

Laimer M, Maghuly F

**Entstehung und Zukunft unserer Nahrungspflanzen**

*Journal für Ernährungsmedizin 2015; 17 (2), 18-22*

**Homepage:**

**[www.aerzteverlagshaus.at](http://www.aerzteverlagshaus.at)**

**Online-Datenbank mit  
Autoren- und Stichwortsuche**

MIT NACHRICHTEN DER





Teil 1

Pflanzenzüchtung im Blickpunkt

# Entstehung und Zukunft unserer Nahrungspflanzen

Die Bilder von Lebensmittelüberschüssen und -verschwendung in der 1. Welt überdecken manchmal die drängende Frage, wie die wachsende Weltbevölkerung in Zukunft ernährt werden kann. Dazu sind Anstrengungen auf mehreren Ebenen erforderlich. Eine Schlüsselrolle kommt dabei der Pflanzenzüchtung zu.

Margit Laimer, Fatemeh Maghuly

Auf der Erde gibt es rund 250.000 Pflanzenarten, von denen etwa 30.000 als essbar gelten. Schon 1500 v. Chr. existierten Kulturformen von fast allen inzwischen weltweit genutzten Nahrungspflanzen. Die Vielfalt von Kulturpflanzen unterteilen wir je nach Nutzungsart in: Nahrungs-, Arznei-, Futter-, Gewürz-, Genussmittel-, Zier-, Forst- und Industriepflanzen. Daneben umfasst die Nutzung der Pflanzen auch hedonistische Aspekte, künstlerische Umsetzungen pflanzlicher Formen bis hin zur Prägung der Landschaft und zur Beeinflussung des Klimas. Dabei ist es erstaunlich, auf wie wenige Arten sich die Menschheit verlässt, um ihren Bedarf an Kohlehydraten, Proteinen, Fetten, Fasern usw. zu decken. Obwohl 80 Prozent der Nahrungsenergie aus Pflanzen stammen, wird der Großteil der weltweiten Produktion von Nahrungspflanzen aus nicht mehr als 20 Arten hergestellt (Abb. 1).

Der Bedarf steigt. Laut der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen FAO werden aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung im Jahr 2050 doppelt so viele Nahrungsmittel produziert werden müssen wie im Jahr 2000. Gleichzeitig muss man davon ausgehen, dass dafür weniger Wasser und andere Ressourcen als heute zur Verfügung stehen werden. Abgesehen davon werden menschliche und klimatische Einflüsse die Wachstumsbedingungen für Pflanzen verändern. Diese Faktoren beeinflussen in vielen Fällen nicht nur die Menge und Qualität der Ernte negativ, sondern verändern auch das Auftreten von Pflanzenschädlingen. Die Landwirtschaft steht somit vor enormen Herausforderungen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind Anstrengungen auf vielen Ebenen notwendig. Dazu gehört unter anderem die Bewah-

rung und verstärkte Nutzung der pflanzen-genetischen Vielfalt, die auf regionaler und lokaler Ebene durchaus besteht. Die Kapazitäten in der Pflanzenzüchtung müssen weltweit verstärkt werden – neue (Bio) Technologien müssen entwickelt werden, um die genetischen Ressourcen verstärkt zu nutzen, aber auch zu bewahren.

## HERKUNFT DER NAHRUNGSPFLANZEN

So vertraut die heutigen Nahrungspflanzen uns auch erscheinen, so halten Herkunft und Entstehung doch einige Überraschungen bereit. Die botanische und geographische Herkunft ist nicht für alle Kulturpflanzen sicher bekannt. Für die meisten Nahrungspflanzen lässt sich die Spur aber recht genau in eine ursprüngliche Wildform zurückverfolgen. Dabei fällt auf, dass es bevorzugte Herkunftsgebiete gibt, in denen die Wildformen in besonders großer genetischer Vielfalt vorkommen. Meist hat in diesen nach dem russischen Wissenschaftler und Züchter Nikolai Iwanowitsch Vavilov benannten Genzentren auch die Domestikation begonnen (Abb 2).

Der Getreideanbau dürfte im Nahen Osten (fruchtbarer Halbmond) vor rund 10.000 Jahren begonnen haben, als der Mensch allmählich vom nomadischen Jäger und Sammler zum sesshaften Bauer wurde. Weitere Ausgangspunkte der Domestikation der Pflanzen dürfte neben Mittelamerika (Panama bis Mexico), China, das Hochland Neuguineas, ein schmales Band südlich der Sahara, die Anden-Amazonasregion und der Osten Nordamerikas gewesen sein. Fälschlicherweise nehmen viele an, unsere Kulturpflanzen gäbe es schon sehr lange, dabei sind zum Beispiel

Mais und Nachtschattengewächse (Kartoffel, Tomate) nachweislich erst nach 1492 aus dem amerikanischen Raum nach Europa gekommen. Andere wurden erst in den letzten 100 bis 200 Jahren gezüchtet oder domestiziert.

Oder nehmen wir das Beispiel Apfel: Als sein Ursprungszentrum wird Ostasien angesehen, vor allem der Südwesten Chinas, wo heute noch mehr als 20 Wildarten wachsen. Als direkter Vorfahre der modernen Apfelsorten kann am ehesten *Malus sieversii* aus zentralasiatischen Gebirgsregionen betrachtet werden. Besonders schmackhafte Individuen wurden in Kultur genommen. Seit dem 6. Jh. v. Chr. wurden beispielsweise in Persien besonders geschätzten Individuen selektiert und durch Veredlung, eine seit Jahrhunderten bekannte Methode zum Erhalt des Genotyps der Mutterpflanze, vegetativ vermehrt. Diese Methode erzeugt Klone, d.h. idente Kopien der Mutterpflanze. Die Apfelzüchtung war für lange Zeit auf das zufällige Auffinden von interessanten Sämlingen be-

### Nutzpflanzen und ihre Ursprungsregion

- Nordamerika:** Sonnenblume, Teparybohne, Erdbeere
- Mittelamerika:** Mais, Tomate, Baumwolle, Avocado, Papaya, (Maniok), (Süßkartoffel), (Bohne)
- Südamerikanisches Hochland:** Kartoffel, Erdnuss, Limabohne, (Bohne), (Baumwolle)
- Südamerikanische Niederungen:** Tomate, Tabak, Kakao, Gummi, Paprika, Yams, Ananas, (Maniok), (Süßkartoffel), (Baumwolle)
- Europa:** Hafer, Zuckerrübe, Kohl, Gräser, Klee, Hopfen, Salat, (Weinrebe), (Olive)
- Afrika:** Afrikanischer Reis, Sorghum, Hirse, Yams, Kaffee, Gräser, Weizen, Gerste, Ölpalme
- Naher Osten:** Weizen, Gerste, Erbse, Linsen, Kichererbse, Feige, Datteln, Lein, Apfel, Birne, Zwiebel, (Weinrebe), (Olive)
- Zentralasien:** Hirse, Buchweizen, Luzerne, Hanf, Trockenbohne, Karotte, (Weinrebe)
- Indien:** Erbse, Aubergine, Zuckerrohr, Mango, (Baumwolle), (Sesam)
- China:** Sojabohne, Kohl, Zwiebel, Pfirsich, Marille
- Südostasien:** Reis, Banane, Zitrusfrüchte, Yams, Zuckerrohr, Tee, Gewürze
- Südpazifik:** Zuckerrohr, Kokosnuss

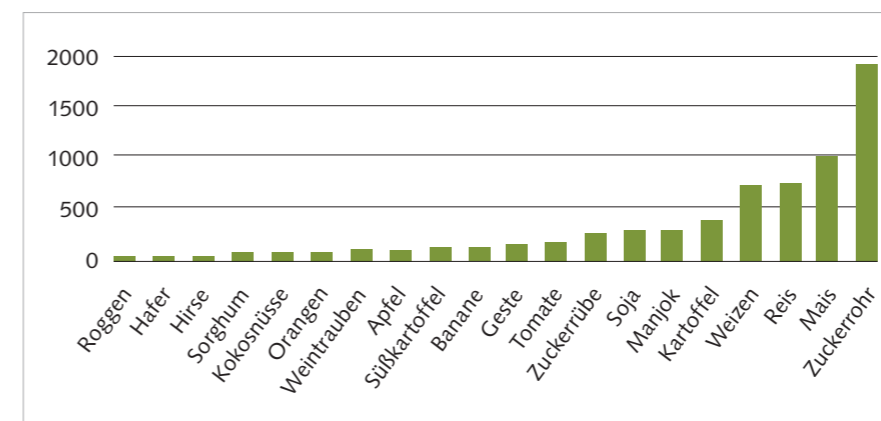


Abb. 1: Die 20 wichtigsten Nahrungspflanzen der Welt (Ertrag in Millionen Tonnen; FAOSTAT 2013)

© Foto: Fotolia/Inga Nielsen

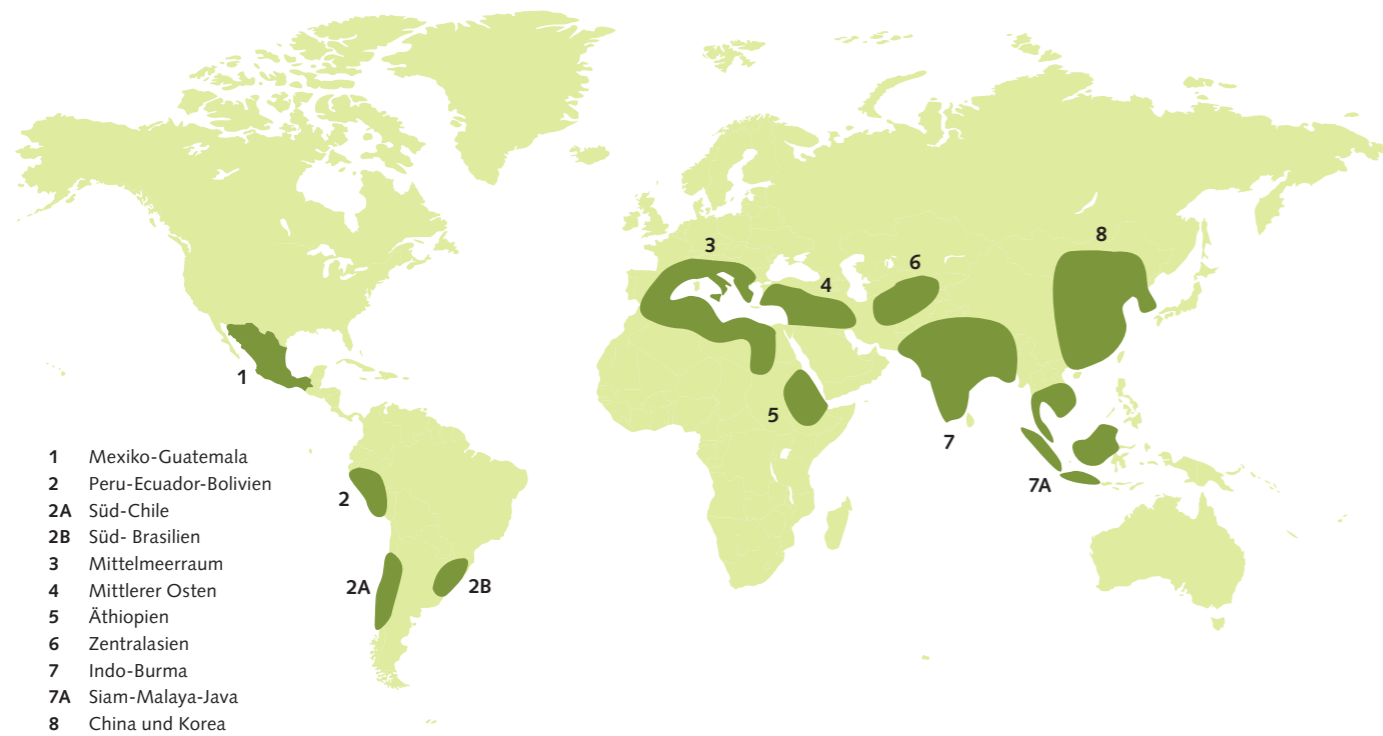


Abb. 2: Die Vavilovschen Zentren ([http://en.wikipedia.org/wiki/Center\\_of\\_origin](http://en.wikipedia.org/wiki/Center_of_origin))

schränkt (siehe Tab. 1). Erst im 20. Jh. setzte eine gezielte Kreuzungszüchtung ein, in den USA und Großbritannien um 1910, in Deutschland gar erst um 1930.

## ZIELE DER PFLANZENZÜCHTUNG

Züchtung ist die Ausnutzung des genetischen Potentials natürlich vorkommender Arten und deren gezielt beeinflusste Evolution, etwa zum Zweck der verbesserten Produktion von Nahrungsmitteln. Unsere Kulturpflanzen sind also eine evolutionsgeschichtlich sehr neue Errungenschaft und das Resultat einer im Vergleich zur Entstehung der Arten rasanten Entwicklung, die durch den Menschen in Gang gesetzt wurde. Man kann hier auch von einer durch den Menschen gelenkten Evolution sprechen. Dabei wurden nicht nur bestehende Früchte geschmacklich verbessert, sondern auch Früchte geschaffen, die es vorher gar nicht gab. Die Erdbeere gibt es nur deshalb in der uns bekannten Form, weil im 17. Jahrhundert ein Gärtner im Garten von Versailles die südamerikanische *F. chiloensis* mit der nordamerikanischen *F. virginiana* kreuzte. In erster Linie orientieren sich die Züchtungsziele bei Nahrungspflanzen am Bedarf an quantitativ und qualitativ ausreichender Ernährung. Schon lange ist bekannt, wie wichtig eine ausgewogene Ernährung zur

Vermeidung von Mangelkrankungen ist, etwa Sehschwäche bei Vitamin-A-Mangel, Skorbut bei Vitamin-C-Mangel, Beriberi bei Vitamin-B1-Mangel. Mittlerweile sind die Züchtungsziele für eine optimale Nahrungsqualität durch die Erkenntnisse der modernen Naturwissenschaft, Medizin und Ernährungswissenschaft wesentlich genauer definiert. Mit diesen Qualitätsanforderungen und der grundsätzlichen Forderung nach größtmöglichem Ernteertrag, günstigen Verarbeitungsbedingungen und der Berücksichtigung von Umweltkriterien lauten die wichtigsten Züchtungsziele, die von der genetischen Variabilität des in der Züchtung verwendeten pflanzlichen Erbguts abhängen

- Gehalt an interessanten Inhaltsstoffen
- Freiheit von unerwünschten Inhaltsstoffen und
- Resistenz gegen biotische und abiotische Faktoren.

Hinzu kommen weitere Eigenschaften wie Standortverträglichkeit, Lagerfähigkeit, Anpassung an Anbautechniken und Eignung für Verarbeitungsmethoden.

### ANPASSUNG UND VARIABILITÄT

Jede Pflanze besitzt ein an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasstes äußeres Erscheinungsbild (Phänotyp), das von der genetischen Konstitution (Genotyp) geprägt ist. Jeder Phänotyp repräsentiert

### Dauer eines Züchtungsganges

Je nach Gattung und Art der Pflanzen kann ein Züchtungsgang sehr lange dauern. Für die Entwicklung einer modernen Hochleistungssorte von Getreide braucht man typischerweise 10 bis 15 Jahre – bei holzigen Nutzpflanzen kann die Entwicklung neuer Sorten wesentlich mehr Zeit in Anspruch nehmen. Der Zeitverlauf der Entwicklung einer neuen Getreidesorte:

- **1. Jahr** Auswahl von geeignetem Ausgangsmaterial im Zuchtgarten
- **2. - 3. Jahr** Erstellung der Variationen (ca. 100.000 neue Individuen pro Jahr und Pflanzenart)
- **4. - 6. Jahr** Selektion der besten Genotypen
- **7. - 8. Jahr** Prüfung des Züchters als Grundlage einer Anmeldung beim Sortenam
- **9. - 11. Jahr** offizielle Sortenprüfung
- **11. - 12. Jahr** Praktische Prüfungen im Feldanbau
- **ab 13. Jahr** Saatgutproduktion und Vertrieb
- **ab 14. Jahr** Verfügbarkeit für den Landwirten

einen vielfältigen Kompromiss aus zahllosen zufälligen Mutationen sich ergebenden Möglichkeiten und den formenden Einflüssen der Umwelt. So sind Funktion, Form, Größe und Anzahl von Blüten, Blättern, Stielen und Wurzeln einer Pflanze innerhalb gewisser Grenzen genau aufeinander abgestimmt. Die Grenzen der Anpassung an die Umweltbedingungen sind nicht nur strukturell durch die statische Abstimmung der Pflanzenteile aufeinander gegeben, sondern vor allem funktionell durch die maximale Stoffwechselleistung (Produktion, Umsatz von Nährstoffen, Energie, Zell- und Gerüstmaterial), die für überproportionales Wachstum einzelner Organe von den anderen mobilisiert werden können. Die einseitige Spezialisierung schränkt andere Leistungen wie die Widerstandskraft gegen Krankheitserreger und andere Formen von Stress ein. Häufig geht dabei auch die genetische Grundlage für diese Eigenschaften verloren. Tomaten mit ihren großen roten Früchten zum Beispiel sind das Ergebnis intensiver Züchtung. Während dieses Prozesses sind viele der ursprünglichen Eigenschaften der Wildpflanzen aus dem Genpool der Kulturpflanzen verschwunden, zum Beispiel eine höhere Toleranz gegenüber ungünstigen Wachstumsbedingungen wie trockene oder salzige Böden oder eine größere Resistenz gegenüber Pilzkrankheiten.

Die Züchtung unserer Nahrungspflanzen auf ein bestimmtes Ertragsorgan hat zu extremen morphologischen Veränderungen gegenüber ihren Wildformen geführt. Derartige Metamorphosen kennt man bei einigen nahe verwandten Kohllarten der Gattung Brassica: Vom Blumenkohl verwendet man den stark vergrößerten und gestauchten Blütenstand, vom Raps das Öl der Samen, vom Weiß- und Rotkraut die Blätter, vom Kohlrabi die gestauchte Sprossachse und von der Kohlrübe die zum Speicherorgan umgewandelte Hauptwurzel.

Das Potential der genetischen Variabilität zeigen auch verschiedene Nachtschattengewächse, bei denen jeweils eines von vier Organen züchterisch besonders ausgeformt wurde: die Blüte der Petunie, das Blatt des Tabaks, die Früchte von Paprika und Tomate, sowie die Knolle der Kartoffel. Zwar gibt es von allen fünf Arten viele genetische Varianten (Sorten, Varietäten), deren Blüten, Blätter Früchte bzw. Knollen sich in Farbe, Form, Größe, Geschmack, Wassergehalt, Nährstoffzusammensetzung, Lagerfähigkeit unterscheiden. Aber es

gibt keine Kartoffel- oder Tomatensorte mit essbaren Früchten und essbaren Knollen und auch sonst keine doppelte Nutzung der fünf Arten.

## GRUNDLEGENDER MECHANISMUS: MUTATION

Die allen züchterischen Vorgängen zugrundeliegenden Mechanismen sind Mutationen, die zu Veränderungen in der Struktur der Gene und Chromosomen führen. Einige dieser Mutationen wirken letal oder stark schädigend, viele beeinträchtigen Struktur und Funktion der Proteine nur so weit, dass es zu schwächeren Effekten kommt. „Stille“ Mutationen wiederum verursachen gar keine sichtbaren Effekte, weil sie in nicht-codierenden Regionen auftreten, oder weil sich aufgrund der Redundanz der Codons die Aminosäuresequenz der Proteine nicht verändern. Durch Mutationen wird der Genpool einer Population zufällig verändert. Unter dem Einfluss der natürlichen Selektion zeigt sich mit der Zeit, ob die durch eine Mutation hervorgerufene neue Merkmalsausprägung eine sinnvolle Anpassung ergibt oder nicht. Falls ja, wird sie in Zukunft häufiger weitergegeben, weil die betroffenen Individuen einen Vorteil haben. Ist die Mutation nicht sinnvoll (also wirkungslos oder nachteilig), werden die betroffenen Individuen weniger in der Lage sein, sie weiterzugeben. Sie wird selten bleiben oder ganz verschwinden. Bei einer

geschlechtlichen Vermehrung von Pflanzen (also allen Kulturpflanzen, die über Samen vermehrt werden) entstehen durch einmalig verwirklichte Kombinationsmöglichkeiten von Genen einmalige Individuen, die sich in der gesamten Erdgeschichte aus zwei sehr unterschiedlichen Gründen nicht wiederholen. Zum einen ist die Wahrscheinlichkeit, dass genau dieselbe Mischung von zweimal vielen Tausend Genen entsteht, unendlich gering. Zum andern beruht die langsame, aber stetige Evolution der Arten auf einer spontanen Mutation aller Gene mit einer Rate von 10<sup>-5</sup> bis 10<sup>-9</sup>. Gene verändern sich also langsam. Über den Zeitraum von ca. 400 Millionen Jahren, die man für die Evolution der Landpflanzen annimmt, war diese Mutationsrate ausreichend, um die Entstehung der jetzt lebenden Arten zu erklären. Dagegen ist sie niedrig genug, um die Identität der Arten zu garantieren.

## DIE METHODEN DER PFLANZENZÜCHTUNG

Die Methoden der Pflanzenzüchtung sind drei großen Gruppen zuzuordnen: der Auswahlenzüchtung als ältestes Verfahren, der unbewusst oder bewusst durchgeführten Kreuzungszüchtung und schließlich den modernen Methoden.

### AUSWAHLZUCHT ALS URALTE METHODE

Jeder Bauer, der einen Teil seiner Ernte für die nächste Aussaat auswählt, betreibt

Sorte	Elternlinie	Herkunftsland / Züchter	Beschrieben
Gravensteiner	unbekannt	Italien	vor 1669
Goldparmäne	unbekannt	Frankreich	vor 1700
Kanadarenette	unbekannt	Frankreich	1771
McIntosh	Fameuse	Ontario, Kanada	1796
Antonowka	unbekannt	Russland	vor 1825
Jonathan	Esopus Spitzenberg	New York, USA	1826
Cox Orange	Ribston Pepping	UK/Mr. Cox	1850
Klarapfel	unbekannt	Lettland	vor 1852
Boskoop	Renette de Montfort	Holland	1856
Granny Smith	French Crab	Australien	vor 1868
Berlepsch	Ananasrenette x Ribston Pepping	Deutschland	um 1880
Delicious	Gelber Bellefleur	Iowa, USA	1880
Golden Delicious	Grimes Golden x Golden Renette	West Virginia, USA	1890

Tab. 1: Herkunft ausgewählter Apfelsorten



Abb. 3: Wildform von Mais (Teosinte) und moderne Kulturform

Auswahlzucht. Diese Auswahl wird zur Veränderung der Pflanzen im Vergleich zur Ausgangspopulation führen. Aus jeder essbaren Wildpflanze, die sich zur Domestikation eignete, sind auf diese Weise über viele Stufen zunächst unbewusster, später auch bewusster Auswahlzüchtungen zahlreiche Kulturformen mit zum Teil stark unterschiedlichen Merkmalsausprägungen hervorgegangen (siehe Abb. 3, 4).

### KREUZUNGSZÜCHTUNG

Während Auswahlzüchtung von Individuen ausgeht, die in einer Population vorhanden sind, erzeugt Kreuzungszüchtung gezielt Individuen mit neuen Merkmalskombinationen, die vorher so nicht vorgekommen sind. Allerdings muss die Merkmalskombination im Genpool zumindest eines Kreuzungspartners von vorne herein vorhanden sein. Kreuzungszüchtung vermag genetisch bedingte Merkmale, die zunächst in verschiedenen Individuen getrennt auftreten, in einer neuen Varietät zu vereinigen, sofern zwei Grundvoraussetzungen gegeben sind: a) die Merkmale müssen ei-

nen passenden genetischen Hintergrund vorfinden, der ihre dominante Ausprägung zulässt und b) die entsprechenden Elternpflanzen müssen miteinander kreuzbar sein, wodurch Kreuzungen meist nur innerhalb der natürlichen Artgrenzen fertile Nachkommen ergeben. Die Entdeckung und Nutzung des Heterosis-Effektes bei F1-Hybridpflanzen (seit 1909 durch G. H. Shull) garantiert den Bauern ca. 30% höhere Erträge, was höhere Saatgutkosten durchaus rechtfertigt. Dieser Effekt verschwindet in der F2-Population wiederum, was den Nachbau von Saatgut unrentabel macht. Ein Beispiel von Heterosis zeigt die Hybride *Alnus incana* × *Alnus glutinosa* zwischen Grau-Erle und Schwarz-Erle, die höher und dicker wächst als die Elternsorten.

Die wissenschaftliche Grundlage für dieses neue und wesentlich gezieltere Vorgehen ist die von Gregor Mendel (1881) begründete Genetik, die Anfang des 20. Jahrhunderts von Tschermak, Vries und Correns wiederentdeckt wurde. Interessant mag vielleicht das Detail erscheinen, dass Mendel ausgerechnet

der Aktivität eines Transposons (DNA-Abschnitt, der seine Position verändern kann, „springendes Gen“) den Phänotyp des runzeligen Erbsensamens zu verdanken hatte. Dieses Transposon in einem Gen für Stärkeverzweigung verursacht nämlich die runzelige Samenform. Die Erkenntnis, dass jede Verbesserung von Nutzpflanzen auf dieselbe Art genetischer Mutationen des Erbgutes zurückzuführen ist – ganz gleich, ob sie spontan auftreten oder durch Züchtung erzeugt und anschließend selektiert werden, ist seit Beginn des letzten Jahrhunderts anerkannt. Allerdings mahnte bereits 1906 der Züchter Luther Burbank große Vorsicht ein, wie mit diesem neu erlangten Wissen umzugehen sei: “We have recently advanced our knowledge of genetics to a point where we can manipulate life in a way never intended by nature. We must proceed with the utmost caution in the application of this new-found knowledge.”

Zu Mendels Zeiten war die chemische Natur der Gene, ihre Anordnung und Lokalisation im Zellkern noch unbekannt. Die operationale Definition von Genen in der Kreuzungszüchtung, etwa durch genaue Beobachtungen, von wie vielen Genen ein Merkmal geprägt wird, war eine entscheidende Voraussetzung für die heutige, wesentlich detailliertere Analyse einzelner Gene mit Methoden der Molekularbiologie. Durch Marker-gestützte Züchtung (Marker assisted selection MAS) kann die Auswahl geeigneter Kandidaten viel rascher getroffen werden.

**Den zweiten Teil des Beitrags, in dem moderne Züchtungsmethoden inklusive gentechnischer Verfahren und ihr Potenzial beschrieben werden, lesen Sie in der nächsten Ausgabe des Journals für Ernährungsmedizin.**

Univ.-Prof. Dr. Margit Laimer, Univ.-Doz. Dr. Fatemeh Maghuly, Universität für Bodenkultur Wien, Department Biotechnologie, Abteilung für Pflanzenbiotechnologie, Muthgasse 18, 1190 Wien, margit.laimer@boku.ac.at

### Literatur bei den Verfassern.

#### Zur Vertiefung empfohlen:

Klaus Hahlbrock: Kann unsere Erde die Menschen noch ernähren? Bevölkerungsexplosion – Umwelt – Gentechnik. Herausgeber: Klaus Wiegandt, S. Fischer Verlag 2008

Vaclav Smil: Feeding the World – A Challenge for the Twenty-First Century. MIT Press 2001



Abb. 4: Wild- und Kulturform von Salat