**FOLIE 1**

**FOLIE 2**

Guten Abend meine Damen und Herren,

„Algorithmen“ in der Ernährung, was meinen wir damit überhaupt?

Zu den frühesten Entwicklungsstufen der Menschheit gehört die Evolution von Regeln im Verhalten miteinander, von Geboten und Gesetzen, von Sprache und Schrift. Wie bei allen evolutionären Systemen sind sie am Erfolg rückgekoppelt, selbstverstärkend und selbst organisierend.

Der dahinter liegende Algorithmus trat jedoch erst im klassischen Altertum im Rahmen der Mathematik und formalen Logik ins Bewusstsein (Euklid, Aristoteles, Archimedes mit seinem Algorithmus zur Approximation von $\pi$).

825 n.Chr. hat der arabische Rechenmeister und Astronom, Al-Chwarizni, das indische Zahlensystem in dem Buch "Algorithmi de numero Indorum“ eingeführt.

Daraus wurde das Wort Algorithmus abgeleitet.

**FOLIE 3**

Hier sehen wir nun besagten Al-Chwarizni auf einer sowjetischen Briefmarke und die lateinische Übersetzung seines Buches, beginnend mit „dixit Algorithmi“.

**FOLIE 4**

In der modernen Wissenschaft, in der Technik und in der Produktion, in der Natur und der Gesellschaft gibt es zahlreiche Vorgänge und Erscheinungen oder Prozesse, die sich durch Algorithmen, häufig in Form von Flussdiagrammen, beschreiben lassen.

Eine von vielen Definitionen lautet:

Ein Algorithmus liegt genau dann vor, wenn gegebene Größen, auch Eingabegrößen, Eingabeinformationen oder Aufgaben genannt, auf Grund eines Systems von Regeln, Umformungs-Regeln, in andere Größen, auch Ausgabegrößen, Ausgabeinformationen oder Lösungen genannt, umgeformt oder umgearbeitet werden können.

Kurzgefasst: Eine geregelte Prozedur zur Lösung von Problemen.

**FOLIE 5**

Erste für einen Computer gedachte Algorithmen (Berechnung von Bernoullizahlen) wurden 1843 von Ada Lovelace festgehalten.

Nicht scharf vom Begriff „Algorithmus" zu trennen sind die Begriffe „Künstliche Intelligenz" oder „Machine Learning". Sie bedienen sich jedenfalls Algorithmen zur Lösung vorgegebener Probleme (Lernphase, Wissensaneignung).

Falls exakte Lösungen mathematisch unmöglich sind, werden häufig auch Optimierungen oder Annäherungsverfahren, sogenannte Approximationen, eingesetzt.

Algorithmen sind Thema in der Informatik, Komplexitätstheorie und Kybernetik. Es gibt sogar an den Unis Fachbereiche für Algorithmen Theorie.

Darüber hinaus hat der Begriff Algorithmus seit 2015 Einzug in Presse- und Alltagssprache gehalten.

**FOLIE 6**

Nehmen wir mal als allgemeinverständliches Beispiel Jürgen Klopps algorithmischen Fußball:

Klopp ist als sehr emotional und dadurch als motivierend bekannt.

Seine Gesamtstrategie ist aber geprägt durch moderne KI gestützte Daten- und Musteranalyse.

Das fängt bereits bei der Zusammenstellung des Spielerkaders an.

Bei Spielertransfers spielt die Optimierung im gegebenen Umfeld eine gewichtige Rolle.

Zur Mustererkennung gehören eigene Spiele, wie solche von Gegnern.

Schwächen und Stärken beider Mannschaften, Tagesformen, die Fans und selbst die Wetterlage werden analysiert.

Daraus ergeben sich individualisierte und personalisierte Taktiken für Training und Spiel, sogar für die Ernährung in den verschiedenen Phasen.

Die Taktik wird am Spielverlauf und -ergebnis rückgekoppelt.

Fußball ist ein chaotisches System. Denkt man an Tor, Abseits, Handspiel so weiß jeder, dass winzig kleine Größen, z.B. mm, entscheiden können, ob ein Club in der Bundesliga bleibt!

**FOLIE 7**

Unter den mathematischen Optimierungen gehört die Lineare Optimierung zu den ersten durch Algorithmen (Simplex Algorithmus, 1947) lösbaren Methoden.

Als Pionier gilt der sowjetische Mathematiker Leonid Kantorowitsch, der bereits 1939 erste Verfahren veröffentlichte und 1975 dafür als erster und einziger Nobelpreisträger des Ostblocks den Wirtschaftsnobelpreis erhielt [*LV Kantorovich, Mathematical Methods in the Organisation and Planning of Production. (Publication House oft he Leningrad State University, 1939)*].

Hier sein Bild.

**FOLIE 8**

Übrigens:

3 Jahre lang haben wir seit 1987 mit einem Kollegen von Kantorowitsch, Prof. Lassmann aus Halle, im Rahmen eines Gegengeschäfts, Erfahrungen mit der Linearen Optimierung komplexer Systeme sammeln können. Hier das gemeinsame Buch von Kantorowitsch und Lassmann über Ökonomie und Optimierung [*L Kantorowich, Ökomomie und Optimierung, Walter de Gruyter GmbH (1985)*] und eine persönliche Widmung auf der Innenseite, mit Datum 3.10.1990, also dem Tag der Deutschen Einheit. Damit fiel die Notwendigkeit eines offiziellen Gegengeschäftes weg und es folgte noch eine Zeitlang eine lockere Kooperation.

**FOLIE 9**

Tatsächlich beschäftigte sich aber unsere Firma [*A+W, www.a-w.com, 2026*] schon seit 1976 mit Lösungsansätzen von komplexen, nichtlinearen Kombinationsaufgaben aus der Produktion von Industriebetrieben (Flachglas, Spanplatte, Blech, Leimholz).

Besondere Stärken waren Zuschnitts-Optimierungen, aber auch die Steuerung der Produktion mittels Fuzzy-Logik.

Höhepunkt war die Implementierung eines hochautomatischen real-time-Optimierungssystems in Kooperation mit einem nach der Markteinführung dann führenden Maschinenbauer [*www.hegla.com, 2026*].

Im Bereich der Software für die Flachglasbetriebe gelang es uns sogar, mit über 1000 Installationen, selbst bei Großkonzernen, die Marktführung weltweit zu erringen.

Diese Stärke rührte wohl auch daher, dass neben den beiden Gründern zahlreiche weitere Entwickler aus der Theoretischen Physik stammten. Schon dort hatten wir uns mit Näherungsalgorithmen zur iterativen Lösung von gekoppelten, partiellen Differentialgleichungs-Systemen herumgeschlagen (z.B. dem Hartree-Fock-Algorithmus in der Molekülphysik).

**FOLIE 10**

Unter den ersten Anwendungen von Algorithmen befand sich die Lineare Optimierung im Bereich der Ernährung, wenn auch zunächst nur der Tier-Ernährung [*S Badewitz, Probleme der Anwendung der linearen Optimierung in der Agrarökonomie, Akad.-Verlag, 1967*]. Die Aufgabenstellung war einfach: Welche Futtermittel müssen in welchen Verhältnissen verfüttert werden, um die Nährstoffversorgung sicher zu stellen (Nebenbedingungen, Restriktionen, min, max) und zwar zu niedrigsten Kosten (als Zielfunktion). Das Modell ist linear und funktionierte bestens.

Es wurde auch nicht zurückgeschreckt, diese Algorithmen für die Verpflegung von Soldaten oder anderen kasernierten Personen einzusetzen.

In jüngster Zeit wurde die Kostenzielfunktion durch die Minimierung der Abweichung vom beobachteten Ernährungsverhalten ersetzt. Auf der Basis des nationalen Ernährungsverhalten, kann so der kürzeste Weg gesucht werden, um mit möglichst wenig Änderungen die offiziellen Nährstoffempfehlungen zu erreichen. Das führt dann zu einer mathematisch begründeten Darstellung des Lebensmittelkreises der DGE [*Schäfer et al, wissenschaftliche Grundlagen, Ernährungsumschau 2024, 71, M158-66*].

**FOLIE 11**

Was passiert aber, wenn nicht die Kosten oder die Abweichung vom vertrauten Ernährungsverhalten, sondern die optimale Gesundheit als Zielfunktion angestrebt wird?

Zwar wird durch die Nebenbedingungen bei der Linearen Optimierung sichergestellt, dass auf Populationsebene eine ausreichende Versorgung mit allen Nährstoffen erreicht wird, aber das ist nicht gleichbedeutend mit dem personalisierten Optimum für das Individuum.

Werden die gesundheitlichen Aspekte betrachtet, so ist es notwendig, die Nährstoffzufuhr in Relation zu setzen mit gesundheitsrelevanten Indikatoren. Die gemessenen dose-response-Kurven, bekannt auch aus der Pharmakokinetik (als Michaelis-Menten Gleichung), sind nicht linear. Auch die Infusions- und Abklingkurven sind nicht linear. Sie entsprechen exponentiellen Verläufen.

**FOLIE 12**

Als um 1990 herum das Thema Ernährung an unsere Firma herangetragen wurde, haben wir natürlich zunächst auch an die uns wohlvertraute Lineare Optimierung gedacht.

Lautet die Fragestellung „Wie wird für das Individuum ein Maximum an gesundheitlicher Bewertung der Ernährung erreicht" so muss erstmal ein Maß für den Grad der Gesundheit gefunden werden (degree of health) [*Truswell AS, ABC of nutrition. Medical Journal, London (1992)*].

Dann muss eine Methode entwickelt werden, die mit sehr unscharfen Eingangsdaten umgehen kann. Denn die Nährstoffangaben der Nährstoffdatenbanken sind in den seltensten Fällen wirklich gemessen, meist interpoliert oder gar nur abgeschätzt.

Lebensmittel sind sortenabhängig, standortabhängig, wetterabhängig. Rezepte sind in der Praxis ebenfalls nicht genau nach Mengenangaben umgesetzt und verlieren, z.B. Vitamine, beim Erhitzen. All das wird im Detail in den Datenbanken nicht aufs Gramm genau abgebildet.

Die Ernährungsprotokolle sind selbst bei großer Sorgfalt nachweislich fehlerbehaftet.

Die Mengenangaben in Portionsgrößen sind auch nur $\pi$ x Daumen.

**FOLIE 13**

Sofern die Gesundheit als oberstes Ziel angestrebt wird, muss festgestellt werden:

Ernährungsoptimierung ist ein komplexes, nichtlineares System, das mit unscharfen Daten umgehen können muss!".

Da wir auch über Erfahrung mit der Fuzzy-Logik [*Zadeh LA (1973); The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Memorandum ERL-M 411, Berkley*] verfügten, lag es nahe, diesen Ansatz einzusetzen.

Da zur gesamten Beschreibung des Verlaufes der Korrelation zwischen Nährstoffzufuhr und personalisierter gesundheitlichen Bewertung immer mehrere, teils widersprechende Indikatoren von Bedeutung sind, müssen Probleme der Unterversorgung und der Überversorgung gleichzeitig, gegebenenfalls als Kompromiss, modelliert werden (z.B. Zinkzufuhr – Indikator Erythrozyten-Zink für die Unterversorgung, Aktivität von Zink-abhängiger Superoxiddismutase für die Überversorgung).

**FOLIE 14**

Jetzt kommen wir zum OptiDiet Algorithmus, also einem Algorithmus, der in der Ernährungsberatung angewendet wird [*GOEmbH 2026, www.goe-software,de*].

Die Ernährungsberatung erfolgt durch eine Beraterin.

Und beraten wird ein Klient.

Wir haben also eine Beraterin, eine Ernährungsberaterin, das kann eine Ökotrophologin sein, eine Diätassistentin, ein Sportmediziner oder ein Ernährungsmediziner, die berät eine Person, die haben wir hier Klient genannt,

**FOLIE 15**

Die Klienten werden beschrieben durch bestimmte Daten.

Das sind erst zunächst einmal fixe persönliche Daten, wie zum Beispiel das Geschlecht, Geburtstag, Größe, Physical Activity Level, also der sogenannte PAL-Wert, der beschreibt die körperlichen Belastungen, die durch den Beruf zustande kommen. Das heißt also, ein Büroarbeiter, der weniger belastet ist oder ein Bauarbeiter mit starker Belastung.

Dann hier die Diäten, falls die Person meinetwegen abnehmen will oder laktoseintolerant ist oder so etwas, das wird unter Diäten beschrieben.

Allergien sind Unverträglichkeiten gegen bestimmte Proteinsequenzen, die dann den Raum der zur Verfügung stehenden Lebensmittel einschränken.

Darüber hinaus gibt es variable Daten zu dieser Person, zum Beispiel Gewicht, Blutwerte und Sport.

Das sind die Daten, die zunächst einmal auch bestimmen, welche Nährstoffzufuhren seitens der entsprechenden Einrichtungen empfohlen werden.

**Folie 16**

Diese Empfehlung setzen wir um in Fuzzy-Sets.

Das sind personalisierte Bewertungskurven für die Nährstoffzufuhr [*Wirsam B et al (1997). Fuzzy sets and fuzzy decision making in nutrition. Eur J Clin Nutr 51; 286-296*].

Diäten modifizieren diese Fuzzy-Sets, das heißt also, wenn jemand z.B. laktoseintolerant ist, kommt ein zusätzliches Fuzzy-Set hinzu für Laktose und es wird je nach Stärke der Laktoseintoleranz definiert, wo das Optimum der Zufuhr ist, wo es dann zu viel wird und so weiter,

Allergien beschränken den Raum der Lebensmittel. Vegetarische und vegane Ernährung werden im Prinzip genauso wie eine Allergie behandelt.

**Folie 17**

Die Kurve sieht zum Beispiel so aus - für Kalium.

Mathematisch gesehen ist dieses Fuzzy-Set ein Zugehörigkeitsgrad zu einer optimalen Nährstoffzufuhr.

Es orientiert sich an den europäischen DACH-Referenzwerten [*DGE, Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2.Auflage, 7. Aktualisierte Ausgabe, Bonn 2026*]. Die Dachreferenzwerte stehen für Deutschland, Österreich und die Schweiz. Die Schweiz hat sich da aber seit 2 Jahren ausgeklinkt, so dass das eigentlich nur noch die deutschen und die österreichischen Empfehlungen sind und den Amerikanischen Dietary Reference Intakes [*National Research Council: Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Assessment. National Academy Press, Washington DC (2000)*]. Alle sind abhängig von Geschlecht, Alter, Gewicht, Größe und so weiter. Da gibt es also entsprechende Tabellen für die verschiedenen Altersgruppen für die Männlein, Weiblein, wie alt die sind und so weiter.

So, diese Fuzzy-Sets können als Bewertungskurven für die Nährstoffzufuhr interpretiert werden.

Ich gehe jetzt mit der Maus in das Bild rein, links unten wäre eine lebensbedrohliche Unterversorgung.

Das gilt für alle essenziellen Nährstoffe. Die fangen alle bei einer Nährstoffzufuhr von 0 auch mit einer Bewertung von 0 an, also mit einer lebensbedrohlichen Unterversorgung. Dann steigt die Kurve kontinuierlich an. Mit steigender Nährstoffzufuhr erreicht sie hier diesen grünen Bereich, wo gesagt werden kann, die

Versorgung ist sehr wahrscheinlich gut und erfüllt mit der Bewertung >0,9 die offiziellen Empfehlungen.

Hier gibt es ein gesundheitliches Optimum. Das ist dann hier oben die höchste Stelle des Hügels. Dann gibt es ein Safe Upper Limit. Das ist der Bereich, wo gesagt werden kann, dass hier immer noch eine Menge zu sich genommen wird, die noch nicht bedenklich ist. Aber bei allen Nährstoffen gibt es dann auch einen Bereich, der, falls zu viel davon gegessen wird, ob das nun Kalium, Natrium oder sonst was ist, der dann bedenklich oder sogar toxisch wird.

Diese Kurven gibt es in verschiedenen Arten, also für essenzielle, wie schon gesagt, fängt das alles bei 0 an. Dann gibt es aber auch Nährstoffe, zum Beispiel gesättigte Fettsäuren, die werden eigentlich gar nicht gebraucht. Also, wenn die überhaupt nicht in der Ernährung vorhanden sind, ist die Bewertung schon 1. Die werden nur bedenklich je mehr davon zu sich genommen werden.

Dann gibt es noch Inhaltsstoffe, die dazwischen liegen, weder essenziell aber doch gesundheitlich förderlich. Ballaststoffe z.B., da fängt die Kurve hier so im mittleren Bereich bei 0,7 an, steigt zu einem gesundheitlichen Optimum und fällt dann aber auch irgendwann ab.

Die Bewertungen über 0,9 entsprechen den Restriktionen der Linearen Optimierung.

In der Fuzzy-Logik wäre die Restriktion dann ein Fuzzy-Set, das in unserem Beispiel von bis zu 2 g und über 6 g die Bewertung 0 und zwischen 2 g und 6 g die Bewertung 1 hat. Es wäre dann eine Rechtecks Kurve (blau), die nicht der Physiologie eines biologischen Systems entspricht.

Den Werten wird eine linguistische Interpretation zugeordnet.

Das heißt also, das, was ich eben gerade schon gesagt habe, „möglicherweise eine bedenkliche, lebensbedrohliche Unterversorgung“ oder „wahrscheinlich eine gute Versorgung“ oder „ziemlich sicher eine optimale Versorgung“ und so weiter.

Für einen schnellen Überblick erfolgt dann noch eine Übersetzung in Ampelfarben. Das ist hier unten dargestellt. Rot heißt also immer möglicherweise bedenklich. Gelb so lala, könnte besser sein. Grün ist dann ein Bereich, wo wir zufrieden uns zurücklehnen können und sagen können, OK., hier sind wir sehr wahrscheinlich in einem guten Bereich. Dieser grüne Bereich, der ist Gott sei Dank, bei den meisten

Nährstoffen für das Individuum relativ breit. Das heißt, es gibt einen breiten Bereich der Zufuhr, wo gesagt werden kann, das ist wahrscheinlich weder zu wenig noch zu viel.

Übrigens hat das Optimum hier noch einen weiteren Vorteil: Wenn wir in der Nähe des Optimums sind, also oben auf dem Hügel, sind wir auch weit entfernt von dem gelben oder gar roten Bereich. Das heißt also hier spielen Mengenvariationen keine allzu große Rolle in der Bewertung, da bleibt alles in der Nähe der Bewertung 1.

Das führt später dann auch in der gesamten Ernährungslandschaft zu einem sehr toleranten Plateau.

Wie schon gesagt, werden bei Aktivierung von Diäten oder Sport diese Fuzzy-Sets modifiziert.

Das heißt, eine kaliumarme Diät bedeutet eine Skalierung dieser Kurve nach unten. Die Abszisse kann hier mit einem Faktor multipliziert werden, so dass dann die Kurve viel früher ein Maximum erreicht und viel früher in den Bereich der bedenklichen Überversorgung führt.

Das Besondere am OptiDiet ist auch noch, dass die Beraterin diese Kurve manuell skalieren kann. Also nicht nur durch Diäten und Sport wird diese Kurve modifiziert, sondern sie kann manuell modifiziert werden, zum Beispiel in Abhängigkeit vom Erfolg einer Ernährungstherapie.

Beispiel Laktoseintoleranz. Ausgangspunkt ist dann ein bestimmtes Laktose-Fuzzy-Set. Die Beraterin schaut ob das bereits bei Einhaltung der Ernährungsempfehlung zum Erfolg führt, die Symptome also geringer werden. Wenn das nicht der Fall ist, kann die Ernährungsberaterin hier manuell gegensteuern und sagen, ich gehe noch weiter raus aus der Laktose.

Das ist ein großer Vorteil, den es auch bei anderen Programmen überhaupt nicht gibt.

**Folie 18**

Dann kommen wir zu den 7-Tages-Protokollen. Die 7-Tages-Protokolle, das sind Realtime-Aufnahmen des Verzehrs mit Angabe von Vorlieben und Aversion. Wir

werden gleich ein Beispiel sehen. Auf der Basis eines Formulars mit den 140 am häufigsten verzehrten Lebensmitteln.

Es ist ein unäres Protokoll, das heißt also einer Strichliste so ähnlich wie auf einem Bierdeckel. Es können aber auch fehlende Lebensmittel noch hinzugenommen werden, also zusätzlich zu den 140 Lebensmittel, wenn da irgendein besonderes Lebensmittel fehlt in dieser Liste der am häufigsten verzehrten Lebensmittel. Die müssen dann manuell nachgetragen werden.

Spezialprotokolle gibt es auch für Sonderformen der Ernährung, also zum Beispiel ein Protokoll für Vegetarier oder für Veganer.

**Folie 19**

So, wie sieht das Protokoll aus? Hier haben wir tatsächlich ein reales Protokoll von einem nicht ganz unbekannten Professor aus Gießen, Professor Claus Leitzmann, (Vollwertpapst).

Hier das Geburtsdatum, das ist wichtig, aber aus Datenschutzgründen weg-ge-x-t.

Die Größe ist wichtig, das Gewicht ist wichtig und wichtig ist auch, dass genau 7 Tage protokolliert werden.

Wird zum Beispiel an Bayern gedacht, ist der Freitag immer der Fischtag. Der Sonntag häufig der Tag, an dem man auswärts Braten essen geht. Das heißt also, wenn 7 Tage protokolliert werden, dann sind die Freitage und die Samstage genau einmal drin. Wenn weniger Tage genommen würden, meinetwegen die, wo der Freitag miteingeschlossen ist, dann würde der Freitag überrepräsentiert.
Deshalb ist es so wichtig, dass wirklich 7 Tage protokolliert werden, weil diese Wochentag-abhängige Struktur in der Ernährung üblich ist.

Hier gibt es noch eine kleine optionale Spalte, mit dem B drüber. Das ist die Bewertung oder Bevorzugung oder die Vorliebe. Da kann eintragen werden, ob bestimmte Lebensmittel zum Beispiel gar nicht oder eben besonders gerne verzehrt werden. Das wird von der Optimierung dann auch mitberücksichtigt.

Es werden also im Laufe der 7 Tage Strichlisten geführt. Es wird also einfach ein kleiner Strich gemacht, wenn ein Vollkornbrotbrötchen gegessen wurde.

Das wird auf diesem Zettel notiert. Es hat sich bewährt, dass nach wie vor ein Zettel mit sich geführt wird, weil der klein ist und nichts wiegt Der kann immer bei sich geführt werden Es ist eben wichtig aufgrund der Erfahrung, die Ernährungs-Psychologen gemacht haben, dass dieses Protokoll in dem Augenblick ausgefüllt wird, wo gerade gegessen oder getrunken wird. Ich habe das selbst erlebt, dass manchmal fünf Minuten später schon gar nicht mehr richtig in Erinnerung ist, was soeben gegessen wurde.

Das zurückblickende Protokollieren, das funktioniert in der Regel nicht.

Hier kann übrigens auch erkannt werden, dass der gute Professor Leitzmann Vegetarier ist. Also, bei Fleisch hat er überhaupt nichts eingetragen.

**Folie 20**

Wenn die nächste Seite betrachtet wird, kann erkannt werden, auch Fisch hat er nicht gegessen, aber er ist kein Veganer. Er hat Käse und Joghurt durchaus zu sich genommen.

Hier sieht man übrigens auch, wie er zusätzliche Lebensmittel aufgeführt hat, die nicht im Protokoll der 140 am häufigsten verzehrten Lebensmittel aufgeführt sind, meinetwegen Zucchiniauflauf. Das hat er halt hier mit der Hand eingetragen und dann einen entsprechenden Strich dahinter gemacht, Saure Gurken und so weiter.

Gut, das ist das Ernährungsprotokoll.

Dann kommt als nächster Schritt, wenn das 7 Tage geführt wurde, wieder der Besuch bei der Beraterin. Da wird das Protokoll abgegeben oder man schickt es per E-Mail hin.

Die Ernährungsberaterin muss sich nur diese Summenspalte angucken, die Striche interessieren sie gar nicht. Nur die Summenspalte gibt sie ein. Das ist eine Arbeit, die ist innerhalb von einer Minute erledigt.

Das aktuelle Protokoll, seine Historie und somit das personalisierte Ernährungsumfeld werden so Bestandteil der Klienten-Daten.

**Folie 21**

Dann erfolgt nach Eingabe dieses Ernährungsprotokolls die Analyse. Es wird der Nährstoffgehalt der protokollierten Ernährung auf der Basis des Bundeslebensmittelschlüssels, BLS [*BLS, www.blsd.de, 2026*] ermittelt.

Die Abweichung von dem personalisierten Optimum erfolgt mit KI in den Ampelfarben. Die Gesamtbewertung, also der „degree of health", wird mit einem Aggregationsoperator berechnet. Da komme ich dann gleich noch einmal dazu, aber erst mal schauen wir uns die Einzelbewertung an.

**Folie 22, 23, 24**

Basis ist jetzt dasselbe Protokoll, noch einmal von Professor Leitzmann. Wie erwartet, sieht man natürlich bei einem Professor für Ernährungswissenschaft, dass er überall im grünen Bereich ist, egal was betrachtet wird, es stimmt alles.

Das ist aber kein normales Protokoll.

Hier sieht man alles grün, alles schlank. Normalerweise sieht das dann aber so aus, dass zum Beispiel hier bei Natrium deutlich zu viel zu sich genommen wird, bei Kalium deutlich zu wenig, bei Magnesium zum Beispiel auch deutlich zu wenig.
Bei Jod auch häufig zu wenig.

Also, das ist die Bewertung der einzelnen Nährstoffe.

Die Bewertung haben wir hier mit den Fuzzy-Bewertungen in die Farben aus der Definition der Fuzzy-Sets übersetzt.

Es kann auch noch anders eingestellt werden. Es können die Abweichungen von den Referenzwerten auch in Prozent angegeben werden. Das ist auch in OptiDiet möglich und ist übrigens auch die Art, wie alle anderen Nährwert-Berechnungsprogramme arbeiten.

**Folie 25**

Dabei sollte aber beachtet werden, dass die Herleitung des Referenzwertes das Ziel hatte, dass 98% der Bevölkerung sicher mit dem jeweils betrachteten Nährstoff versorgt wird. Es war, als diese Werte entwickelt wurden, vor allen Dingen die Sorge groß, dass eine Unterversorgung der Bevölkerung stattfindet. Deshalb wurde dieser durchschnittliche Bedarf, das sehen wir hier an dieser Kurve, noch einmal erhöht. Es

werden 2 Sigma zum EAR dazu addiert, also zwei Standardabweichungen zum durchschnittlichen Bedarf dazugezählt, und erst das ist der Referenzwert [*H K Biesalski, Taschenatlas der Ernährung, Thieme Verlag, Stuttgart. 2011*].

Das muss man sich vor Augen führen. Das ist der Referenzwert (in den USA der RDA, Recommended Dietary Allowances). Analog wird bei den DACH-Referenz-Werten vorgegangen.

Wenn das kritisch hinterfragt wird, heißt das doch auch, dass eine Orientierung nur an diesem Referenzwert in Prozentabweichung für die allermeisten Leute, nämlich alle, die hier drunter liegen und gut versorgt sind, Überflüssiges empfiehlt. Das hier ist die Kurve der gut versorgten und symptomfreien Patienten oder Klienten. Den durchschnittlich versorgten Personen wird eine Empfehlung gegeben: Ihr müsst noch deutlich mehr von diesen Nährstoffen zu euch nehmen. Das ist also eine überflüssige Empfehlung.

Das heißt also, man bescheinigt diesen Leuten eine Unterversorgung mit dem betrachteten Nährstoff. Damit zwar auf der sicheren Seite, aber für 98% der Fälle führt das dann zu völlig überflüssigen Ernährungsempfehlungen.

Pragmatischerweise sollte eine Beraterin sich eigentlich immer anschauen, wo liegen die Probleme und wie sind die Probleme zu beheben.

Die Fuzzy-Bewertung dagegen gibt für Personen mit durchschnittlicher Zufuhr die verbale Interpretation: „mit großer Wahrscheinlichkeit gut versorgt“ an. Zur Modellierung der gesamten Kurve stützt sich OptiDiet auf die sehr im Detail begründeten amerikanischen DRIs. Da stehen nämlich auch die Safe Upper Limits drin und vieles mehr. Dazu kommen wir gleich noch. Noch besser sind, falls verfügbar, Dosis-Response-Korrelationen. Das heißt, die Zufuhr eines Nährstoffs wird aufgetragen gegen die Response eines Indikators, der die gesundheitliche Bedeutung widerspiegelt.

Die anschließend erfolgende Optimierung in OptiDiet kümmert sich also um die ernsthaften Schwächen einer Ernährung. Sollten sich aber klinische Indizien für eine Unterversorgung mit einem bestimmten Nährstoff zeigen, so ist dann die Aktivierung einer gegensteuernden Diät angesagt.

**Folie 26**

Der obere Bereich wird ganz anders modelliert.

Da spielt nämlich die Toxikologie eine Rolle. Nehmen wir einmal Natrium. Da wird geprüft, bei welcher Menge von Natrium die ersten sogenannten Adverse Effects auftreten. Das ist dieser LOAEL Wert (Lowest observed adverse Effect Level).

Dann wird weiter zurückgegangen und der Wert, wo keine Effekte beobachtet wurden, markiert (NOAEL, no observed adverse effect level). Und von beiden Werten wird noch einmal einen Sicherheitsabstand genommen, also sowohl von diesem LOAEL Wert oder von dem NOAEL. Natürlich ist dies dann ein kleinerer Wert und so wird ein Safe Upper Limit ermittelt. Das ist der UL (Upper Limit).

Dann kann gesagt werden, dass der Bereich zwischen dem empfohlenen Wert und dem Safe Upper Limit ein nährstoffspezifischer sicherer Bereich für eine Population ist [*H K Biesalski, Taschenatlas der Ernährung, Thieme Verlag, Stuttgart. 2011*].

Das muss für das Individuum nicht so sein. Die Bewertung für ein Individuum ist in der Regel viel toleranter.

**Folie 27, 28**

Um den Unterschied zwischen Bewertungen auf Populationsebene und personalisierter Bewertung herauszuarbeiten, hier ein konstruiertes Beispiel für die Bewertung der Eisenzufuhr bei zwei Einzelpersonen und der Population (beide Personen).

Die schwarze Kurve beschreibt die Bewertung der Eisenzufuhr für eine ganz normale Person, also eine, die nicht von Hämochromatose betroffen ist, samt Darstellung eines breiten Farbverlaufes.

Die blaue Kurve dasselbe, diesmal aber für eine Person mit Hämochromatose. Der Farbverlauf ist schon deutlich schmaler. Nach wie vor ist Eisen essenziell, aber die empfohlene Zufuhr ist deutlich erniedrigt.

Besteht eine Population jedoch aus Vertretern beider Personenkreise, kommt es zu einem Zielkonflikt, der durch einen für beide Populationen vertretbaren Kompromiss gelöst werden muss. Die Schnittmenge ergibt dann den untere Farbbalken, der noch einmal enger und intoleranter ist als die beiden anderen. Bei der resultierenden Bewertung wird beiden Sub-Populationen Unrecht getan und sie eignet sich nicht mehr für die personalisierte Ernährungsbewertung [*B Gaßmann, private communication*].

Verallgemeinert kann gesagt werden, dass Empfehlungen auf Populationsebene deutlich weniger tolerant sind, als es für das Individuum notwendig wäre, und deshalb bei der Ernährungsberatung sehr auf das Individuum eingegangen werden muss (z.B. durch Messungen vieler gesundheitlicher Indikatoren), um nicht unnötige Ernährungs-Verhaltensänderungen empfehlen zu müssen.

Ein weiterer Grund, die Abweichungen von Empfehlungen für Populationen in % nur in Verbindung mit dem Wissen einer kompetenten Ernährungsberaterin anzuwenden. Beispiel: Ein zu viel in Prozent an gesättigten Fettsäuren ist halt ganz anders zu bewerten, als ein dasselbe zu viel in Prozent an Vitamin C. Erfahrene Ernährungsberaterinnen wissen das natürlich und können damit umgehen. Es ist bei dieser Prozentdarstellung aber eben nicht intuitiv erkennbar, wie die Abweichung zu bewerten ist. Es wird dann eben dieses entsprechend gute Fachwissen gebraucht.

Der Fuzzy-Ansatz dagegen bietet eine weitreichendere Hilfestellung und die Basis für eine Optimierung. Dann kann damit tatsächlich auch die Gesundheit optimiert werden und die Optimierung macht Vorschläge für eine Verbesserung der personalisierten Ernährung.

Aber auch die Bewertung mit Fuzzy-Sets sollte daher nur als Decision Support für eine kompetente Fachkraft angesehen werden, nicht als Ersatz.

Das erinnert mich an einen Vortrag, den ich einmal vor Diätassistentinnen in Aachen gehalten habe. Da stand eine Diätassistentin ziemlich empört auf und sagte: „Herr Wirsam, wenn Ihr Programm alles das kann, was Sie da erzählen, warum studieren wir denn dann überhaupt noch Ernährungswissenschaften?“

Also das war für mich eigentlich ein Klopfen auf die Schulter, dass diesem Programm das zugetraut wurde. Ich habe aber dann geantwortet, OptiDiet ist ein Decision Support Programm.

Das heißt also, es werden Vorschläge gemacht, die dann mit dem Klienten diskutiert werden sollten. Wenn er sagt, „ach ja, soviel Kartoffeln will ich nicht“, dann kann immer noch gesagt werden, dann begrenzen wir halt den Verzehr von Kartoffeln und versuchen noch einmal einen neuen Optimierungsdurchlauf. Dann empfiehlt der Algorithmus vielleicht mehr Reis statt der Kartoffeln.

**Folie 29**

So, jetzt kommen wir zu einem großen Problem.

Das ist das Problem der Aggregation. Wir haben jetzt die ganzen Einzel-Bewertungen für die einzelnen Nährstoffe. Um aber zu einer Gesamtbewertung (degree of health) zu kommen, müssen wir uns diesem Problem stellen.

Wir möchten aber auch im Hinblick auf die Optimierung gerne eine sogenannte Zielfunktion haben, also einen Wert, der dann optimiert werden kann.

Warum kann nicht der Mittelwert der einzelnen Bewertung als Gesamtbewertung genommen werden?

Dann würde eine lebensbedrohliche Versorgung mit einem Nährstoff im ansonsten guten Umfeld zu einer guten Gesamtbewertung führen. Das heißt also, wenn wir da einen Knollen-Blätterpilz in einer ansonsten guten Ernährung drin haben, würde das immer noch die Bewertung kriegen: „das ist im Durchschnitt gut".

Und das ist es eben nicht.

Eignet sich dann vielleicht der Minimum-Operator, der ja seit Liebigs-Zeiten aus der Pflanzenernährung bekannt ist?

Schon besser!

Aber es sollte doch noch einen Unterschied machen, ob neben dem Minimum (mit der schlechtesten Bewertung) auch noch weitere Nährstoffzufuhren nicht besonders gut bewertet werden.

Scoring-Systeme haben wir uns auch überlegt, führen aber auch nicht weiter, aus Gründen, ähnlich denen der Mittelung.

**Folie 30**

Was wird dann von einem Aggregator gefordert, der diese ganzen Einzelbewertungen zusammenfasst zu einer Zahl, die dann auch als Zielfunktion in einer Optimierung genutzt werden kann.

Es ist klar, dass er kommutativ sein soll. Das heißt, es soll unabhängig sein, ob erst

die Bewertung von Natrium genommen und mit der von Kalium verknüpft wird, oder erst die Bewertung von Kalium und dann die Bewertung von Natrium.

Monotonie soll gewährleistet sein. Das wird nachher besser an der ganzen Ernährungslandschaft erkannt, die sich daraus ergibt.

Assoziativität ist auch ganz, ganz wichtig. Das heißt, es soll egal sein, wenn bei 3 Nährstoffe die Bewertung der ersten beiden zuerst verknüpft wird und dann mit dem dritten die Verknüpfung erfolgt, oder ob die erste Bewertung genommen wird und mit der Bewertung der zweiten und dritten verknüpft wird und das Ganze dann wieder aggregiert wird.

Wichtig ist auch ein neutrales Element, das heißt also bei der Multiplikation ist das die 1, das verändert eben die Bewertung nicht. Das entspricht auch der Philosophie des OpiDiet Algorithmus. Es ist so, dass die ganzen Bewertungen der Nährstoffe, die die Bewertung 1 bekommen, links liegen gelassen werden können. Da müssen wir den Klienten nicht reinquatschen.

Vernichtendes Element: ist ein Element 0, dann ist die gesamte Bewertung 0. Das ist der Knollenblätterpilz, der in der Suppe schwimmt, und der muss als erstes raus.

Diese ganzen Forderungen an den Aggregationsoperator werden erfüllt durch die sogenannten T-Normen. Das sind Abbildungen des zweidimensionalen Nulleinserintervalls in das eindimensionale Nulleinserintervall.

Wegen der Assoziativität ist es dann aber auch so, dass ein n-dimensionales in ein eindimensionales Intervall abgebildet wird. Das ist die Aggregation, wo wir dann aus ganz vielen Werten einen einzigen Wert herausbekommen, der dann insbesondere für die gesundheitliche Gesamtbewertung der Ernährung sinnvoll und eben auch für die Optimierung brauchbar ist.

Wir haben uns im Bereich der T-Normen genau umgeschaut und haben dann nach langer Suche, nach langem Hin und Her, den Schweizer 3 Operator gefunden [*G Klir, B Yuan, Fuzzy Mengen und Fuzzy-Logik: Theorie und Anwendungen. Prentice Hall, New Jersey, 1995)*] .

Der hat sich dann auch in der Praxis sehr gut bewährt.

Hier ist er abgebildet:

$$T(x,y) = 1-[(1-x)^{p} + (1-y)^{p} - (1-x)^{p} * (1-y)^{p}]^{1/p} \quad p>0$$

Den erkläre ich nicht im Detail. Er sieht zwar kompliziert aus, aber ich kann sagen, dass die Assoziativität es erlaubt, dass das sehr einfach programmiert werden kann, weil immer die Bewertung des einen Nährstoffs mit der Bewertung des zweiten Nährstoffs zusammengefasst wird. Die Bewertung, die dann resultiert wird dann mit dem dritten Nährstoff zusammengefasst usw. Das ist dann eine sehr einfache rekursive Programmierung.

Wenige Zeilen in einem Programm.

Das waren die Probleme der Aggregation.

Gut, dann schauen wir einmal weiter.

**Folie 31, 32, 33**

Jetzt kommt der besondere Trumpf des OptiDiet Algorithmus. Das ist die Optimierung. Auch die gibt es in dieser Form in allen anderen Programmen nicht.

Was ist das Ziel der Optimierung? Dass mit möglichst kleinen Änderungen im Ernährungs-Protokoll viel erreicht wird. So wollen wir möglichst wenig Einfluss auf das Ernährungsverhalten nehmen, um im gewohnten Umfeld des Klienten zu bleiben.

Frage ist also, wie können durch kleine Änderungen im Protokoll möglichst große Verbesserung der Gesamtbewertung erreicht werden?

Die sich aus der Gesamtbewertung ergebende „Ernährungslandschaft“ hat bei den 140 üblichen Lebensmitteln aus dem Ernährungsprotokoll dann auch 140 Dimensionen! Da den richtigen Weg zu finden, ist eine komplexe Aufgabe, auch wenn die Topografie dieser Landschaft stetig, also ohne Sprünge und Knicke ist.

Für zwei Lebensmittel lässt sich diese Landschaft zeichnen und das Optimierungsprinzip erklären.

Die Aufgabenstellung verlangte eine Verbesserung der Gesamtbewertung mit minimalen Veränderungen im individuellen Ernährungsverhalten. Optimierung heißt deshalb, in kleinen, akzeptablen Schritten in dieser Landschaft bergauf zu gehen, so wie durch den Pfeil angedeutet. Die Schritte werden in der sogenannten Hamming-Distanz gemessen (Kücheneinheiten).

Üblicherweise ergeben die Ernährungsprotokolle eine Gesamtbewertung, die vielleicht im gelben Bereich ist. Und dieser gelbe Bereich hat auch wieder besondere Vorteile für den Erfolg einer Ernährungsberatung.

Hier ist die Landschaft besonders steil. Das heißt also, durch kleine Änderungen der Lebensmittel in die richtige Richtung können große Zuwächse der Gesamtbewertung erreicht werden. Das war auch die Aufgabe, die OptiDiet hat:

**kleine Änderungen, große Effekte.**

Die Algorithmen, die für die Optimierung verwendet werden, sind aus der KI entlehnt, und auch genetische Algorithmen werden eingesetzt [*J Heistermann, Genetische Algorithmen. Teubner, Stuttgart 1994*].

Bei Gesamtbewertungen von über 0.8, also im Gut-Bereich, wird der Anstieg immer flacher und schließlich mündet er im Hochplateau.

**Folie 34**

Hier sehen wir eine Ansicht mehr von oben.

Schön zu erkennen ist, dass wir diese Plateaustruktur haben. Das heißt also, wenn wir hier in diesem Plateau sind, macht ein etwas Mehr oder Weniger von dem einen Lebensmittel oder ein Mehr oder Weniger von dem anderen Lebensmittel kaum etwas in der Bewertung aus. Das heißt, hier kann relativ stark der Verzehr von Lebensmitteln variiert werden, ohne dass dieser grüne Bereich verlassen wird.

Zur Enttäuschung von Vegetariern und Veganern enthält dieses Vollwertplateau auch tierische Lebensmittel, jedoch in relativ geringen Mengen.

Dieses Vollwertplateau, so könnte das auch genannt werden, ist also pflanzenbasiert, aber nicht vegan. Werden Wildpflanzen und Wild-Tiere zugelassen, so erhält man nach einigen wenigen Optimierungsrunden typische Ernährung von Naturvölkern oder gar wilden Schimpansen.

OptiDiet kam sogar im Zoo von Frankfurt zum Einsatz. Da haben wir für den Schimpansen Toto (*pan troglodytes*) Ernährungsberatung durchgeführt. Der hatte übrigens Karies. Zwar war das Füttern mit Zucker verboten, aber die Pfleger haben vom Großmarkt, der direkt neben dem Zoo war, immer die überreifen Bananen geschenkt bekommen und an die Affen verfüttert. Das hat dann zu Karies geführt. Das kriegte dann auch die Ernährungsoptimierung raus und hat gesagt, lasst das sein.

Ja, der arme Kerl, der musste immer unter Narkose gesetzt werden, wenn man dem die Zähne gebohrt hat.

Den anderen Vegetariern, besonders vegane, wird normalerweise dann aber zur Supplementierung geraten. Das heißt, mit Vitamin B12 und Vitamin D. Wenn das als Supplement dazu genommen wird, kann das grüne Hochplateau auch leicht erreicht werden, ohne dass tierische Lebensmittel notwendig sind.

**Folie 35**

Übrigens kann an dieser Grafik auch ein weiterer kritischer Aspekt, der bei einer Linearen Optimierung mit der Hamming-Distanz als Zielfunktion auftritt, erkannt werden:

Ein Lösungsalgorithmus wie der Simplex-Algorithmus endet sobald die offiziellen Nährstoffempfehlungen erreicht werden. Das ist immer ein Punkt, für mindestens einen Nährstoff, am Rande der zugelassenen Intervalle. Dieser Punkt am Rande des grünen Bereiches in unserer Ernährungslandschaft ist aber nicht das gesundheitliche Optimum! Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass eine winzig kleine Änderung im Ernährungsverhalten (diesmal in mg) in die falsche Richtung aus dem zugelassenen Intervall herausführt.

Das passiert beim Fuzzy-Ansatz nicht. Die Bewertung wird nur schlechter und man rutscht ein wenig in den gelben Bereich.

**Folie 36**

Genaugenommen beschreibt die Anwendung von Linearer Optimierung in der Ernährung schon im Ansatz nicht die Wirklichkeit eines biologischen Systems. Die starren Grenzen (Nebenbedingungen) führen dazu, dass wenige mg Zuviel oder Zuwenig aus dem „erlaubten“ in den „verbotenen“ Raum führen. Besonders bei einer

unscharfen Ausgangsdatenlage ist dies unphysiologisch, führt zu einer Landschaft voller Klippen und somit zu einem chaotischen Verhalten.
Die Lösungsalgorithmen bleiben am Rand stecken, von den paradiesischen Hochplateau kriegen sie nichts mit.

Das Erreichen des Plateaus hat somit sehr viele Vorteile. Es ähnelt sehr den Ernährungsstrukturen, die schon ewig von Lebensreformern und Vertretern der Vollwerternährung durch Erfahrungswissen, auch ohne Computer und KI propagiert wurden [*Koerber Kv et al. Vollwert-Ernährung – Konzeption einer zeitgemäßen und nachhaltigen Ernährung. Haug, Stuttgart (2012)*].

Diese wurden gerne von Ernährungswissenschaftlern als „unwissenschaftlich" abgetan. Ob aber ein nicht geeigneter Ansatz allein durch die Überschrift „Wissenschaftliche Grundlagen" zur Wissenschaft wird, bleibt anzuzweifeln.

**Folie 37**

Sowohl die Analyse wie auch die Optimierung werden in ein Auswertungsschreiben überführt. Das macht das System auch ganz alleine, auch mit Hilfe von KI und mit Textbausteinen. Die werden dann entsprechend zusammengewürfelt und dieses Schreiben geht dann an den Klienten.

Mit der Bitte, sich an die Vorschläge der Optimierung zu halten, lässt die Beraterin dem Klienten drei Monate Zeit. Im nächsten Quartal kann dann der Klient wieder zu der Beraterin gehen und ein neues Protokoll schreiben und alles fängt von vorne an. In der Regel reicht dieser erste Schritt nicht aus, um bereits voll in den grünen Bereich zu gelangen.

Dieses Auswertungsschreiben wird in ein normales Word-Dokument überführt und die Beraterin kann darin auch noch individuell Änderungen vornehmen oder Ergänzungen anfügen oder zum Geburtstag gratulieren.

**Folie 38**

Das Auswertungsschreiben dient also der Kommunikation mit dem Klienten.
Es konzentriert sich auf die Nährstoffe, deren Bewertung schlecht ist und die Lebensmittel, die dafür verantwortlich sind.

Wie bei Klopps Algorithmus werden die Schwächen in der eigenen Ernährung analysiert. Werden Mängel oder Überversorgung festgestellt, macht die Optimierung eigene Vorschläge, durch welche Lebensmittel (Reduktion oder Erhöhung der Zufuhr)

die Versorgung mit den Nährstoffen verbessert werden kann, ohne dass auf der anderen Seite die Versorgung mit anderen Nährstoffen verschlechtert wird. Dies ist nämlich ein häufiger Fehler bei rein manueller Empfehlung.

Sollte die Beraterin Mängel entdecken, die durch die im Protokoll vorgegebenen Lebensmittel nicht behebbar sind, helfen Such- und Hilfsfunktionen, im gesamten BLS, der auch um eigene Produkte erweitert werden kann, das Richtige zu finden.

**Folie 39**

Ablauf in der Praxis:

Also üblich ist, dass am ersten Termin eine Anamnese durchgeführt wird, möglichst einschließlich der Situation der ganzen Familie. Dann wird das Klienten Profil festgelegt und noch einmal erklärt, welche Bedeutung die verschiedenen Einflussgrößen haben und welche Zusammenhänge da existieren. Dann werden genaue Anleitungen zum sorgfältigen Ausfüllen des Protokolls gegeben. Das ist der Knackpunkt: das sorgfältige Ausfüllen des 7- Tages Protokolls. Beim zweiten Termin werden dann die Summen eingegeben.

Das Eingeben geht schnell. Anschließend wird im Beisein des Klienten die Auswertung gefahren. So kann man diese Auswertung erläutern und eine interaktive Optimierung durchführen. Interaktiv deshalb, weil es nicht unbedingt immer gesagt ist, dass die Person, die beraten wird, Freudensprünge macht, wenn sie das Ergebnis der Optimierung sieht, wenn da Dinge rausgestrichen werden, an denen man besonders hängt oder Dinge rein optimiert werden, die der Klient gar nicht oder in den Mengen nicht so besonders mag.

Dann kann die Beraterin das auch limitieren nach unten und nach oben und dann vielleicht noch mal eine weitere Optimierung starten. Ist das Ergebnis dann wunschgemäß, folgt das Auswertungsschreiben und dann ein weiterer Termin, meinetwegen nach einem Quartal.

Ein Problem bei der Interpretation der Optimierungsergebnisse liegt in der n-Dimensionalität. Die können wir uns nicht vorstellen. Fast alle Menschen denken in niedrigen Dimensionen (1-3):

Z.B. Denken in nur einer Dimension: Sind zu wenig Ballaststoffe in der Ernährung wird nach ballaststoffreichen Lebensmitteln in der Datenbank oder in dicken Büchern gesucht und eine Erhöhung des Verzehrs z.B. von Vollkornbrot empfohlen. Das dabei

aber die Bewertungen für andere Nährstoffe den Bach runter gehen kann, bringt so manche Beraterin an den Rand der Verzweiflung.

Z.B. Denken in zwei Dimensionen: Ein schönes Beispiel dafür sind die Anstatt-Tabellen der DGE. Anstatt Weißbrot lieber Vollkornbrot, Anstatt tierischer Fette lieber pflanzliche Öle. Das ist einleuchtend und wir können es auch noch nachvollziehen.

Aber Denken in drei oder mehr Dimensionen – Pustekuchen, da setzt unsere Vorstellungskraft aus.

OptiDiet hat keine Probleme mit vielen Dimensionen. In 140 Dimensionen und der monotonen Ernährungslandschaft lässt sich der Gradient für einen Algorithmus leicht berechnen. So zeigen zwar die Ergebnisse stets Verbesserungen, diese sind aber weder anschaulich, noch immer nachvollziehbar, erst recht nicht dem Klienten in einfachen Worten zu erklären.

Anderes Beispiel: Das Verhältnis von Kohlenhydraten zu anderen Energieträgern ist anfangs zu schlecht. Also empfiehlt OptiDiet den Verzehr von mehr Kartoffeln, um schnell eine Verbesserung der Bewertung zu erreichen. Nach mehreren Sitzungen kann es aber passieren, dass empfohlen wird, den Verzehr von Kartoffeln wieder einzuschränken, da durch den Verzehr anderer stärkehaltiger Lebensmittel die Versorgung mit vielen anderen Nährstoffen besser erreicht wird.

Die einfache Einteilung von Lebensmitteln in „gut“ oder „schlecht“ wird von OptiDiet nicht vorgenommen. Es kommt immer auch auf das hochdimensionale Ernährungsumfeld an, ob Lebensmittel zu „Helden“ oder zu „Schurken“ werden. In Not- oder Hungerzeiten, z.B. direkt nach dem 2. Weltkrieg, half eine Speckschwarte die Energiezufuhr wenigsten auf die von der Besatzungsmacht empfohlenen 800 kcal zu erhöhen. Heute undenkbar.

Im weiteren Verlauf wird geprüft, ob die Therapie einen Erfolg hatte und es wird dann eventuell eine Anpassung in den variablen Klienten Profilen vorgenommen. Es kann auch sein, dass die Diätprofile verändert werden müssen. Also z.B., wenn eine Laktoseintoleranz vorlag und die Person mit der vorgegebenen Diät bereits einen gewissen Erfolg hatte, kann eventuell schon wieder angefangen werden, etwas mehr Laktose zuzulassen. Nach mehreren Durchläufen dieses Algorithmus, entsteht so eine Historie. Bei Kooperation, wenn der Klient halt mit macht, wird schnell weitergekommen.

Aber gerade diese Umsetzung ist tatsächlich das Problem in der Praxis. Es ist meist nicht einfach, so eine Akzeptanz zu erreichen, wenn in das heilige Ernährungsverhalten hineingeredet wird.

Wenn aber, eine Kooperation des Klienten vorhanden ist, dann führt das zu einer am Erfolg rückgekoppelten personalisierten Ernährung.

Personalisierte Ernährung ist somit ein Prozess.

Es ist keine Punktlandung, wie wir gesehen haben, sondern das Ziel ist ein Plateau, das immer noch eine Menge Variationsspielraum zulässt.

**Folie 40**

So, hier ein Beispiel:

Klient männlich, übergewichtet, Bluthochdruck, erhöhte Cholesterinwerte, bewegungsarm - also gilt fast für alle Männer. Die Beraterin aktiviert die Diäten Reduktionsdiät, um Gewicht abzunehmen, Natriumarm, um den Bluthochdruck eventuell zu reduzieren, Cholesterin-senkend wegen der Cholesterinwerte und empfiehlt etwas mehr Bewegung. Die Fuzzy-Sets stellen sich aufgrund dieser Einstellung dann automatisch ein.

Der Klient füllt dann gewissenhaft das 7-Tages-Protokoll Real Time aus. Das ist wichtig, dass das gewissenhaft ausgefüllt wird. Dann nach sieben Tagen übernimmt die Beraterin die Summen. Die Analyse zeigt dann zu hohen Kalorien-Verzehr, zu salzige Kost, falsches Verhältnis von Fett zu Kohlenhydraten, zu wenig Ballaststoffe, zu viel Alkohol.

Die Optimierung empfiehlt vielleicht eine Handvoll weniger Änderungen im Wochenverzehr. Also, das ist nicht auf Tagesbasis, sondern auf Wochenebene. Das sind zum Beispiel eine Bratwurst und ein Bier weniger, dafür deutlich mehr Gemüse und Obst. Es sind also nicht viele Lebensmittel, die überhaupt geändert werden müssen.

Und erreicht wird dadurch. zumindest eine, bei Kooperation des Patienten, Situation, bei der sich die Werte alle verbessert haben, Aber vielleicht sind sie noch nicht im grünen Bereich, vielleicht immer noch im gelben Bereich, dann ist eine weitere Runde

notwendig.

**Folie 41**

So, noch einmal kurzgefasst:

Der OptiDiet Algorithmus ist also ein iterativer Näherungsalgorithmus, der mit kleinen Änderungen, also ohne radikale Umstellungen im Verzehr, dem personalisierten Optimum näherkommt.

Also noch einmal, es ist eine Prozedur, ein Algorithmus, der versucht, dem personalisierten Optimum näher zu kommen. Und dieses Optimum ist kein Zielpunkt, sondern ein variantenreiches, stabiles, fehlertolerantes Plateau. Das ist auch Folge der Fuzzy-Kurven für die Nährstoffzufuhr, die ja in der Gegend des Optimums relativ breit und flach waren. Das hat zur Folge, dass Variationen auch von Lebensmitteln in der Nähe des Optimums eben keine allzu große Veränderung der Bewertung bedeuten.

**Folie 42**

Anwendung OptiDiet Algorithmus im Leistungssport.

Untersuchungen an der Uni Leipzig und an der Sporthochschule Köln:

Wichtigkeit vom Timing, Unterscheidung von Vortraining, Training, Nachtraining.

Nährstoffzufuhr Empfehlungen für alle Sportarten, verschiedene Intensitäten und verschiedene Phasen.

Anwendung von OptiDiet bei Fußballclubs, Fitness-Studios und an den Olympiazentren.

Beispiel: Vermeidung von schweren, fettreichen Mahlzeiten vor dem Training.

Anwendung auch im Polizeidienst und bei der Bundeswehr.

**Folie 43**

Um das Thema „gesunde Ernährung“ intuitiv in die Breite zu tragen, werden in fast allen Ländern neben Empfehlungen auf Nährstoffebene auch Empfehlungen auf Lebensmittelebene ausgegeben.

Dies geschieht meist in Form von Ernährungspyramiden (hier die vorletzte USDA-Version [*USDA, Food Guide Pyramide. Goverment Printing Office, Washington DC (1992)*]).

**Folie 44**

Oder wie in Deutschland von der DGE als Ernährungskreis [*Oberritter H et al. Ernährungsumschau (2013), 60 (2) 24-29*]**.**

**Folie 45**

Inspiriert von dieser Darstellung, wurde 2012 ausgehend von den im Kreis abgebildeten zehn Lebensmittelgruppen, durch OptiDiet für einen Referenzmann eine Optimierung durchgeführt, und als Kreisdiagramm in einer App dargestellt.

Die Skalierung auf andere Personengruppen erfolgte bei Beibehaltung der Darstellung über die Energie.

Die Ähnlichkeit mit dem DGE-Ernährungskreis fällt sofort ins Auge.

Für Vegetarier und Veganer wurde ein eigener Ernährungskreis durch OptiDiet ermittelt, ebenso exemplarisch für einige Diäten.

**Folie 46**

Die Eingabe der Verzehrsmengen erfolgt entweder über ein Zahlenrad, oder besser bei jeder Mahlzeit real-time durch Klicken auf den + Button pro Portion.

Durch die Anzeige des Farbverlaufes für Lebensmittel aus dieser Gruppe ist intuitiv erkennbar, ob ein Mehr oder Weniger zur Verbesserung oder Verschlechterung der Bewertung beiträgt.

Aus der Gesamtbewertung durch Fuzzy-Aggregation wurde ein Scoringsystem (von 0-100) berechnet, was für den Laien einleuchtender und mit dem Healthy-Eating-Index (HEI) vergleichbar ist [*C Leitzmann, Healthy Eating Index und Optimal Diet Membership, Ernährungs Umschau 59 (2012) 380-385*].

**Folie 47, 48**

Anwendung OptiDiet Algorithmus für nachhaltige Ernährung.

Hier haben wir im Mathematikum zum Tag der Nachhaltigkeit 2010 in Gießen mehrere Schulklassen und Leser der Lokalpresse gebeten, Protokolle zu führen über das Ernährungsverhalten.

Wir haben diese Protokolle durch 6 Ökotrophologinnen mit dem DGE-PC Programm [*DGE. DGE-PC-professional. Bonn (2010)*] auswerten lassen.

Das sind die grauen Punkte „Analyse“ und wir haben nur einen einzigen Schritt in der Optimierung gemacht. Das ist jetzt nicht unbedingt so, dass alles schon über 0,8 ist, also im grünen Bereich. Es hat sich zumindest vieles verbessert.

So, und was wir hier noch sehen, ist, dass wir durch so eine optimierte Ernährung die DGE-Bewertung, somit die gesundheitliche Bewertung der Ernährungsweise, deutlich erhöhen können. Wenn hier das Maximum angeschaut wird, war das bei 0,4. Jetzt ist es bei fast 0,8.

Gleichzeitig wurde aber auch die Umweltschädlichkeit reduziert. Das heißt, die $CO_2$-Äquivalente werden in dieser Ernährung ebenfalls deutlich abgesenkt [*Wirsam B, Leitzmann C, Klimaeffiziente Ernährung, Ernährungsumschau 58: 26-29*].

Ach, vielleicht noch eine Anmerkung zu diesen Protokollen von Schülern. Die wurden erst einmal auf Konsistenz geprüft und selektiert. Wenn da Fantasieprotokolle geschrieben wurden, haben die Ökotrophologinnen das sofort erkannt, weil die in sich nicht stimmig waren. Sie wurden verworfen. Der brauchbare Rest wurde ausgewertet und optimiert und der Fußabdruck ermittelt.

Die Analyse ergab das übliche Bild mit zu viel Energie, zu viel Fett, besonders zu viele gesättigte Fettsäuren, zu wenig Ballaststoffe, mit einer starken Streuung in der Korrelation. Nur wenige Änderungen, nämlich 2,5 Kücheneinheiten am Tag, bei nur einem Schritt in der Optimierung, haben im 7 Tages-Protokoll gereicht, dass eine gute Gesamtbewertung erreicht wurde, mit verbessertem $CO_2$-Fußabdruck und auch einer geringeren Streuung.

Zu erkennen ist, dass die Streubreite hier sich so richtig zusammenklumpt. Das heißt, die Umweltbelastung wird auch weniger.

Das Fazit dieser 1-Tages-Studie war und ist:

**Gesunde Ernährung und Umweltbelastung widersprechen sich nicht. Ganz im Gegenteil, hilft eine gesunde Ernährung dabei, die Umwelt zu schonen.**

Also, Gesundheit und Umwelt beißen sich nicht, sondern geben sich wechselseitig die Hand.

**Folie 49, 50**

Hier eine weitere brillante Anwendung mit makroökonomischer Bedeutung:

Sehr erstaunlich und für die meisten überraschende Erkenntnis ist, dass durch Ernährung und ein bisschen Bewegung die Cholesterinwerte, insbesonders auch das schlechte LDL, innerhalb kürzester Zeit sehr positiv beeinflussbar sind.

Bei der dreiwöchigen Kompaktkur (cardiovaskuläre Vorsorge) kam der OptiDiet Algorithmus derart zum Einsatz, dass Woche für Woche ein Speiseplan mit Variationsmöglichkeiten nur in den Mengen der verzehrten Speisen (kleine, mittlere und große Portionen) für jeden Kursteilnehmer individuell durch den Optimierungsalgorithmus ermittelt wurde. Bestandteil der Kur war auch ein mit Sportmedizinern abgestimmtes Bewegungsprogramm zur Verbesserung des HDL/LDL-Verhältnisses.

Als ein deutlicher Marker für das cardiovaskuläre Risiko wurde Gesamtcholesterin TC aber auch HDL, LDL, TRI und GLU im Kapillarblut der Fingerspitzen gemessen.

Da die Abhängigkeit des therapeutischen Erfolges von den Genotypen des APO-E ermittelt werden sollte, wurde die Genotypisierung erst nach der Kur durchgeführt, um die Studie auf diese Weise doppel-blind zu gestalten.

Dies wurde in drei aufeinanderfolgenden Jahren mit insgesamt 80 Teilnehmern in einem Kur-Hotel im Ostseebad Prerow durchgeführt.

Bei allen Genotypen erfolgte eine fast 30% Absenkung der Cholesterinwerte und somit deutlich verbundenes, niedrigeres Risiko für cardiovaskuläre Erkrankungen (Herzinfarkt, Schlaganfall). Diese Absenkung geht weit über Lehrbuchwissen hinaus.

In den führenden Lipid-Fachbüchern wird eine Absenkung der Cholesterinwerte um maximal 10% durch Lebensstiländerungen beschrieben. Auf einem Lipidkongress in Leipzig wurden diese Ergebnisse vorgetragen und in der Diskussion festgestellt, dass selbst für Fachleute es neu war, dass die Lipidwerte so schnell so stark gesenkt werden können.

Wir haben hier den Genotyp E3/E3. Der kommt in der Bevölkerung normalerweise zu 65% vor. Der Rest verteilt sich auf diese anderen Kombinationen. Deshalb wird die Kombination E3/E3 beim Menschen auch der Wild-Typ genannt.

E4/E4 ist das anchestrale Allel. Das heißt, das ist das Allel, das die Menschen vor ihrer Menschwerdung, also als sie noch Affen waren, hatten. Alle Schimpansen haben den Genotyp E4/E4.

Es wird immer gesagt, dass Menschen mit diesem Genotyp besonders hohe Cholesterinwerte haben. Das stimmt auch für westlich lebende Personen. Wenn hier diese Kurve rückverfolgt werden, bestätigt sich das auch. Die sind sehr weit oben hier angesiedelt. Aber Personen mit dieser genetischen Prägung sind äußerst gute Responder. Das heißt, sie haben sogar mehr als die anderen an Cholesterin verloren.

Die Kurven wurden durch exponentielle Regression aus den vier Punkten: Anfangswert, nach einer Woche, nach 2 Wochen, nach 3 Wochen ermittelt, Sie passen sich sehr gut in eine exponentielle Kurve dieser Gestalt hier ein. Zumindest da, wo wir statistisch genug Werte hatten, E3/E4, E3/E3 und E4/E4.

Übrigens hatten die Teilnehmer dieser Studie alle erhöhte Cholesterinwerte. Deshalb haben wir eine überrepräsentative Vertretung der E4-Werte. Die sind also höher vertreten als in der normalen Bevölkerung.

Man sieht hier übrigens auch, dass diese Kurven sehr scharf sind, also mit sehr hoher Signifikanz, e-Funktionen folgen.

**Folie 51**

Der Anstieg der Cholesterinwerte mit dem Alter folgt einer Infusionskurve.

Sie ist bei Menschen mit westlichem Lebensstil altersabhängig und folgt zumindest bei Männern ebenfalls einer e-Funktion. Also ist es die Wirkung wie bei einer Infusion auf die Cholesterin-Werte.

Warum sage ich das im Brustton der Überzeugung?

Weil sie bei Naturvölkern nicht vorkommt. Naturvölker haben einen Cholesterinwert mit 60, der ist genauso gut wie mit 20 Jahren [*Eaton S B et al (1988), Stone-agers in the fast lane: chronic degenerative diseaces in evolutionary perspective. Am J Med 84: 739-749.*].

Deshalb gibt es da auch keine Abklingkurven.

**Folie 52**

Hier der Anstieg und die Absenkung der aus der Pharmakokinetik bekannten exponentiellen Infusions- und Abklingkurve nach Absetzen eines Medikamentes.

Am Anfang wird dem Patienten eine Infusion verabreicht mit irgendeinem Medikament oder was anderem und die Wirkung gemessen.

Dann wird die Infusion beendet und dann klingt die Wirkung wieder ab.

Also, deshalb heißt das Abklingkurven, der vordere Bereich heißt Infusionskurve.

Die Absenkung in unserer Studie erfolgt also aus der Pharmakokinetik bekannten exponentiellen Abklingkurven nach Absetzen eines Medikamentes. Und das führt zu einer ganz anderen Sichtweise:

So gesehen war die Kur nichts anderes als das Absetzen der Zufuhr von gesättigten Fettsäuren und Nahrungscholesterin aus der Alltagsernährung der Teilnehmer.

Das heißt, es kann im ganzen Verlauf der Anstieg mit dem Alter als Infusionskurve betrachtet werden. Da haben wir uns immer schön mit gesättigten Fettsäuren und Cholesterin und solchen Dingen oral eine Infusion verpasst. Dadurch ist der Cholesterinspiegel dann auch im Blut hochgegangen.

Nach dem Absetzen, also nach Beginn der Kompaktkur „kardiovaskuläre Vorsorge“,

folgte dann sehr, sehr schnell eine Abklingkurve.

Witzigerweise las ich vor ein paar Tagen im Gießener Anzeiger eine fast ganze Seite über Cholesterin und was stand da heute immer noch drin? Ja, es stimmt zwar, dass mit Lebensstilintervention, also Bewegung, nicht rauchen und richtige mediterrane Ernährung, die Cholesterinwerte abgesenkt werden können, aber das sei relativ wenig. In den Lehrbüchern steht, dass die Lipidwerte durch Lebensstil um 10% abgesenkt werden können. Wenn jedoch alle Lebensstiländerungen konsequent umgesetzt werden, kann das Ergebnis, das wir in der Studie erreicht haben, nämlich fast 30%ige Absenkung der Cholesterinwerte, in der Praxis auch erreicht werden.

**Folie 53**

So, dann noch ein Eigenversuch zur Thesengenerierung:

OptiDiet bei Diabetes Typ II.

Bei Diabetes Typ II kommt es darauf an, zum richtigen Zeitpunkt die Dosis von Insulin zu spritzen, die für die Verwertung der zugeführten Kohlenhydrate notwendig ist. Ein zu wenig kann zu überhöhten Blutzuckerwerten, ein zu viel zu Unterzuckerung führen. Ein in der Dosis oder im Timing fehlerhaftes Verhalten führt zum Teil zu extremen Schwankungen des Blutzucker-Wertes.

Hier habe ich mal meinen eigenen Blutzucker-Wert aufgezeichnet (Diabetiker Typ 2, IIT). Also die Schwankungen, die können bei üblichen Verhalten sogar in diesen Bereichen hinein gehen, ja über 350 mg/dl oder gar in den Unterzuckerbereich, der halt sehr gefährlich ist, weil da die Gefahr von Bewusstlosigkeit oder gar Koma groß ist.

Üblicherweise wird, um die Lebensqualität zu erhalten (das wird immer so gerne gesagt), meistens den Patienten empfohlen, das geliebte Essverhalten beizubehalten und nur die Insulindosis und das Timing des Spritzens anzupassen.

Das habe ich das letzte Mal auch mit meinem Diabetologen besprochen und der sagte: "Ja, ganz so ist es nicht mehr". Also, es ist inzwischen schon bekannt, dass die Ernährung einen großen Einfluss haben kann, aber diesen starken Einfluss, den ich da hingekriegt habe, sei schwer umzusetzen. Es verlangt von dem Diabetiker viel Disziplin, sich an alle Vorgaben zu halten.

Festzuhalten bleibt, dass die Ernährung eine sehr effizienten, zusätzliche Stellgröße sein könnte. Darauf deutet dieser Selbstversuchscreenshot links hin. Ausgehend von üblichen Ernährungsverhalten wurde der glykämische Index mitberücksichtigt. Also, es wurde geschaut, dass nicht Nahrungsmittel zu sich genommen werden oder weniger Nahrungsmittel oder seltener Nahrungsmittel mit hohem glykämischen Index. Das ist nicht nur Zucker allein und nicht nur süße Sachen wie Datteln oder Schokolade oder weiß der Kuckuck was, sondern auch die Lebensmittel, die sehr viel Kohlenhydrate in leicht resorbierbarer Form enthalten, wie zum Beispiel Weißmehlprodukte, Gebäck oder auch weißer Reis. Reis hat eine stärkere Wirkung auf den Blutzucker von Diabetikern als reiner Zucker.

Es wäre deshalb hilfreich, wenn der Glykämische Index oder besser noch die Glykämische Last im BLS aufgenommen würden. Dann könnte OptiDiet auch das berücksichtigen.

Gleichzeitig wurde dann das Intervallfasten in ähnlicher Form, wie es Michalsen aus Berlin vorschlägt, in der Weise durchgeführt, dass die Kalorienzufuhr beim Abendessen reduziert wurde. Also zum Abendessen dann nur noch leichten Salat, Tomatensalat, Chicoréesalat, Tee oder irgend sowas in der Richtung zu sich nehmen, damit der Stoffwechsel dann über Nacht, wie man hier sieht, schön zur Ruhe kommt. Das hat somit großen Einfluss auf die Langzeitwerte (HbA1c).

Bei sehr disziplinierter Einhaltung dieser Vorgehensweise, lässt sich der Tagesverlauf glätten, also so wie das hier im Idealfall gesehen werden kann.

Der wichtige HBA1C-Wert das ist der Wert, der bei Diabetikern den Langzeit Blutzuckerwert widerspiegelt, lässt sich in den Normbereich drücken oder zumindest ganz in die Nähe bringen.

**Folie 54**

So, das waren die Beispiele.

Dann kommen wir noch schlussendlich zu den makroökonomischen, volkswirtschaftlichen Bedeutungen des OptiDiet Algorithmus.

Die Kosten für medizinische Leistungen gehen 2026 auf fast 370 Milliarden Euro. Das wird auch momentan in den Medien hoch und runter diskutiert mit einer Finanzlücke von derzeit 14 Milliarden Euro.

Ärzte und Krankenhausvertreter sind schnell dabei, höhere Zuzahlungen oder Eintrittsgelder für die Arztpraxen zu fordern. Die Politik und Krankenkassen hingegen halten das für den falschen Weg und haben die großen Ausgabenblöcke in Kliniken und Arzneimitteln im Visier.

**Folie 55**

Bedenken wir aber, dass mehr als ein Drittel der Kosten ihre Ursache in einem zu ungünstigen Lebensstil haben, also Ernährung, Bewegung, Rauchen, Trinken, dann erkennen wir, welches immense volkswirtschaftliches Potenzial und welchen Hebel eine ernsthafte Optimierung der allgemeinen Ernährung haben könnte.

Sie kann dazu beitragen, dass sich nicht nur die Gesundheitslage verbessert, sondern auch ein gesundes Altern möglich ist. Stichwort: Longevity.

**Folie 56**

So, jetzt kommt aber das Contra.

Dieses Potenzial wurde bereits vor vielen Jahren dem damaligen Bundesgesundheitsminister vorgetragen. Mit dem hatte ich in Gießen auf einer DGE-Tagung „Ernährung im Alter“ eine Viertelstunde Sprechzeit bekommen.

Seine Reaktion war: "Eine breit angelegte Optimierung des Ernährungsverhaltens können wir uns nicht leisten."

Da ging meine Kinnlade erstmal nach unten.

„Aber wir können doch Milliardenbeträge einsparen“.

Und dann kam seine Gegenreaktion:

Jedes Jahr durchschnittliche Lebensverlängerung sprengt das deutsche Rentensystem!!(?). Das heißt, wenn die Leute älter werden, dann können wir die Rente nicht mehr bezahlen.

Das ist eher die Sicht eines Inkasso-Unternehmers und hat mich doch sehr stark an die Vorgehensweise der DDR erinnert, die allen Leute über 65 Reisefreiheit gewährten in der Hoffnung, dass sie dann dem bundesdeutschen Rentensystem auf der Tasche liegen und nicht mehr dem Rentensystem der damaligen DDR.

Dann gibt es noch eine andere Aussage, die ich auch noch erwähnen möchte:

Eine zu sehr pflanzenorientierte Ernährung hat ungünstige volkswirtschaftliche Nebenwirkungen: den Verlust von Arbeitsplätzen entlang der Wertschöpfungskette in der Lebensmittelindustrie. Tierische Lebensmittel haben halt eine lange Wertschöpfungskette. Pflanzliche Lebensmittel haben eine kürzere Wertschöpfungskette und entlang dieser langen Wertschöpfungskette würden doch dann Arbeitsplätze verloren gehen, wenn eine stärker pflanzenorientierte Ernährung propagiert wird.

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**