



Gesundes Gemüse

Was steckt dahinter?

Silke Ruppel, Angelika Krumbain und Monika Schreiner (Großbeeren)

Gemüse ist gesund – dieser Grundsatz ist in der modernen Ernährungswissenschaft allgemein anerkannt. Mehr als 200 Langzeitstudien erbrachten ein eindeutiges Ergebnis: Personen, die viel Gemüse und Obst essen, erkrankten seltener an Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Eine besondere Schutzwirkung zeigten alle Kohlgemüse, dunkelgrünes Blattgemüse sowie rotes und gelbes Gemüse und Obst. Die Schutzwirkung beruht offensichtlich auf einem Zusammenspiel vieler verschiedener Pflanzeninhaltsstoffe. Zunehmendes Interesse erwecken in jüngster Zeit auch die Millionen von Bakterien, die auf der Pflanze beziehungsweise im pflanzlichen Gewebe leben und bei frischem Verzehr von Gemüse in den Verdauungstrakt des Menschen gelangen. Diese an der Pflanze lebende Bakteriengemeinschaft ist äußerst vielfältig und setzt sich aus verschiedensten Bakterienarten und -gattungen zusammen.

Wenn Pflanzen- und Ernährungsforscher über die Besiedlung von Pflanzen durch Bakterien und den Verzehr dieser Pflanzen im ungekochten Zustand sprechen, ist meist von krankheitserregenden Bakterien die Rede. Der gesundheitsfördernde Aspekt, den eine vielfältige Bakterienpopulation sowohl für die Gesundheit der Pflanze als auch für die Gesundheit des Menschen haben kann, wird eher selten betrachtet. Das mag daran liegen, dass in der mikrobiellen Ökologie – einer noch jungen Wissenschaft – erst jetzt damit begonnen wird, die komplexen Zusammenhänge zwischen genetischer und funktioneller Diversität auf der einen Seite und Gesundheitsauswirkungen auf der anderen Seite zu erforschen.

In wieweit die pflanzliche Bakterienpopulation einen gesundheitsfördernden Effekt beim Menschen bewirken kann, ist noch völlig ungeklärt. Jedoch könnten – wenn Zusammenhänge zwischen pflanzlicher mikrobieller Diversität und humaner Gesundheitswirkungen bekannt sind – eine ganz neue Generation von Probiotika (funktionelle Lebensmittel mit gesundheitsförderndem Zusatznutzen) entwickelt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch zu wissen, wie die pflanzliche Bakterienpopulation durch pflanzliche Inhaltsstoffe, die als natürliches Substrat den Nährboden für die Bakterien bilden, in ihrer Vielfalt und ihrem Wachstum beeinflusst wird.

Mikrobielle Ökologie eröffnet neue Möglichkeiten

Die mikrobielle Ökologie hat sich mit der Anwendung molekularbiologischer Methoden sprunghaft entwickelt. Bis zu dem Zeitpunkt, an dem über verschiedenste molekulare Techniken die gesamte vorkommende Zellzahl der Bakterien bestimmt und untersucht werden konnte, waren über herkömmliche kultivierungsabhängige Verfahren nur rund 0,1–1 % aller vorkommenden Bakterien erfassbar, was Aussagen über die Bedeutung der Mikroorganismen in ihrer Umwelt äußerst schwierig machte. Diese neuen methodischen Entwicklungen ermöglichen es jetzt, Interaktionen zwischen Mikroorganismen-Gemeinschaften und Pflanzen umfassend zu erforschen und der Bedeutung von mikrobieller Diversität für das Wachstum und die Gesundheit der Pflanzen auf die Spur zu kommen.

Im Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) in Großbeeren wurde dafür das Zusammenspiel zwischen sekundären Pflanzenstoffen sowie dem Gehalt an verfügbaren Zuckern verschiedener Gemüsearten und dem Bakterienbesatz der oberirdischen Pflanzenteile, das heißt der Phyllosphäre, analysiert. Im Mittelpunkt der Forschungen stand die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen den sekundären

Abb. 1: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse bakterieller Substratverwertungsmuster in der Phyllosphäre der Gemüsearten: Senfspinat (*B. campestris*), Blattsenf (*B. juncea*), Spinat (*S. oleracea*) und Frisée-Endivie (*C. endivia*).

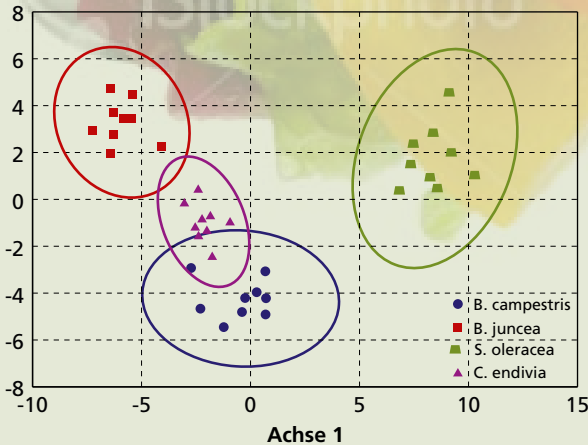
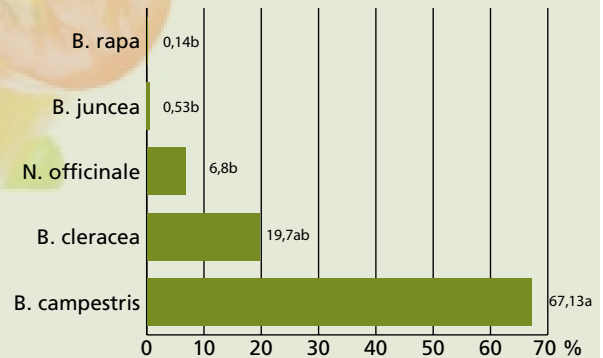


Abb. 2: Besiedlungsfähigkeit von *E. radicans* Bakterienzellen in der Phyllosphäre von fünf verschiedenen Gemüsearten.



% Besiedlung sind relativ zur nicht mit Bakterien behandelten Kontrolle und normalisiert zum Referenzgen dargestellt. Die Mittelwerte bestehen aus drei Einzelproben. Die Mittelwerte innerhalb eines Einzelglucosinolats mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach dem Tukey-Test ($P \leq 0.05$).

Pflanzenstoffen der Blätter in verschiedenen Gemüsearten und der bakteriellen Diversität in der Phyllosphäre dieser Pflanzen besteht.

Bakterienbesiedlung der Phyllosphäre

Da nur ein sehr geringer Teil der existierenden Bakterien auf künstlichen Nährböden wachsen, bedient man sich molekularbiologischer Methoden, um möglichst alle Bakterien zu erfassen. Dafür werden Blätter der Testpflanzen geerntet, gefriergetrocknet und aus diesem Material wird die gesamte vorkommende DNA extrahiert, die neben der pflanzlichen DNA auch die Erbinformation der Bakterien enthält. Mit Hilfe bakterienspezifischer Primer (16S rDNA) und der quantitativen real-time PCR (Polymerase-Kettenreaktion) lässt sich die Anzahl der auf und in der Pflanze vorkommenden Bakterien analysieren. Unsere Untersuchungen ergaben, dass Spinat mit 160 Milliarden Kopien der bakterienspezifischen DNA-Abschnitte je Na-

nogramm (= milliardstel Gramm) DNA am dichtesten mit Bakterien besiedelt war, während zum Beispiel Blattsenf nur ein Zehntel dieser Bakterienmenge enthielt.

Doch nicht nur die Anzahl, auch die Zusammensetzung der Bakterienpopulationen ist zwischen den einzelnen Gemüsearten sehr verschieden. Die Abbildung 1 zeigt die Differenzierung der bakteriellen Populationen zwischen den vier untersuchten Gemüsearten Senfspinat (*Brassica campestris*), Blattsenf (*Brassica juncea*), Spinat (*Spinacea oleracea*) und Frisée-Endivie (*Cichorium endivia*). Warum besiedeln Bakterien die Blätter verschiedener Gemüsearten in unterschiedlicher Anzahl und auch durch stark verschiedene Bakterienengattungen und -arten? Die Ursachen dafür sind vielschichtig und bisher nicht endgültig zu beantworten. Unsere Studien zeigten, dass es neben Faktoren wie der Blattmorphologie und den verfügbaren Zuckern vor allem die sekundären Inhaltsstoffe der Pflanzen sind, die über die Zusammensetzung und Menge der Bakterienbesiedlung entscheiden. So konnten wir nachweisen, dass Gemüsearten mit einem ho-

Tab. 1: Konzentrationen der hauptsächlich vorkommenden Glucosinolate (mg pro Gramm Trockenmasse) in fünf Brassica-Gemüsearten

Pflanzenart	Aliphatische Glucosinolate			Aromatische Glucosinolate	Indol-Glucosinolate
	2P	3B	4MSB	2PE	3IM
Chin. Brokkoli (<i>Brassica rapa</i> var. <i>alboglabra</i>)	0,15c	0,72b	0,37a	0,02c	0,04c
Blattsenf (<i>Brassica juncea</i>)	3,93a	0,16b	nd	0,12b	0,03c
Wasserkresse (<i>Nasturtium officinale</i>)	nd	nd	nd	6,63a	0,15a
Weißkohl (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	1,07b	0,10b	0,07b	0,03c	0,12ab
Senfspinat (<i>Brassica campestris</i>)	0,03c	4,76a	nd	0,70b	0,07bc

nd – nicht detektierbar.

2P = 2-Propenyl, 3B = 3-Butenyl, 4MSB = 4-Methylsulfinylbutyl, 2PE = 2-Phenylethyl, 3IM = 3-Indolylmethyl.

Die Tabellenwerte repräsentieren Mittelwerte aus neun Einzelproben. Die Mittelwerte innerhalb eines Einzelglucosinolats mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach dem Tukey-Test ($P \leq 0.05$).



Tab. 2: Konzentrationen an verfügbaren Zuckern (mg pro Gramm Trockenmasse) in fünf Brassica-Gemüsearten

Pflanzenart	Glucose	Fructose	Saccharose
Chin. Brokkoli	61,00ab	39,15a	19,94a
Blattsenf	37,82b	27,52ab	11,88bc
Wasserkresse	21,13c	16,14b	7,30cd
Weißkohl	43,86ab	30,37ab	5,90d
Senfspinat	70,64a	18,11b	13,77b

Die Tabellenwerte repräsentieren Mittelwerte aus neun Einzelproben. Die Mittelwerte innerhalb eines Einzelzuckers mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach dem Tukey-Test ($P \leq 0.05$).

Tab. 3: Konzentrationen der hauptsächlich vorkommenden Flavonoide und Carotinoide (mg pro Gramm Trockenmasse) in fünf Brassica-Gemüsearten

Pflanzenart	Flavonoide			Carotinoide	
	Quercetin	Kämpferol	Isorhamnetin	Lutein	β -Carotene
Chin. Brokkoli	0,43b	1,94aa	nd	0,79b	0,44b
Blattsenf	0,32b	1,23b	0,63b	0,61c	0,41b
Wasserkresse	0,90a	0,19c	nd	0,92a	0,39b
Weißkohl	0,54b	2,02a	nd	0,59c	0,29c
Senfspinat	0,30b	1,06b	1,44a	0,82ab	0,56a

nd – nicht detektierbar.

Die Tabellenwerte repräsentieren Mittelwerte aus neun Einzelproben. Die Mittelwerte innerhalb eines Flavonoides oder Carotenoids mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach dem Tukey-Test ($P \leq 0.05$).

hen Carotinoidgehalt wie beispielsweise Spinat eine spezifische Bakterienpopulation aufweisen, während bei Brassica-Gemüsearten, die als typische Sekundärmetabolite Glucosinolate beinhalten, bestimmte kettenförmige Glucosinolate, die sogenannten Alkenyl-Glucosinolate (Tab. 1), die Bakterienbesiedlung im Blatt fördern.

Dieses Ergebnis wurde bestätigt, indem ein für die Pflanze nützlicher Bakterienstamm – ein sogenannter wachstumsfördernder Bakterienstamm mit Namen *Enterobacter radicincitans* (lat. *radicincitans* = das Wurzelwachstum fördernd) – auf die Blätter von fünf Brassica-Gemüsearten aufgebracht wurde. Sechs Wochen nach der Inokulation der Pflanzen mit den Bakterienzellen wurde die Fähigkeit dieser Bakterien, sich an der Pflanze zu etablieren bzw. zu vermehren, mithilfe molekularbiologischer Methoden analysiert. Wie bereits bei den Studien zur gesamten Bakterienbesiedlung von Gemüsepflanzen gezeigt, wurden die Brassica-Gemüsearten unterschiedlich stark durch *Enterobacter radicincitans* besiedelt (Abb. 2). Auch hier wurde deutlich, dass Brassica-Arten mit einem hohen Anteil an Alkenyl-Glucosinolaten wie Senfspinat und Weißkohl (Tab. 1) bevorzugt von *E. radicincitans* kolonisiert werden. Auch zeigte sich, dass aromatische Glucosinolate, die verstärkt in der Wasserkresse vorkommen (Tab. 1), die Kolonisierung der Phyllosphäre mit *E. radicincitans* eher hemmen. Wasserkresse ist zudem durch geringe Konzentrationen an verfügbaren Zuckern und Carotinoiden charakterisiert, die für das Wachstum von *E. radicincitans* notwendig sind



Senfspinat



Weißkohl



Wasserkresse



Chin. Brokkoli

(Tab. 2 und 3). Blattsenf wird trotz eines hohen Carotinoidgehalts (Tab. 3) nur schwach besiedelt. Grund sind wahrscheinlich die relativ hohen Flavonoidkonzentrationen – Flavonoide weisen ausgeprägte antimikrobielle Eigenschaften auf. Etwas Ähnliches zeigte sich beim chinesischen Brokkoli: Trotz hoher Zuckerkonzentrationen im Blatt (Tab. 2) war die Besiedlung durch *Enterobacter radicincitans* extrem gering. Dies könnte an dem aliphatischen Glucosinolat 4-Methylsulfinylbutyl (Tab. 1) liegen, dessen Abbauprodukte ausgesprochen antimikrobiell wirken, verbunden mit dem relativ hohen Gehalt an dem ebenfalls antimikrobiell wirkenden Kämpferol.

Die Untersuchungen machen deutlich, dass die bakterielle Besiedlung der Phyllosphäre bei Gemüse in starkem Maße von den sekundären Pflanzenstoffen bestimmt wird. Damit eröffnet sich auch die Möglichkeit, über die Beeinflussung des Sekundärmetabolitprofils der Pflanzen die bakterielle Population in ihrer Konzentration und Zusammensetzung gezielt zu steuern. Damit sind erste Ansatzpunkte für die Konzeption und Entwicklung eines pflanzenbasierten Probiotikums gegeben. So könnte das derzeitige Angebot an probiotischen Lebensmitteln, bei denen es sich überwiegend um probiotische Milchprodukte handelt, um pflanzenbasierte Probiotika erweitert werden. ■



PD Dr. Silke Ruppel, Dr. Angelika Krumbin und Prof. Dr. Monika Schreiner, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren.
E-Mail: ruppel@igzev.de