



Manche mögen's scharf

Die Pflanzengattung Capsicum beschert uns mit Paprika- und Chilischoten ein auf der ganzen Welt beliebtes Gewürz, mit dem Gerichte optisch und geschmacklich aufgepeppt werden können. Die ungarische, mexikanische, koreanische und indische Küche wären ohne deren charakteristische Schärfe überhaupt nicht denkbar. Wie schafft es ausschließlich Capsicum; chemische Verbindungen zu synthetisieren, die unsere Zunge gerade so stark reizen, dass wir dies als wohlige Schärfe empfinden? Decken wir die naturwissenschaftlichen Hintergründe des langsam nachlassenden Zungenbrennens auf und genießen pikante Gerichte in Zukunft noch bewusster.

Für Liebhaber scharfer Speisen ist der 1. Januar ein hoher Feiertag, denn am Neujahrstag 1493 entdeckte Christopher Columbus auf seiner ersten Reise an der Nordküste des heutigen Haiti eine Pflanze, die er wegen ihrer außerordentlich scharfen Früchte für Pfeffer hielt. „Der Pfeffer, den die biesigen Indianer als Gewürz verwenden, wächst überall und ist wertvoller als Schwarzer oder Melegueta-Pfeffer“ [1]. Das war keine Zufallsentdeckung, denn ein Ziel der vom spanischen König finanzierten Expedition war die Suche nach ergiebigen Pfeffervorkommen. In Europa war Pfeffer zwar nicht das teuerste, aber das mengenmäßig wichtigste Gewürz und dessen lukrativer Handel lag, sehr zum Leidwesen des spanischen Hofes, fest in den Händen Venedigs und diese Vormachtstellung sollte gebrochen werden [2]. Columbus war sich bei der Bezeichnung „Roter Pfeffer“ selbst nicht sicher: „Es bereitet mir großen Kummer, dass ich sie [die Pflanzen] nicht identifizieren kann, vor allem weil ich sicher bin, dass sie wertvoll sind.“ [3]. Seine botanische Bestimmung erwies sich tatsächlich als falsch. Erst der französische Botaniker Joseph Pitton de Tournefort (1656–1708) ordnete den vermeintlichen „Ro-



ABB. 1 DIE DOMESTIZIERTEN ARTEN DER GATTUNG PAPRIKA



ten Pfeffer“ einer neuen Gattung *Capsicum* innerhalb der Familie der Nachtschattengewächse zu [4]. Der Schwarze Pfeffer (*Piper nigrum*, Familie: Pfeffergewächse) ist mit Columbus vermeintlichem „Pfeffer“ überhaupt nicht verwandt, aber sein Irrtum überdauerte alle Zeiten und in vielen Sprachen werden noch heute verschiedene *Capsicum*-Früchte als Pfeffer bezeichnet.

Die von Columbus nach Europa gebrachten Pflanzen verbreiteten sich über den Handel entlang der Gewürzstraße bis nach Fernost. Während *Capsicum* rasch in die regionalen Küchen der Mittelmeerländer, Nordafrikas und des Nahen und Fernen Ostens integriert wurde, standen die Mitteleuropäer dem neuen „Pfeffer“ skeptisch gegenüber und nutzten ihn nur als Zierpflanze [5]. Dies ist erstaunlich, denn Leonhart Fuchs wies schon in seinem Kräuterbuch von 1543 darauf hin, dass die Samen des indianischen Pfeffers „fast alle Wirkung und Tugend des rechten Pfeffers“ haben. Erst über das Osmanische Reich kam *Capsicum* im 17. Jahrhundert nach Ungarn, wo es sich schnell zum Nationalgewürz entwickelte und von dort aus langsam den Weg nach Mitteleuropa fand.

Botanisches von *Capsicum*

Capsicum stammt ursprünglich aus Bolivien und Peru. Durch Vögel verbreitete sich die robuste Wildpflanze über große Teile Süd- und Mittelamerikas. Die dortige Urbevölkerung domestizierte die Pflanze schon vor 6000 Jahren [6]; *Capsicum* ist damit eine der ältesten von Menschenhand angebaute Pflanzen überhaupt.

Von den über 30 wildwachsenden *Capsicum*-Arten sind nur fünf domestiziert worden: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* und *C. pubescens* [7] (Abbildung 1), wobei vor allem die drei ersten von wirtschaftlicher Bedeutung sind. An der Spitze liegt eindeutig *Capsicum annuum* und das aus einem einfachen Grund: Columbus hatte auf Haiti per Zufall eben genau diese *Capsicum*-Art entdeckt und nach Europa gebracht.

C. annuum (einjährig) [7] ist die auf der Welt am meisten verbreitete Paprika-Art. Die Früchte der verschiedenen Varietäten weisen eine große äußere Vielfalt auf; deren Größe schwankt zwischen 1–25 cm und die Schärfe reicht von den ganz milden, leicht süßen Gemüsepaprikas bis zu den kleinen, aber scharfen Jalapeños. Auch die Fruchtformen und -farben sind äußerst vielfältig. Die Varietät *C. annuum* var. *acuminata* wird als Cayenne bezeichnet, wobei dieser Name im Laufe der Zeit mehreren Sorten in unterschiedlichen Arten zugeordnet war. Bilder 1–4 von links nach rechts: Gemüsepaprika, Cayenne, Peter Pepper und Jalapeño.

C. chinense stammt aus der Karibik und umfasst die schärfsten bekannten Sorten wie Habaneros und Scotch Bonnet. Typisch ist neben der großen Schärfe auch das charakteristische Aroma. Varietäten von *C. chinense* wachsen bevorzugt in feucht-tropischem Klima, z.B. Fatalii im tropischen Afrika, Datil in Florida, Adjuma in Surinam und Naga Morich in Bangladesch. Gemeinsam ist neben der extremen Schärfe ein delikates fruchtiges Aroma, das allen anderen Arten fehlt und nur in rohen Früchten zur Geltung kommt. Bilder 5 und 6: Habanero und Scotch Bonnet.

C. frutescens hat meist kleine, nur 1–3 cm lange, scharfe Früchte und zeichnet sich durch ein charakteristisches Aroma aus. Diese Art wird vor allem als Gewürz verwendet. Bekannte Varietäten sind Piri-Piri (African Devil) und Thai-Chili (Bird's Eye). Die Varietät Tabasco ist die Grundlage für die gleichnamige Gewürzsoße. Bilder 7 und 8: Tabasco und Thai-Pfeffer.

C. baccatum (beerenartig) stammt ursprünglich aus Bolivien oder Peru und die großen, länglichen und scharfen Früchte zeichnen sich durch ein sehr eigenes, fruchtiges Bouquet aus. Die Varietät *C. baccatum* var. *pendulum* wird in Südamerika als Aji bezeichnet und war bereits den Inkas bekannt. Heute sind *C.-baccatum*-Varietäten ein fester Bestandteil der peruanischen Küche und machen Cuy chactado zu einer Delikatesse [44]. Bilder 9 und 10: Aji peruano und Lemon drop.

C. pubescens (behaart) wächst vor allem in den höher gelegenen Andenregionen von Kolumbien bis Bolivien, aber auch Südmexiko. Im Unterschied zu den anderen *Capsicum*-Arten sind die Samenkörner schwarz. Typische Vertreter sind Rocoto (Bolivien, Peru) und Manzano (Mexiko). Als einzige *Capsicum*-Art übersteht *C. pubescens* geringen Frost. Bilder 11 und 12: Rocoto und Manzano Amarillo. [alle Bilder: Wikipedia commons]





Kulinarisches von Paprika

Die prächtige Farbe

Wenn wir Paprika genießen, egal ob roh oder in einer raffinierten Zubereitung, ist dies immer das Ergebnis eines harmonischen Zusammenspiels aller Sinne. Das Auge erfasst die schöne Form und Farbe, die Ohren das Knacken und die Konsistenz beim Kauen, die Zunge die süßen, sauren, salzigen, bitteren und *umami* [10] Geschmackskomponenten und die Nase das Aroma. Betrachten wir das sensorisch Besondere an Paprika einmal aus chemischer Sicht. Sie werden staunen!

Die grünen, gelben, orangeroten oder tiefroten Paprikafrüchte sind optisch äußerst attraktiv und schon allein deswegen in jeder Küche beliebt. Während des Reifungsprozesses verändert sich die Fruchtfarbe in einem beeindruckenden Farbenspiel von kräftig grün über gelb, orange bis zum tiefen rot (Abbildung 2). Dies spiegelt einen koordinierten chemischen Syntheseablauf wider, der im Folgenden genauer untersucht werden soll.



Im unreifen, grünen Zustand sind die für uns sichtbaren Hauptfarbstoffe die Chlorophylle a und b (**1a**, **1b**), die beiden universellen Blattfarbstoffe. Chlorophyll ist ein komplexer Makrozyklus mit einem ausgedehnten System konjugierter Doppelbindungen, das dem Molekül die Farbe verleiht (Abbildung 3). An einer Seitenkette ist über eine Esterbindung ein langer C₂₀-Alkohol (Phytol) gebunden, mit dem der Farbstoff in den Thylakoid-Membranen in den Chloroplasten verankert ist. Chlorophyll steht im Mittelpunkt der Photosynthese, ist aber keineswegs der einzige daran beteiligte Farbstoff, sondern einige gelbe und gelborange Carotinoid-Farbstoffe dienen zusätzlich als Lichtsammler [11]. Das Gelb dieser Farbstoffe bleibt unserem Auge meist verborgen, da das Chlorophyll andere Farben völlig überdeckt.

Im Reifungsprozess wird Chlorophyll mitsamt den Hilfsfarbstoffen der Photosynthese langsam abgebaut, und neue gelbe und schließlich rote Farbstoffe tauchen auf [12]. Abbildung 4 gibt einen Überblick über den Farbstoffgehalt von drei *Capsicum annuum* Varietäten vor und nach der Reife. Die Farbstoffveränderungen entsprechen dem in Abbildung 2 dargestellten Farbenspiel. Auffallend ist der nahezu vollständige Abbau des gelborangen Luteins (**4**) und die Neusynthese der tiefroten Farbstoffe Capsanthin (**8**), Capsanthin-5,6-epoxid (**9**) und Capsorubin (**10**).

Die Freude über die prächtigen Farben wird noch dadurch gesteigert, dass Paprika die einzigen Lebewesen sind, die diese roten Farbstoffe biosynthetisieren können und die deswegen als Paprikaketone bezeichnet werden [13,14].

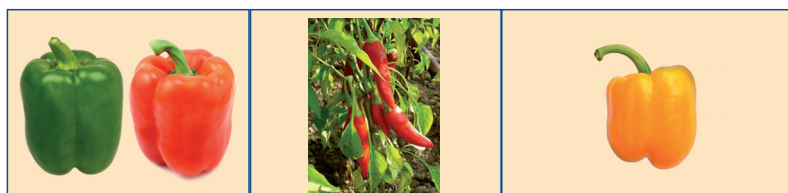
Die Biosynthese der Paprikaketone Capsanthin und Capsorubin überrascht uns mit einer außergewöhnlichen Pinakol-Umlagerung (Abbildung 5) [15]. Der chemisch bewanderte Feinschmecker sollte sich den ungewöhnlichen Reaktionsmechanismus auf der Zunge zergehen lassen, denn im Labor läuft die Pinakol-Umlagerung typischerweise in Gegenwart von konzentrierter Schwefelsäure ab, Paprika schafft das spielend mit einem bisher unbekanntem Enzymapparat bei pH=7 und Raumtemperatur. Hut ab!

Die Biosynthese der Paprikaketone Capsanthin und Capsorubin überrascht uns mit einer außergewöhnlichen Pinakol-Umlagerung (Abbildung 5) [15]. Der chemisch bewanderte Feinschmecker sollte sich den ungewöhnlichen Reaktionsmechanismus auf der Zunge zergehen lassen, denn im Labor läuft die Pinakol-Umlagerung typischerweise in Gegenwart von konzentrierter Schwefelsäure ab, Paprika schafft das spielend mit einem bisher unbekanntem Enzymapparat bei pH=7 und Raumtemperatur. Hut ab!

Der verlockende Duft

Beim kulinarischen Genuss unterscheidet man meist nicht zwischen Geschmack und Geruch, denn beide Sinneswahrnehmungen werden ja gleichzeitig im Mund-Nasen-Raum wahrgenommen und zu einem „geschmacklichen“ Gesamteindruck verarbeitet. Essen mit einer zugehaltenen oder verstopften Nase beweist eindrucksvoll, dass der „Geschmack“ eines Nahrungsmittels vor allem über die Nase als Geruch und weniger über die Zunge als Geschmack wahr-

Abb. 4 Carotinoide in unreifen und reifen Paprikafrüchten (*C. annuum*) [45]



Carotinoid	Farbe	Gemüsepaprika *		Long Cayenne		Golden Wonder	
		unreif (grün)	reif (rot)	unreif (grün)	reif (rot)	unreif (grün)	reif (gelb)
β-Carotin (2)	gelb	13,4	11,6	28,3	14,8	30,6	16,6
Zeaxanthin (5)	orange	0,6	2,5	0,9	11,3	4,1	5,2
Antheraxanthin (6)	gelb	–	1,6	–	2,9	–	5,2
Violaxanthin (7)	gelb	13,8	9,9	25,9	5,6	10,2	0,4
Lutein (4)	orange	40,8	–	28,8	–	40,8	9,3
Capsanthin (8)	rot	–	34,7	–	44,6	–	–
Capsorubin (10)	rot	–	6,4	–	30,3	–	–
β-Cryptoxanthin (3)	orange	0,5	6,7	–	5,1	–	7,3
Capsanthin-5,6-epoxid (9)	rot	–	0,9	–	–	–	–

* Mengenangaben in % vom Gesamt-Carotinoidgehalt



genommen wird. Da der größte Teil der auf der Welt angebauten Paprika nicht wegen der Schärfe, sondern wegen des attraktiven Aromas verzehrt wird, liegen viele Studien über die charakteristischen Duftstoffe vor. Das uns in Mitteleuropa so vertraute, ganz typische Aroma einer grünen Gemüsepaprikaschote hat überraschenderweise einen einzigen Namen: 2-Methoxy-3-isobutylpyrazin (**11**) (Abbildung 6). Die menschliche Nase kann diese „nach Paprikaschoten“ riechende Verbindung noch in einer unglaublichen wässriger Verdünnung von 0,002 ppb [16] also 2:1000.000.000.000 nachweisen. Damit zählt das sogenannte Paprikapyrazin **11** zu den für Menschen geruchsinstensivsten Verbindungen überhaupt.

Neben dem Pyrazin tragen noch einige weitere Verbindungen zum charakteristischen Gesamtaroma von Paprika

bei (Abbildung 6). Von kulinarischer Bedeutung ist dabei, dass die verschiedenen Paprika-Arten signifikante Unterschiede in ihrem Aromaprofil aufweisen. So enthalten die flüchtigen Verbindungen von *C. chinense* überhaupt kein Paprikapyrazin **11**, so dass der typische Geruch nach grüner Paprika völlig fehlt, dafür aber hohe Anteile von β -Ionon (**21**) und verschiedenen Estern, woraus ein dementsprechend fruchtiges und blumiges Bouquet resultiert. *C. pubescens* besitzt eine leichte zusätzliche Nussnote, die von 2-Heptanthiol (**19**) herrührt. Der Varietät Tabasco von *C. frutescens* verleiht eine Mischung kurzketziger Ester (z.B. **20**) ein kräftiges, charakteristisches Fruchtaroma [17].

Wegen des Sortenreichtums und der unterschiedlichen Wachstumsbedingungen in den weltweiten Anbaugebieten können die hier angegebenen Aromenangaben nur An-

ABB. 5 | FÜR KENNER: DIE BIOSYNTHESE DER PAPRIKAKETONE

A) Die Biosynthese der herrlich roten Paprikafarbe ist ein biochemisches Wunderwerk. Mit dem Abbau der grünen Chlorophylle wird die Biosynthese der Carotinoide aus jeweils acht Isopreneinheiten verstärkt und die zunächst entstehenden Kohlenwasserstoffe wie β -Carotin zu Alkoholen bzw. Epoxiden oxidiert. Durch biochemische Studien mit markierten ^{14}C - und ^3H -markierten Verbindungen konnte gesichert werden, dass die

Paprikaketone ausschließlich und direkt über eine Pinakol-Umlagerung aus den Epoxiden Anthraxanthin und Violaxanthin entstehen [46].

B) Die von Butlerov zuerst erkannte Pinakol-Umlagerung ist schon sehr erstaunlich. Schließlich muss dabei eine Methylgruppe in dem durch konzentrierte Schwefelsäure gebildeten Carbokation unter Mitnahme seiner Bindungselektronen auf das nächste C-Atom wandern (1,2-Verschiebung).

C) Den einer Pinakol-Umlagerung entsprechenden Reaktionsmechanismus kann für die Umlagerung z.B. von Anthraxanthin und Capsanthin leicht aufgestellt werden. Mit welchem Enzym dies Paprika ohne konzentrierte Schwefelsäure bei $\text{pH}=7$ und Raumtemperatur gelingt, ist jedoch noch völlig ungeklärt.

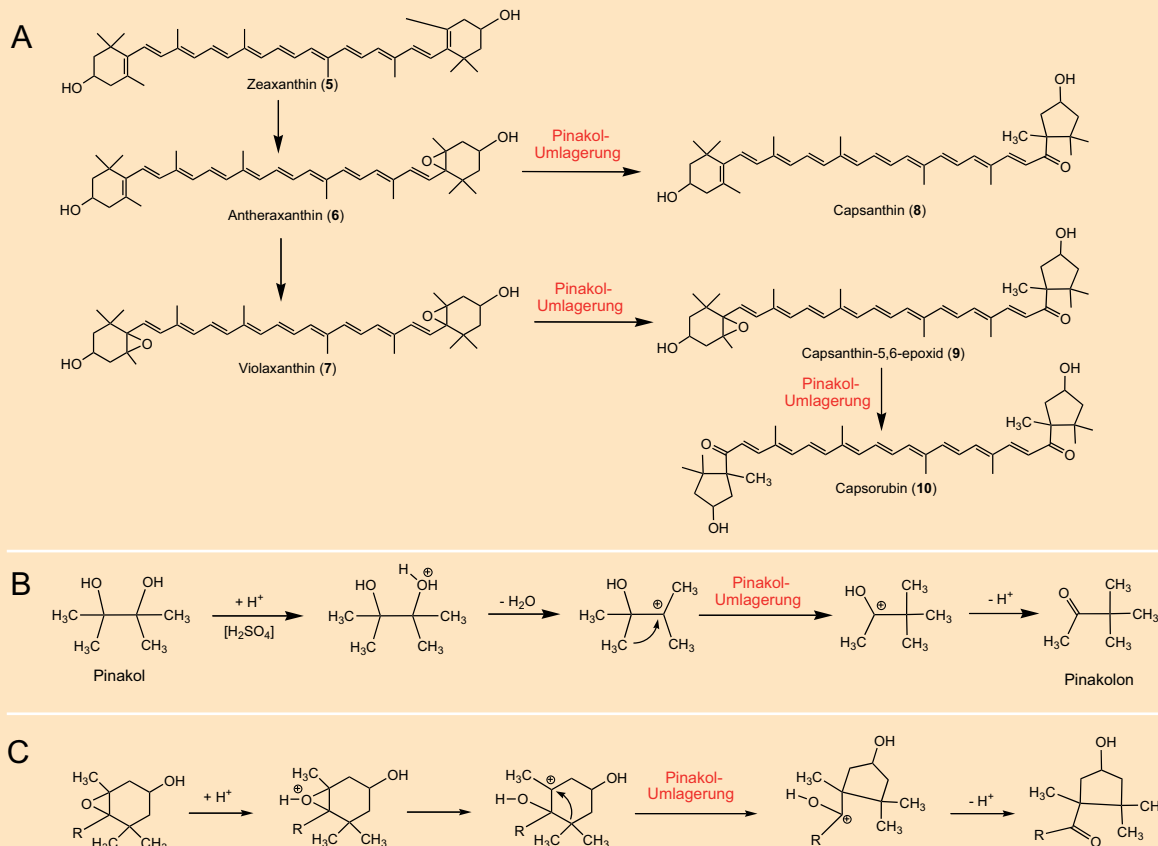
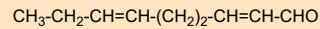
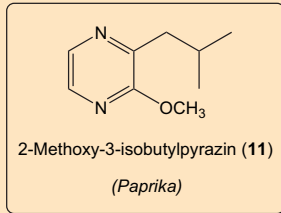


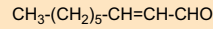


ABB. 6 DER GERUCH VON PAPRIKA



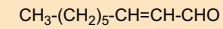
(2E,6Z)-Nonadienal (12)

(frisch, gurkenartig)



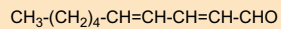
(2Z)-Nonenal (13)

(fettig, gurkenartig)



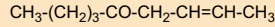
(2E)-Nonenal (14)

(dumpf, gurkenartig)



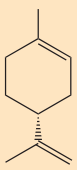
(2Z,4Z)-Decadienal (15)

(bratfettähnlich)



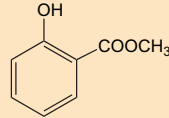
(2E)-Nonen-4-on (16)

(süße Pilze)



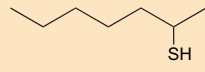
Limonen (17)

(Citrus)



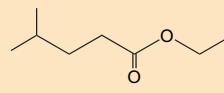
Methylsalicylat (18)

(Wintergrün)



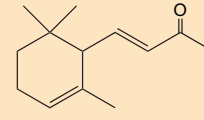
2-Heptanthiol (19)

(grün, nussig, Benzin)



Ethyl-4-methylpentanoat (20)

(süß, fruchtig)

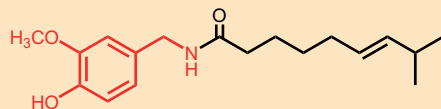


β-Ionon (21)

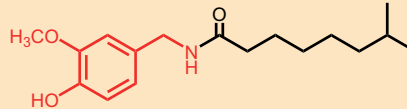
(blumig, fruchtig)

	Geruch	<i>C. chinense</i>	<i>C. baccatum</i>	<i>C. pubescens</i>
(2Z)-Nonenal (13)	gurkenartig			+
(2E,6Z)-Nonadienal (12)	gurkenartig		+	++
(2E)-Nonenal (14)	gurkenartig			++
2-Methoxy-3-isobutylpyrazin (11)	Paprika		++	+++
2-Heptanthiol (19)	grün, nussig	+	++	+
Ethyl-4-methylpentanoat (20)	fruchtig	+		
β-Ionon (21)	blumig	+++	+	

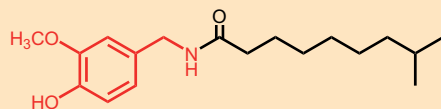
ABB. 7 DIE SCHARFSTOFFE DER PAPRIKA



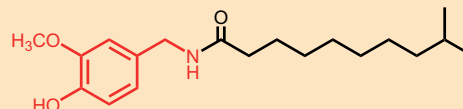
Capsaicin (22) (16 Mio SHU)



Nordihydrocapsaicin (23) (9,3 Mio SHU)



Dihydrocapsaicin (24) (16 Mio SHU)



Homodihydrocapsaicin (25) (8,1 Mio SHU)

	Capsaicin (22)	Dihydrocapsaicin (24)	Nordihydrocapsaicin (23)	Homodihydrocapsaicin (25)
<i>C. annum</i>	44–51%	31–37%	8–15%	< 1%
<i>C. chinense</i> & <i>frutescens</i>	62–77%	17–29%	0,6–6%	< 3%
<i>C. baccatum</i>	38–40%	50–51%	< 1.1%	< 2%

Die verschiedenen Paprika-Arten und deren unzählige Varietäten unterscheiden sich sowohl in der Gesamtmenge an Scharfstoffen als auch in der Verteilung der verschiedenen Komponenten [47]. Inzwischen kennt man über 20 verschiedene Capsaicinoide, in denen ein invariabler aromatischer Vanillylrest (rot) über eine Amidbindung mit einer aliphatischen Carbonsäure (schwarz) verknüpft ist. Das Verhältnis von Capsaicin zu Dihydrocapsaicin ist artspezifisch: 1:0,8 in *C. annum*, 2:1 bis 1:1,5 in *C. baccatum*, 2,5:1 in *C. chinense/frutescens* und 1:1,5 in *C. pubescens*.

PAPRIKA UND CHILI



haltspunkte sein. Es macht ja gerade den Charme von Paprika aus, dass weder von der Größe, der Farbe und der Herkunft auf den zu erwartenden kulinarischen Genuss geschlossen werden kann. Dies lässt Platz für Überraschungen.

Die Scharfstoffe

Ihre mehr oder weniger ausgeprägte Schärfe zeichnet Paprika vor allen anderen Pflanzen aus. Zwar verwenden wir

Ingwer, Senf und Pfeffer zum kräftigen Würzen unserer Speisen, aber wenn es um Schärfe geht, kann es niemand mit Paprika aufnehmen. Kein Wunder, denn die entsprechenden Scharfstoffe kann in der Natur nur die Gattung *Capsicum* herstellen [18]. Paprika steht in seiner Synthesekreativität den engeren Verwandten in der Familie der Nachschattengewächse in nichts nach. Während uns aber Bilsenkraut, Tollkirsche, Engelstropfete, Tabak und Stechap-

ABB. 8 DIE BIOSYNTHESE VON CAPSAICIN

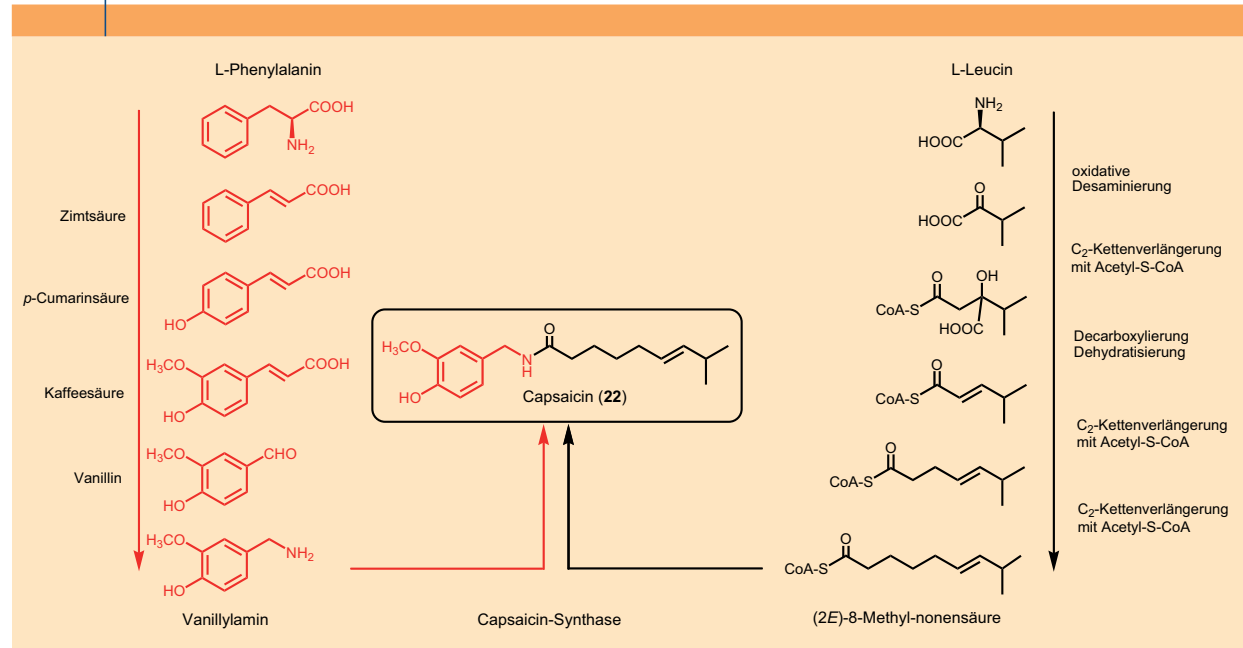
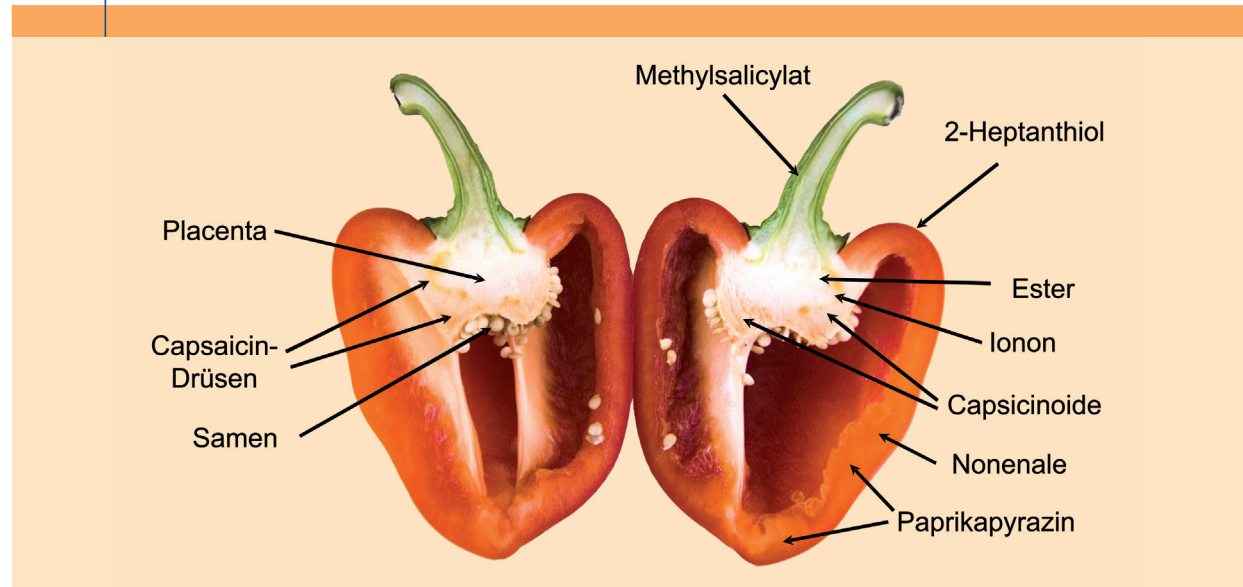


ABB. 9 WO SITZT DIE SCHÄRFE IN DER PAPRIKA?



Die Synthese von Capsaicin und den anderen Scharfstoffen erfolgt in speziellen Drüsen in der oberen Placentaschicht. Die Samen enthalten kein Capsaicin, allerdings kann bei hohen Gehalten das Capsaicin aus der oberen Placentaschicht in die Samen eindiffundieren [48]. Die Aromakomponenten werden in verschiedenen Fruchtteilen synthetisiert, wobei die vom Paprikapyrazin 11 verursachte Duftnote der grünen Gemüsepaprika im Fruchtfleisch und die fruchtigen und blumigen Ester in der Plazenta entstehen. (Bildquelle: Paul Goyette, wikimedia commons)



fel das Fürchten lehren, erfreut uns *Capsicum* mit seinen Alkaloiden.

Es ist verständlich, dass Chemiker an den außergewöhnlichen Scharfstoffen der Paprika von je her interessiert waren. Die erste Isolierung des Scharfstoffes gelang Thresh 1876 [19], der den Namen Capsaicin festlegte. Die chemische Struktur **22** wurde 1919 erstmals von Nelson bestimmt [20] und seitdem auf unterschiedlichen Wegen durch Totalsynthese bewiesen [21]. Infolge der relativ einfachen Struktur konnten eine Vielzahl von Abkömmlingen synthetisiert und in Hinblick auf eine Struktur-Wirkungs-Beziehung pharmakologisch untersucht werden. Danach ist der Vanillylrest samt Amidbindung ein Muss und die Carbonsäureketten dürfen zwischen 8 und 11 Kohlenstoffatomen lang sein (Abbildung 7). Kürzere oder längere Ketten verringern, endständige Methylverzweigungen verstärken die Schärfe und eine Doppelbindung hat nur einen geringen Einfluss.

Von den vielen Scharfstoffen machen Capsaicin (**22**) und Dihydrocapsaicin (**24**) in allen untersuchten scharfen Paprika immer über 80 % der gesamten Capsaicinoide aus. Da diese beiden Verbindungen auch die größte sensorische Wirkung zeigen [22], bestimmen sie die Gesamtschärfe einer Paprika, allerdings tragen auch die NebenkompONENTEN durch ihre unterschiedliche sensorische Charakteristik zum Genuss bei. Die Schärfe von *Capsaicin* (**22**) und *Dihydrocapsaicin* (**24**) steigt rasch im mittleren und hinteren Teil der Zunge und Gaumen an und hält lange vor,



während *Homodihydrocapsaicin* (**25**) langsamer und nur im hinteren Mundraum wirkt. Die Schärfe von *Nordihydrocapsaicin* (**23**) wird im vorderen Zungenbereich als milder empfunden und klingt schneller ab.

Wie schafft es *Capsicum* nur als einzige Art, diese herrlichen Scharfstoffe zu synthetisieren? Studien mit isoto- penmarkierten Metaboliten konnten zeigen, dass die Aminosäure Phenylalanin Ausgangspunkt des aromatischen Molekülteils und die jeweiligen Carbonsäuren entsprechend der Kettenlänge und Verzweigungsmuster aus den Aminosäuren Valin, Leucin bzw. Isoleucin gebildet werden (Abbildung 8). Die Capsaicin-Synthase verknüpft dann im finalen Syntheseschritt die beiden Molekülteile über eine Amidbindung. Die Capsaicin-Synthase konnte als ein Protein mit einem Molekulargewicht von 38 kDa aus der Placenta von *Capsicum* isoliert werden und ihre Synthese-Aktivität korrelierte gut mit der Gewebekonzentration von Capsaicin [23]. Leider stellte sich nach der Publikation heraus, dass das Protein eventuell gar keine Capsaicin-Synthase war, sondern eine Protein-Kinase sein könnte und die Publikation wurde zwei Jahre später zurückgezogen [24]. Damit bleibt die Struktur der Capsaicin-Synthase weiterhin unbekannt.

Wo in der Paprikafrucht die Capsaicin-Synthase abläuft, kann man bei scharfen Varietäten mit der Zunge testen. Entgegen der landläufigen Meinung enthalten die Samenkörner kein Capsaicin. Die Capsaicin-produzierenden Drüsen liegen in der oberen Schicht der Placenta (Abbildung 9). Bei sehr hohen Capsaicin-Konzentrationen kann diese Verbindung jedoch in die benachbarten Gewebeschichten hinein diffundieren. Dies passiert auch häufig bei der Verarbeitung und Trocknung.

Das Paprikapyrazin **11**, das den typischen Geschmack von grünen Gemüsepaprika ausmacht, befindet sich vor allem im Fruchtfleisch. Einigen *Capsicum-chinense*-Varietäten wie Scotch Bonnet und Habanero enthalten praktisch kein Paprikapyrazin, so dass diesen besonders scharfen Varietäten das typische „Gemüsepaprika-Aroma“ fehlt und sie dafür aber einen stark fruchtigen Charakter besitzen. Insgesamt gilt also, dass Schärfe und Aroma sich keineswegs ausschließen.

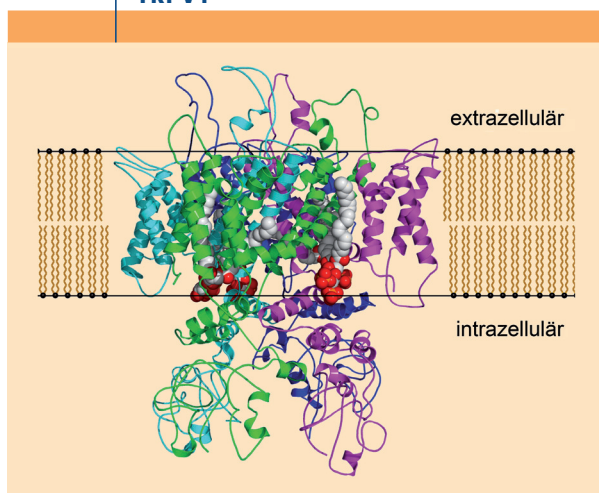
Wie „schmecken“ wir Schärfe?

Wenn uns eine Schüssel *chili con carne* wegen seiner angenehmen Schärfe gut „schmeckt“, ist dies genau genommen falsch ausgedrückt, denn wir können nur süß, bitter, sauer, salzig und *umami* schmecken. Scharf gehört nicht dazu! Warum eigentlich nicht, denn schließlich empfinden wir Schärfe und Temperatur zusammen mit den Geschmacksnoten auf der Zunge? Die Ursache für die strikte Unterscheidung liegt in der neuronalen Verarbeitung: Geschmack nehmen wir über spezialisierte Sinneszellen in der Zunge auf, die von drei Hirnnerven (*Nervus facialis*, *N. glossopharyngealis* und *N. vagus*) zum Zentralnervensystem



Abb. 11 Wilbur Lincoln Scoville und seine nach oben geschlossene Skala. W.L. Scoville war Chemiker beim Pharmahersteller Parke-Davis und entwickelte 1912 einen organoleptischen Test zur Bestimmung des Schärfegrades von scharfen Paprika-Früchten. Er wurde mit dem Ebert-Preis (1922) ausgezeichnet und bekam 1929 die Remington Honor Medal verliehen, die höchste Auszeichnung der American Pharmaceutical Society und wurde Ehren-doktor der Columbia University. Alle Ehrungen bezogen sich aber nicht auf seinen Schärfetest.

ABB. 10 DER CAPSAICIN-BINDENDER REZEPTOR TRPV1



TRPV1 ist ein durch hohe Temperaturen schaltbarer Ionenkanal. Der Schaltungspunkt liegt bei über 42 °C, erniedrigt sich aber nach dem Anbinden von Liganden wie Capsaicin auf Werte unterhalb der Körpertemperatur. Dies führt im Falle von Capsaicin zur ständigen Aktivierung und Auslösen einer Schmerzempfindung. Das abgebildete Molekülmodell [49] stellt den TRPV1-Rezeptor mit einem anderen gebundenem Liganden (Phosphatidylinositol-4,5-bisphosphat) dar [50].

PAPRIKA UND CHILI



geleitet und dort verarbeitet werden. Zu hohe Temperaturen oder Schärfe werden von einem anderen Hirnnerv erfasst, dem *Nervus trigeminus*. Die feinen Verästelungen des *Trigeminus* durchziehen u.a. den Mundraum einschließlich der Zunge. An den freien *Trigeminus*-Enden befinden sich spezielle Rezeptoren, die *Nozizeptoren* [25], die nach Fein [26] als eine „black-box“ betrachtet werden können, die ein Stimulans in elektrische Impulse umwandelt. Egal, ob nun die Zunge mit einer viel zu heißen Suppe oder mit Cayenne-Pfeffer in Kontakt kommt, unser Ge-

hirn verarbeitet die von den Nozizeptoren in der Zunge ausgehenden Signale ab einer gewissen Stärke zum Sinneseindruck „Schmerz“ [27].

Das ist uns nicht neu, denn wir wissen aus (schlechten) Erfahrungen, dass man sich die Zunge sowohl mit zu heißen als auch mit zu scharfen Nahrungsmitteln „verbrennen“ kann. Trotzdem gibt es einen kleinen, aber bedeutenden Unterschied. Der Genuss einer zu heißen Suppe führt zu Schmerzen, die lange anhalten und die aufgetretenen Gewebeschäden spüren wir noch tagelang auf unserer

ABB. 12 | DIE ALLERSCHÄRFSTE UNTER DEN SCHARFEN

Welche Paprika die allerschärfste ist, bewegt chili heads, Züchter und Samenhändler auf der ganzen Welt. 1994 wurde die kalifornische Habanero-Variante „Red Savina“ (links) mit ihren 2x5 cm lamignonförmigen, leicht faltigen Früchten als „schärfster Chili der Welt“ mit 570.000 SHU ins Guinness Buch der Rekorde aufgenommen [51]. Immer wieder wurde von angeblich noch schärferen Sorten berichtet, die jedoch eine seriöse Prüfung nicht bestanden. Dies liegt an der Schwierigkeit des Scoville-Tests, der organoleptisch nur begrenzt reproduzierbar ist, aber selbst, wenn die Schärfemessung mit HPLC nach dem standardisierten Protokoll durchgeführt wird, sind die Ergebnisse leicht manipulierbar, z.B. durch Einspritzen öliger

Auszüge in die Frucht oder durch Anreicherung der getrockneten Früchte mit Capsaicin-reichem Placenta-Material.

Im September 2000 tauchten Berichte aus der indischen Provinz Assam auf, dass eine neue Paprikasorte der Art *C. chinense* mit einem Schärfegrad von 855 000 SHU aufgetaucht sein soll, Bhut Jolokia (Mitte und rechts) [36,40]. Dies war ein mediales Ereignis auch außerhalb von Indien, wurde aber zunächst skeptisch von den Fachleuten bewertet. Es kam zum ultimativen Showdown zwischen der Red Savin und der indischen Bhut Jolokia. Am Chile Pepper Institute der New Mexico State University wurden die Samen beider Pflanzen unter Aufsicht des Direktors Dr. Paul Bosland

in einem klimatisch kontrollierten Gewächshaus vorgezogen und dann ins Freiland ausgesetzt. Von den je 10 Pflanzen wurden jeweils 25 Früchte geerntet, getrocknet und zermahlen. Die anschließende Bestimmung des Schärfegrades mit Hilfe der HPLC ergab eine Überraschung: Die Red Savina erreichte nur 248.000 SHU, blieb also deutlich unter dem bisher publizierten Wert. Im Gegensatz dazu erreichte Bhut Jolokia einen Wert von 1.001.304 SHU. Ein neuer Rekord! Seit 2006 ist Bhut Jolokia mit ihren 5cm langen und nur 1cm dicken Früchten durch Aufnahme ins Guinness Buch der Rekorde auch offiziell die schärfste Paprika der Welt.



Varietät	Schärfe [SHU]	Würzsauce	Schärfe [SHU]
Bell/sweet	0–100	Red Devil	300
New Mexican	800–1000	McIlhenny's Tabasco®	3.000
Espanola	1000–1 500	Inner Beauty Real Hot Sauce	15.000
Ancho & Pasilla	1000–2 000	Endorphin Rush Hot Sauce	33.000
Cascable & Cherry	1000–2 500	Blair's After Death Sauce	50.000
Jalapegno & Mirasol	2.500–5.000	Da' Bomb Beyond Insanity Hot Sauce	120.000
Serrano	5.000–15.000	Dave's Ultimate Insanity	250.000
De Arbol	15.000–30.000	Pure Cap	500.000
Cayenne & Tabasco	30.000–50.000	Satan's Blood Chile Extract	800.000
Chiltepin	50.000–100.000	Mad Dog's Revenge	1.000.000
Scotch Bonnet & Thai	100.000–350.000	Smack my Ass and call me Sally	1.500.000
Habanero	200.000– 350.000	Vicious Viper	2.000.000
Habanero „Red Savina“	577.000	Black Mamba Hot Sauce	2.500.000
Bhut Jolokia	1.001.000	Mongoose Hot Sauce	3.000.000



Zunge. Im Gegensatz dazu tut eine Prise Cayenne-Pfeffer auf der Zunge zwar genauso höllisch weh, aber der Schmerz vergeht nach einigen Minuten ohne Nachwehen. Durch viele Studien durchschauen wir aber inzwischen dieses chemische Täuschungsmanöver. Einer der in den Zellmembranen eingelagerten Rezeptoren ist TRPV1 (*transient receptor potential vanilloid subfamily 1*). Dieses Protein ist ein Wärmesensor [28] (Abbildung 10). Überschreitet die Temperatur 43 °C [26], öffnet der Rezeptor einen Kanal, durch den Calcium- und Natriumionen ins Zellinnere strömen. Durch den Einstrom von positiv geladenen Ionen ändert sich kurzzeitig die Potenzialdifferenz über der Zellmembran und diese Spannungsänderung ist nichts anderes als das elektrische Signal, das schließlich bis ins Zentralnervensystem gelangt.

Dieser Wärmesensor ist ein wichtiger Schutzmechanismus, denn durch die Öffnung des Ionenkanals im TRPV1-Rezeptor kann uns das Zentralnervensystem vor einer möglichen Verbrennung warnen. Capsaicin spielt uns einen Streich, indem es an den TRPV1-Rezeptor bindet und dadurch den Schwellenwert der Kanalöffnung von 43 °C auf Werte unterhalb der Körpertemperatur absenkt [29]. Dann ist der Ionenkanal im TRPV1-Capsaicin-Komplex dauerhaft geöffnet und schickt entsprechende Impulse an das Gehirn, das uns mit dem Sinneseindruck „Schmerz“ vor einer potenziellen Verbrennung warnt. Und das mit Macht, denn Capsaicin „brennt“ auf der Zunge wie heiße Suppe!

Eine Besonderheit der Wirkung von Capsaicin auf den Rezeptor ist das Phänomen der Desensitivierung [30], d.h. die mit regelmäßiger Aufnahme verbundene Verringerung der Empfindlichkeit. Dies entspricht unserer Erfahrung, dass Menschen in anderen Kulturkreisen extrem scharfe Spei-

sen verzehren können, die für uns nicht zu ertragen sind. Zwei Effekte können zur Gewöhnung beitragen. Einmal könnte nach regelmäßiger Anregung *die Weiterleitung des Schmerzsignals zum Zentralnervensystem gedämpft werden* [31] oder zum anderen könnte die ständige Erregung zu einem teilweisen Abbau von TRPV1-haltigen Neuronen [32] führen.

Insgesamt muss also ernüchternd festgestellt werden, dass zu scharfe Paprikaschoten auf der Zunge genauso „schmecken“ wie zu heiße Kartoffeln. Mit dem empfundenen Schmerz warnt uns das Gehirn einmal vor einer tatsächlich und das andere Mal vor einer eingebildeten zu hohen Temperatur. In beiden Fällen kann es mächtig weh tun. Beim Capsaicin sollte aber trösten, dass unsere Rezeptoren auf einen primitiven Trick der Paprikaschote hereingefallen sind und unser Gehirn es nie merkt. Ein Blick auf die chemische Strukturformel von Capsaicin weist uns die Richtung für die Erste Hilfe: Capsaicin ist nur wenig polar, also in Wasser schlecht und in Fett gut löslich. Experimentell wurden verschiedene Gegenmittel gegen das Zungenbrennen miteinander verglichen [33]: Wasser ist völlig ungeeignet, genauso Bier, wirksam ist kalte Vollmilch oder Sahneis aus dem Kühlschrank. Vermutlich wird Capsaicin von Milchproteinen wie Casein vom Rezeptor verdrängt und anschließend in den feinen Fetttropfchen aufgelöst [34].

Wie scharf ist scharf?

Der Schärfeegrad von Paprika ist sowohl für die industrielle Verarbeitung als auch für den privaten Verbraucher ein wichtiges Qualitätskriterium. Der Käufer will *vorher* wissen, wie scharf die Paprika sind, damit nach der Verarbei-



ABB. 13 | CAPSAICIN ALS DOPINGMITTEL IM REITSPORT



Ein Auftragen von Capsaicin auf die Beine von Springpferden definiert der Reiter-Weltverband FEI als Doping, denn die stärkere Durchblutung erhöht dort die Schmerzempfindlichkeit. Es wäre dann möglich, dass ein Springreiter beim Aufwärmen absichtlich einen Probesprung falsch anreitet. Das Pferd schlägt dann unweigerlich am Hindernis an, hat große Schmerzen und wird im anschließenden Wettkampf bei jedem Sprung vor lauter Angst die Beine ganz nach oben reißen.

Der 33-jährige Christian Ahlmann, Mitglied der deutschen Springreiter-Equipe und Europameister von 2003, wurde bei den Olympischen Spielen 2008 wegen der Verwendung von Capsaicin bei seinem 15-jährigen Wallach Köster disqualifiziert. Hinterher wussten, wie immer, weder Reiter noch Betreuer, wie das Capsaicin auf Kösters Beine gekommen war. Im gleichen olympischen Wettbewerb wurden drei weitere Springreiter wegen Capsaicin-Missbrauchs disqualifiziert, u.a. der Norweger Andre Hansen, wodurch Norwegen seine olympische Bronzemedaille an die Schweiz verlor. Da in vier Fällen von nur 15 getesteten Pferden Capsaicin nachgewiesen werden konnte, scheint es sich um eine rätselhafte Epidemie gehandelt zu haben, denn eine gemeinsame Nutzung einer Zahnpastatube durch die Pferde kann wohl ausgeschlossen werden.



tung das Produkt oder das Gericht tatsächlich die gewünschte Schärfe hat. Wie lässt sich Schärfe messen?

Der Chemiker *Wilbur Lincoln Scoville*, Chemiker beim Pharmaunternehmen Parke-Davis (heute Pfizer), entwickelte 1912 ein Messverfahren zur Bestimmung der Schärfe [35]:

Man übergießt ein grain (64,8 mg) vermahlene Paprikafrucht mit 100 ml reinem Ethanol und lässt es über Nacht stehen. Nach sorgfältigem Schütteln wird filtriert. Das Filtrat wird solange mit gesüßtem Wasser verdünnt, bis die Schärfe auf der Zunge nicht mehr spürbar ist. Der so gemessenen Verdünnungsgrad ist ein Maß für die Schärfe.

Schon Scoville verglich die Schärfe von Paprika aus Japan, Kenia und Sansibar und kam auf Verdünnungen von bis zu 1:100 000. Zu seinen Ehren benannte man die Maßeinheit der Schärfe als SHU (*Scoville Heat Unit*). Die Messung der SHU-Schärfe ist aufwendig, denn es müssen immer mindestens sechs unabhängige Tester die verschiedenen Verdünnungen bewerten. Heute ersetzt eine chemisch-analytische die organoleptische Messung. Dazu wird die Menge von Capsaicin und Dihydrocapsaicin mit der HPLC-Technik (*High-Performance Liquid Chromatography*) quantifiziert [36]. Zur Bestimmung des Umrechnungsfaktors eines Capsaicin-Gehalts in Scoville-Einheiten wurde der SHU-Wert von reinem Capsaicin bestimmt. Die Scoville-Skala ist eben nicht

„nach oben offen“, sondern endet bei 16 Mio SHU, dem Schärfegrad des reinen Capsaicins (Abbildung 11) [37].

Die schärfste Paprika-Varietät ist gegenwärtig die aus der indischen Provinz Assam stammende *C. chinense*-Varietät *Bhut Jolokia* mit 1 Million SHU. Beim Verarbeiten der etwa 5 cm langen und 1 cm dicken Schoten sollte man in der Küche Handschuhe tragen, da selbst geringste Spuren in Wunden oder ins Auge gebracht äußerst starke Schmerzen verursachen (Abbildung 12). Hierbei stellt sich dem Paprika-Liebhaber grundsätzlich die Frage nach der Toxizität von Capsaicin. Das *Scientific Committee on Food* der Europäischen Kommission hat 2002 in einem Bericht Entwarnung gegeben [38]. Bei den in unseren Breiten aufgenommenen Capsaicin-Mengen (etwa 1,5 mg täglich) bestehen keinerlei Gefahren. In Ländern wie Indien, Thailand und Mexiko ist die tägliche Aufnahme um den Faktor 100 höher und dort gibt es Hinweise auf ein erhöhtes Risiko von Krebserkrankungen im oberen Verdauungstrakt.

Auf der ganzen Welt erfreuen sich aus Paprika hergestellte Gewürzsaucen großer Beliebtheit. Tabasco® & Co. sind einfach zu dosieren und geben ohne großen Aufwand Gerichten den richtigen Pepp. Diese Saucen können mit mehr als 1 Million SHU extrem scharf sein (Abbildung 11), da sie durch die Extraktion von Paprikafrüchten hohe Konzentrationen von Capsaicin enthalten. Wer aber schon nach ein paar Tropfen Tabasco® nach Luft schnappt, gehört aus

ABB. 14 | ANGEWANDTE CAPSAICINOLOGIE



In vielen Städten bieten Imbiss-Unternehmer seit einiger Zeit extrem scharfe Currywürste an. Der Frankfurter Imbiss „Best Worscht in Town“ würzt seine hervorragenden Currywürste in den Schärfegraden A = Angefeuertes Curry, B = Habanero-Chili, C = Puperzen Burner, D = Oral Warrior, E = Godfather's Hell Kiss und F = „FBI“ Fucking Burning Injection, wobei ab Schärfegrad C die Abgabe nur an Volljährige und auf eigene Gefahr erfolgt. Offensichtlich sehen die gutsituierten, vorwiegend männlichen Besucher in dem schmerzvollen organoleptischen Abenteuer eine willkommene Abwechslung in der Eintönigkeit des Frankfurter Geschäftslebens.



Sicht der *chili beads* noch zu den Weicheiern, denn mit 3000 SHU ist diese Sauce noch recht milde. Bei Kennern beginnt die wahre Saucenfreude erst im höheren fünfstelligen SHU-Bereich und über die Qualitäten der verschiedenen Saucen wird in Büchern [39] und im Internet fortwährend diskutiert und gestritten [40].

Nicht-kulinarisches über Paprika

Neben dem direkten Verzehr als Gemüse oder Gewürz haben Paprikaprodukte viele weitere Anwendungen gefunden. Einmal ist Paprika der Rohstoff zur Gewinnung eines der wichtigsten Lebensmittelfarbstoffe, E160c. Hinter der kryptischen und von vielen Verbrauchern als „Chemie“ abgetanen Abkürzung verbirgt sich nichts anderes als der Farbstoffextrakt aus Paprika, im Wesentlichen ein Gemisch der Paprikaketone Capsanthin (22) und Capsorubin (24). Mit E160c verleiht die Lebensmittelindustrie Cerealien, Getränken, Soßen, Suppen und Süßwaren eine kräftige Farbe. Mag sein, dass kritische Verbraucher Fertigprodukte dieser Art aus geschmacklichen Gründen ablehnen, am E160c kann es jedenfalls nicht liegen, es ist ein reines Naturprodukt.

Die pharmakologische Wirksamkeit der Scharfstoffe führte zu interessanten Produkten und fantasievollen und skurrilen Einsatzgebieten. So stellt eine relativ konzentrierte Capsaicin-Lösung in Sprühdosen eine äußerst wirkungsvolle Waffe dar, die einen Gegner vorübergehend kampfunfähig macht, ohne dass eine Langzeitschädigung zu befürchten ist. Diese sogenannten Pfeffersprays (*polizeideutsch*: Reizstoffsprüngerät) fallen in Deutschland unter das Waffengesetz und können unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit von der Polizei eingesetzt werden.

Die unangenehme Wirkung von Capsaicin empfinden nicht nur wir Menschen, sondern auch viele Tiere. Pfeffersprays können Postbeamte gegen aggressive Hunde einsetzen, Autobesitzer können Mardern den Appetit auf die Isolation der elektrischen Kabel im Motorraum durch Einreiben mit Capsaicin-Salbe verderben. Auch Wildtieren, z.B. Rotwild oder Elefanten, kann das Abgrasen von Zier- und Nutzpflanzen verleidet werden [41], und kleine Nager, z.B. Eichhörnchen, können davon abgehalten werden, Vogelfutter zu fressen. Den Vögeln schadet Capsaicin nicht, denn sie haben keine entsprechenden Rezeptoren [42].

Capsaicin wird auch therapeutisch genutzt. Das 1928 entwickelte Hansaplast ABC-Wärmepflaster und daraus weiterentwickelte Wärme-Salben sind typische Beispiele [43]. Ursprünglich wurde das Pflastermaterial mit Arnika, Belladonna und Capsaicin getränkt, jedoch schon lange nur noch mit Capsaicin. Die therapeutische Wirkung von Capsaicin beruht auf der Ausschüttung von Substanz P (*P für pain*, engl. *Schmerz*). Dieses Neuropeptid aus 11 Aminosäuren, ermöglicht als *Botenstoff* (*Neurotransmitter*) die Signalweiterleitung im Zentralnervensystem. Weiterhin verur-

sacht Substanz P eine Gefäßerweiterung und die damit verbundene bessere Durchblutung wird, zumindest in Grenzen, als wohlige Wärme empfunden. Zusätzlich induziert Substanz P die Bildung von Endorphinen, also körpereigenen morphinähnlichen Verbindungen, die schmerzstillend wirken. Nach Auftragen der Pflaster oder der Salbe kommt es zuerst zu einem kräftigen „Brennen“ der behandelten Hautareale (Nozizeptoren), gefolgt von einem Wärmegefühl (verbesserte Durchblutung) und schließlich zu einer schmerzstillenden Wirkung (Endorphine).

Die durchblutungsfördernde Wirkung wird auch im Reitsport ausgenutzt, in dem die Vorderbeine der Springpferde im Training mit capsaicinhaltiger Salbe eingerieben werden. Die stärkere Durchblutung führt zunächst zu einer Schmerzsensibilisierung und ein Kontakt mit dem Hinderis ist für das Pferd äußerst schmerzhaft. Capsaicin ist deswegen im Pferdesport ein verbotenes Dopingmittel (Abbildung 13).

Fassen wir das großartige chemische Können der Gattung Paprika zusammen:

- Paprika ist in seinen milden Varietäten ein wunderbares Gemüse, das uns mit seinen kräftigen Farben erfreut. Je nach Reifezustand ein kräftiges durch Chlorophyll verursachtes Grün oder im Reifezustand durch die nur von Paprika biosynthetisierten tiefroten Farbstoffe Capsanthin und Capsorubin. Das Staunen über diese fantastische Syntheseleistung wird noch dadurch gesteigert, dass Paprika dabei eine äußerst ungewöhnliche Pinakol-Umlagerung vollbringt.
- Das aus Paprika gewonnene Capsanthin/Capsorubin-Gemisch (22/24) nutzen wir unter dem nüchternen Kürzel E160c als prächtig roten Lebensmittelfarbstoff z.B. für Getränke.
- Paprika enthält sehr viel Vitamin C und ist deswegen ein besonders hochwertiges Gemüse. Der Ungar Albert Szent-Györgyi konnte aus Paprika erstmals größere Mengen des Vitamins isolieren, so dass die Struktur und später eine ergiebige technische Synthese entwickelt werden konnte. Dafür bekam Szent-Györgyi 1937 den Nobelpreis für Physiologie und Medizin verliehen. Den hätte die Paprika für ihre Syntheseleistung eigentlich auch verdient.
- Das charakteristische Aroma verleiht der Paprika das 2-Methoxy-3-isobutylpyrazin (11), das Menschen noch in einer Verdünnung von 2: 1000 000 000 am Geruch erkennen können und somit zu den für Menschen geruchsintensivsten Verbindungen überhaupt zählt. Besonders die schärferen Varietäten haben ein ausgeprägtes fruchtiges Aroma, das Paprika aus Estern und Terpenen kreiert hat.
- Auch die Scharfstoffe der Paprika sind in der Natur einzigartig. Durch Verknüpfung von mittleren aliphatischen Carbonsäuren und einem Vanillinderivat entstehen Capsaicin & Co. (22–25), die auf unserer Zunge an Ther-





morezeptoren binden und uns dadurch eine potenzielle Verbrennung vorgaukeln, die wir – zumindest in gewissen Grenzen – als wohlige Wärme empfinden.

Bitte, sagen Sie jetzt nicht, Paprika hätte nichts mit Chemie zu tun!

Zusammenfassung

Überall auf der Welt sind die Arten der Gattung Paprika (*Capsicum*) beliebte Bestandteile der Nahrung. Die Biochemie von Paprika und Chili bietet uns viele Überraschungen. So beruht die brillante rote Farbe auf den „Paprika-ke-tonen“, die nur von Paprika synthetisiert werden. Die von vielen Menschen so geschätzte Schärfe beruht auf Capsaicin und Dihydrocapsaicin, auch diese kann nur Paprika herstellen. In Anbetracht der außerordentlichen Biochemie sollten wir in Zukunft Paprika, Chilis, Jalapeños und Habaneros mit mehr Respekt vor deren chemischen Syntheseleistungen genießen.

Danksagung

Ich bedanke mich bei Dr. S. Steller und Dr. P. Winchester, Freie Universität Berlin für ihre Unterstützung und Mithilfe.

Literatur

- [1] *loc.cit.* in *The Pepper Trail*, J. Andrews, **1999**, The University of North Texas Press, Denton, Texas; Melegueta-Pfeffer (*Aframomum melegueta*) ist ein westafrikanisches Ingwergewächs, dessen Samen (Paradieskörner) als scharfes Gewürz verwendet werden.
- [2] Wie wertvoll Pfeffer war, beweisen die in den darauf folgenden Jahrhunderten ausgebrochenen Kriege um die Vorherrschaft im internationalen Pfefferhandel zwischen Portugal, England und Holland.
- [3] *loc. cit.* in *Dangerous Tastes*, A. Dalby, **2000**, British Museum Press, London.
- [4] Bis heute ist unklar, ob Tournefort den Namen vom lateinischen *capsa* (Box, Kiste) nach der äußeren Form oder vom griechischen *kapto* (Ich brenne) von der Schärfe ableitete.
- [5] *Gewürze*, E. Vaupel, **2002**, Deutsches Museum München.
- [6] L. Perry *et al.*, *Science*, **2007**, 315, 986; L. Perry und K.V. Flannery, *Proc.Nat.Acad.Sci.*, **2007**, 104, 11905.
- [7] Schon die Namensgebungen machen ratlos, denn *C. annuum* ist keineswegs nur einjährig, *C. baccatum* trägt nicht nur beerenförmige Früchte, *C. chinense* stammt aus der Karibik und nicht aus China und die Blätter von *C. pubescens* sind nicht immer behaart. Weiterhin ist die Abgrenzung der verschiedenen Arten unter Botanikern strittig und manche Autoren fassen z.B. *C. chinense* und *C. frutescens* zu einem Komplex zusammen.
- [8] Die *Capsicum*-Frucht ist botanisch keine Schote, sondern eine Hohlbeere, da sich diese Schließfrucht aus nur einem Fruchtknoten gebildet hat und die Fruchtwand (Perikarp) der reifen Frucht saftig und fleischig ist.
- [9] C. B. Heiser, Jr., *Of Plants and People*, **1992**, University of Oklahoma Press, Norman.
- [10] Übersicht: J. Chandrashekar *et al.*, *Nature*, **2006**, **444**, 1476; *Umami* (jap: herzhaft, köstlich) ist eine 1908 erstmals von Kikunae Ikeda beschriebene Geschmacksqualität, die besonders von natürlichem Glutamat verursacht wird (S. Yamaguchi und K. Ninomiya, *J. Nutrition*, **2000**, 130, 921). Diese Verbindungen werden als Geschmacksverstärker (E620–E625) in der industriellen Nahrungsmittelproduktion eingesetzt, sind aber auch in vielen Lebensmitteln wie Fleisch, Muscheln, Pilzen, reifen Tomaten und in Käse (besonders Parmesan) enthalten.

- [11] Unter dem Begriff Carotinoide fasst man die Carotine (C₂₀-Kohlenwasserstoffe) und deren sauerstoffhaltige Abkömmlinge, die Xanthophylle, zusammen.
- [12] B. Camara und R. Monegar, *Phytochemistry*, **1978**, 17, 91.
- [13] Diese roten Farbstoffe finden sich tatsächlich nur noch in ganz wenigen, mit Paprika nicht verwandten Berberitzen- und Lilienarten und in der Rosskastanie. V.S. Govindarajan, *CRC Crit. Rev Food Sci.Nutr.*, **1986**, 24, 245.
- [14] Tiere können Carotinoide überhaupt nicht synthetisieren, nehmen sie aber mit der pflanzlichen Nahrung auf und verwenden sie direkt oder nach chemischer Modifikation: Hühner färben damit ihre Eidotter gelb, Flamingos ihr Gefieder rosa und Lachse erhalten ihre charakteristische Fleischfarbe über die Carotinoide in ihrer Nahrung. Der Ägyptische Geier (*Neophron percnopterus*) verdankt seine einzigartig gelbe Gesichtsfarbe seinem extravaganten Geschmack: Er ernährt sich zu einem großen Teil vom Dung pflanzenfressender Tiere. Eidotter: K. Roth, *Chemie Unserer Zeit*, **2009**, 43, 100; Lachse und Flamingos: M. Ratermann, *Chemkon*, **2001**, 8, 149; K. Meyer, *Chem.Unserer Zeit*, **2002**, 36, 178; Ägyptischer Geier: J.J. Negro *et al.*, *Nature*, **2002**, 416, 807.
- [15] Stefan F. Kirsch, *Nachr. Chemie*, **2008**, 56, 1228–1231.
- [16] Achtung: In den Naturwissenschaften sind bei Abkürzungen die amerikanischen Zahlennamen gebräuchlich, *ppb* ist die Abkürzung für *parts per billion*, wobei mit einer *billion* eine deutsche Milliarde und mit einer *trillion* eine deutsche Billion gemeint ist.
- [17] L.W. Haymon und L.W. Anrand, *J. Agric. Food Chem.* **1971**, 19, 1131.
- [18] Mit Ausnahme einer einzigen Varietät von *H. sapiens*, dem „Organischen Synthesechemiker“. Aber diese Varietät scheut wegen des großen Aufwandes die eigene Synthese und greift vorzugsweise auf das Naturprodukt zurück.
- [19] Mit großer Wahrscheinlichkeit lag ein Gemisch vor. M. Thresh, *Pharm.J.Trans.* **1876**, 7.
- [20] E.K. Nelson, *J.Am.Chem.Soc.* **1919**, 41, 1115.
- [21] L. Crombie *et al.* *J.Chem.Soc.* **1955**, 1025; P.M. Gannet *et al.* *J.Org.Chem.* **1988**, 53, 1064; H. Kaga *et al.*, *J.Org.Chem.* **1989**, 54, 3477.
- [22] P.H. Todd, Jr. *et al.*, *J. Food Sci.*, **1977**, 42, 660.
- [23] B.C.N. Prasad *et al.*, *Proc.Nat.Acad.Sci.*, **2006**, 103, 13315.
- [24] B.C.N. Prasad *et al.*, *Proc.Nat.Acad.Sci.*, **2008**, 105, 20558.
- [25] Im Begriff „Nozizeptor“ sind die Begriffe *nocere* (lat. Schmerzen) und *rezeptere* (lat. empfangen) verbunden, weswegen sie auch als Schmerzrezeptoren bezeichnet werden. Dies ist allerdings nicht korrekt, denn die von den Nozizeptoren erzeugten elektrischen Signale werden erst im Gehirn zur Sinneswahrnehmung „Schmerz“ weiterverarbeitet. Ob tatsächlich Schmerz subjektiv empfunden wird, hängt in hohem Maße auch von anderen Faktoren ab. Geburtsschmerzen werden häufig nicht als solche, sondern als Glück empfunden, im Gegensatz zu kleinsten Zahnbehandlungen, bei denen selbst geringste Schmerzen unerträglich erscheinen.
- [26] *Nociceptors: the cells that sense pain*, A. Fein, <http://cell.uchc.edu/faculty/fein/nociceptors.pdf>.
- [27] Nicht nur der Gesichtsbereich, sondern der gesamte Körper ist von Nervenzellen durchzogen, an deren Endigungen Nozizeptoren vorhanden sind. Diese Schmerzsensoren stellen einen lebenswichtigen Schutzmechanismus dar. Siehe: A.I. Basbaum und D. Julius, *Spektr. Wissensch.*, **2007**, Juli, 44.
- [28] M.J. Caterina *et al.*, *Nature*, **1997**, 389, 816; A. Maelicke, *Nachrichten Chemie*, **2000**, 48, 946; D.E. Clapham, *Nature*, **2003**, 426, 517; W.Greffrath, *Der Schmerz*, **2006**, 20, 219.
- [29] D.B. Rusterholz, *J.Chem.Educ.* **2006**, 83, 1809.
- [30] A. Szallasi *et al.*, *Pharmacol. Rev.* **1999**, 51, 159.
- [31] V. Di Marzo *et al.*, *Curr.Opin.Neurobiol.* **2002**, 12, 372.
- [32] M. Fitzgerald, *Pain*, **1983**, 15, 109; Theodoros Kiapidis, ein 26-jähriger Deutsch-Grieche aus Lindau, bereitet sich durch Training mit tägliche steigenden Mengen an scharfen Schoten auf Wettkämpfe vor und wurde mit dem Aufessen von beeindruckenden 438



- Gramm eines zerkleinerten Chilischoten-Mischung in nur 12 Minuten Weltmeister im Chilischoten-Wettessen. *Lindauer Bürgerzeitung*, **2006**, 7. Juli (www.lindau-portal.de/bz_archiv/2006/bz_archiv=id4356.php).
- [33] C. W. Nasrawi und R.M. Pangborn, *Physiol.&Behav.*, **1990**, 47, 617.
- [34] R. Henkin, *JAMA*, **1991**, 266, 2766.
- [35] W.L. Scoville, *J.Am.Pharm.Assoc.*, **1912**, 1, 453.
- [36] T.A. Betts, *J.Chem.Educ.*, **1999**, 76, 240.
- [37] Reines Capsaicin kann nur unter extremen Schutzmaßnahmen (völlig geschlossene Ganzkörper-Schutzanzüge) gehandhabt werden kann. Das hindert vereinzelte *chili-heads* nicht daran, Ampullen mit Capsaicin ihrer Sammlung von scharfen Pulver und noch schärferen Saucen als Krönung hinzuzufügen.
- [38] http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out120_en.pdf.
- [39] *The Great Hot Sauce Book*, J.T. Thomson, **1995**, Ten Speed Press, Berkeley.
- [40] z.B. die sehr kenntnisreiche und informative Webseite www.pepper-world.com.
- [41] A.M. Rouhi, *Chem.Eng. News*, **1996**, March 4, 30.
- [42] Mit seinem Capsaicin Gehalt verhindert Paprika, dass nur Vögel und keine kleinen Säugetiere die Früchte essen, denn Säugetiere verdauen die Samen bzw. sie werden so verändert, dass sie nicht mehr keimen. Vögel scheiden einen erheblichen Anteil der Samenkörner unverändert und noch keimbar unter Schatten spendenden Bäumen aus, wo die Keimlinge besser wachsen. Siehe J.J. Tewksbury und G.P. Nabhan, *Nature* **2001**, 412, 403; M. Groß, *Chem. Unserer Zeit*, **2008**, 42, 306.
- [43] www.hansaplast.de/news/warmcare.html.
- [44] Fall Sie neugierig geworden sind, hier das Rezept. Die ausgenommenen Meerschweinchen (*Cuy*) werden wie ein Huhn im Ganzen verarbeitet. Die Tiere werden mit Aji-Gewürz eingegeben und nach einigen Stunden Marinieren in der Pfanne angebraten. Dazu werden Kartoffeln und eine scharfe Sauce gereicht. Üblicherweise werden die Meerschweinchen ganz, mit Kopf auf dem Teller angerichtet.
- [45] V.S. Govindarajan, *CRC Crit. Rev Food Sci.Nutr.*, **1986**, 24, 245.
- [46] B. Camara, *FEBS Letters* **1980**, 118, 315; *Biochem.Biophys.Res. Commun.* **1980**, 93,113; *ibid.* **1981**, 99, 1117.
- [47] J. Jurenitsch und U. Kastner, *Pharm. Unserer Zeit*, **1994**, 23, 93.
- [48] *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*, P.W.Bosland und E.J. Votava, 2000 CABI Publishing, Wallingford; H. Kollmannsberger, Dissertation TU München, 2007: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=986302880&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=986302880.pdf.
- [49] S. Brauchi *et al.*, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*, **2007**, 104, 10246.
- [50] E.D. Prescott und D. Julius, *Science*, **2003**, 300, 1284.
- [51] www.scottrobertsweb.com/scoville-scale.php.

