

Beitrag der Resistenzzüchtung zum nicht-chemischen Pflanzenschutz bei Gemüse

Thomas Nothnagel
Institut für Züchtungsforschung an gartenbaulichen Kulturen

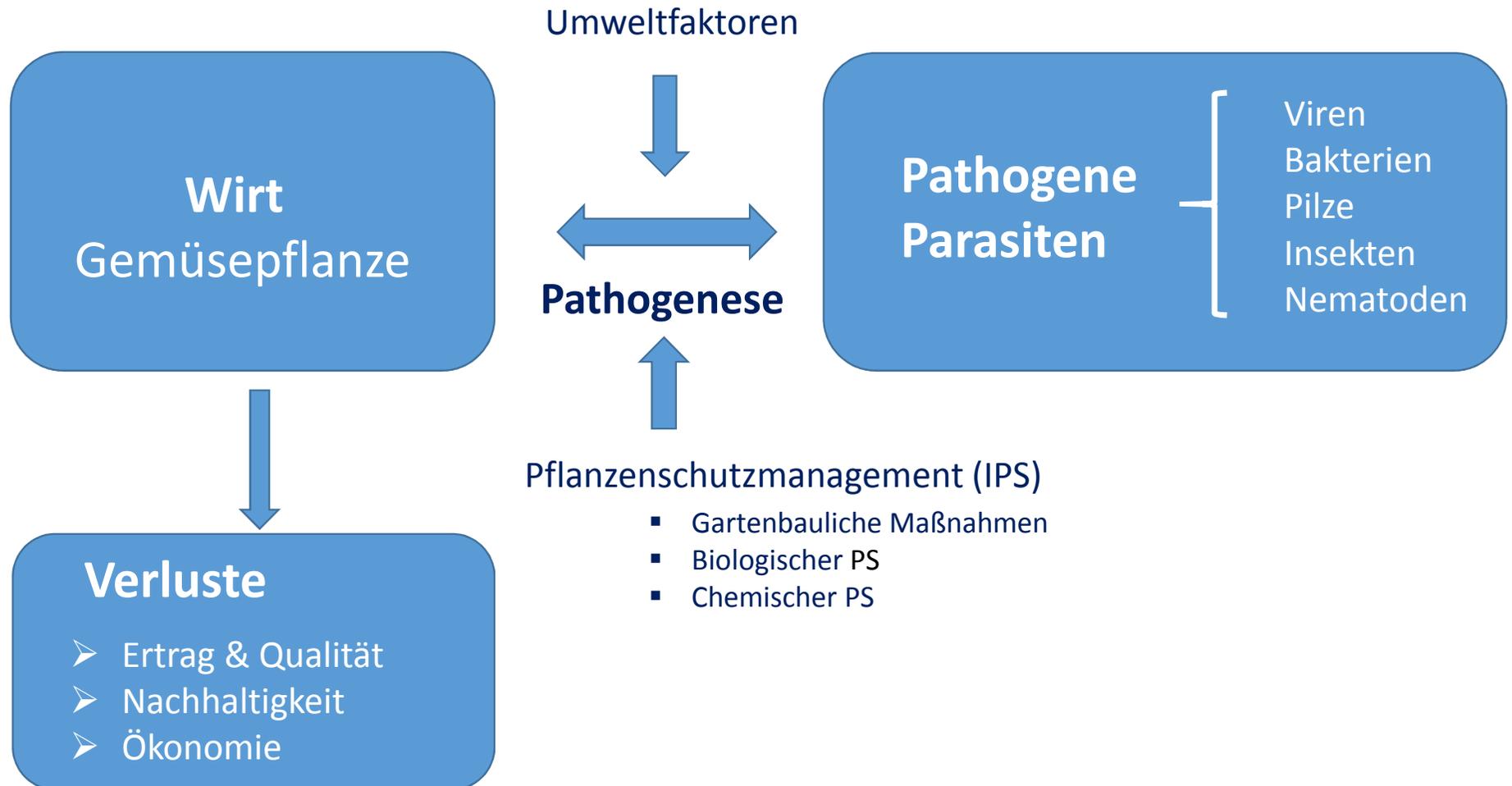
Resistenzzüchtung

Unter **Resistenzzüchtung** versteht man verschiedene Verfahren der Pflanzenzüchtung, welche die genetisch bedingte Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Schadorganismen erhöhen sollen.

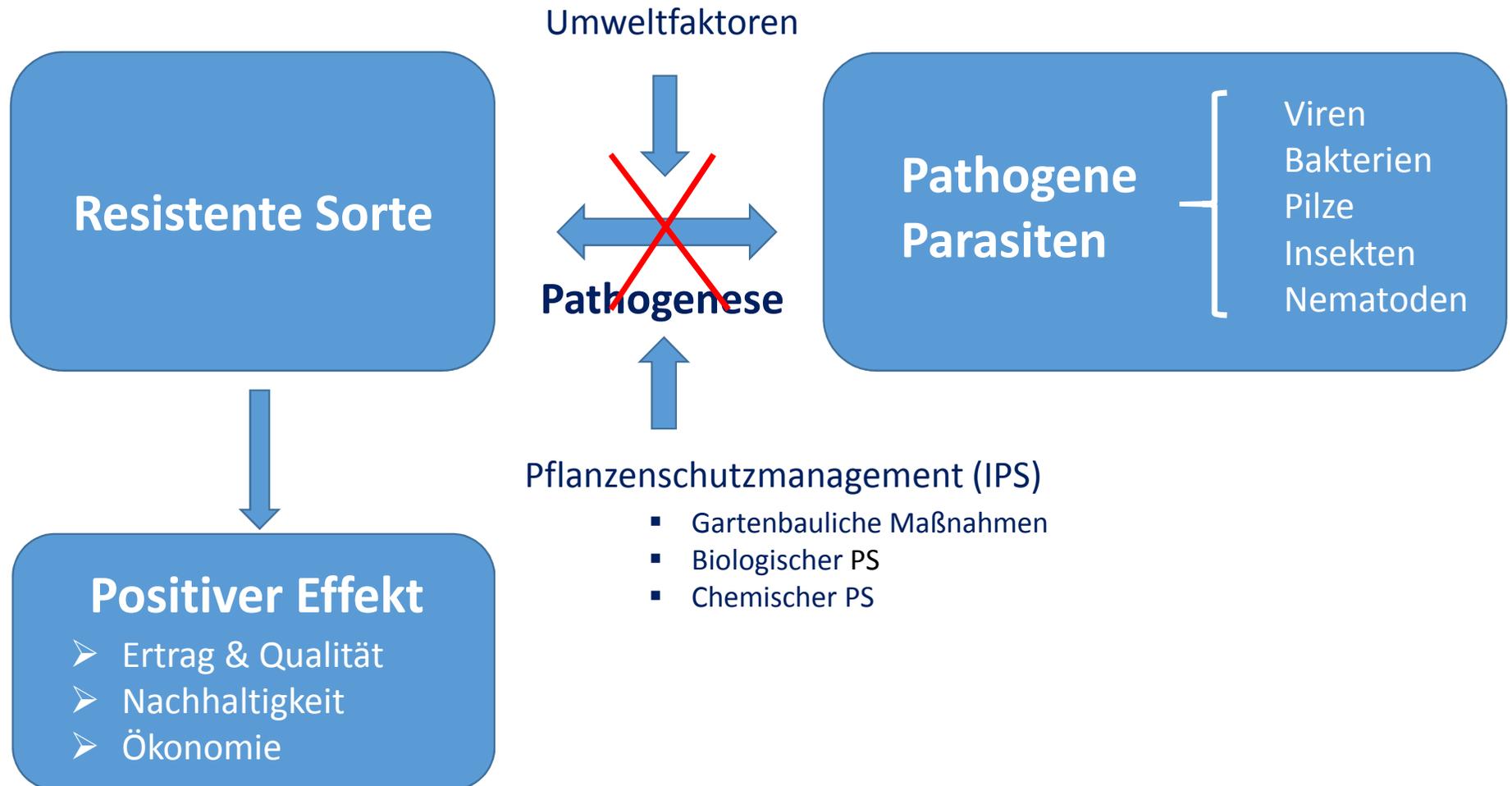
Die Wahl des Züchtungsverfahrens ist abhängig von:

- Wissenschaftlichen Kenntnisstand des jeweiligen Wirt-Pathogen Systems
- Züchtungsmethodischen Voraussetzungen im Zuchtbetrieb
- Rechtlichen Rahmenbedingungen (BIO, GMO u.a.)

Resistenzzüchtung



Resistenzzüchtung





Der Einsatz resistenter Sorten gehört per se zu den nicht-chemische Pflanzenschutzmaßnahmen im Gartenbau

- Einsatz resistenter Sorten reduziert den Einsatz von chemischen und alternativen Pflanzenschutzmitteln und Pflanzenschutzmaßnahmen
- Aus ökologischer Sicht die beste Methode die Pflanzen vor Pathogenen zu schützen

Resistenzzüchtung

Klassische (konventionelle) Resistenzzüchtung

Verschiedene Kombinationszüchtungsverfahren (Kreuzungs-, Introgressions-, Transgressions- und Hybridzüchtung) zur Einkreuzung von Resistenzgenen oder Resistenzallelen in aktuelles Zuchtmaterial

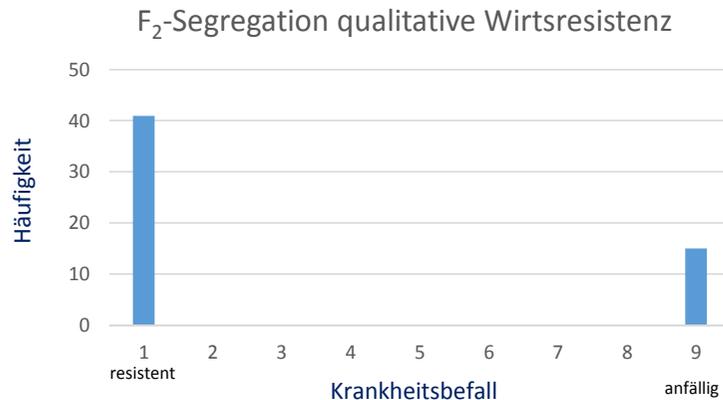
Resistenzzüchtung mittels gentechnischer Verfahren

Methoden zum gentechnischen Einbau von Resistenzgenen aus anderen Arten und Gattungen, sowie die Veränderung, Ergänzung und Optimierung von Resistenz assoziierten Genen.

(Agrobacterium Transfer, Direkter GT, RNA-Interferenz, Genome editing...)

Wirtsresistenz

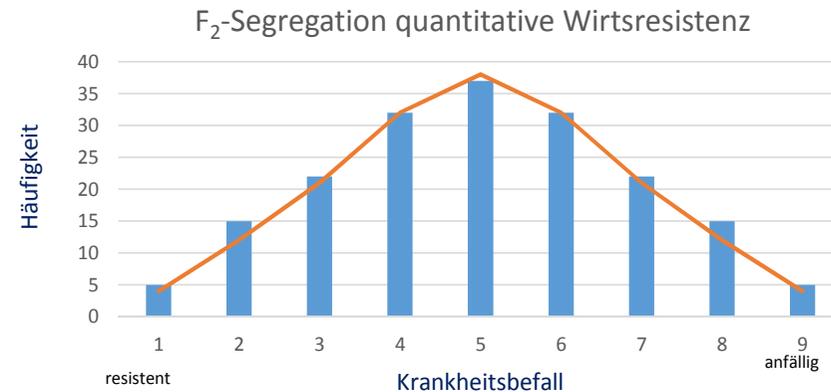
Qualitative Wirtsresistenz (vertikale Resistenz)



Gen-für-Gen Konzept (Flor 1935)

- Vollständig - befallsverhindernd
- Rassenspezifisch (vertikal)
- Mono-/digen - relativ einfach zu bearbeiten
- Beruht oft auf HR-Reaktion
- Wird relativ häufig von neuen Pathogenrassen gebrochen

Quantitative Wirtsresistenz (horizontale Resistenz)



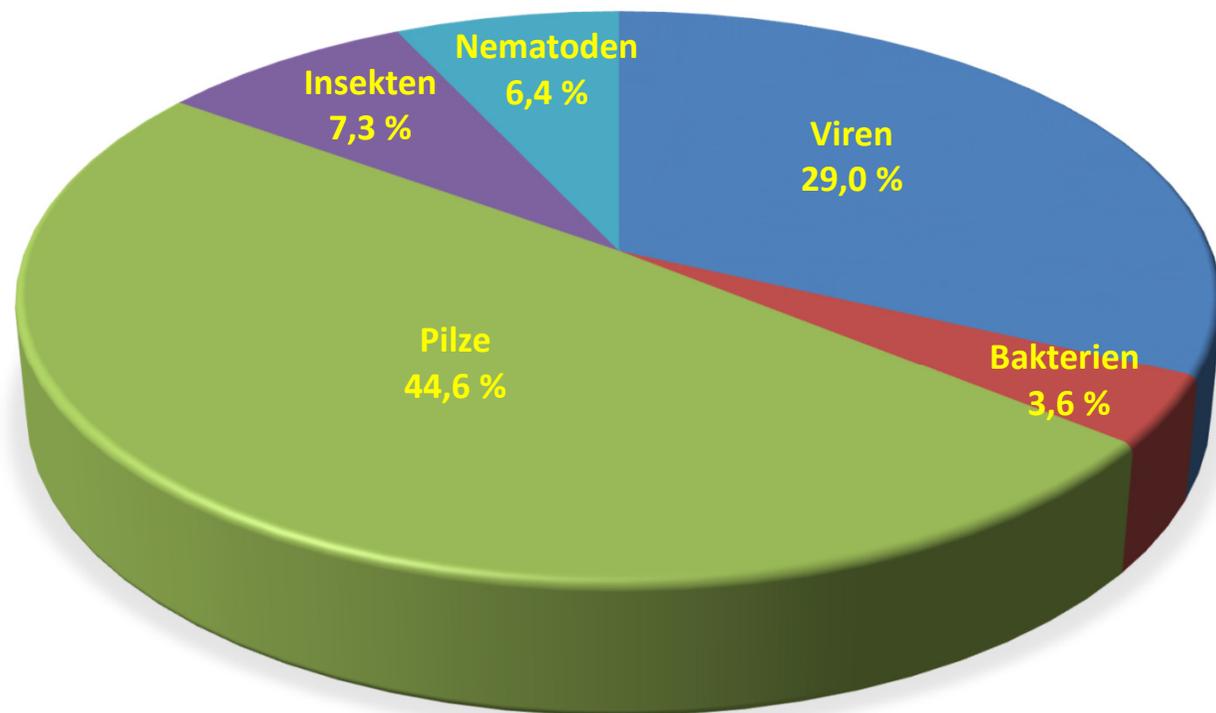
QTL – Quantitative trait loci

- Partiiell - befallsreduzierend
- Rassenunspezifisch (horizontal)
- Oligo-/polygen - oft schwer zu bearbeiten
- Verschiedene resistenzbewirkende Mechanismen
- Hohe Dauerhaftigkeit

Resistenzzüchtung im Gemüse

Gemüsesorten mit Resistenzen gegen Pathogene und Parasiten

Züchternkataloge		Sorten
Agri-Saaten	D	109
Bejo	NL	177
Carosem	NL	15
ENZA	NL/D	223
Gautiere semences	F	134
HILD	D	285
ISI sementi	I/Es	168
Nunhems	NL	205
Rijk Zwaan	NL	250
Satimex	D	375
Seminis	Dm	93
Superior-Seeds	Ser	56
van Waveren	D	39
Vilmorin	F	150
Summe		2279



Katalogrecherche (2017-2019) ausgewählter Gemüsearten

Resistente Gemüsesorten

Gemüse	Anbau ha D*	n**	Viren	Bakterien	Pilze	Insekten	Nematoden	Def.
Kopfkohl	9.573	170		11 6.5 %	28 16.5 %			IR
Blumenkohl	3.523	87			1 1.1 %			IR
Brokkoli	2.576	10			3 30.0 %			IR
Chinakohl	834	14			3 21.4 %			IR
Radies	3.475	74						
Buschbohnen	4.356	106	69 65.1 %	18 17.0 %	56 52.8 %			HR
Erbsen	5.513	101	37 36.6 %		48 47.5 %			HR
Chikorree	600	5						
Eissalat	3.845	64	16 25.0 %		63 98.4 %	32 50.0 %		HR
Kopfsalat	1.982	204	84 41.2 %		184 90.2 %	83 40.7 %	1 0.5 %	HR
Babyleaf	1.439	129	37 28.7 %		114 88.4 %	51 39.5 %		HR
Feldsalat	205	21						
Möhren	12.545	161		3 1.9 %	13 8.1 %			IR
Fenchel	k.A.	6						
Sellerie	1736	33						
Gurken	2.245	114	80 70.2 %		99 86.8 %			HR
Kürbis	4.478	79	4 5.1 %		2 2.5 %			HR
Melone	k.A.	7						
Zucchini	1174	42	22 52.4 %		21 50.0 %			HR
Rote Beete	1741	16						
Spinat	3.848	74			66 89.2 %			HR
Tomate	374 UG	312	251 80.4 %	49 15.7 %	293 93.9 %		145 46.5 %	HR
Paprika	94 UG	133	61 45.9 %					HR
Eierfrucht	k.A.	8						
Zwiebeln	11.781	224			18 8.0 %			IR
Porree	2.621	67			1 1.5 %			IR
Spargel	28.379	18			4 22.2 %			IR
Gesamt		2279	661 29.0 %	81 3.6 %	1017 44.6 %	166 7.3 %	146 6.5 %	

Resistenzniveau
hoch

Resistenzniveau
sehr hoch

* AMI 2018

** Züchterkataloge

HR – high resistant

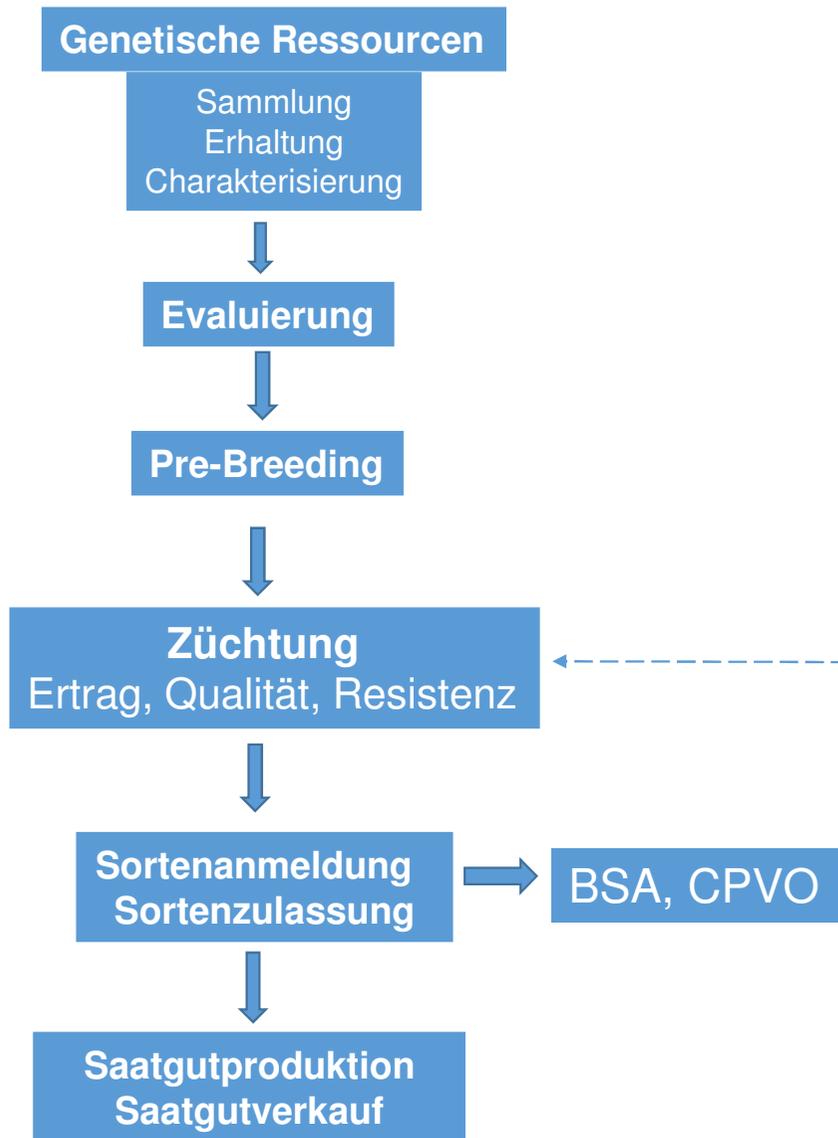
IR – intermediate resistant

Resistenzzüchtung

Gemüseanbau in Deutschland	Freiland	Resistenzen
Spargel	28.379 ha	-
Möhren	12.545 ha	-
Speisezwiebeln	11.781 ha	-
Wirsing, Weiß- und Rotkohl	9.572 ha	-
Blumenkohl	3.523 ha	-
Frischerbsen	5.513 ha	-
Eissalat	3.845 ha	+
Buschbohnen	4.356 ha	+
Spinat	3.848 ha	-
Radies	3.475 ha	-
Gurken	2.124 ha	+
Porree	2.621 ha	-
Kopfsalat	1.910 ha	+
	unter Glas	
Tomaten	374 ha	++
Feldsalat	205 ha	-
Gurken	221 ha	+
Kopfsalat	72 ha	+



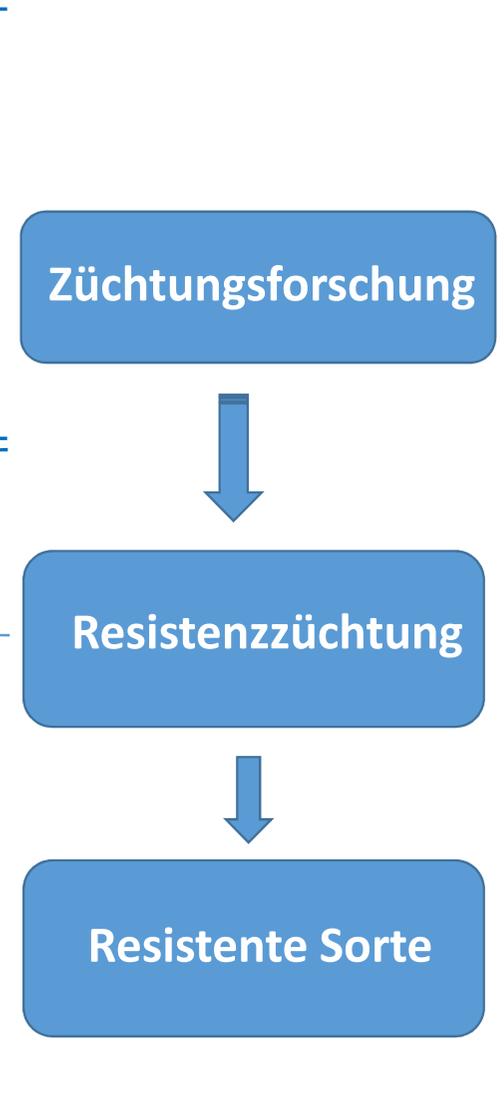
Gesamtkomplex Züchtung



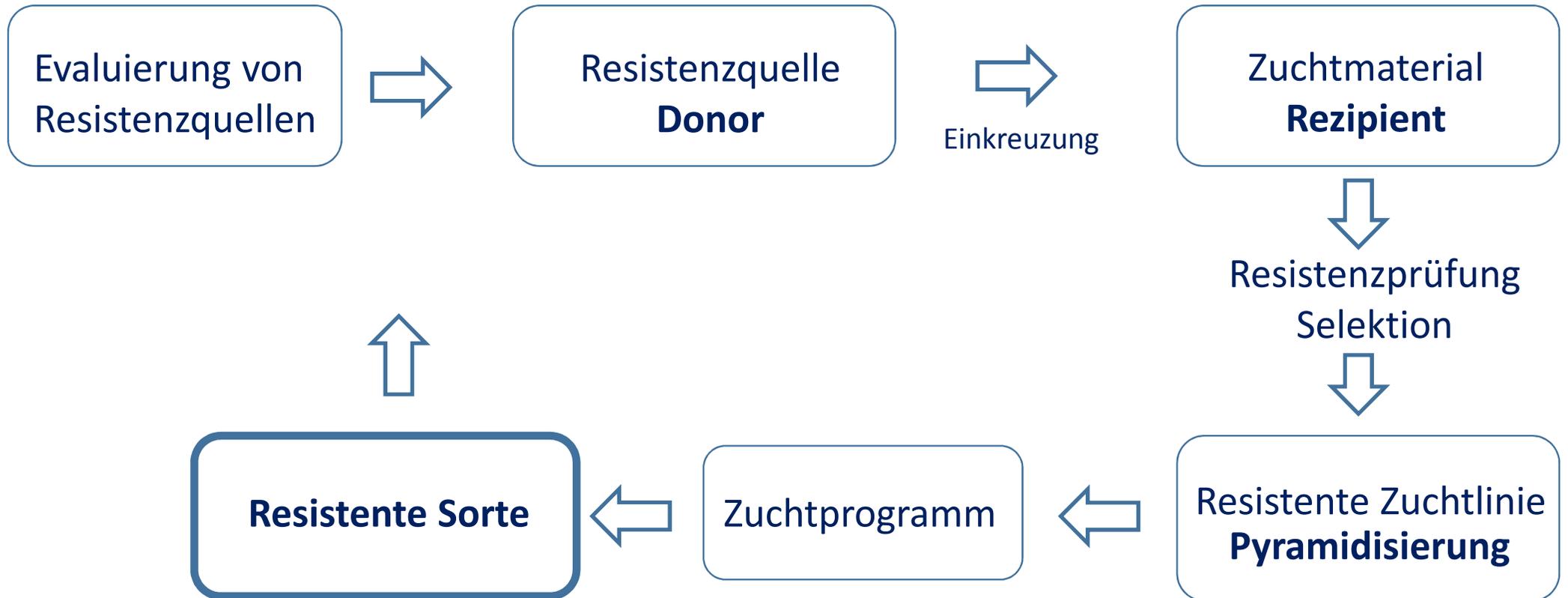
Genbanken
Universitäten
Forschungseinrichtungen
Drittmittelforschung

Züchtungsunternehmen

Resistenzzüchtung



Resistenzzüchtung

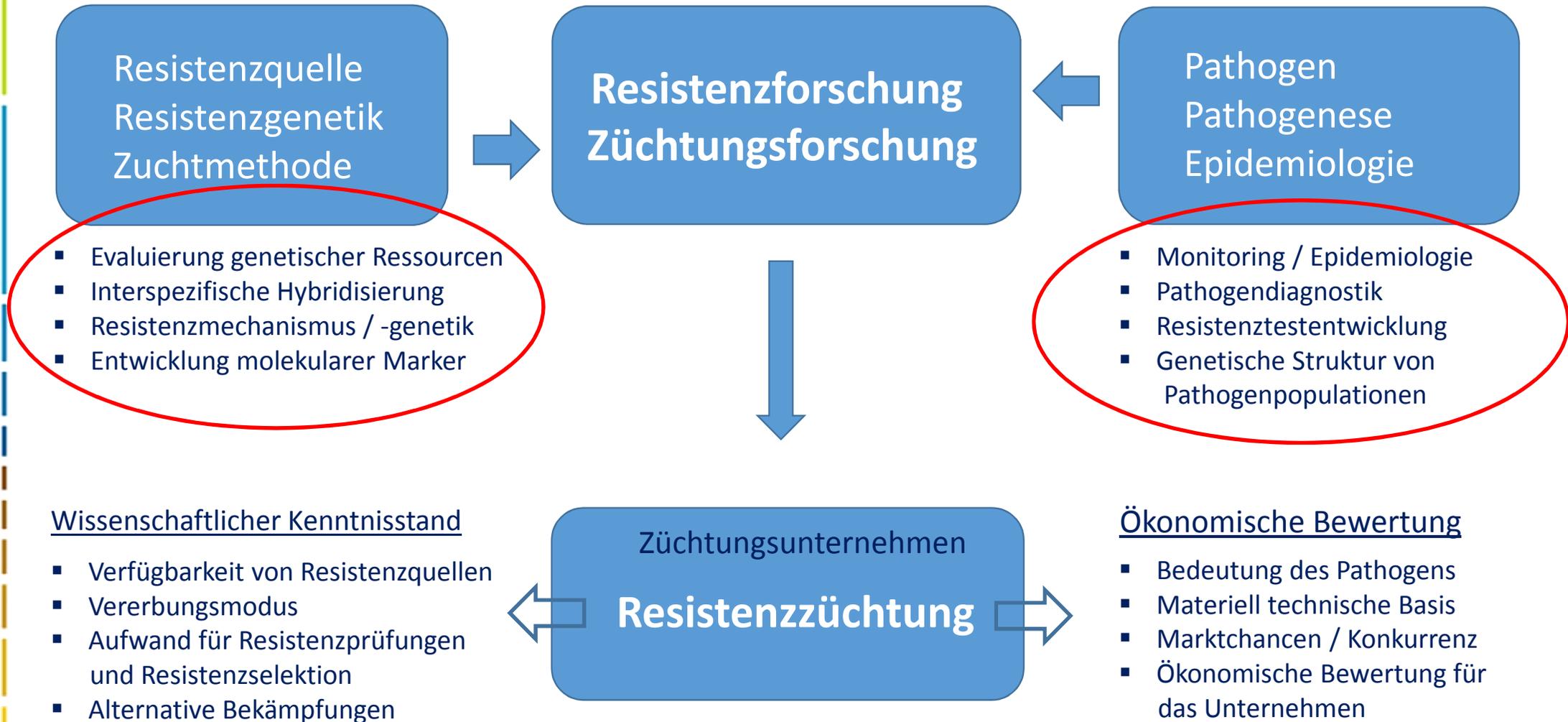


Resistenzzüchtung

Beispiele für multiresistente Gemüsesorten (Katalogangaben 2019)

Gemüse	Sorte (Züchter)	Resistenzen
Buschbohne	Bravo (vanWaveren)	BCMV / Psp / Cl
	Borsalino (Vilmorin)	BCMV / Psp / Cl / Xap
	Selma (Seminis)	BCMV / Cl:Lambda / Psp2
Kopfsalat	Vitrine (ENZA)	TBSV / LMV1 / Bl:16-35 / Fol:1 / Nr:0 / Pb
	Malis (Agri-Saaten)	LMV1 / Bl:16-33
	Redouane (ENZA)	TBSV / Bl:16-26,28-35EU / Nr:0 / Pb
Tomate	Phantasia (HILD)	ToMV / Ff A-E / Va / Vd / Fol:0.1 / On / For / Ma / Mj / Mi
	Sparta (Bejo)	ToMV / Ff A-E / Va:0 / Vd:0 / Fol:0.1 / Ma / Mi / Mj
	Amoroso (Rijk Zwaan)	ToMV / Ff / Fol / For / Va / Vd / Si / On / Ma / Mi / Mj
Gurke	Excelsior (ENZA)	CMV / CVYV / Cca / Ccu / Px
	Strauss (Rijk Zwaan)	CMV / Ccu / Px
	Konstanze (Satimex)	CMV / Px / Pcu

Resistenzzüchtung - zeitaufwändig und kostenintensiv



Forschungsansätze zur Unterstützung der Resistenzzüchtung

Resistenzgenetische Ressourcen

- Evaluierung und Selektion von **Resistenzquellen**
- Resistenzgenetik, Vererbungsstudien
- Genome-basierte Assoziationsstudien (GWAS, GBS, Microarrays) (Resistenzgenanaloga, Kandidatengene)

Resistenzübertragung

- Introgressionskreuzungsprogramme, Pre-Breeding
- Embryo rescue, Samenanlagenkultur
- In vitro-Verklonung, Generationsbeschleunigung, DH-Linien

Resistenzprüfung

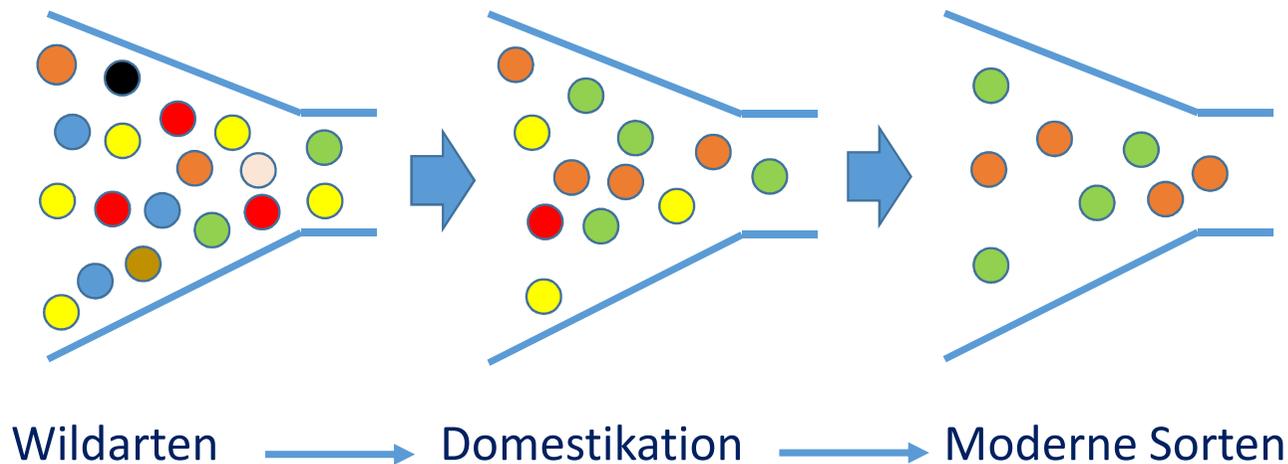
- Pathogenkollektionen
- Bioassays, Labor- und In vitro Testsysteme
- Phänotypisierungsmethoden
- Immunologische und molekulare Nachweismethoden
- MAS, MAB

Resistenzquellen

Bei vielen Gemüsearten sind in den aktuellen Sortenpools keine Resistenzen bekannt oder vorhanden

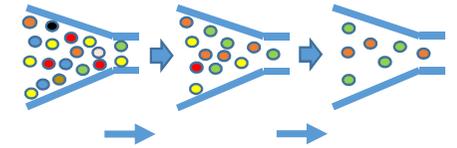
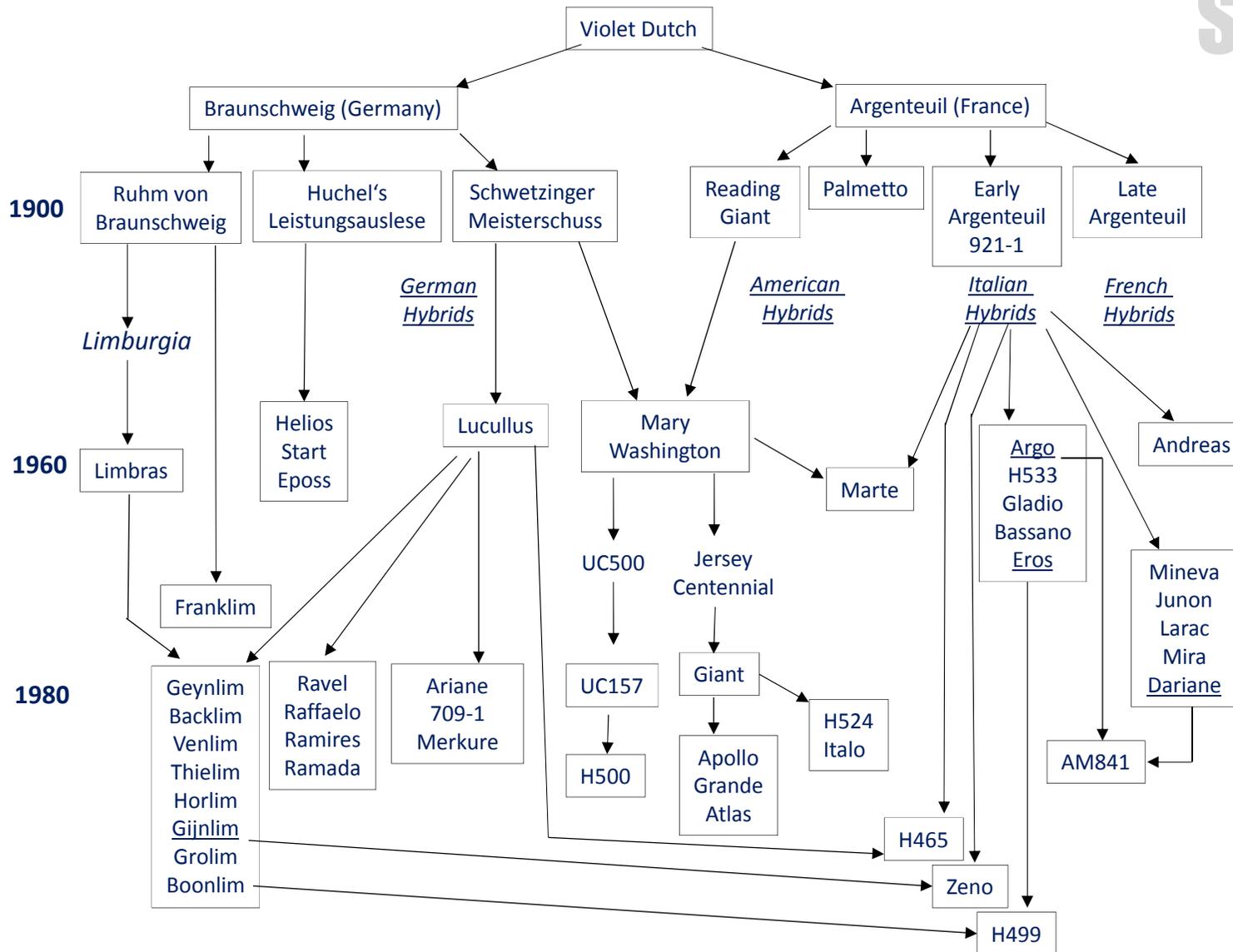
- ➔ Systematische Resistenzevaluierungen fehlen
- ➔ In Evaluierungen keine Resistenzen gefunden

Breeding bottleneck



Züchtungsstammbaum Spargel

Spargelzüchtung

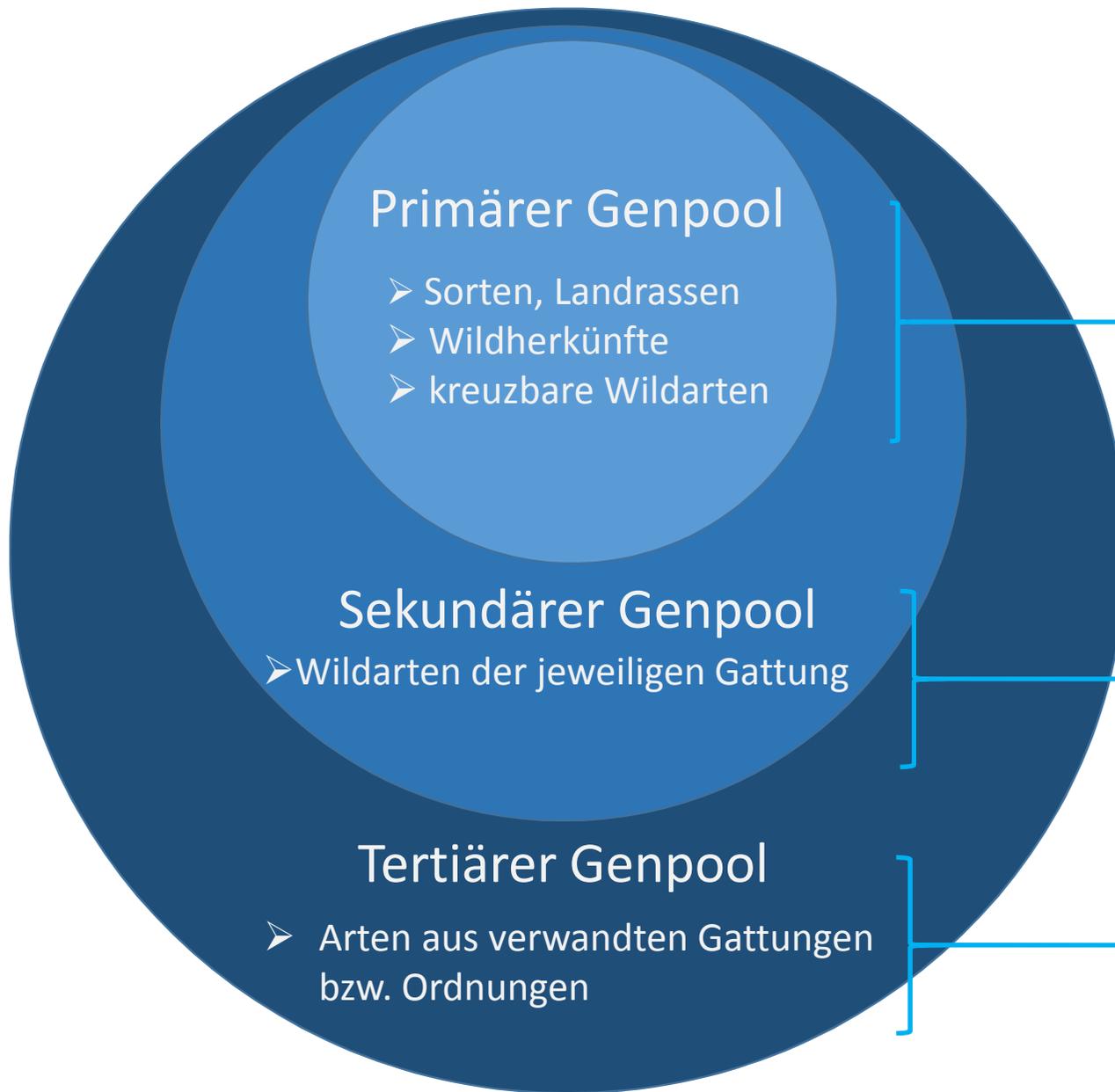


Eingeengter **Genpool** bei Spargel



Keine Spargelsorte mit Resistenz verfügbar

Quelle: modifiziert nach Knaflewski 1996



Primärer Genpool

- Sorten, Landrassen
- Wildherkünfte
- kreuzbare Wildarten

Sekundärer Genpool

- Wildarten der jeweiligen Gattung

Tertiärer Genpool

- Arten aus verwandten Gattungen bzw. Ordnungen

Resistenzquellen

Einkreuzung in Zuchtmaterial **einfach**

Einkreuzung in Zuchtmaterial **schwierig**
- meist biotechnologische Methoden notwendig (ER, in vitro, Colchizin)

Einkreuzung in Zuchtmaterial **oft erfolglos**
- meist biotechnologische Methoden notwendig (ER, in vitro, Colchizin, PF)
- Gentechnische Ansätze

Beispiel: Tomate (*Solanum lycopersicon*)

Pathogen	Genbezeichnung	Resistenzquelle	Referenz
<i>Verticillium dahliae</i>	Ve	<i>S. pimpinellifolium</i>	Cannon & Waddoups 1952
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	Fo1, Fo1-2	<i>S. pimpinellifolium</i>	Kesavan & Choudhuri 1977
	Fo1-3	<i>S. pennelli</i>	Alexander & Hoover 1955
<i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Asc	<i>S. lycopersicum</i>	Clouse & Gilchrist 1987
<i>Stemphyllium</i> spp.	Sm	<i>S. pimpinellifolium</i>	Andrus et al. 1942
<i>Fulvia fulva</i> (<i>Cladosporium fulvum</i>)	Cf (1 to 24)	<i>S. pimpinellifolium</i>	Kappert 1953, Kerr et al. 1971
		<i>S. habrochaites</i> , <i>S. peruvianum</i>	
<i>Leveillula taurica</i>	Lv	<i>S. chilense</i>	Stamova & Yordanov 1990
<i>Oidium neolycopersici</i>	OI-1	<i>S. habrochaites</i>	Van de Beek et al. 1994
<i>Phytophthora infestans</i>	Ph-1,2,3	<i>S. pimpinellifolium</i>	Pierce 1971; Moreau et al. 1998
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis</i>	Frl	<i>S. peruvianum</i>	Berry & Oakes 1987
<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Pyl	<i>S. peruvianum</i>	Laterrot 1978
Tomato mosaic virus (ToMV)	Tm-1	<i>S. hirsutum</i>	Pelham 1966
	Tm-2, Tm-3	<i>S. peruvianum</i>	Laterrot & Pecaut 1969, Hall 1980
Tomato spotted virus (TSWV)	Sw-5	<i>S. peruvianum</i>	Stevens et al. 1995
Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)	Tycl, Ty-1, Ty-2	<i>S. pimpinellif.</i> , <i>S. chilense</i>	Kasrawi 1989, Zamir et al. 1994
	Ty-2	<i>S. habrochaites</i>	Hanson et al. 2000
Alfalfy mosaic virus (AMV)	Am	<i>S. hirsutum</i> f. <i>glabratum</i>	Parrella et al. 1998
Potato virus Y (PVY)	pot-1	<i>S. habrochaites</i>	Legnani et al. 1995
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Pto	<i>S. pimpinellifolium</i>	Pitblabo & MacNeil 1983
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>	BS-4	<i>S. pennelli</i>	Ballvora et al. 2001
<i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. arenaria</i>	Mi, Mi-1, Mi-3, Mi-9	<i>S. peruvianum</i>	Smith 1944
<i>Globodera restochiensis</i>	Hero	<i>S. pimpinellifolium</i>	Ellis & Maxon-Smith 1971

Beispiel: Salat (*Lactuca sativa* L.)

	Pathogen	Resistenzquelle	Referenz
Phytoplasma	<i>Aster yellows</i>	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i>	Thompson 1944
Virus	<i>Lettuce necrotic stunt virus (LNSV)</i>	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i>	Grube et al. 2005
	<i>Tomato bushy stunt virus (TBSV)</i>	<i>L. serriola</i>	Grube et al. 2005
	<i>Cucumber mosaic virus (CMV)</i>	<i>L. serriola</i>	Provvidenti et al. 1980
	<i>Lettuce infectious yellow virus (LiYV)</i>	<i>L. saligna</i>	McCreight 1987
	<i>Tomato spotted wilt virus (TSWV)</i>	<i>L. serriola</i>	Hartmann 1991
	<i>Beet western yellows virus (BWYV)</i>	<i>L. virosa</i>	Maisonneuve et al. 1991
	<i>Broad bean wilt virus (BBWV)</i>	<i>L. virosa</i>	Provvidenti et al. 1984
	<i>Mirafiori lettuce bi-vein virus (MLBVV)</i> <i>Lettuce mosaic virus (LMV)</i>	<i>L. virosa</i> <i>L. virosa</i>	Bos & Huijberts 1990; Hayes et al. 2006 Maisonneuve et al. 1992
Bakterien	<i>Sphingomonas suberifaciens</i> (Corky root)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i> , <i>L. virosa</i>	Brown & Michelmore 1988, Mou & Bull 2004
Pilze	<i>Microdochium panattonianum</i> (Anthracnose)	<i>L. serriola</i>	Brandes 1918
	<i>Bremia lactucae</i> (Downy mildew)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i> , <i>L. virosa</i>	Farrara et al. 1987, Bonnier et al. 1992; Lebeda & Reinink 1994
	<i>Sclerotinia minor</i> / <i>S. sclerotiorum</i> (Lettuce drop)	<i>L. virosa</i> , <i>L. saligna</i>	Abawi et al. 1980; Whipps et al. 2002
	<i>Stemphylium botryosum</i> (Leaf spot)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i>	Netzer et al. 1985
Insekten	<i>Trichoplusia ni</i> (Cabbage looper)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i>	Kishaba et al. 1973; 1980
	<i>Liriomyza langei</i> (Leafminer)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i>	Mou & Liu 2003, 2004
	<i>Pemphigus bursarius</i> (Root aphid)	<i>L. serriola</i> , <i>L. saligna</i> , <i>L. virosa</i>	Ellis et al. 2002
	<i>Myzus persicae</i> (Green peach aphid)	<i>L. virosa</i>	Reinink & Dieleman 1989
	<i>Nasonovia ribisnigri</i> (Lettuce aphid)	<i>L. virosa</i>	Eenink et al. 1982

Introgressionszüchtung

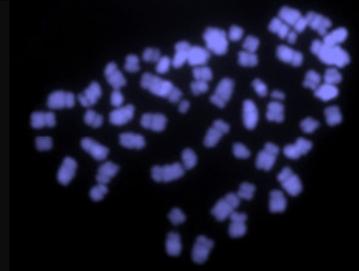
Resistenzen in Wildarten von Spargel

Pathogen	Resistente Wildarten
<i>Fusarium</i> sp. (Stem-root rot)	<i>A. densiflorus</i> , <i>A. myersii</i> , <i>A. sprengeri</i>
<i>Stemphylium</i> sp. (Leaf spot)	<i>A. densiflorus</i> , <i>A. asparagoides</i> , <i>A. verticillatus</i> , <i>A. virgatus</i> , <i>A. larcinus</i> , <i>A. compactus</i> , <i>A. setaceus</i> , <i>A. stipularis</i> <i>A. acutifolius</i> , <i>A. aphyllus</i> , <i>A. albus</i> , <i>A. schoberioides</i>
<i>Puccinia asparagi</i> (Rust)	<i>A. virgatus</i> , <i>A. densiflorus</i> , <i>A. asparagoides</i> , <i>A. albus</i> , <i>A. maritimus</i> , <i>A. acutifolius</i> , <i>A. aphyllus</i> , <i>A. stipularis</i>
<i>Phomopsis asparagi</i> (Stem blight)	<i>A. densiflorus</i> , <i>A. asparagoides</i> , <i>A. virgatus</i> , <i>A. macowanii</i>
<i>Hederodera glycine</i> (Soya-cyst nematode)	<i>A. virgatus</i>
<i>Asparagus virus 1</i> (AV-1)	A. amarus , <i>A. acutifolia</i> , <i>A. aethiopicus</i> , <i>A. africanus</i> , <i>A. albus</i> , <i>A. arborescens</i> , <i>A. densiflorus</i> , <i>A. maritimus</i> , <i>A. pastorianus</i> , <i>A. plocamoides</i> , A. prostratus , <i>A. pseudoscaber</i> , <i>A. ramosissimus</i> , <i>A. scoparius</i> <i>A. stipularis</i> , <i>A. verticillatus</i>
<i>Myzus persicae</i> (Aphid resistance)	<i>A. ramosissimus</i> , <i>A. setaceus</i> , <i>A. acutifolius</i> , <i>A. africanus</i> , <i>A. plumosus</i> , <i>A. stipularis</i>

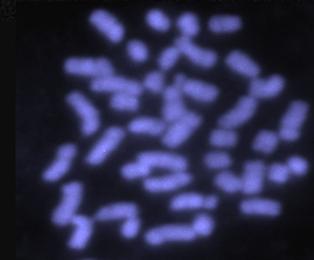




Asparagus officinalis L.
 $2n=2x=20$



Asparagus amarus DC.
 $2n=6x=60$



Asparagus prostratus Dumort.
 $2n=4x=40$

Resistenzzüchtung

Züchtung

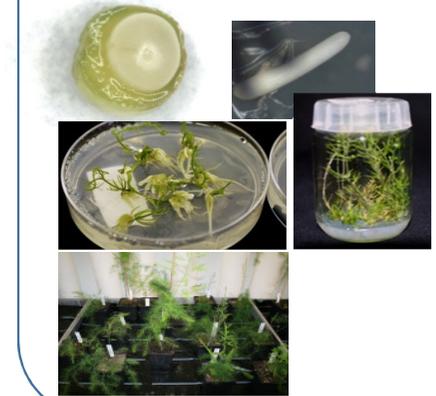
Zuchtfeldprüfung



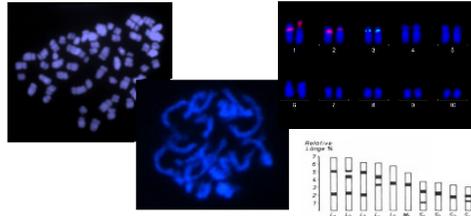
Manuelle Kreuzungen



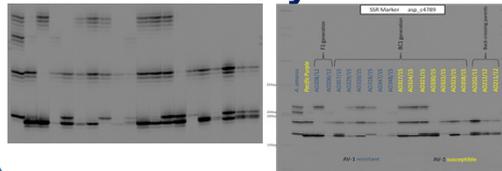
Embryo rescue & In vitro Kultur



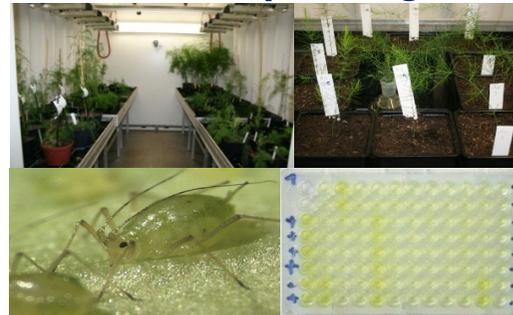
Zytologische Analyse



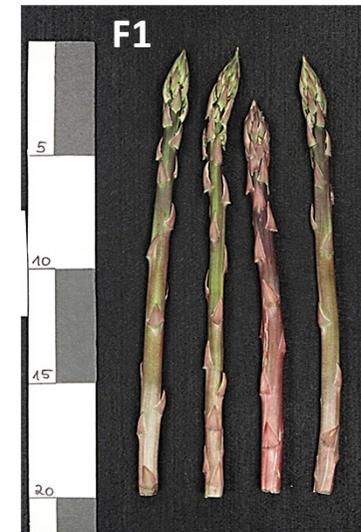
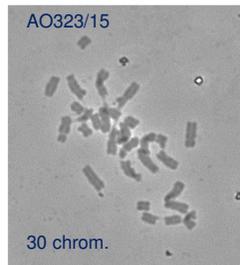
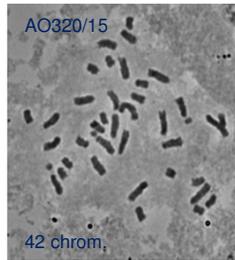
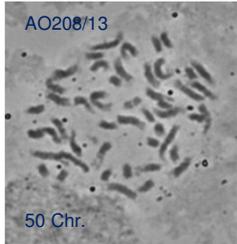
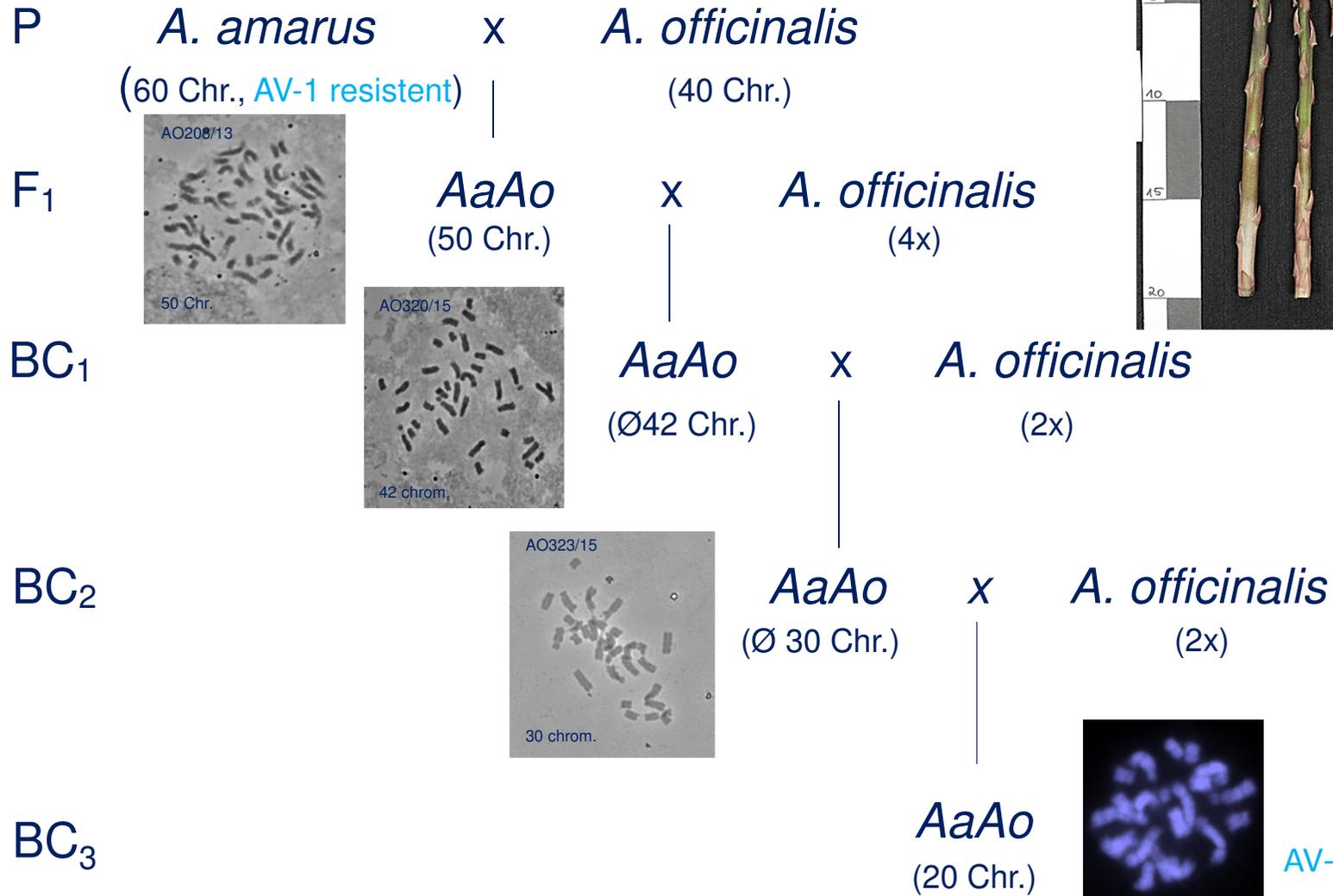
Molekulargenetische Analyse



Resistenzprüfung



● Aktueller BC-Status: *A. amarus* x *A. officinalis* (III/19)



AV-1 resistant

Asparagus Genome

Öffentlich verfügbar seit 2018: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Grösse: 1187.44 Mb Gene: 32,073

Genotyping-by-Sequencing (GBS)

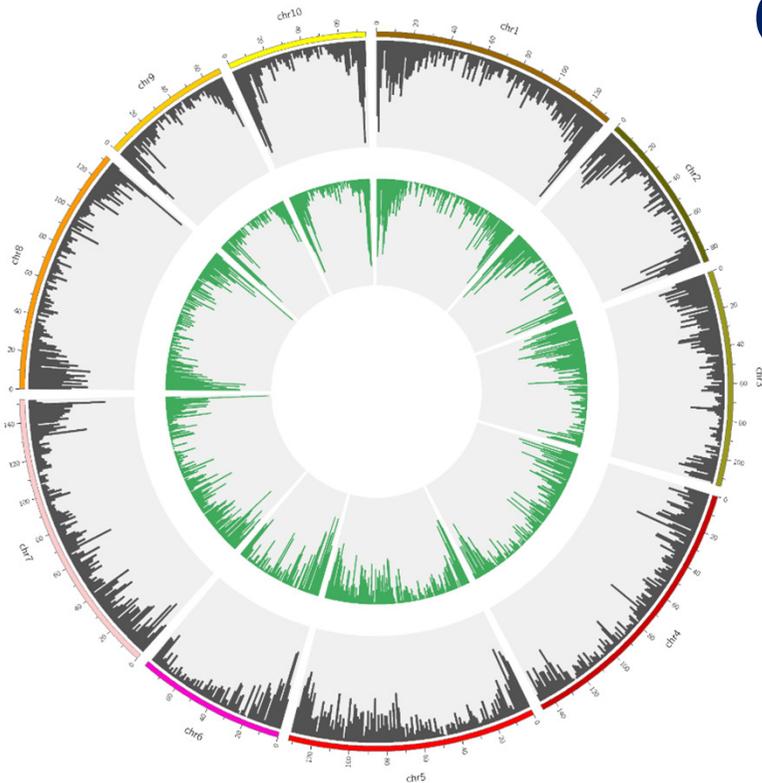
Äußerer Kreis (grau):

SNPs für die Kreuzungseltern *A. amarus* x *A. officinalis*
- gesamt: 40,494

Innerer Kreis (grün):

SNPs für die Kreuzungseltern *A. prostratus* x *A. officinalis*
- gesamt: 19,435

- **Selektion von SNPs in Resistenzgenkandidaten**
- **Entwicklung molekularer Marker**



Fazit

- Resistenzzüchtung ist eine wichtige Säule im Pflanzenschutz bei Gemüse
- Resistente Sorten sind je nach Gemüseart in sehr unterschiedlichen Umfang verfügbar
- Für jedes Wirt – Pathogen System ist ein individuelles Züchtungsprogramm notwendig
- Resistenzzüchtung sehr aufwendig und kostenintensiv. Züchtungsunternehmen steigen in der Regel erst dann in Resistenzzüchtung ein, wenn von Seiten der Vorlaufforschung wichtige Voraussetzungen geschaffen wurden (Resistenzquellen, Genetik, Marker ect.)
- Voraussetzung: System aus Resistenz- und Züchtungsforschung sowie Resistenzzüchtung im Züchtungsunternehmen
- Die Förderung von Resistenz- und Züchtungsforschung sollte fokussiert werden:
 - Resistenzen gegen Pathogene mit hohem Schadpotential
 - Arten die bisher in der Resistenzzüchtung unterrepräsentiert sind
 - Neue (invasive) Pathogene; Quarantänepathogene



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit