



# Optimierte Ernährung

## Anwendung von Fuzzy-Logik in der Ernährung

Von Bernd Wirsam

Ein auf Prävention ausgerichteter Lebensstil könnte nicht nur zahlreiche Menschen vor Krankheit und damit auch Leid und Schmerzen schützen, sondern außerdem volkswirtschaftlich einen erheblichen Beitrag zur Eindämmung der Krankenkosten leisten. Die richtige Ernährung spielt dabei eine wichtige Rolle. Bisher gelang es der institutionalisierten Ernährungsberatung jedoch kaum, durch qualitative Erfolgskontrollen Effektivität und Effizienz nachzuweisen. Die Akzeptanz und Verhaltenswirkung von Beratungsmaßnahmen wird einerseits durch persönlichen Konservatismus und fehlendes Bewußtsein für Eigenverantwortlichkeit eingengt, andererseits ist aber auch das inhaltlich-methodische Vorgehen in der Ernährungsberatung kritisch zu hinterfragen.

Der Bedarf an Nahrungsenergie und Nährstoffen ist für jeden Menschen unterschiedlich, weil dieser von Geschlecht, Alter, Körpermaßen, genetischer Ausstattung und Lebensstil abhängt. Die offiziellen Einrichtungen, die dafür zuständig sind, Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr für die allgemeine Bevölkerung verantwortungsvoll auszusprechen, wie in Deutschland die DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung), in der EU das SCF (Scientific Committee for Food) oder in den USA das USDA (U.S. Department of Agriculture), geraten dadurch in ein Dilemma.

Grobe Unterscheidungen nach Geschlecht und Alter versuchen diese Einrichtungen zwar zu berücksichtigen, indem die Empfehlungen in entsprechende Gruppen gegliedert werden. Auch die körperliche Aktivität wird durch angemessene Erhöhung der Zufuhr der Nahrungsenergie berücksichtigt. Um jedoch in jeder Gruppe wirklich fast alle Menschen durch die Empfehlungen sicher mit allen

Nährstoffen zu versorgen, werden bei der Mindestzufuhr starke Sicherheitszuschläge gegeben. Für die Energiezufuhr orientiert sich die Empfehlung jedoch an dem Durchschnittsbedarf, um so der Förderung von Übergewicht vorzubeugen. Für fast alle anderen Nährstoffe wird der Durchschnittsbedarf um die doppelte Standardabweichung ergänzt, um so für 97,5% der Bevölkerung eine sichere Zufuhrempfehlung zu geben. Die statistische Verteilung und das Vorgehen der offiziellen Einrichtungen verdeutlicht Abbildung 1. Diese Sicherheitszuschläge implizieren umgekehrt, dass die meisten Menschen mit Nährstoffzufuhren auskommen würden, die deutlich unter den offiziellen Empfehlungen liegen.

Ähnliche Vorsicht wird bei der Festlegung oberer sicherer Zufuhrmengen angewandt. Je nach Schwere der zu erwartenden gesundheitlichen Schädigungen werden die Mengen, bei denen zuerst negative Folgen beobachtet werden, mit Sicherheitsfaktoren multi-

pliziert, um zu den tolerierbaren Grenzwerten zu kommen. Hier hat ein Großteil der Bevölkerung bei Zufuhrmengen, die deutlich oberhalb der offiziellen Grenzwerte liegen, gleichfalls mit keinen negativen gesundheitlichen Folgen zu rechnen.

Sowohl die Vorgehensweise beim Festlegen der Empfehlungen, wie auch bei der Bestimmung der Grenzwerte führen zu einer dem Individuum nicht entsprechenden Einengung des Intervalls der tolerierbaren Zufuhrmengen. Außerdem werden die Grenzen des zugelassenen Intervalls als scharfe Zahlen angegeben und in der Praxis der Ernährungsberatung auch scharf interpretiert.

Alle Personen, die versuchen, die Empfehlungen zu beachten, und besonders diejenigen, die professionelle Ernährungsberatung durchführen, sollten an dieses Dilemma denken. Für individuelle Beratungen können diese offiziellen Empfehlungen nur als grobe Orientierungshilfe dienen. Eine intensive Beschäftigung mit den Voraussetzungen der einzelnen Person ist notwendig, um wirklich qualifizierte individuelle Beratung zu geben und nicht Überflüssiges oder Unerreichbares zu empfehlen.

Bei der Einschätzung des Bedarfs eines Individuums spielen neben Alter, Geschlecht, Körpergewicht und -größe auch andere Körperindikatoren und die genetische Veranlagung eine bedeutsame Rolle. Einfache Messungen geben Auskunft über den Fettanteil und die Fettverteilung im Körper. Aus den Blutwerten lassen sich Erkenntnisse über den Status der Nährstoffversorgung und damit verbundene

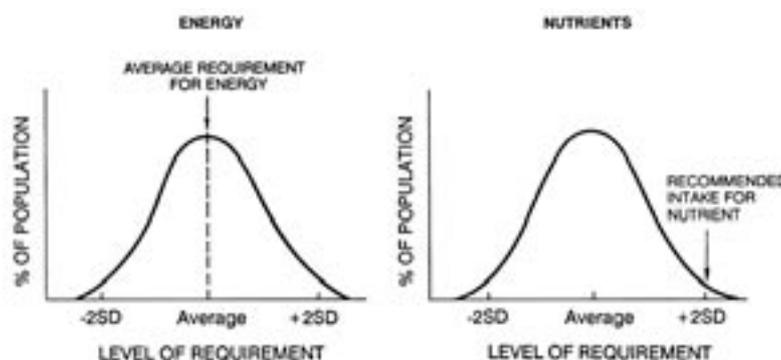


Abb. 1: Statistische Verteilung des Bedarfs an Nahrungsenergie und Nährstoffen und das Festlegen der Empfehlungen



Bernd Wirsam, Jahrgang 1944. Studium der Physik in Göttingen und Gießen. Sommerinstitut 1969 in Schweden und Norwegen. 1971 Promotion in Physik bei Prof. Dr. Peyerimhoff. 1974-1977 Dozent für Theoretische Physik und Quantenchemie an der Universität Gießen. 1977 Gründung des Softwarehauses ALBAT+WIRSAM, Linden. Seit 1994 Entwicklung von Software auch für die Ernährungsoptimierung u.a. für die DGE. 1995 1. Preis „Innovativer Mittelstand“. 2002 Promotion in Ernährungswissenschaft bei Prof. Dr. Ingrid-Ute Leonhäuser, Universität Gießen, über Anwendung von Fuzzy-Logik in der Ernährung.

Risiken ablesen. Sobald Risiken erkannt sind, plant der Arzt oder die Ernährungsberaterin eine entsprechende Therapie.

So können erhöhte Serum-Cholesterinwerte meist effektiv durch Veränderungen in der Ernährung oder durch Erhöhung der körperlichen Aktivität, manchmal aber auch nur durch Medikamente gesenkt werden. In seltenen Fällen führen aber selbst alle Maßnahmen zusammen nicht zum gewünschten Ziel; ganz selten hilft nur noch das Herauswaschen des Serumcholesterins mit Filtermaschinen oder gar eine Lebertransplantation. Das unterschiedliche therapeutische Ansprechen auf durchgeführte Maßnahmen hat häufig eine genetische Ursache, deshalb muss ein individueller Therapieansatz die Veranlagung mit berücksichtigen.

Kleinste Abweichungen in den Gensequenzen können zu verändertem biochemischen Verhalten

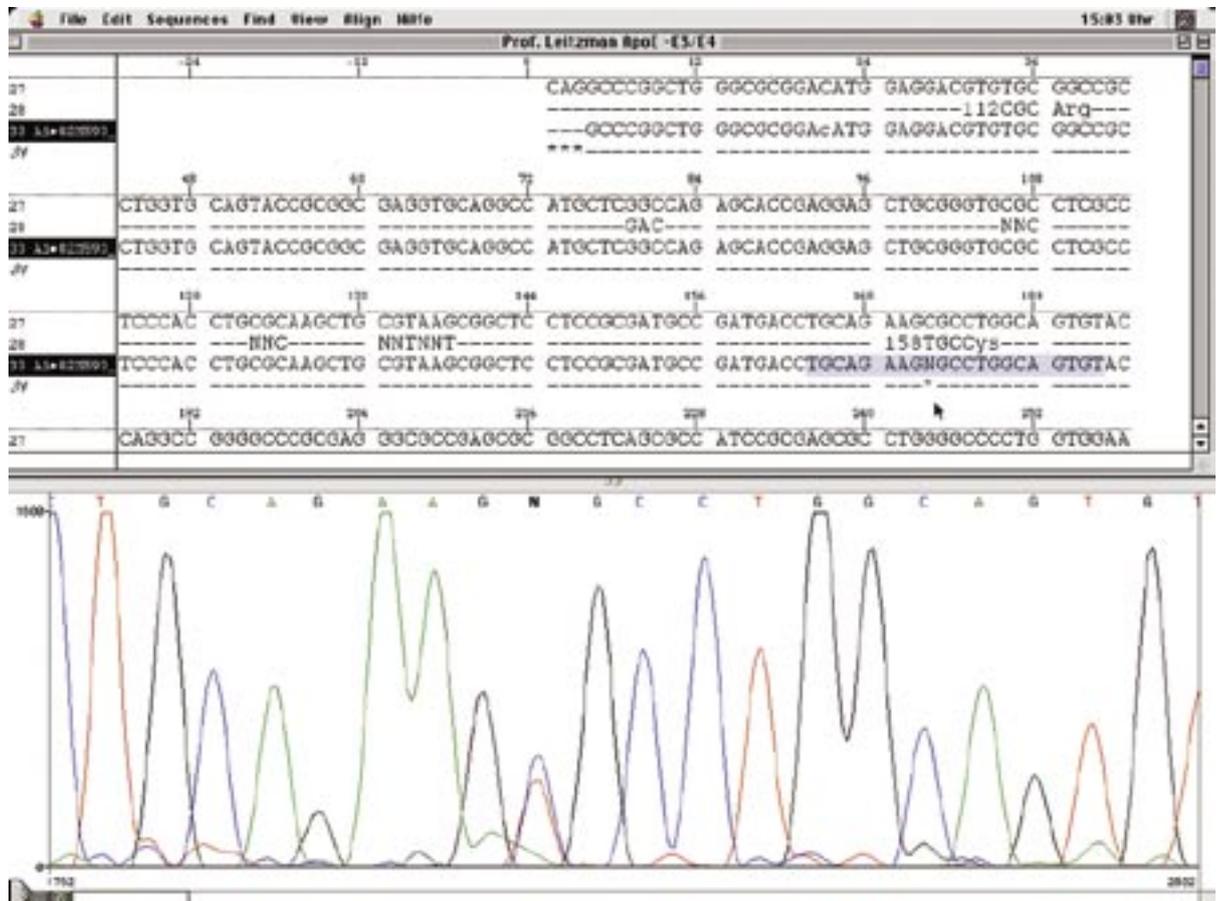
von Enzymen führen und Vor- oder Nachteile für das Individuum oder auch für eine Population nach sich ziehen. Das Prinzip der Evolution hat über viele Millionen Jahre dafür gesorgt, dass sich dabei fähige Systeme in ihrer Interaktion mit der Umwelt entwickeln und dass sich die fittesten Arten durchgesetzt haben.

Einige der heute bekannten ernährungsabhängigen Krankheiten haben eindeutige genetische Ursachen, so die familiäre Hypercholesterinämie (Rezeptordefekt), die Phenylketonurie (Enzymdefekt), die Hämochromatose (gesteigerte Eisenabsorption) und eine ganze Reihe weiterer. Diäten, die speziell auf diese Veranlagung hin optimiert werden müssen, werden als eine der therapeutischen Möglichkeiten eingesetzt.

Viel häufiger als Veränderungen an einem einzelnen Gen sind so genannte genetische Dispositionen,

bei denen die Wechselwirkung verschiedener Gene und verschiedener Varianten bestimmter Gene mit anderen Faktoren, insbesondere Lebensstilfaktoren, wie Ernährung und körperliche Bewegung, zu gesundheitlichen Entgleisungen führen. Dazu zählen praktisch alle modernen Zivilisationskrankheiten wie Übergewicht, Diabetes mellitus Typ II oder kardiovaskuläre Erkrankungen. Die Forschung auf dem Gebiet der Interaktionen zwischen Genen und der Modulation der Genexpression durch Umweltfaktoren ist sehr aktiv; inzwischen gibt es auch erste gesicherte Erkenntnisse.

Bestimmte genetische Varianten eines Lipoproteins (Allel ε4 beim ApoE) sind in industrialisierten Ländern mit erhöhten Serum-Cholesterinwerten assoziiert (Abb. 2), bei Naturvölkern aber nicht. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf den Einfluss des Lebensstils wie Ernährung und körperliche Aktivität.





Sind diese Zusammenhänge geklärt, so lässt sich ein individuell optimaler Lebensstil darstellen oder auch alt bekanntes Erfahrungswissen wissenschaftlich besser untermauern.

### Referenz-Fuzzy-Sets und individuelle Modifizier

Enzymaktivitäten zeigen eine gleitende (hyperbolische oder sigmoidale) Abhängigkeit von Substratkonzentrationen. Körperindikatoren, mit denen der Versorgungsstatus einer Person mit Nährstoffen festgelegt wird, korrelieren ebenfalls gleitend mit der Nährstoffzufuhr. Somit muss auch die Bewertung der Nährstoffzufuhr in einer stetigen Kurve die Probleme der Unterversorgung, den bedarfsgerechten oder optimalen Zufuhrbereich und die Probleme einer möglichen Überversorgung ohne scharfe Unter- oder Obergrenzen beschreiben. Die Fuzzy-Logik bietet sich bei der Modellierung solcher unscharfer Beschreibungen an und bietet darüber hinaus auch noch Möglichkeiten der Entscheidungsfindung und Optimierung. Eine solche Bewertungskurve, dargestellt als Fuzzy-Set, für eine Popu-

lation mit normaler Eisenabsorption zeigt das einfache Konzept (Abb. 3).

Ein toleranter breiter Bereich einer sicheren Zufuhr ist typisch für fast alle Nährstoffe. Eine Population mit erhöhter Eisenabsorption besitzt eine deutlich engere Bewertungskurve. Soll jedoch eine gemeinsame Bewertungskurve für beide Populationen aufgestellt werden, so wird die Kurve sehr eng und intolerant. Weder für die eine noch für die andere Subpopulation beschreibt sie eine vernünftige Bewertung, obwohl sie in Zielsetzung und Vorgehensweise dem offiziellen Ansatz entspricht.

Ein sinnvolles Verfahren kann daher darin bestehen, dass für eine Referenzpopulation oder ein Referenzindividuum ein entsprechender Fuzzy-Set festgelegt wird. Alle Abweichungen im Genotyp, Phänotyp und in den Lebensstilfaktoren führen dann zu Modifikationen des Referenz-Fuzzy-Sets. Nur in den Fällen, in denen die Datenlage über das Individuum zu unzureichend ist, sind Sicherheitszuschläge und Sicherheitsfaktoren angebracht.

In der Praxis einer professionellen Ernährungsberatung ist somit die intensive Beschäftigung mit der zu beratenden Person einschließ-

lich Familiengeschichte, Ernährungsstrukturen, Bewegungsgewohnheiten und sozio-ökonomischem Umfeld notwendig. Auch die Bestimmung derjenigen Körperindikatoren muss durchgeführt werden, die den Versorgungsstatus mit Nährstoffen beschreiben. Die Struktur des Ernährungsverhaltens lässt sich am besten durch das Führen eines validierten 7-Tage-Ernährungsprotokolles ermitteln.

### Analyse, Bewertung und Optimierung der Nährstoffzufuhr

Aus den Ernährungsprotokollen lassen sich die aufgenommenen Nährstoffe berechnen und die Zufuhr mit Hilfe der individuell modi-



ALBAT+ WIRSAM  
Software AG  
Ronald Adenauer Str. 15  
D-35440 Linden  
Tel. +49 6403 970-0  
Fax +49 6403 64390  
Mobil +49 151 16225 765  
Wirsam@al-w.de + www.al-w.de

Dr. Dr. Bernd Wirsam  
Vorsitzender des Aufsichtsrates

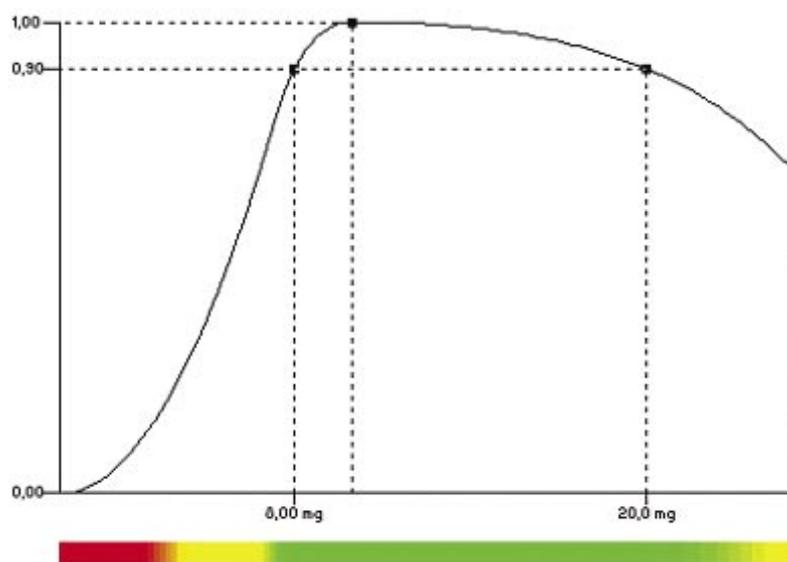


Abb. 3: Bewertung der Eisenzufuhr (Fuzzy-Set) für normale Eisenabsorption

fizierten Fuzzy-Sets einzeln bewerten. Ernährungsberatung soll Verhaltensänderungen beim Verzehr von Lebensmittel bewirken. Aussagen auf der Basis der Nährstoffe allein sind eher ungeeignet. Jede Empfehlung auf Lebensmittelbasis hat jedoch Wirkungen auf fast alle Nährstoffe, so dass die Verbesserung der Zufuhr bei einem Nährstoff sehr oft Verschlechterungen bei der Zufuhr anderer Nährstoffe zur Folge hat. Um diesen Konflikt zu lösen, ist es notwendig, eine Gesamtbewertung der Versorgung mit allen Nährstoffen zu finden. Der Durchschnitt der Bewertungen ist dafür jedoch genau so wenig geeignet wie das Minimum der Bewertung. In der Praxis hat sich ein Aggregationsoperator bewährt, der das Minimum mit der harmonischen Mittelung über die Bewertungen der Nährstoffzufuhr kombiniert. Angewandt auf alle Fuzzy-Sets ergibt sich damit der sogenannte Prerow-Wert, der eine Ge-

samtbewertung der Versorgung über alle Nährstoffe beschreibt.

Der so erhaltene Prerow-Wert kann mithelfen, zu entscheiden, ob ein Mehr oder Weniger eines Lebensmittels zu einer Verbesserung oder zu einer Verschlechterung der Versorgung mit Nährstoffen führt. So zeigt sich, dass ein erhöhter Verzehr an Gemüse bei durchschnittlicher Kost die Bewertung der Nährstoffversorgung verbessert (Abb. 4).

Wird der Verzehr von zwei oder mehr Lebensmitteln verändert, so spannt der Prerow-Wert eine Hyperebene auf. Wird der Verzehr von zwei Lebensmitteln variiert, so ergibt sich ein Hügel (Abb. 5).

Ernährungsoptimierung bedeutet, „auf den Hügel zu steigen“. Die Wege, die mit kleinen Änderungen

in den Verzehrsmengen von Lebensmitteln zu starken Verbesserungen der Gesamtbewertungen führen, sind für die Praxis der Ernährungsberatung besonders geeignet, weil hier mit relativ wenig Verhaltensänderung beim Verzehr ein Maximum an Verbesserung der Nährstoffzufuhr erreicht werden kann. Mathematisch gesehen handelt es sich bei diesen Wegen um den Gradienten der Hyperebene.

Die Wirklichkeit der Ernährungsberatung umfasst mehr als nur zwei Lebensmittel. Der aufgespannte Entscheidungsraum kann dann z.B. 140 Dimensionen besitzen. Kein Mensch kann sich einen solchen Raum vorstellen, noch kann eine Grafik davon erstellt werden. Ein Computerprogramm ist jedoch sehr wohl in der Lage, in einem solchen Raum den Gradienten zu berechnen, und kann die Wege aufzeichnen, die notwendig sind, um durch kleine Ernährungsveränderungen eine bessere Bewer-

$$PV := \min(\mu_{\lambda}(x_i)) \cdot \frac{1}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\mu_{\lambda}(x_i)}}$$

Der Prerow-Wert

zung der Nährstoffzufuhr zu erreichen. Dadurch wird ein großer Schritt zu einem gesünderen Lebensstil vollzogen oder einem diätetischen Ziel näher gekommen.

Die Analyse der Ernährung der meisten Menschen in Deutschland führt zu einer eher mäßigen Bewertung. Die Probleme beruhen oft auf einer zu fettreichen und kohlenhydratarmen Kost. Besonders kritisch ist eine zu hohe Zufuhr von gesättigten Fettsäuren und Nahrungscholesterin. Typisch sind auch Unterversorgungen mit Jod und Ballaststoffen. Hin und wieder ergeben sich Probleme mit zu wenig Vitamin D. Hier hilft die Eigensynthese dieses Vitamins in der Haut, ausgelöst durch den Aufenthalt im Tageslicht.

In der Allgemeinbevölkerung werden Unterversorgungen mit den übrigen Vitaminen oder den Mineralstoffen eher selten beobachtet.

### Topografie einer optimierten Ernährung

Die Topografie der dargestellten Hyperebenen zeigt viele für die praktische Anwendung wichtige und mit der Erfahrung konforme Eigenschaften. Da die Bewertung eines Durchschnittsdeutschen in der Regel im mittleren gelben Bereich liegt und hier die Topografie besonders starke Steigungen aufweist, hat dies für die Bewertung der Veränderung des Ernährungsverhaltens eine doppelte Bedeu-

zung. Es ist sowohl durch kleine Schritte in die falsche Richtung eine gravierende Verschlechterung der Bewertung möglich, wie auch durch kleine Schritte in die richtige Richtung eine deutliche Verbesserung erreichbar. Diese in der Praxis häufig anzutreffende Situation beschreibt daher eine besonders gefährdete Region, doch auch die Chance, durch kleine Verbesserungen weniger gefährdete Ernährungsstrukturen zu erreichen.

Der obere optimale grüne Bereich der Ernährungslandschaft zeigt Eigenschaften mit weitreichender Bedeutung. Im hochdimensionalen Raum aller zur Verfügung stehenden Lebensmittel kann das Optimum für eine gesunde Population durch ein Hochplateau charakterisiert werden. Es ist sehr flach, gegen Änderungen der Verzehrsmengen sehr stabil, fehlertolerant und hochgradig entartet. Das heißt, dass es unzählige teilweise sehr unterschiedliche Ernährungsstrukturen gibt, die zu gleich guten Bewertungen führen und in diesem Sinne „optimal“ sind. Die Zusammensetzung der Ernährung am Optimum hat häufig „primitive“ Strukturen mit relativ wenigen Lebensmitteln und großen Ähnlichkeiten zur Ernährung von Schimpansen, Bonobos und Vormenschen. In solchen Strukturen ist weder das Abwiegen von Verzehrsmengen noch der Einsatz von Computerprogrammen notwendig.

In industrialisierten Ländern erreicht jedoch kaum jemand dieses

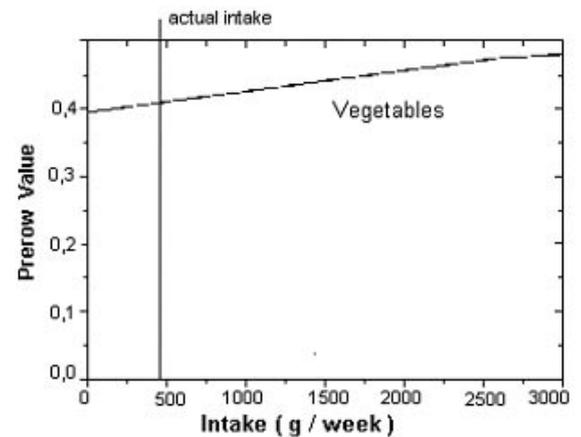


Abb. 4: Abhängigkeit des Prerow-Wertes vom Verzehr eines Lebensmittels

Plateau. Selbst Vollwertköstler liegen in der Fettzufuhr eher noch zu hoch. Bei Vegetariern, besonders Veganern, können zusätzliche Probleme bei der Unterversorgung mit Vitamin B<sub>12</sub>, Eisen oder Zink auftreten. In sogenannten Entwicklungsländern sieht die Bewertung wegen oft mehrfacher Unterversorgung mit essentiellen Nährstoffen meist noch schlechter aus. Naturvölker, die bezüglich ihrer Ernährung und körperlichen Aktivität ihren traditionellen Lebensstil beibehalten haben, sind meist gut versorgt.

Für den Durchschnittsdeutschen kann der Einsatz einer Ernährungsoptimierung in Richtung auf das Optimum zeigen, ohne dass angestrebt wird, dieses Optimum wirklich zu erreichen. Die Optimierung erfolgt zur Erhöhung der Akzeptanz als Kompromissbildung, und

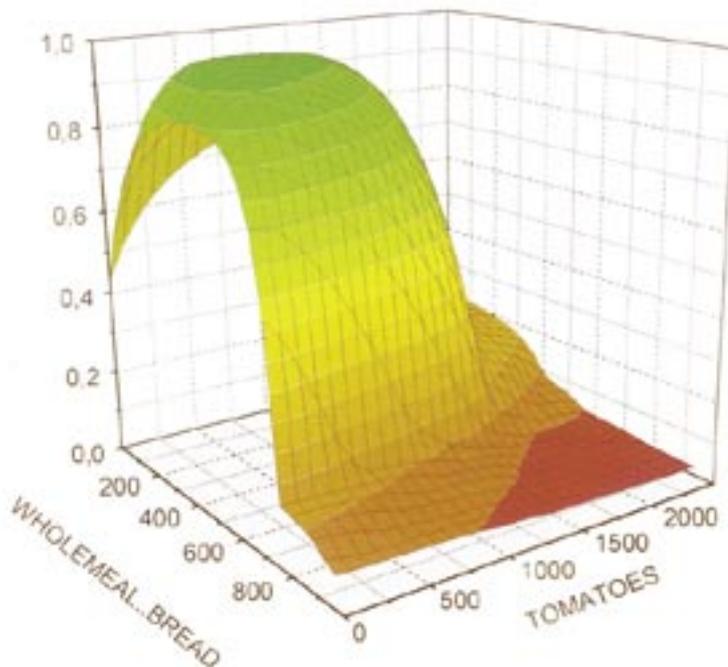


Abb. 5: Abhängigkeit des Prerow-Wertes vom Verzehr zweier Lebensmittel

zwar zwischen den erkannten Ernährungsstrukturen und einer für das Individuum definierten optimalen Nährstoffzufuhr. Die oben skizzierten Verfahren der Fuzzy-Logik werden in den Programmen der DGE (<http://www.dge.de>) verwendet, sowohl in den Versionen für die professionellen Ernährungsberater („DGE-PC-professional“) als auch in der Verbraucherversion („DGE Ernährung aktiv“).

#### Diäten, Lebensmittelallergien und -aversionen

Haben die individuell anzuwendenden Modifikationen der Referenz-Fuzzy-Sets genetisch oder krankheitsbedingt starke Änderungen

zur Folge, so wird von Diäten gesprochen. Lebensmittelallergien und -aversionen können zusätzlich den Raum der zur Verfügung stehenden Lebensmittel einengen. In solchen Fällen wird zwar vom Verfahren her wie bei der bereits beschriebenen Ernährungsoptimierung vorgegangen, jedoch mit anderen Daten als Grundlage. Eine Abbildung der häufigsten und wichtigsten Diäten, Lebensmittelallergien und -aversionen mit den damit verbundenen Modifikationen der Fuzzy-Sets sowie der Einengungen der zur Verfügung stehenden Lebensmittel im Entscheidungsraum erfolgt in dem Programm OptiDiet (<http://www.optidiet.de>).

Die Ergebnisse der Ernährungsoptimierung unterscheiden sich im

Falle von Diäten sowohl in den konkreten Schritten der Ernährungsänderungen als auch in den Strukturen der Topografie des Prerow-Wertes vom normalen Verhalten. Insbesondere kann es sein, dass der Prerow-Wert nicht mehr in der Lage ist, den grünen Bereich zu erreichen. So ist beim Vorliegen einer Phenylketonurie die Ernährungstherapie ein Kompromiss. In der Regel kann weder die bedarfsdeckende Versorgung mit Phenylalanin noch die Freiheit von Krankheitssymptomen erreicht werden. Das breite grüne Hochplateau des Prerow-Wertes für Gesunde verkümmert zu einer gelben Spitze. Die Aufgabe der Optimierung ist nun tatsächlich die Bestimmung eines Optimal-Punktes, um Leiden zu minimieren.

Die Modifikationen, die zu Diäten führen, können durch die Veränderung nur eines einzigen Fuzzy-Sets zustande kommen, wie bei einer Kochsalz- oder eisenarmen Diät. Häufig haben Diäten aber auch die Modifikation mehrerer Fuzzy-Sets zur Folge. Eine Diät, die ungünstige Blutfettwerte verbessern soll, führt zu Veränderungen der Fuzzy-Sets für Gesamtfett, gesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren, Nahrungscholesterin, komplexe und einfache Kohlenhydrate und lösliche Ballaststoffe. Durch die Bündelung aller Einflussfaktoren, zu denen auch körperliche Aktivität zählt, wird eine zielführende Annäherung an die diätetischen Vorgaben erreicht. So kann durch die kurmäßige Anwendung einer solchen Lebensstilintervention eine Verbesserung der Blutfettwerte um bis zu 30% erreicht werden, gerade auch in solchen Fällen, die durch familiäre Prägung (z.B. genetische Varianten des ApoE) derzeit als Schicksal hingenommen werden. •