr ähnlich sehen (MORTON, 1987). Kandiert liefern die Früchte eine wohlschmeckende Marmelade, aus dem süßen Fruchtfleisch stellt man Saft her. In Brasilien, Argentinien und Indien wird wegen ihrer Toleranz gegenüber der Tristeza- Krankheit und ihrer Dürretoleranz vorwiegend die Mandarinen-Limette als

Veredelungsunterlage für die Apfelsine verwendet (SINGH, 1997). Von Nachteil ist ihre Kurzlebigkeit.

4.6 Dreiblättrige Orange, Kumquat und Rauschalige Zitrone

Auch die Dreiblättrige Orange (*Poncirus trifoliata*) gehört zu den Zitrusarten. Sie stammt wie *Citrus* aus China (MORTON, 1987) und ist mit ihr kreuzbar, obwohl sie mit ihr nur entfernt verwandt ist (NICOLOSI, 2000). Sie ist extrem frosttolerant und in China und anderen Ländern eine der wichtigsten Veredelungsunterlagen im Erwerbsanbau von Zitrusfrüchten. Die laubabwerfende Art toleriert im Freiland Temperaturen bis zu -16°C (YELENOVSKY, 1985) und kann daher frei ausgepflanzt werden. Die gelben, dickschaligen, tennisballgroßen und flaumig behaarten Früchte haben einen bittersauren Geschmack und sind nahezu ungenießbar. *P. trifoliata* wird hauptsächlich als Unterlage genutzt. Die wichtigsten Sorten sind Flying Dragon und Rubidoux (Tab. 1).

Mit *Poncirus* wurden zahlreiche Bastarde hergestellt. Ein Artbastard ist die Kreuzung *P. trifoliata* mit der Süßorange, die Citrange. Ihr Name leitet sich von Citrus x Orange ab. *P. trifoliata* hieß früher *Citrus trifoliata*. Die ersten Kreuzungen wurden von W.T. Swingle Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt, um die Frosttoleranz und Resistenz gegenüber Nematoden von *P. trifoliata* in die Süßorange zu übertragen. Daraus entstanden die Sorten Coleman, Rusk, Morton, Savage, Benton, Carrizo und Troyer (MORTON, 1987; GMITTER, 1995). Die Pflanzen haben einen üppigeren Wuchs als *Poncirus* und besitzen bis zu 10 cm lange Dornen. Die Früchte sind orangefarben und haben einen bittersauren Geschmack. Wegen ihrer guten Toleranz gegenüber Tristeza- Krankheit, Nematoden und Frost werden die Sorten Carrizo und Troyer, die genetisch wahrscheinlich identisch sind (FANG und ROOSE, 1997; SHARMA et al., 2004) als Veredelungsunterlagen, vor allem in Spanien, Florida, Indien, Australien und Südafrika verwendet (GALLASCH und AINSWORTH, 1988; DAVIES und ALBRIGO, 1994; CAMBRA et al., 2000; SMITH et al., 2004)

Citrumelo (Citrus x Pummelo) ist ein weiterer Artbastard zwischen *P. trifoliata* und Grapefruit. Die ersten Kreuzungen gehen auf W.T. Swingle zurück, die dieser

1907 in Florida durchgeführt hat. Die nach ihm benannte Citrumelo Swingle ist resistent gegenüber Nematoden und *Phytophthora* sowie tolerant gegenüber dem Tristeza Virus und Frost (SAULS, 2002). Obwohl sie nur eine geringe Dürretoleranz zeigt, ist sie die am weitesten verbreitete Veredelungsunterlage in Florida und die zweit wichtigste Unterlage in Brasilien.

Die Gattung Kumquat (*Fortunella* spp.) wie auch der Name, der ‚Goldorange‘ bedeutet, stammt ebenfalls aus China (SCORA, 1975). Die botanische Bezeichnung *Fortunella* geht auf den englischen Botaniker und Pflanzensammler Robert Fortune zurück. Zur Gattung *Fortunella* gehören vier Arten: *F. margarita* ‚Nagami‘ mit ovalen, orangefarbenen Früchten, *F. japonica* ‚Marumi‘ mit runden bis eiförmigen, orangefarbenen Früchten, *F. hindsii* ‚Honkong‘ mit sehr kleinen, rötlich gefärbten, runden Früchten und *F. crassifolia* ‚Meiwa‘ mit großen runden Früchten. Letztere ist möglicherweise eine Kreuzung zwischen Nagami und Marumi (MORTON, 1987). Molekular-genetische Untersuchungen mit RAPD- und SCAR- Markern haben gezeigt, dass *Fortunella* sehr eng mit *Citrus* verwandt ist (HERRERO et al., 1996; FEDERICI et al., 2000; NICOLOSI et al., 2000).

Die Pflanzen wachsen zu etwa 2 m großen, Dornen bewehrten, dichten Büschen heran. Die Früchte haben nur wenige Fruchtsegmente, sind kernreich und wenig saftig. Nagami wurde 1845 von Robert Fortune aus China nach London eingeführt und ist die in Europa und Nordamerika am häufigsten kultivierte Kumquat- Art. Die seltenere Marumi ist schwächer im Wuchs als Nagami, ihre Früchte sind zuckersüß. Auch die Hongkong- Kumquat, die auf den Hügeln rund um Hongkong und in den chinesischen Provinzen Kwantung und Chekiang beheimatet ist und dort noch wild wächst, ist schwachwüchsig. Ihre nur etwa erbsengroße Früchte sind jedoch ungenießbar. Die Früchte aller anderen Arten sind samt der dünnen Schale essbar. Kumquats besitzen eine verhältnismäßig hohe Frosttoleranz und sind nur mit *P. trifoliata* als Veredelungsunterlage verträglich.

Kumquats sind mit Zitrusarten kreuzbar. Mit dem Ziel, die Frosttoleranz von Kumquat in die sehr Frost empfindliche Limette zu übertragen, wurde der Artbastard Limequat hergestellt. Mehrere Sorten entstanden aus der Kreuzung der Key- Limette mit Marumi Kumquat. Eustis ist die am weitesten verbreitete Sorte.

Die strauchartigen Bäume sind verhältnismäßig klein, ihre grünlich- gelben Früchte oval bis rund mit einem säuerlichen, limette-ähnlichen Geschmack. Weitere Sorten sind Lakeland und Tavares. Kreuzungen zwischen der Meiwa Kumquat und Satsuma Mandarine ergaben die so genannten Orangequats. Die Kombination Kumquat x Citrange führte zur Citrangequat, von der die Sorten Thomasville, Sinton, Swinton und Telfair die bekanntesten sind.

Die Rauschalige Zitrone (*C. jambhiri*), die wahrscheinlich aus Nordindien stammt, wird hauptsächlich als Unterlage verwendet, vorwiegend in Indien, aber auch in Australien (SMITH et al., 2004) und in anderen Ländern. Sie zeigt Resistenz gegenüber der Zitrusgummose, die durch *Phytophthora*- Pilze verursacht wird, und ist dürretolerant (SHARMA et al., 2004). Die Entstehung dieser Art ist umstritten. SCORA (1988) nimmt an, dass *C. jambhiri* aus einer Kreuzung der Zitrone mit einer Mandarinenart entstanden ist. Molekulare Untersuchungen mit RFLP-Markern unterstützen diese Annahme (FEDERICI et al., 2000).

5. Züchtung und Biotechnologie

Kernlosigkeit

Eines der wichtigsten Ziele in der Zitruszüchtung ist die Kernlosigkeit der Früchte. Dieses Ziel kann durch Parthenokarpie, kerngen- cytoplasmatisch-männliche Sterilität, Triploidie, chromosomale und Gen-Mutationen oder durch gentechnische Maßnahmen erreicht werden.

Unter Parthenokarpie (Jungfernfrüchtigkeit), verbunden mit Kernlosigkeit, versteht man die Entstehung von Früchten ohne vorausgegangene Bestäubung (NOLL, 1902). Bei der Navelorange und der Satsuma- Mandarine tritt Parthenokarpie auf natürliche Art und Weise auf. YAMAMOTO et al. (1997) kommen nach Kreuzungen von Sorten, die jeweils ein heterozygoten Allelpaar für Pollenfertilität besitzen, zu dem Schluss, dass die männliche Sterilität der Satsuma auf eine Interaktion zwischen einem Kerngen und cytoplasmatisch-männlicher Sterilität zurückgeht.

Triploide Pflanzen sind wegen Schwierigkeiten bei der Chromosomenpaarung während der Meiose fast immer hochgradig steril. Sie können aber wertvolle

Eigenschaften besitzen und zudem sehr ertragreich sein. Die Kernlosigkeit der Tahiti-Limette, der Tangorsorte Tacle und der Sorten Oroblanco und Melogold aus der Kreuzung Pampelmuse x Grapefruit geht auf Triploidie zurück. Durch Kreuzung tetraploider Individuen, die selbst wirtschaftlich von geringem Interesse sind, mit diploiden Pflanzen, lassen sich Triploide gezielt herstellen (CAMERON und SOOST, 1969). Sehr vielversprechend erscheint eine Technik der Protoplastenfusion zwischen Zellkernen haploider und diploider Individuen, aus denen triploide Pflanzen hervorgehen (OLLITRAULT et al., 2000). Triploide Samen sind kleiner als diploide und ihre Pflanzen wüchsiger als tetraploide (ROOSE et al., 1995).

IWAMASA (1966) und IWAMASA und NITO (1988) fanden bei Untersuchungen der Chromosomen in der Metaphase I der Meiose in Pollenmutterzellen der kernlosen Süßorangensorte Valencia und einer ihrer Nucellarlinien neben Bivalenten jeweils ein Quadrivalent in Form einer Ring oder Kettenkonfiguration. Diese Chromosomenorientierung lässt auf die Existenz einer reziproken Translokation schließen, die zu partieller Funktionsuntüchtigkeit der Gameten und teilweiser Samenlosigkeit der Früchte führt. In Meioseuntersuchungen anderer Zitrusarten (*C. reticulata*, *C. limonia*, *C. assamensis* und *C. aurantifolia*) wurden Brückenkonfigurationen und Chromosomenfragmente gefunden, die auf eine heterozygote Inversion hindeuten (RAGHUVANSHI, 1962a, 1962b; IWAMASA, 1966). Die Kernlosigkeit der japanischen Yuzu (*C. junus*) lässt sich nach IWAMASA (1966) auf eine Genmutation zurückführen, die Asynapsis der Meiosechromosomen und damit Funktionsuntüchtigkeit der Gameten zur Folge hat. Auch die Kernlosigkeit einer selbstbestäubten Nachkommenschaft der Sorte Wilking (Tab. 1) wird mit dem Auftreten von Asynapsis erklärt (VARDI und SPIEGELROY, 1992).

Australische Forscher setzen neben konventionellen Zuchtmethoden molekulargenetische Techniken ein, um Kernlosigkeit der Früchte zu erreichen (KOLTUNOV et al., 2000). Einige Zitrusarten haben normalerweise Kerne in den Früchten. Sie sind aber kernlos, wenn eine Bestäubung ausbleibt (SYKES und POSSINGHAM, 1992).

6. Krankheiten und Schädlinge

Das Citrus Tristeza Virus verursacht weltweit eine der gefährlichsten Zitruskrankheiten (BAR-JOSEPH et al., 1989; FAO/IBPGR, 1991). Der wichtigste Vektor dieses Virus ist die Braune Zitrusblattlaus (*Toxoptera citricida*). In Spanien, Israel, Kalifornien und allen anderen Anbauregionen, in denen *T. citricida* nicht zu beobachten ist, treten insbesondere die Grüne Gurkenblattlaus (*Aphis gossypii*) und die Grüne Zitrusblattlaus (*A. spiraecola*) als potentielle Überträger auf (MARROQUIN et al., 2004). Seit ihrem erstmaligen Auftreten Anfang der 1930er Jahre sind dieser Krankheit Millionen von Zitrusbäume, insbesondere solche mit *C. aurantium*- (Pomeranze) Unterlage, zum Opfer gefallen (MARROQUIN et al., 2004). Auf der Suche nach genetischer Resistenz gegenüber Tristeza wurde man bei der Dreiblättrigen Orange (*P. trifoliata*) fündig. Diese mit *Citrus* kreuzbare Artverwandte besitzt ein dominantes Gen (GMITTER et al., 1996) und wenigstens ein weiteres Gen für Resistenz gegenüber dem Tristeza- Virus (MESTRE et al., 1997; BORDIGNON et al., 2004). Darüber hinaus wurde in der Pampelmuse (*C. grandis* cv. Chandler) ein dominantes Gen für Tristeza- Resistenz gefunden (FANG und ROOSE, 1999). Auch Citrumelo Swingle, Citrangesorten, die Cleopatra- (*C. reshni*) und Sunki- Mandarine (*C. sunki*), Volkamers Zitrone und die Mandarinen-Limette (*C. limonia*) gelten als tolerant gegenüber der Tristeza-Krankheit (BORDIGNON et al., 2004). Letztere Art dient insbesondere in Brasilien und Argentinien seit vielen Jahren als Unterlage.

Im Jahre 1999 wurde in den brasilianischen Staaten Minas Gerais und Sao Paulo eine neue Krankheit beobachtet, die ausschließlich Süßorangensorten auf Unterlagen von Mandarinen- Limette (*C. limonia*, Sorte Rangpur) und Volkamers Zitrone befällt. Die Mandarinen- Limette wird in Brasilien als Unterlage sehr geschätzt, weil sie wegen ihrer tiefen Bewurzelung ohne Bewässerung auskommt. Die Krankheit, die nach Vergilbung des Kambiums der Unterlagen die befallenen Bäume innerhalb von einem bis zwölf Monaten zum Absterben bringt, wurde ‚Citrus Sudden Death‘ (Morte Subita dos Citros) genannt. Unterlagen wie die Cleopatra- und Sunki- Mandarine sowie Citrumelo Swingle werden dagegen nicht geschädigt. Da auf befallenen Bäumen fast immer auch die Überträger der Tristeza-

Krankheit, die Braune Zitrusblattlaus und die Grüne Gurkenblattlaus anzutreffen sind, wurde vermutet, dass ‚Citrus Sudden Death‘ von einer Mutante des Tristeza Virus, auf jeden Fall aber von einem insektenübertragenden Pathogen ausgelöst wird (BASSANEZI et al., 2003; DERRICK et al., 2003). Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass es sich bei Sudden Death sehr wahrscheinlich nicht um eine von einem Virus oder einem Viroid ausgelöste Krankheit handelt, sondern um eine Unverträglichkeit der Veredlungspartner, englisch: graft-transmissible bud union disease (ROMAN et al., 2004). Unterhalb der Veredlungsstelle ist in der Mehrzahl der Fälle eine Größenreduzierung der Phloemzellen, eine Kollabierung und Nekrose der Siebzellen sowie eine Überproduktion und ein Abbau des Phloems zu beobachten. 85% der 200 Millionen Süßorangen in Brasilien wachsen auf Rangpur-Limette-Unterlage und werden von dieser Krankheit bedroht. Etwa 3 Millionen Bäume sind bereits gerodet worden und müssen durch ‚resistente‘ Unterlagen ersetzt werden. Da Orangenbäume mit Pomeranzenunterlage im Phloemgewebe unterhalb der Veredlungsstelle ähnliche Symptome aufweisen wie solche mit Unterlagen der Mandarinen- Limette, halten es ROMAN et al. (2004) für möglich, dass das Phänomen der Unverträglichkeit der Veredlungspartner zumindest bei der Entstehung der Tristeza- Krankheit beteiligt, wenn nicht sogar ihre Hauptursache ist.

Unter den Schädlingen, die Zitrusarten befallen, ist der Zitrusnematode (*Tylenchulus semipenetrans*) der wichtigste (LING et al., 2000). CAMERON et al. (1954) konnten zeigen, dass die Dreiblättrige Orange (*P. trifoliata*) Resistenz gegenüber diesem Schädling besitzt. Es handelt sich um ein Majorgen, für das bereits mehrere molekulare Marker gefunden worden sind (LING et al., 2000). Vom Läsionenälchen (*Pratylenchus*) sind neun verschiedene Arten in Zitrusanbaugebieten bekannt (TIMMER et al., 2000). *P. brachyusus*, *P. coffeae* und *P. vulnus* verursachen jedoch nur geringe Schäden.

Unter den pathogenen Pilzen sind drei *Phytophthora*- Arten in Zitrusanbaugebieten von Bedeutung: *P. citrophthora*, *P. nicotianae* und *P. palmivora* (TIMMER et al., 2000). Während erstere vor allem in den Anbaugebieten rund um das Mittelmeer und in China verbreitet ist, kommen die beiden letzteren

insbesondere in den USA vor. *P. citrophthora* und *P. nicotianae* führen zu gefürchteten Wurzel- und Fruchtfäulen sowie zur Zitrusgummose. Diese Pilze rufen am Wurzelhals Gummifluss (Saftaustritt) hervor, das Kambium stirbt ab und die Rinde rund um den Stamm beginnt sich abzulösen. Resistenz gegenüber *Phytophthora* wurden in der Dreiblättrigen Orange und der Citrumelo Swingle gefunden (GRAHAM, 1995).

Mal Secco (Zitruswelke), die rund um das Mittelmeer und das Schwarze Meer sowie in Kleinasien, insbesondere an Zitrone, große Schäden verursacht (SALERNO und CUTULI, 1977), wird von dem Pilz *Phoma tracheiphila* verursacht. Chlorose der Blattadern mit anschließendem Blattfall sind die charakteristischen Merkmale dieser Krankheit. In der Nachkommenschaft der griechischen Zitronensorte Maglini wurde eine Mutante selektiert, die gegenüber Mal Secco resistent ist. Die Sorte erhielt den Namen Ermioni (THANASSOULOPOULOS, 1991). Die italienischen Zitronensorten Monachello und Interdonasto besitzen zwar Resistenz, die Produktivität und Qualität der Früchte sind aber für einen kommerziellen Anbau unzureichend. Mit Hilfe zellbiologischer Methoden (Protoplastenfusion) wird zur Zeit versucht, die Toleranz der Sorte Femminello gegenüber Mal Secco züchterisch zu nutzen (SCARANO et al., 2003). Darüber hinaus wurden mindestens drei dominante Gene für Resistenz in *C. aurantium*, *C. volkameriana* und *P. trifoliata* gefunden (REFORGIATO RECUPERO et al., 1997).

Mehrere Dürffleckenkrankheiten, die Blätter und Früchte betreffen, werden von dem Pilz *Alternaria* verursacht (TIMMER et al., 2003). *A. alternata* ist das Pathogen für braune Flecken der Mandarine, Tangor und Tangelo sowie typische Blattflecken der Rauschaligen Zitrone (*C. jambhiri*) und Mandarinen- Limette (*C. limonia*). Außerdem verursacht es schwarze Flecken auf den reifen Früchten fast aller Zitrusarten. Im Mittelmeerraum wurde die Dürffleckenkrankheit erstmals in Israel (1989) und kurze Zeit später in der Türkei, Spanien und Italien beobachtet (SOLEL, 1991; VICENT et al., 2004). *A. limicola* ist auf Key Limette beschränkt (Mancha foliar), bei der es kleine Blattflecken hervorruft, die von einem chlorotischen Hof umgeben sind (TIMMER et al., 2000, 2003). Resistenz gegen

Alternaria wurde in der Zitrone, in Limettensorten mit Ausnahme der Key Limette und der Clementine beobachtet. Sie geht wahrscheinlich auf ein monohybrid vererbtes, rezessives Gen zurück (TIMMER et al., 2003; VICENT et al., 2004).

Die Zitrus-Fleckenkrankheit (englisch: canker) wird von dem Bakterium *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* ausgelöst und befällt Stamm, Blätter und Früchte der Grapefruit, Key- Limette, Zitrone und einiger Süßorangensorten (TIMMER et al., 2000; MOREIRA et al., 2004). Die Anfälligkeit gegenüber *Xanthomonas* wird noch verstärkt, wenn der Asiatische Blattminierer (*Phyllosnistis citrella*) auftritt, der neue Eintrittspforten für das Bakterium schafft (GOTTWALD et al., 2002). Insgesamt wurden drei Typen des Krankheitserregers bestimmt: Der asiatische Canker A ist der am weitesten verbreitete. Canker B tritt hauptsächlich in Argentinien, Paraguay und Uruguay auf und Canker C befällt vor allem die Key-Limette im Staat Sao Paulo, Brasilien. Resistenz gegen diese Krankheit wurde in Satsumasorten und in Kumquat (*Fortunella* spp.) gefunden (GOTTWALD et al., 2002).

Eine andere, vor allem in Afrika und Asien gefürchtete Bakterienkrankheit ist das ‚Greening‘. Die Blätter verkümmern und färben sich hell. Die Früchte bleiben klein und grün und schmecken bitter. Die Krankheit, die erstmals in China entdeckt worden ist, wird auch ‚Huanglongbin‘ bezeichnet, was ‚Gelbe Drachenkrankheit‘ bedeutet. Sie wird von dem Bakterium *Candidatus Liberobacter* spp., das in den Siebröhren der Wirtpflanzen zu finden ist, verursacht (GARNIER et al., 2000). In zahlreichen Zitrusanbauländern Afrikas, insbesondere in Südafrika, ist der Blattfloh *Trioza erythrae* Vektor dieses Bakteriums. In Asien und seit 1998 auch in Florida überträgt der Südostasiatische Zitrusblattfloh *Diaphorina citri* dieses Bakterium (TIMMER et al., 2000; TSAI et al., 2002). Eine Bekämpfung der Krankheit erfolgt hauptsächlich mit Hilfe von Antibiotika (GRACA, 1991).

In vielen tropischen und subtropischen Ländern ist die Mittelmeerfruchtfliege (*Ceratitis capitata*) ein großes Problem. Die 4 bis 5 mm großen, polyphagen Weibchen legen ihre Eier mit Hilfe ihres teleskopartigen Legebohrers in die Schale reifer Orangen, Mandarinen, Zitronen und vieler anderer Obstarten, die dann verderben. Importländer versuchen sich durch Quarantänemaßnahmen vor diesem

Schädling zu schützen. Die Bekämpfung der Fliegen mit Hilfe von Nützlingen (biologische Kontrolle) war bislang wenig erfolgreich. Mehr Erfolg verspricht der Einsatz der so genannten Sterilitätstechnik (Sterile Insect Technique = SIT). Fliegenmännchen werden mit ionisierenden Strahlen behandelt und dadurch chromosomale Mutationen, insbesondere reziproke Translokationen induziert. Diese führen zu partieller Sterilität (ROSSLER et al., 2000; ROBINSON, 2002). Die im Befallsgebiet freigelassenen, sterilisierten Männchen konkurrieren mit den zeugungsfähigen Männchen um die Weibchen. Da sich Weibchen nur einmal paaren, kommt es zu einer wirksamen Reduzierung der Population. Die Sterilitätstechnik wird bereits in den USA, Südafrika und Australien alternativ zur Behandlung mit Pestiziden angewandt. Die Methode soll jetzt auch in den Mittelmeerländern zum Einsatz kommen. Das Projekt ‚Cleanfruit‘ wird von der Europäischen Kommission in Brüssel finanziert. Es ist geplant, ab dem Jahr 2010 mit Hilfe der Sterilitätstechnik jährlich etwa 2.5 Millionen Tonnen Zitrusfrüchte auf diese umweltschonende Art und Weise zu behandeln.

7. Toleranz gegenüber abiotischen Stressfaktoren

In vielen Ländern ist Frost der begrenzende Faktor für einen rentablen Zitrusanbau. Die Verwendung kältetoleranter Unterlagen ist die beste Maßnahme, Frösten Widerstand zu leisten. Als besonders tolerant gegenüber Frost haben sich *Poncirus trifoliata* (Dreiblättrige Orange), Cleopatra- Mandarine, *C. junos* und Citumelo Swingle erwiesen. Das Merkmal Frosttoleranz wird quantitativ vererbt (CAI et al., 1995). WEBER et al., (2003) gelang es, in einer Pseudo-Testcross-Population der Kreuzung einer kälteempfindlichen Pampelmusensorte mit einer frosttoleranten Sorte der Dreiblättrigen Orange unter Verwendung molekularer Marker mehrere quantitative Genloci entsprechenden Kopplungsgruppen zuzuordnen. Solche Untersuchungen sind Grundlage für eine gezielte Nutzung von Genen für Kältetoleranz in der praktischen Züchtung.

Mit der globalen Erwärmung wird das Wasser in vielen subtropischen und tropischen Ländern knapper. Eine verbesserte Dürretoleranz der verschiedenen Zitrusarten ist daher ein weiteres, wichtiges Zuchtziel. Über die Genetik dieses

Merkmals ist jedoch noch wenig bekannt. In Brasilien galt bisher die dürretolerante Mandarinen- Limette (*C. limonia*) dank ihres tiefgründigen Wurzelwerks als ideale Unterlage für Apfelsinen. Wegen ihrer Anfälligkeit gegenüber Citrus Sudden Death muss sie jedoch durch andere Unterlagen ersetzt werden. Auch die rauschalige Zitrone (*C. jambhiri*) besitzt gute Dürretoleranz.

Ein weit verbreitetes Problem im Zitrusanbau ist die Bodenversalzung. Flächen, die durch ständige Verdunstung nach intensiver Bewässerung soviel Salz in den oberen Bodenschichten angereichert haben, dass Pflanzen kaum mehr wachsen können, dehnen sich weltweit aus. Auch das unaufhaltsame Eindringen salzhaltigen Brackwassers vom Meer in Küstengebiete ist eine zunehmende Bedrohung von Zitrusarten, die zu den salzempfindlichsten gärtnerischen Kulturpflanzen gehören. Hohe Konzentrationen von Chlor- und Natriumionen in den Blättern führen häufig zu Störungen in der Nährstoffversorgung, dem Gasaustausch und Wasserhaushalt (RUIZ et al., 1999). Mandarinen- Limette, Cleopatra- Mandarine und Dreiblättrige Orange haben sich als Unterlagen herausgestellt, die eine verhältnismäßig hohe Salztoleranz besitzen (VARDI et al., 1988; GARCIA et al., 2002; HEPAKSOY et al., 2002; ROCHDI et al., 2003; TOZLU et al., 2002a; CAMARA-ZAPATA et al., 2004). Eine türkisch-amerikanische Gruppe um TOZLU et al. (2002b) hat damit begonnen, QTL für Salztoleranz in Zitrusarten und *Poncirus* aufzuspüren und sie Kopplungsgruppen zuzuordnen

8. Zellbiologie

In der Gattung *Citrus* sind sexuelle Inkompatibilität, Polyembryonie und Kernlosigkeit weit verbreitet. Wegen Funktionsuntüchtigkeit der Gameten ist die Kombination von Genen durch sexuelle Kreuzung und die Schaffung neuer Genotypen, insbesondere bei den Unterlagen, oft nicht möglich. Um wertvolle Merkmale genetisch nahe und entfernt verwandter Arten trotzdem nutzen zu können, versucht man seit einiger Zeit Zellkerne ohne Zellwand (Protoplasten) verschiedener Zitrusarten somatisch zu fusionieren (GUO und DENG, 2001). Die Regeneration von Einzelzellen und Fusionsprodukten von Protoplasten zu ganzen Pflanzen gilt heute als weitgehend gelöst (GROSSER und GMITTER, 1990). Im

Gegensatz zur sexuellen Kreuzung ist bei Protoplastenfusionen die Gesamtchromosomenzahl der Endprodukte die Addition der somatischen Chromosomen der Eltern. Die Kombination Satsuma Mandarine (*C. unshiu*) und Süßorange *C. sinensis*) war eine der ersten erfolgreichen somatischen Fusionen zwischen Protoplasten verschiedener Arten (KOBAYASHI et al., 1988; YAMAMOTO et al., 2001). Mit dem Ziel, die durch cytoplasmatisch-männlich-steriles Plasma (cms) bedingte Kernlosigkeit der Satsuma Mandarine in verwandte Arten zu übertragen, werden neuerdings somatische Fusionen zwischen *C. unshiu* und der Grapefruit, der Mandarine und Tangor hergestellt (GUO et al., 2004a; OHGAWARA et al., 1989). Ergebnisse über Produktivität der somatischen Bastarde und die Kernlosigkeit der Früchte stehen aber noch aus. Mehr als 150 tetraploide Bastarde wurden in Florida mit Hilfe somatischer Protoplastenfusionen in den letzten Jahren hergestellt (GUO et al., 2004b). Einige von ihnen besitzen akzeptable Schalendicke, nur wenige oder keine Samen, hohe Gehalte an Saft mit einem guten Aroma.

In China wurde zur Verbesserung der Resistenz von *P. trifoliata*, die als Unterlage gegen das Citrus Exocortis Viroid hoch anfällig ist, Protoplasten dieser Spezies mit solchen der toleranten *C. reticulata* cv. Red Tangerine somatisch fusioniert (GUO et al., 2002). Untersuchungen der regenerierten Bastarde zur Krankheitstoleranz und Anpassungsfähigkeit an den Boden sind zur Zeit im Gange. In Florida versucht man, über Protoplastenfusion zwischen Mandarine und Pampelmuse eine Pomeranzenunterlage mit neuen Merkmalen zu selektieren. Darüber hinaus werden Zitrusformen selektiert, deren Kombination sexuell inkompatibel ist oder die miteinander nur sehr schwer kreuzbar sind (GROSSER und CHANDLER, 2003).

Im Sultanat Oman wurden mit Hilfe von Protoplasten tetraploide, somatische Bastarde zwischen Süßorange und *Citrus micrantha*, dem Elter der Limette, regeneriert (Khan und GROSSER, 2004). Die Bastardpflanzen besitzen wie Süßorange Resistenz gegenüber Hexenbesen, einer Krankheit, die in Oman die Limette stark befällt. Pflanzen aus somatischen Fusionsbastarden zwischen Süßorange und Meiwa Kumquat (*Fortunella crassifolia*) sind unbefriedigend, da sie zu Welke führen. Die Ursachen sind wahrscheinlich Instabilität der mitochondrialen

DNA und Zellkern/ Cytoplasma- Unverträglichkeit (CHENG et al., 2003). Geringe Wüchsigkeit und Welkeerscheinungen treten auch in tetraploiden Kombinationen zwischen Marumi Kumquat (*F. japonica*) und Süßorange auf. Diese werden auf Unverträglichkeit zwischen Kerngenen beider Genome zurückgeführt (TAKAMI et al., 2004).

Die Entwicklung eines jungen Zitrusbaumes bis zur ersten Blüte und zum Fruchtansatz dauert fünf oder mehr Jahre. Diese lange Jugendentwicklungszeit zu verkürzen ist ein weiteres, wichtiges Ziel der Zitruszüchtung. Mit Hilfe der Gewebekultur ist CERVERA et al. (1998) und KOBAYASHI et al. (2003) vor kurzem ein Durchbruch gelungen. Die Forscher konnten erfolgreich aus Explantaten ausgereifter Sprosssegmente über *in vitro*- Sprossspitzenveredlung ganze Pflanzen regenerieren, die schon nach 14 Monaten zu blühen begannen.

Ende der 1970er Jahre wurde die Haploidenkultur aufgegriffen (HIDAKE et al., 1979). Im haploiden Genom lassen sich rezessive Gene erkennen, die wie alle anderen Gene nach Diploidisierung der Chromosomen homozygot vorliegen. Neben einer Technik, Eizellen mit Pollen der triploiden Tangelosorte Oroblanco *in vitro* zu bestäuben (GERMANA und CHIANCONE, 2001) erscheint die Antherenkultur zur Herstellung haploider Pflanzen vielversprechend (GERMANA, 1997; 2003a 2003b; GERMANA et al., 1994; 2000; GERMANA und CHIANCONE, 2003). Häufig erfolgt die Diploidisierung haploider Kalli spontan. Zur genetischen Identifizierung eignen sich die Isoenzyme Phosphoglucoisomerase und Phosphoglucomutase. Die Clementine war jedoch bislang die einzige Zitrusart, bei der die Erzeugung haploider Pflanzen erfolgreich war.

Wie in anderen Arten wird auch bei *Citrus* versucht, die exprimierenden DNA-Sequenzen zu analysieren. Komplementäre DNA (cDNA) wurde isoliert und 6.443 kurze DNA- Stücke, „Expressed Sequence Tags“ (EST) aus 180 Tage alten, unreifen Keimlingen gewonnen (BAUSHER et al., 2003). 35% der EST's konnten Proteinen mit bekannter Funktion, 23% der EST's Proteinen mit unbekannter Funktion zugeordnet werden. 25% der ESTS's wurden mit vermutlichen Proteinen assoziiert. Diese Untersuchungen geben neue Einblicke in das molekular-genetische Repertoire einzelner Zitrusarten.

Mit der Erstellung transgener Pflanzen wurde Ende der 1980er Jahre begonnen (HIDAKA et al., 1990). Gentechnik bei Zitrusarten verfolgt das Ziel, rascher als durch konventionelle Züchtung Gene für Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren und Qualitätsmerkmale in angepasste Genotypen zu übertragen. Transformationsversuche wurden erfolgreich mit Hilfe des *Agrobacterium tumefaciens*- Systems und entsprechenden Reportergenen an embryogenem und Epikotylgewebe sowie Internodienexplantaten durchgeführt (ALMEIDA et al., 2003; MOLINARI et al., 2004). Einer japanischen Arbeitsgruppe (IWANAMI et al., 2004) gelang kürzlich mit Hilfe dieser Technik die Übertragung des Gens für das Hüllprotein des Zitrusmosaik- Virus, einem wichtigen Krankheitserreger in Japan, in *Poncirus trifoliata*, der Dreiblättrigen Orange. Diese Art ist in Japan wegen ihrer Kälte- und Krankheits- Toleranz wichtigste Veredlungsunterlage der Satsuma.

9. Perspektiven

Zitrusfrüchte gehören mit einer Produktion von über 100 Millionen Tonnen neben der Banane mit einer fast ähnlich hohen Produktion zu den weltweit wichtigsten Obstarten. Ihr Anbau wird aber von zahlreichen biotischen und abiotischen Stressfaktoren bedroht. Besonders gravierend ist zur Zeit die hohe Anfälligkeit gegenüber Krankheiten, insbesondere Tristeza Virus und Sudden Death. Die Verwendung weniger, genetisch homogener Unterlagen ist Hauptursache für die große Verwundbarkeit vieler Zitruskulturen. Die epidemieartige Ausbreitung der Tristeza- Krankheit wäre sicher zu verhindern gewesen, wenn in vielen Anbauregionen nicht fast ausschließlich die Pomeranze (*C. aurantium*) als Unterlage verwendet worden wäre. In Brasilien, dem weltweit wichtigsten Apfelsinenproduzenten, zeigt sich, dass die fast ausschließliche Verwendung der Rangpur- Limette (*C. limonia*) als Unterlage der Apfelsine hauptverantwortlich für die rasche Verbreitung der Citrus Sudden Death- Krankheit ist. Natürlich ist für die Auswahl der Veredlungsunterlage nicht nur die Reaktion gegenüber Krankheiten und Schädlingen entscheidend. Dürre-, Salz- oder Frosttoleranz und die mineralische Zusammensetzung des Bodens spielen dabei eine ebenso wichtige Rolle. Neue

Kreuzungen zur Verbesserung der Unterlagen, die zur Zeit vielerorts durchgeführt werden, und eine Abkehr von Monokulturen lassen erwarten, dass die genetische Verwundbarkeit in Zukunft zurückgehen wird. Große Anstrengungen werden unternommen, durch konventionelle und molekulare Züchtung die Resistenz gegenüber Krankheiten zu verbessern. Bei der Bekämpfung von Krankheiten könnte die Gentechnik möglicherweise zu rascheren Lösungen führen als konventionelle Züchtung, wenn es gelingen sollte, entsprechende Resistenzgene zu isolieren und in adaptierte Unterlagen zu transformieren (OLIVARES-FUSTER et al., 2003).

Bei der Nutzung der genetischen Variabilität, insbesondere bei der Suche neuer Resistenzen, sollten nicht nur vorhandene Sorten, sondern auch nahe und entfernt verwandte Zitrusarten Verwendung finden. Ursprungsländer der Zitrusarten wie China, Indien, der gesamte südostasiatische Raum und Australien spielen dabei eine wichtige Rolle. Ungefähr 6000 Zitrusherkünfte, darunter alte Sorten, Zuchtstämme und wilde Arten stehen zur Zeit weltweit zur Verfügung (FAO, 1997). Zunehmende Waldrodungen gefährden aber wild wachsende Zitrusarten, insbesondere im Nordosten Indiens (SHARMA et al., 2004) und in anderen Regionen.

Im Jahre 1997 wurde unter dem Dach der FAO ein Global Citrus Germplasm Network gegründet, in dem nationale Institutionen sowie regionale und überregionale Netzwerke beteiligt sind. Ziel dieser Institution ist die Koordinierung der vielen verschiedenen, bisher existierenden Initiativen in Verbindung mit einer verbesserten Evaluierung, Erhaltung und Nutzung genetischer Ressourcen und eine Intensivierung der Kontakte.

Zahlreiche Genkarten sind in den letzten Jahren mit Hilfe biochemischer und molekularer Marker erstellt worden. Sie geben neue Einblicke in Gensequenzen und die Position von Einzelgenen innerhalb der Kopplungsgruppen und erleichtern die Marker gestützte Selektion für die Züchtung neuer Sorten. Insbesondere ermöglichen sie die Klonierung wertvoller Gene und ihre eventuelle, spätere Nutzung.

Untersuchungen der Zuordnung von Einzelgenen oder Kopplungsgruppen zu ihren zugehörigen Chromosomen sind jedoch bisher kaum voran gekommen. Hier besteht ein großer Handlungsbedarf. Gewebekulturen und die Regeneration von

Einzelzellen und Fusionsprodukten zu ganzen Pflanzen gelingen dagegen ohne Schwierigkeiten. Sie ermöglichen die Kombination von Genen, die wegen Selbst-Inkompatibilität der Eltern sexuell nicht durchgeführt werden können. Auch die Erstellung haploider und doppel-haploider Pflanzen ist möglich. Mit ihrer Hilfe lassen sich homozygote Pflanzen und in somatischen Fusionen mit diploiden Linien triploide Genotypen herstellen. Die Zitrusforschung hat in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt. Viele neue Probleme sind aber hinzugekommen, die in der Zukunft gelöst werden müssen.

10. Literatur

- AHMAD, R., STRUSS, D. and SOUTHWICK, S.M.; Development and characterization of microsatellite markers in *Citrus*. J. Amer. Soc.Hort.Sci.128, 584-590, 2003.
- ALMEIDA, W.A.B., MOURAO FILHO, F.A.A., PINO, L.E., BOSCARIOL, R.L., RODRIGUEZ, A.P.M. and MENDES, B.M.J.; Genetic transformation and plant recovery from mature tissues of *Citrus sinensis* L. Osbeck. Plant Sci. 164, 203-211, 2003.
- ASADI ABKENAR, A., ISSHIKI, S. and TASHIRO, Y.; Phylogenetic relationships in the 'true Citrus fruit trees' revealed by PCR-RFLP analysis of cpDNA. Scientia Horticulturae 102, 233-242, 2004.
- ASADI ABKENAR, A. and ISSHIKI, S.; Molecular characterization and genetic diversity among Japanese acid citrus (*Citrus* spp.) based on rapid markers. J. Hort. Sci. & Biotechnol. 78, 108-112, 2003.
- ASINS, M.J., MONFORTE, A.J., MESTRE, P.F. and CARBONELL, E.A.; *Citrus* and *Prunus copia*- like retrotransposons. Theor. Appl. Genet. 99, 503-510, 1999.
- AYRES, A.J.; Citrus disease control in Brazil. Proc. 2001 China/FAO Citrus Symposium, Beijing, China, pp. 103-110, 2001.
- BAR-JOSEPH, M., MARCUS, R. and LEE, R.F.; The continuous challenge of citrus tristeza virus control. Annu. Rev. Phytopathol. 27, 291-316, 1989.

- BARONE, E., BOUNOUS, G., GIODI, INGLESSE, D. and ZAPPIA, R., 1988:
Survey and outlook of Bergamot (*Citrus aurantium* sub. *Bergamia* Sw.)
industry in Italy. In: GOREN, R and MENDEL K. (eds.), Proc. 6th Intern.
Citrus Congress, Tel Aviv, 1603-1611, Balaben Publ. Philadelphia/Rehovot,
1988.
- BARRET, H.C. and RHODES, A.M.; A numerical taxonomic study of affinity
relationships in cultivated *Citrus* and its close relatives. *Syst. Bot.* 1, 105-136,
1976.
- BASSANEZI, R.B., BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L., GIMENES-
FERNANDES, N., GORRWALD, T.R. and BOVÉ, J.M.; Spatial and
temporal analyses of Citrus Sudden Death as a tool to generate hypotheses
concerning its etiology. *Phytopathology* 93, 502-512, 2003.
- BASTIANEL, M., SCHWARZ, S.F., della COLETA FILHO, H., LEE LIN, L.,
MACHADO, M. and KOLLER, O.C.; Identification of zygotic and nucellar
tangerine seedlings (*Citrus* spp.) using RAPD. *Genet. Mol. Biol.* 21, 120-
129, 1998.
- BAUSHER, M., SHATTERS, R., CHAPARRO, J., DANG, P., HUNTER, W. and
NIEDZ, R., An expressed sequence tag (EST) set from *Citrus sinensis* L.
Osbeck whole seedlings and the implications of further perennial source
investigations. *Plant Sci.* 165, 415-422, 2003.
- BERNET, G.P. and ASINS, M.J.; Identification and genomic distribution of *gypsy*
like retrotransposons in *Citrus* and *Poncirus*. *Theor. Appl. Genet.* 108, 121-
130, 2003.
- BERNET, G.P., MESTRE, P.F. PINA, J.A. and ASINS, M.J.; Molecular
discrimination of lemon cultivars. *HortSci* 39, 165-169, 2004
- BOND, J.E. and ROOSE, M.L.; *Agrobacterium*- mediated transformation of the
commercially important citrus cultivar Washington navel orange. *Plant Cell*
Reports 18, 229-234, 1998.

- BORDIGNON, R., MEDINA-FILHO, H.P., SIQUEIRA, W.J. and SOBRINHO, J.T., The genetics of tolerance to tristeza disease in *Citrus* rootstocks. *Genet Mol Biol.* 27, 199-206, 2004.
- BRETO, M.P., RUIZ, C., Pina, J.A. and ASINS, M.J.; The diversification of *Citrus clementina* Hort. Ex Tan., a vegetatively propagated crop species. *Molec. Phylogenet. Evol.* 21, 285-293, 2001.
- CAI, Q., MOORE, G.A. and GUY, C.L.; An unusual group 2 LEA gene family in *Citrus* responsive to low temperature. *Plant Mol. Biol.* 29, 11-23, 1995.
- CALABRESE, F.; The fabulous story of *Citrus* fruit. *Agricoltura*, 208, 82-128, 1990.
- CAMARA-ZAPATA, J.M., GARCIA-SANCHEZ, F., MARTINEZ, V., NIEVES, M. and CERDA, A.; Effect of NaCl on *Citrus* cultivars. *Agronomie* 24, 155-160, 2004.
- CAMBRA, M., GORRIS, M.T., MARROQUIN, C., ROMAN, M.P., OLMOS, A., MARTINEZ, M.C., HERMOZO de MENDOZA, A., LOPEZ, A. and NAVARRO, L.; Incidence and epidemiology of Citrus Tristeza Virus in the Valencian Community of Spain. *Virus Res* 71, 85-95, 2000.
- CAMERON, J.W., BAINES, R.C. and OSCAR, F.C.; Resistance of hybrid seedlings of the trifoliolate orange to infestation by the citrus nematode. *Phytopathology* 44, 456-458, 1954.
- CAMERON, J.W. and SOOST, R.K.; *Citrus*. *Citrus* spp. in: edited by FERWERDA, F.P. and WIT, F. *Outlines of Perennial Crop Breeding in the Tropics*, Miscellaneous papers 4, H. Veenman & Zonen N.V., Wageningen, Nederlande, 1969.
- CERVERA, M., JUAREZ, J., NAVARRO, A., PINA, J.M., DURAN-VILA, N., NAVARRO, L. and PENA, L.; Genetic transformation and regeneration of mature tissues of woody fruit plants bypassing the juvenile stage. *Transgenic Res.* 7, 51-59, 1998.
- CHAPOT, H.; Le bergamotier. *Al Awarnia* 5, 1-27, 1962.
- CHAPOT, H.; Le *Citrus volkameriana* Pasquale. *Al Awarnia* 14, 29-45, 1965.

- CHENG, Y.J., GUO, W.W. and DENG, X.X.; Molecular characterisation of cytoplasmic and nuclear genomes in phenotypically abnormal Valencia orange (*Citrus sinensis*) + Meiwa kumquat (*Fortunella crassifolia*) intergeneric somatic hybrids. *Plant Cell Rep.* 21, 445-451, 2003.
- COLETTA FILHO, H.D., MACHADO, M.A., TARGON, M.L.P.N, MOREIRA, M.C.P.Q.D.G. and POMPEU, J. Jr; Analysis of the genetic diversity among mandarins (*Citrus* spp.) using RAPD markers. *Euphytica* 102, 133-139, 1998.
- CORNELIO, M.T.M.N-, FIGUEIROA, A.R.S., SANTOS, K.G.B., SOARES FILHO, W.S. and GUERRA, M.; Chromosomal relationships among cultivars of *Citrus reticulata* Blanco, its hybrids and related species. *Plant Syst. Evol.* 240, 149-161, 2003.
- DAS, A., MONDAL, B., SARKAR, J. and CHAUDHURI, S.; RAPD profiling of some elite clones of mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) in the North Eastern region of India. *J. Hort. Sci. Biotech.* 79, 850-854, 2004.
- DAVIES, F.S. and ALBRIGO, L.G.; *Citrus*, CABI Publishing, Wallingford, Great Britain, 1994.
- DENG, Z., TAO, Q., CHANG, Y.L., HUANG, S., LING, P., Yu, C., CHEN, C., GMITTER, F.G. and ZHANG, H.-B.; Construction of a bacterial artificial chromosome (BAC) library for *Citrus* and identification of BAC contigs containing resistance gene candidates. *Theor. Appl. Genet.* 102, 1177-1184, 2001.
- DENGH, Z.N., GENTILE, A., NICOLESI, E., CONTINELLA, G. and TRIBULATO, E.; Parentage determination of some *Citrus* hybrids by molecular markers. In: Tribulato, E., Gentile, A. and Reforgiato, G. (eds.) *Proc. Int. Soc. Citricul.* 1, 849-854, 1992.
- DERRICK, K.S., BERETTA, M.J., BARTHE, G.A. and KAYIM, M.; Identification of strains of Citrus tristeza virus by subtraction hybridization. *Plant Dis.* 87, 1355-1359, 2003.

- ELISIARIO, P.J., JUSTO, E.M. and LEITAO, J.M.; Identification of mandarin hybrids by isozyme and RAPD analysis. *Scientia Horticulturae* 81, 287-299, 1999a.
- ELISIARIO, P.J., SANTOS, G.G., GUERREIRO, A.R., OLLITRAULT, P., LURO, F. and LEITAO, J.M.; Isozyme analysis revealed that the Portuguese mandarin originated as a single clone. *Scientia Horticulturae* 82, 145-152, 1999b.
- FANG, D.Q. and ROOSE, M.L.; Identification of closely related *Citrus* cultivars with intersimple sequence repeat markers. *Theor Appl. Genet.* 95, 408-417, 1997.
- FANG, D.Q. and ROOSE, M.L.; A novel gene conferring citrus tristeza virus in *Citrus maxima* (Burm.) Merrill. *HortSci.* 34, 334-335, 1999.
- FANG, D.Q., FEDERICI, C.T. and ROOSE, M.L.; A high-resolution linkage map of the citrus tristeza virus resistance gene region in *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. *Genetics* 150, 883-890, 1998.
- FERRARI, G.B.; *Hesperides sive de Malorum Aureorum Cultura et Usu. Libri Quatuor*, H. Schens, Rom, 1646.
- FAO/IBPGR; Technical Guidelines for the safe movement of *Citrus* germplasm, Frison E.A. and Taher, M.M. (eds.) pp. 1-50, 1991.
- FAO; *Schriften zu genetischen Ressourcen. 4. Internationale Technische Konferenz der FAO über Pflanzengenetische Ressourcen*, Leipzig, 1996, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1997.
- FAO; <http://apps.fao.org/> Citrus Fruit Annual Statistics, 1998.
- FAO;: <http://faostat.fao.org/default.htm>, 2004
- FEDERICI, C.T., ROOSE, M.L. and SCORA, R.W.; RFLP analysis of the origin of *Citrus bergami*, *Citrus jambhiri* and *Citrus lomonina*. In: Goren, R. and Goldschmidt, E.E., Proc. (eds.) 1st Intern. Symp. on Citrus Biotechnology, 55-62, 2000.

- FORNER-GINER, M.A., ALCAIDE, A., PRIMO-MILLO, E. and FORNER, J.B.;
Performance of Navelina orange on 14 rootstocks in Northern Valencia
(Spain). *Scientia Horticulturae* 98, 223-232, 2003.
- FROST, H.P.; The chromosomes of *Citrus*. *J. Washington Acad. Sci.* 15, 1-3, 1925.
- GALLASCH, P.T. and AINSWORTH, B.J., Developments in the Australian *Citrus*
industry. In: Goren, R and Mendel. K. (eds.) Proc. 6th Intern. Citrus Congress,
Tel Aviv, 1613-1623, Balaben Publ. Philadelphia/Rehovot, 1988.
- GARCIA, M.R., BERNET, G.P., PUCHADES, J., GOMEZ, I., CARBONELL,
E.A. and ASINS, M.J.; Reliable and easy screening technique for salt
tolerance of *Citrus* rootsstocks under controlled environments. *Aust. J. Agric.*
Res. 53, 653-662, 2002.
- GARNIER, M., JAGOUIEX-EVEILLARD, S., CROMJE, P.R., Le ROUX, H.F.
and BOVE, J.M ; Genomic characterization of a liberibacter present in an
ornamental rutaceous tree, *Calodendrum capense*, in the Western Cape
province of South Africa. Proposal of a *Candidatus Liberibacter africanus*
subsp. *Capensis*. *Intern. J. System. Evol. Microbiol.* 50, 2119-2125, 2000.
- GERMANA, M.A, Haploids in *Citrus*. In: Jain, S.M., Sopory, S.K. and Veilleux,
R.E. (eds.). *In vitro* Haploid Production in Higher Plants. Vol. 5, 45-50,
1997.
- GERMANA, M.A.; Doupled Haploid Production in Crop Plants: A Maunal. In:
Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P. and Szarejko, I. (eds.). Haploids
and doubled haploids in *Citrus* ssp., 303-307, Kluwer Academic Publ.,
Dordrecht, 2003a.
- GERMANA, M.A.; Somatic embryogenesis and plant regeneration from anther
culture of *Citrus aurantium* and *C. reticulata*. *Biologia* 58, 843-850, 2003b
- GERMANA, M.A. and CHIANCONE, B.; Gynogenetic haploids of *Citrus* after
in vitro pollination with triploid pollen grains.. *Plant Cell Tissue Organ*
Culture 66, 59-66, 2001.
- GERMANA, M.A. and CHIANCONE, B.; Improvement of *Citrus clementina* Hort.
ex Tan. microspore-derived embryoid induction and regeneration. *Plant Cell*
Rep. 22, 181-187, 2003.

- GERMANA, M.A., CRESCIMANNO, F.G., REFORGIATO RECUPERO, G. and RUSSO, M.P.; Preliminary characterization of several doubled haploids of *Citrus clementina* cv. Nules. In: Goren, R. and Goldschmidt, E.E. (eds.) Proc. 1st Intern. Symp. Citrus Biotechnology, Acta Hort. 535, 183-190, 2000.
- GERMANA, M.A., YING WANG, Y., BARBAGALLO, M.G., IANNOLINO, G. and CRESCIMANNO, F.G.; Recovery of haploid and diploid plantlets from anther culture of *Citrus clementina* Hort. Ex Tan. and *Citrus reticulata* Blanco. J. Horticult. Sci. 69, 473-480, 1994.
- GMITTER, F.G.; Origin, evolution, and breeding of the grapefruit. Plant Breeding Reviews 13, 345-363, 1995.
- GMITTER, F.G. and HU, X.; The possible role of Yunnan, China, in the origin of contemporary *Citrus* species (Rutaceae). Econ. Bot. 44, 267-277, 1990.
- GMITTER, F.G., XIAO, S.Y., HUANG, S., HU, X.L. GARNSEY, S.M. and DENG, Z.; A localized linkage map of the *Citrus Tristeza Virus* resistance gene region. Theor. Appl. Genet. 92, 688-695, 1996.
- GOTTWALD, T.R., GRAHAM, J.H. and SCHUBERT, T.S.; Citrus canker: the pathogen and its impact. Plant Health Progress. <http://www.apsnet.org/feature/citruscanker>, pp. 1-33, 2002.
- GRACA, J.V.; Citrus greening disease. Ann. Rev. Phytopathology 29, 109-136, 1991.
- GRAHAM, J.H.; Root generation and tolerance of *Citrus* rootstocks to root rot caused by *Phytophthora nicotianae*. Phytopathology 85, 111-117, 1995.
- GREEN, R.M., VARDI, A. and GALUN, E. The plastome of *Citrus*. Physical map, variation among *Citrus* cultivars and species, and comparison with related genera. Theor. Appl. Genet. 72, 170-177, 1986.
- GROSSER, J.W. and CHANDLER, J.L., New *Citrus* rootstocks via protoplast fusion. In: Janick, J. (ed.). Proceedings of the XXVI Intern. Horticultural Congress, Genetics and Breeding of Tree Fruits and Nuts. Acta Horticulturae 622, 491-497, 2003.
- GROSSER, J.W. and GMITTER, F.G.; Protoplast fusion and *Citrus* improvement. Plant Breeding Reviews 8, 339-374, 1990.

- GUERRA, M.; Cytogenetics of *Rutaceae*. II. Nuclear DNA content. *Caryologia* 37, 219-226, 1984.
- GUERRA, M.; Cytogenetics of *Rutaceae*. V. High chromosomal variability in *Citrus* species revealed by CMA/DAPI staining. *Heredity* 71, 234-241, 1993.
- GUERRA, M., GALVAO BEZERRA DOS SANTOS, K., BARROS e SILVA, A.E. and EHRENDORFER, F.; Heterochromatin banding patterns in *Rutaceae-Aurantioideae* – a case of parallel chromosomal evolution. *Amer. J. Bot.* 87, 735-747, 2000.
- GUO, W.W. and DENG, X.X.; Wide somatic hybrids of *Citrus* with its related genera and their potential in genetic improvement. *Euphytica* 118, 175-183, 2001.
- GUO, W.W., CHENG, Y.L. and DENG, X.X.; Regeneration and molecular characterization of intergeneric somatic hybrids between *Citrus reticulata* and *Poncirus trifoliata*. *Plant Cell Rep.* 20, 829-834, 2002.
- GUO, W.W., PRASAD, D., CHENG, Y.J., SERRANO, P., DENG, X.X. and GROSSER, J.W.; Targeted cybridization in *Citrus*: transfer of Satsuma cytoplasm to seedy cultivars for potential seedlessness. *Plant Cell Rep.* 22, 752-758, 2004a.
- GUO, W.W., PRASAD, D., SERRANO, P., GMITTER, F.G., Jr. and GROSSER, J.W.; *Citrus* somatic hybridization with potential for direct tetraploid scion cultivar development. *J. Hortic. Sci & Biotechnol.* 79, 400-405, 2004b.
- HAN YEN-CHIH ; Chü Lu, Monograph of the oranges of Wen-chou, Chekiang. Übersetzung von M.J. Hagerty , mit einer Einführung von P. Pelliot & Toung Pao, 1923, Ser. 2, 22, 63-96, Leiden, Niederlande, 1178.
- HENSZ, R.A.; Mutation breeding of grapefruit (*Citrus parasisi* Macf.) In: *Plant Mutation Breeding for Crop Improvement*, Vol. 1, SM-311, IAEA, Vienna, 533-536, 1991.

- HEPAKSOY, S., Özer, B. CAN, H.Z. and UL, M.A., Influence of rootstocks on Physiological response of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) to salinity. In: Aksoy, U. et al. (eds.) Proc. Intern. Symp. Techniques Control Salination Horticultural Productivity, Acta Horticulturae 573, 247-253, 2002.
- HERRERO, R., ASINS, M.J., CARBONELL, E.A. and NAVARRO, L.; Genetic diversity in the orange subfamily Aurantioideae. I. Intraspecies and intragenus genetic variability. Theor. Appl. Genet. 92, 599-609, 1996.
- HIDAKA, T., YAMADA, Y. and SHICHIJO, T.; *In vitro* differentiation of haploid plants by anther culture in *Poncirus trifoliata* (L.), Jpn. J. Breed. 29, 248-254, 1979.
- HIDAKA, T., OMURA, M., UGAKI, M., TOMIYAMA, M., KATO, A., OHSHIMA, M. and MOTOYOSHI, F.; *Agrobacterium*-mediated transformation and regeneration of *Citrus* spp. From suspension cells. Jpn. J. Breed. 40, 199-207, 1990.
- HODGSON, R.W.; Taxonomy and nomenclature in *Citrus*. Intern. Org. of *Citrus* Virologists, Proc. 2nd Conf., pp. 1-7, Price, W.C. (ed.), University of Florida Press, 1961.
- HODGSON, R.W.; Horticultural varieties of *Citrus*. Vol. I, (Reuther, W., Webber, H.J. and Batchelor, L.D. (eds.), pp. 431-591, Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley, 1967.
- IWAMASA, M.; Studies on the sterility in the genus *Citrus* with special reference to the seedlessness. Bull. Hort. Res. Sta. Japan. Ser. B.: 6, 1-77, 1966.
- IWAMASA, M. and NITO, N.; Cytogenetics and the evolution of modern cultivated *Citrus*. In: Goren, R and Mendel. K. (eds.) Proc. 6th Intern. Citrus Congress, Tel Aviv, 265-275, Balaben Publ. Philadelphia/Rehovot, 1988.
- IWANAMI, T., SHIMIZU, T., ITO, T. and HIRABAYASHI, T.; Tolerance to *Citrus* mosaic virus in transgenic Trifoliolate Orange lines. Plant Dis., 88, 865-868, 2004.

- KHAN, I.A. and GROSSER, J.W., Regeneration and characterization of somatic hybrid plants of *Citrus sinensis* (sweet orange) and *Citrus micrantha*, a progenitor species of lime. *Euphytica* 137, 271-278, 2004.
- KOBAYASHI, A.K., BESPALHOK, J.C., PEREIRA, L.F.P. and VIEIRA, L.G.E.; Plant regeneration of sweet orange (*Citrus sinensis*) from thin sections of mature stem segments. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 74, 99-102, 2003.
- KOEHLER-SANTOS, P., CUNHA DOMELLES, A.L. BRANDAO de FREITAS, L.; Characterization of mandarin *Citrus* germplasm from Southern Brazil by morphological and molecular analyses. *Pesq. Agropec. Bras.* 38, 797-807, 2003.
- KOLTUNOW, A.M., SOLTYS, K. and MCCLURE, S.; Anther, ovule, seed, and nucellar embryo development in *Citrus sinensis* cv. Valencia. *Can. J. Bot.* 73, 1567-1582, 1995.
- KOLTUNOW, A.M., HIDAKA, T. and ROBINSON, S.P.; Polyembryony in *Citrus*. *Plant Physiol.* 110, 599-609, 1996.
- KOLTUNOW, A.M., SOLTYS, K., NITO, N. and MCCLURE, S.; Anther, ovule, seed, and nucellar embryo development in *Citrus sinensis* cv. Valencia. *Can. J. Bot.* 73, 1567-1582, 1995.
- KOLTUNOW, A.M., VIVIAN-SMITH, A. and SYKES, S.R.; Molecular and conventional breeding strategies for seedless *Citrus*. In: Goren, R. and Goldschmidt, E.E. (eds.) *Proc. 1st Intern. Symp., on Citrus Biotechnology*, 169-174, 2000.
- KRUG, C.A.; Chromosome numbers in the subfamily Aurantioideae with special reference to the genus *Citrus*. *Bot. Gaz.* 104, 602-611, 1943.
- KUMATO, J., SCORA, R.W., LAWTON, H.W. and W.A. CLERX, W.A.; Mystery of the forbidden fruit: Historical epilogue on the origin of the grapefruit, *Citrus paradisi* (Rutaceae). *Econ. Bot.* 41, 97-107, 1987.
- LING, P., DUNCAN, L.W., DENG, Z., DUNN, D., HU, X., HUANG, S. and GMITTER, F.G.; Inheritance of citrus nematode resistance and its linkage with molecular markers. *Theor. Appl. Genet.* 100, 1010-1017, 2000.

- LIU, X.; China's *Citrus* production: retrospect, present situations and future prospects. China/FAO *Citrus* Symposium, 1-4, Beijing, 2001.
- LURO, F., LAIGRET, F., BOVE, J.M. and OLLITRAUT, P.; Application of random amplified polymorphic DNA (RAPD) to *Citrus*. HortSci 30, 1063-1067, 1995.
- MACHADO, M.A., COLETTA FILHO, H.D., TARGON, M.L.P.N. and POMPEU, J.; Genetic relationship of Mediterranean mandarins (*Citrus deliciosa* Tenore) using RAPD markers. Euphytica 92, 321-326, 1996.
- MATLACK, W.B.; Pigments of pink grapefruit, *Citrus grandis* (L. Osbeck). J. Biol. Chem. 110, 249, 1935.
- MALIK, M.N., SCORA, R.W. and SOOST, R.K.; Studies on the origin of the lemon. Hilgardia 42, 361-382, 1974.
- MAROQUIN, C., OLMOS, A., GORRIS, M.T., BERTOLINI, E., MARTINEZ, M.C., CARBONELL, E.A., HERMOSO de MENDOZA, A. and CAMBRA, M.; Estimation of the number of aphids carrying Citrus Tristeza Virus that visit adult *Citrus* trees. Virus Res. 100, 101-108, 2004.
- MENDT, R.; Present and future of Venezuelan citriculture. In: Goren, R. and Mendel. K. (eds.) Proc. 6th Intern. Citrus Congress, Tel Aviv, 1625-1629, Balaben Publ. Philadelphia/Rehovot, 1988.
- MESTRE, P.F., ASINS, M.J., CARBONELL, E.A. and NAVARRO, L.; New gene(s) involved in the resistance of *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. to citrus tristeza virus. Theor. Appl. Genet. 95, 691-695, 1997.
- MEYER, K.; Carotinoide – Bedeutung und technische Synthesen. Chemie in unserer Zeit 36, 178-192, 2002.
- MIRANDA, M., IKEDA, F., ENDO, T. MORIGUCHI, T. and OMURA, M.; Comparative analysis on the distribution of heterochromatin in *Citrus*, *Poncirus* and *Fortunella* chromosomes. Chromosome Res. 5, 86-92, 1997.
- MOLINARI, H.B.C., BESPALHOK, J.C., KOBAYASHI, A.K., PEREIRA, L.F.P. and VIEIRA L.G.E.; *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of Swingle citrumelo (*Citrus paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) using thin epicotyl sections. Scientia Horticulturae 99, 379-385, 2004.

- MONDELLO, L., COTRONEO, A., ERRANTE, G., DUGO, G. and DUGO, P.;
Determination of anthocyanins in blood orange juices by HPLC analysis. J.
Pharmaceut. Biomedic. Anal. 23, 191-195, 2000.
- MOORE, G.A.; Oranges and lemons: clues to the taxonomy of *Citrus* from
molecular markers. Trends in Genetics 17, 536-540, 2001.
- MOREIRA, L.M., de SOUZA, R., ALMEIDA Jr., N.F., SETUBAL., J.C.,
OLIVEIRA, J.C.F., FURLAN, L.R., FERRO, J.A. and da SILVA, A.C.R.;
Comparative genomics analysis of Citrus-associated bacteria. Annu. Rev.
Phytopathol. 42, 163-184, 2004.
- MORTON, J.F.; Fruits of warm climates. Creative Resource Systems, Inc.
Winterville, NC, USA, 1987.
- MOUFIDA, S. and MARZOUK, B.; Biochemical characterization of blood orange,
sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange. Phytochemistry 62, 1283-
1289, 2003.
- NICOLOSI, E., DENG, Z.N., GENTILE, A., LA MALFA, S., CONTINELLA, G.
and TRIBULATO, E.; *Citrus* phylogeny and genetic origin of important
species as investigated by molecular markers. Theor. Appl. Genet. 100, 1155-
1166, 2000.
- NICOTRA, A.; Mandarin-like hybrids of recent interest for fresh consumption.
Problems and ways of control. Proc. 2001 China/FAO *Citrus* Symposium,
Beijing, China, pp. 15-24, 2001.
- NOLL, F.; Fruchtbildung ohne vorausgegangene Bestäubung (Parthenokarpie) bei
der Gurke. Sitzungsber. Niederrhein, Ber. Nat. Heilk., Bonn, 149-162, 1902.
- OHGAWARA, T., KOBAYASHI, S., ISHII, S., YOSHINAGA, K. and OIYAMA,
I.; Somatic hybridization in *Citrus*: navel orange (*C. sinensis* Osb.) and
grapefruit (*C. paradisi* Macf.). Theor. Appl. Genet. 78, 609-612, 1989.
- OLIVARES-FUSTER, O., FLEMING, G.H., ALBIACH-MARTI, M.R., GOWDA,
S., DAWSON, W.O. and GROSSER, J.W., Citrus tristeza virus (CTV) in
transgenic *Citrus* based on virus challenge of protoplasts. In Vitro Cellular &
Develop. Biology – Plant. 39, 567-572, 2003

- OLLITRAULT, P. and MICHAUX-FERRIERE, N.; Application of flow cytometry for *Citrus* genetics and breeding. In: Tribulato, E., Gentile, A. and Reforgiato, G (eds.) Proc. Intern Soc. Citriculture, Vol.1, 193-198, 1992.
- OLLITRAULT, P., VANEL, F., FROELICHER, Y. and DAMBIER, D.; Creation of triploid *Citrus* hybrids by electrofocusing of haploid and diploid protoplasts. In: Goren, R. and Goldschmidt, E.E. (eds.) Proc. 1st Intern. Symp. Citrus Biotechnology, Acta Hortic. 535, 191-197, 2000.
- OSBECK, P., TOREEN, O. and ECKEBERG, C.G.; A voyage to China and the East Indies, aus dem Schwedischen ins Deutsche übersetzt von J.R. Forster, Benjamin White, London, 1771.
- PEDROSA, A., GUERRA, M. and DOS S. SOARES FILHO, W.; A hierarchy of activation of nucleolar organizer regions in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. Cytobios 92, 43-51, 1997.
- PEDROSA, A., SCHWEIZER, D. and GUERRA, M.; Cytological heterozygosity and the hybrid origin of sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. Theor. Appl. Genet. 100, 361-367, 2000.
- PEREIRA de CARVALHO COSTA, M.A., MENDES, B.M.J. and MOURAO FILHO, F.A.A.; Somatic hybridisation for improvement of *Citrus* rootstock: production of five new combinations with potential for improved disease resistance. Aust. J. Exp. Agric. 43, 1151-1156, 2003.
- RAGHUVANSHI, S.S.; Cytological studies in genus *Citrus*, *Citrus assamensis*. Carylogia 15, 143-149, 1962a.
- RAGHUVANSHI, S.S.; Cytological studies in genus *Citrus*. IV. Evolution in genus *Citrus*. Cytologia 27, 172-188, 1962b.
- RAMON-LACA, L.; The introduction of cultivated *Citrus* to Europe via Northern Africa and the Iberian Peninsula, Econ. Bot. 57, 502-514, 2003.
- REFORGIATO RECUPERO, G., GENTILE, A., RUSSO, M.P. and DOMINA, F.; Genetic analysis of resistance to *Phoma tracheiphila* in three *Citrus* and *Poncirus* progenies. Plant Breeding 116, 198-200, 1997.
- ROBINSON, A.S.; Mutations and their use in insect control. Mutation Res. 511, 113-132, 2002.

- ROCHDI, A., EL YACOUBI, H. and RACHIDAI, A. ; Comportement vis-à-vis de la salinité de calcs de porte-greffes d'agrumes *Citrus aurantium*, Citrange troyer et *Poncirus trifoliata*: évaluation de critères certifiant la réponse des agrumes au stress salin. *Agronomie* 23, 643-649, 2003.
- ROMAN, M.P., CAMBRA, M., JUAREZ, J., MORENO, P., DURAN-VILA, N., TANAKA, F.A.O., ALVES, E., KITAJIMA, E.W., YAMAMOTO, P.T., BASSANEZI, R.B., TEIXEIRA, D.C., JESUS JUNIOR, W.C., AYRES, A.J., GIMENES-FERNANDES, N., RABENSTEIN, F., GIROTTO, L.F. and BOVE, J.M.; Sudden death of *Citrus* in Brazil: A graft-transmissible bud union disease. *Plant Dis.* 88, 453-467, 2004.
- ROOSE, M.L., SCHWARZACHER, T. and HESLOP-HARRISON, J.S.; The chromosomes of *Citrus* and *Poncirus* species and hybrids: identification of characteristic chromosomes and physical mapping of rDNA loci using *in situ* hybridization and fluorochrome banding. *J. Hered.* 89, 83-86, 1998.
- ROOSE, M.L., SOOST, R.K. and CAMERON, J.W.; *Citrus* In: J. SMART and N.W. SIMMONDS (eds.) *Evolution of Crop Plants*, 2nd edition, Longman Singapore Publ. Ltd., pp. 443-448, 1995.
- ROSSLER, Y., RAVINS, E. and GOMES, P.J.; Sterile insect technique (SIT) in the near east – a transboundary bridge for development and peace. *Crop Protection* 19, 733-738, 2000.
- RUIZ, C. and ASINS, M.J.; Comparison between *Poncirus* and *Citrus* genetic linkage maps. *Theor. Appl. Genet.* 106, 826-836, 2003.
- RUIZ, D., Martinez, V. and CERDA, A.; Demarcating specific ion (NaCl), Cl⁻, Na⁺) and osmotic effects in the response of two rootstocks to salinity. *Scientia Horticulturae* 80, 213-224, 1999.
- SA BORGES, R. de and PIO, R.S.; Comparative study of the mandarin hybrid fruit characteristics : Nova, Murcott and Ortanique in Capao Bonito SP, Brazil. *Rev. Bras. Frutic.*, 25, 448-452, 2003.
- SALERNO, M. and CUTULI, G.; Control of *Citrus* mal secco in Italy today. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 3, 1004-1005, 1977.

- SANCHES STUCHI, E., DONADIO, L.C. and SEMPIONATO, O.R.; Performance of Tahiti lime on *Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* Flying Dragon in four densities. *Fruits* 58, 13-17, 2003.
- SAULS, J.W.; Rootstock and scion varieties. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/citrus/cultivars/L2304.htm>, pp. 1-6, 2002.
- SAUNT, J.; *Citrus Varieties of the World*, Sinclair Intern., 2nd edition, Ltd., Norwich, England, 2000.
- SCARANO, M.-T., TUSA, N., ABBATE, L., LUCRETTI, S., NARDI, L. and FERRANTE, S.; Flow cytometry, SSR and modified AFLP markers for the identification of zygotic plantlets in backcrosses between Femminello lemon cybrids (2n and 4n) and a diploid clone of Femminello lemon (*Citrus limon* L. F.) tolerant to mal secco disease. *Plant Science* 164, 1009-1017, 2003.
- SCORA, R.W.; On the history and origin of *Citrus*. *Bull. Torrey Bot. Club.* 102, 369-375, 1975.
- SCORA, R.W.; Biochemistry, taxonomy and evolution of modern cultivated *Citrus*. In: R. Goren and K. Mendel (eds.) *Proc. 6th Intern Citrus Congress*, pp. 277-289, 1988.
- SCORA, R.W., KUMATO, J., SOOST, R.K. and NAUER, E.M.; Contribution to the origin of the grapefruit, *Citrus paradisi* (Rutaceae). *Systematic Botany* 7, 170-177, 1982.
- SEKER, M., TUCCU, O. and OLLITRAULT, P.; Comparison of nuclear DNA content of *Citrus* rootstock populations by flow cytometry analysis. *Plant Breeding* 122, 169-172, 2003.
- SINGH, H.P.; Genetic diversity, breeding and utilization of *Citrus* fruits. In: Arora, R.K. and Ramanatha Rao, V. (eds.) *Tropical Fruits in Asia: diversity, Maintenance, Conservation and Use*, Bagalore, India, 1997.
- SMITH, M.W., SHAW, R.G., CHAPMAN, J.C., OWEN-TURNER, J., LEE, L.S., McRAE, K.B., JORGENSEN, K.R. and MUNGOMERY, W.V.; Long-term performance of Ellendale mandarin on seven commercial rootstocks in subtropical Australia. *Scientia Horticulturae* 101, in press, 2004

- SOLEL, Z.; *Alternaria* brown spot on Minneola tangelos in Israel. *Plant Pathology* 40, 145-147, 1991.
- SOOST, R.K. and CAMERON, J.W.; 'Oroblanco', a triploid pummelo-grapefruit hybrid. *HortScience* 15, 667-669, 1980.
- SOOST, R.K. and CAMERON, J.W.; 'Melogold', a triploid pummelo-grapefruit hybrid. *HortScience* 20, 1134-1135, 1985.
- SOOST, R.K., WILLIAMS, T.E. and TORRES, A.M.; Identification of nucellar and zygotic seedlings of *Citrus* with leaf isozymes. *HortScience* 15, 728-729, 1980.
- SPIEGEL-ROY, P. and GOLDSCHMIDT, E.E.; *Biology of Horticultural Crops. Biology of Citrus*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1996.
- SWINGLE, W.T. and REECE, P.C.; The botany of *Citrus* and its wild relatives. In: Reuther, W., Webber, H.J. and Batchelor, L.D. (eds.), *The Citrus Industry*, Vol. I, 190-430, Div. Agric Sci., University of California Press, Berkeley, 1967.
- SYKES, S.R. and LEWIS, W.J.; Comparing Imperial mandarin and Silverhill satsuma mandarin as seed parents in a breeding program aimed at developing new seedless *Citrus* cultivars for Australia. *Aust. J. Exper. Agric.* 36, 731-738, 1996.
- TAKAMI, K., MATSUMARA, A., YAHATA, M., IMAYAMA, T., KUNITAKE, H. and KOMATSU, H., 2004: Production of intergeneric somatic hybrids between round kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) and 'Morita' navel orange (*Citrus sinensis* OSBECK). *Plant Cell Rep.* 22, 39-45, 2004
- TANAKA, T.; *Species problem in Citrus*. Japanese Society for the Promotion of Science, Tokyo, 1954.
- THANASSOULOPOULOS, C.C.; 'Ermioni', a new lemon cultivar resistant to Mal Secco Disease (*Phoma tracheiphila*). *J. Phytopathology* 131, 234-242, 1991.
- TIMMER, L.W., GARNSEY, S.M. and GRAHAM, J.H.; *Compendium of Citrus Diseases*, 2nd edition, APS Press, St Paul, MN, USA, 2000.

- TIMMER, L.W., PEEVER, T.L., SOLEL, Z. and AKIMITSU, K.; *Alternaria* diseases of *Citrus* – Novel pathosystems. *Phytopathol. Mediterr.* 42, 99-112, 2003
- TORRES, A.M., SOOST, R.K. and DIEDENHOFEN, U.; Leaf isozymes as genetic markers in *Citrus*. *Am. J. Bot.* 65, 869-881, 1978.
- TORRES, A.M., SOOST, R.K. and MAU-LASTOVICKA, T.; *Citrus* isozymes. Genetics and distinguishing nucellar from zygotic seedlings. *J. Heredity* 73, 335-339, 1982.
- TOZLU, I., GUY, C.L. and MOORE, G.A., Breeding *Citrus* for salt tolerance. In: Aksoy, U. et al. (eds.) *Proc. Intern. Symp. Techniques Control Salination Horticultural Productivity, Acta Horticulturae 573*, 255-264, 2002a.
- TOZLU, I., GUY, C.L. and MOORE, G.A., QTL analysis of salt stress related traits in *Citrus* and related genus *Poncirus*. In: Aksoy, U. et al. (eds.) *Proc. Intern. Symp. Techniques Control Salination Horticultural Productivity, Acta Horticulturae 573*, 237-246, 2002b.
- TRABUT, L.; L'hybridation des *Citrus* : Une nouvelle tangerine 'La clementine'. *Revue Hort.* 74, 232-234, 1902.
- TSAI, J.H., WANG, J.-J. and LIU, Y.-H.; Seasonal abundance of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Southern Florida. *Entomologist* 85, 445-451, 2002.
- VARDI, A. and SPIEGEL-ROY, P.; Gene-controlled meiosis in *Citrus reticulata* In: Tribulato, E., Gentile, A. and Reforgiato, G (eds.) *Proc. Intern Soc. Citriculture, Vol.1*, 26-27, 1992.
- VARDI, A., SPIEGEL-ROY, P., BEN-HAYYIM, G., NEUMANN, H. and SHALHEVET, J.; Response of Shamouti orange and Minneola tangelo on six rootstocks to salt stress. In: Goren, R and Mendel. K. (eds.) *Proc. 6th Intern. Citrus Congress*, 75-82, Balaben Publ. Philadelphia, 1988.
- VICENT, A., BADAL, J., ASENSI, M.J., SANZ, N., ARMENGOL, J. And Garcia-Jimenez, J.; Laboratory evaluation of Citrus cultivars susceptibility and influence of fruit size on Fortune mandarin to infection by *Alternaria alternata* pv. *citri*. *Europ. J. Plant Pathol.* 110, 245-251, 2004.

- VOLKAMER, J.C.; Nürnbergische Hesperides oder Gründliche Beschreibung der edlen Citronat-, Citronen- und Pomerantzen- Früchte, J.A. Endters seel. Sohn und Erben, Frankfurt und Leipzig, 1708.
- WALHEIM, L.; *Citrus*, Complete Guide to Selecting & Growing more than 100 Varieties for California, Arizona, Texas, The Gulf Coast & Florida, Ironwood Press, Tucson, Arizona, USA, 1996.
- WEBBER, H.J., REUTHER, W. and LAWTON, H.W.; History and development of the citrus industry. In: Reuther, W., Webber, H.J. and Batchelor, L.D. (eds.) *The Citrus Industry*, Vol. I, p. 1-39, University of California Press, 1967.
- WEBBER, H.J. and SWINGLE, W.T.; New Citrus creations of the Department of Agriculture. Yearbook of the US Department of Agriculture, 1904, 221-240, 1905.
- WEBER, C.A., MOORE, G.A., DENG, Z. and GMITTER, F.G.; Mapping freeze tolerance quantitative trait loci in a *Citrus grandis* x *Poncirus trifoliata* F₁ pseudo-testcross using molecular markers. *J. Amer. Hort. Sci.* 128, 508-514, 2003.
- YAMAMOTO, M. and TOMINAGA, S.; Chromosome identification in haploid Clementine (*Citrus clementina* hort. Ex Tanaka) by fluorescent staining. *Scientia Horticulturae* 101, 201-206, 2004.
- YAMAMOTO, M., KOBAYASHI, S., NAKAMURA, Y. and YAMADA, Y.; Phylogenetic relationship of *Citrus* revealed by diversity of cytoplasmic genomes. In: Hayashi, T. et al. (eds.) *Technique on Gene Diagnosis and Breeding in Fruit Trees*. 39-46, FTRS, Japan, 1993.
- YAMAMOTO, M., MATSUMOTO, R., OKUDAI, N. and YAMADA, Y.; Aborted anthers of *Citrus* result from gene-cytoplasmic male sterility. *Scientia Horticulturae* 70, 9-14, 1997.

- YAMAMOTO, M., KOBAYASHI, S., YOSHIOKA, T. and MATSUMOTO, R.;
Cybridization in *Citrus unshiu* Marc. (Satsuma mandarin) and *C. sinensis* (L.)
Osbeck (Sweet orange). In: T. Nagata and Y.P.S. Bajaj (eds.) Somatic
Hybridization in Crop Improvement II, Vol. 49, Biotechnology in Agriculture
and Forestry, Springer Verlag, Berlin, pp. 124-138, 2001.
- YANG, Z.-N., YE, X.-R., CHOI, S., MOLINA, J., MOONAN, F., WING, R.A.,
ROOSE, M.L. and MIRKOV, T.E.; Construction of a 1.2-Mb contig
including the citrus tristeza virus resistance gene locus using a bacterial
artificial chromosome library of *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. *Genome* 44, 382-
393, 2001.
- YANG, Z.-N., YE, X.-R., MOLINA, J. ROOSE, M.L. and MIRKOV, T.E.;;
Sequence analysis of a 282-kilobase region surrounding the citrus tristeza
virus resistance gene (*Ctv*) gene locus in *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. *Plant*
Physiol. 131, 482-492, 2003.
- YELENOSKY, G.; Cold hardiness in *Citrus*, *Horticultural Reviews*, Vol, 7, 201-
238, 1985.

Anschrift des Verfassers:

Professor Dr. Friedrich J. Zeller

Technische Universität München

Fachgebiet Pflanzenzüchtung und Angewandte Genetik

85350 Freising-Weihenstephan

friedrich.zeller@wzw.tum.de