

Essen, Energie und Arbeit –

die Entwicklung einer Ernährungswissenschaft

Als aufstrebender Zweig der Wissenschaft sagt uns die Trophologie wie wir Lebensmittel kombinieren sollen, um uns täglich ausgewogen zu ernähren und gleichzeitig Stoffwechselkrankheiten zu vermeiden. Heute beschäftigen wir uns mit Möglichkeiten, wie unsere Ernährung genug Vitamine, Proteine, Stärke, Früchte und Kohlenhydrate enthalten kann. Dennoch muss unser Verständnis weiter reichen als „Essen als Notwendigkeit, einfach weil man Energie für die Bewältigung der täglichen Aufgaben braucht“ aufzufassen.



Hermann von Helmholtz (1821 – 1894)
Können wir also dennoch die Begriffe „Essen“, „Energie“ und „Arbeit“ sinnvoll miteinander verbinden? Welche wissenschaftlichen und soziologischen Leistungen haben uns dazu gebracht, das Grundbedürfnis nach Essen in eine Wissenschaft zu verwandeln, wie wir uns zu ernähren haben? Ursprünglich wurden die Schlüsselexperimente, die die Verbindung zwischen Essen, Ernährung und Arbeit bestätigten, im Kontext eines bedeutenden gesellschaftlichen Umbruchs, der industriellen Revolution, einer Zeit, in der die Menschen als Ressourcen oder genauer gesagt als lebende Maschinen angesehen wurden, durchgeführt. Im späten 18. und 19. Jahrhundert konnte man einen bedeutenden Wandel in den europäischen und nordamerikanischen Gesellschaften erkennen, als die Folgen der Industrialisierung die Länder dazu zwangen, zusätzliche Arbeiter zu finden, um die vermehrte Arbeitsbelastung aufgrund der neuen Erfindungen in der Industrie, wie die



Max Rubner (1854 – 1932)

Mechanisierung der Textilmanufaktur, bewältigen zu können. Die Herausforderung war nicht nur, einen Weg zu finden, Rohstoffe und Rohmaterialien in neue Güter umzuwandeln, sondern auch eine geeignete Ernährung für die steigende Anzahl an Arbeitern zu finden.

Es war in dieser Ära der Industrialisierung sehr gebräuchlich, ein mathematisches Gleichgewicht zwischen Stoffen und Gütern zu finden und so auch zwischen Essen und Arbeitsbelastung. Der Glaube, dass jede physikalische Kraft im Gleichgewicht mit einer äquivalenten Gegenkraft sei, führte zur Formulierung der Energieerhaltung im Jahre 1847 durch Hermann von Helmholtz.¹ In Sachen Physiologie finden sich die Gesetze der Energieerhaltung und Energieumwandlung bei den Experimenten von Max Rubner, der die Energie maß, die von Essen in Wärme und mechanische Arbeit umgewandelt wurde.² Eine Reihe anderer Wissenschaftler arbeitete auch an einer Theorie, wie man einen Menschen richtig ernähre, so dass er als Handwerker oder als Soldat der Industrie oder dem Militär seines Landes dienen könne. Dennoch wäre dies allein lange nicht genug gewesen um die Ernährung umfassend zu erforschen. Genauso wichtig wie Hunger und Durst, war ein weiteres essentielles Problem: das der Mangelkrankungen und wie diese zu behandeln wären. Es war lange Zeit bekannt aber konnte nicht richtig untersucht werden und war bisher noch nicht in die Theorie der Trophologie aufgenommen worden. Die bekanntesten Mangelkrankungen waren Beri-beri, was von der Sprache polynesischer Eingeborener abgeleitet wurde und schlichtweg bedeutet: „Ich kann mich nicht bewegen, ich kann mich nicht bewegen“, und das berüchtigte Skorbut, eine Krankheit, die vor allem unter Seeleuten weit verbreitet war. Wir wissen heute, dass beide Krankheiten durch Vitaminmangel hervorgerufen werden. Dennoch entdeckten Wissenschaftler erst 1912 die Nährstoffkomponente, die „Vital Amin“ genannt wird.

„Essen“- „Keine Armee kann mit leerem Magen marschieren“

Dieses wohlbekannte Sprichwort weist auf das Gleichgewicht zwischen Essen und Arbeit hin, aber nicht unbedingt auf die für einen Soldaten typische Arbeit. Die Anzahl an Personen, die in ernsthafte militärische Feldzüge mit einbezogen wurden, ermöglicht uns eine verlässliche Vorstellung davon, wie viel Essen pro Person pro Tag über einen längeren Zeitraum benötigt wird.

Wir wissen aus antiken Quellen, die von römischen Quartiersmeistern um 100 n.Chr. geschrieben wurden, dass die römischen Legionäre von einer durchschnittlichen Ration von etwa 850 Gramm Getreide pro Tag lebten, die durch Fleisch, Gemüse und Obst ergänzt wurde.³ Etwa vier Jahrhunderte früher musste die Armee von Alexander II. von Mazedonien während ihres 13-jährigen Feldzuges gegen das Persische Reich ernährt werden. Die Aufzeichnungen der Menge an Lebensmitteln, die von Alexanders Truppen in diesem Feldzug transportiert worden waren, lassen uns auf ähnliche Ergebnisse darüber kommen, wie viel Essen jedem einzelnen Soldaten gegeben wurde.⁴ Wir haben auch Daten, die ihren Ursprung im zivilen Leben haben. Ägyptische Arbeiter in Mesopotamien bekamen eine monatliche Ration von je drei Barren Getreide, was einen Durchschnitt von 700 Gramm Mehl pro Arbeiter pro Tag ergibt.⁵ Wenn wir dann noch in Betracht ziehen, dass diese Arbeiter vielleicht nicht solch eine physikalische Arbeit verrichteten wie ein mazedonischer oder römischer Infanteriesoldat, dann geben uns die verschiedenen Datensätze, die eine Zeitspanne von 1000 v.Chr. bis 100 n.Chr. abdecken, einen verlässlichen Durchschnittswert, wie viel Nahrung täglich gebraucht wurde. Und sie zeigen alle,

¹ Hermann von Helmholtz, „Über die Erhaltung der Kraft“, in: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 1, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1915 („Über die Erhaltung der Kraft“; der Ausdruck „lebende Kraft“ wurde damals noch synonym mit der heutigen „Energie“ verwendet
² Z.B. Max Rubner, Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung, Leipzig/Wien, 1902

³ Jonathan P. Roth, *The logistics of the roman army at war (Die Logistik der römischen Armee im Krieg)*, Brill Publishing, Leiden, 1995

⁴ Victor Davis Hanson, *The Wars of the Ancient Greeks (Die Kriege der Alten Griechen)*, Cassell&Co. Wellington House, London 1999, p.165ff.

⁵ Irene Huber, „Von Affenwärlern, Schlangenbeschwörern und Palastmanagern: Ägypter im Mesopotamien des ersten vorchristlichen Jahrtausends“ in: R.Rollinger, B.Truschegg (eds.), *Altertum und Mittelmeerraum: die antike Welt diesseits und jenseits der Levante*, Franz Steiner Verlag Stuttgart (2006), pp. 303 – 330

dass Getreide und Fleisch die Grundlage des täglichen Bedarfs der Arbeiter darstellten.

„Arbeit“ – Gebt den Armen zu Essen: Benjamin Thompson und sein Einfluss auf Bayern

Benjamin Thompson (1753-1814), der seit 1784 als Count Rumford bekannt ist, war ein in Amerika geborener britischer Offizier, der während des Amerikanischen Unabhängigkeitskrieges auf Seiten der Briten gekämpft hatte. Nachdem er sowohl politische als auch militärische Erfahrungen im Kampf Englands gegen seine abtrünnigen Kolonien gesammelt hatte, kehrte er 1782 nach England zurück.⁶ Er wurde auf halben Sold gesetzt und verließ England um sich irgendwo in den Armeen von Europa eine neue Stelle zu suchen. Thompson fand letztendlich eine neue Anstellung in Bayern, wo der prinzliche Kurfürst ihn für die Durchführung von Reformen sowohl des Militärs als auch des Sozialsystems des Landes einstellte. Thompson nahm Abschied von der Britischen Armee, wurde für seine Dienste unter der Britischen Krone zum Ritter geschlagen⁷ und übernahm am 11. März 1784 seinen neuen Posten in München.

Von 1784 bis 1788 arbeitete er an dem Reformprogramm in Bayern. Thompson betrieb enorme Untersuchungen des Militär und Sozialsystems der zwei dominierenden Länder in Zentraleuropa, Österreich und Preußen, und verglich den Zustand und Kosten der bewaffneten Streitkräfte dieser zwei Länder mit der Situation in Bayern. Spät im Jahr 1788 präsentierte er seinem Arbeitgeber ein Reformprogramm. Er betonte drei bestimmte Ziele, die in der Reform durchgesetzt werden sollten, die lauteten:

1. Beendigung der Abgrenzung und den Ausschluss des Soldaten als Experten.
2. Erhöhung der Anzahl der angeforderten Truppen und der Löhne, die jedem Soldat gezahlt werden ohne das jährliche Budget der Bayerischen Armee zu erhöhen.
3. Erlaubnis für die Streitkräfte, während Friedenszeiten zivilen Zwecken zu dienen.

Das zweite und dritte Ziel führten besonders zu Thompsons enormem Beitrag in Sachen „Massenernährung“. Da das Budget der Bayerischen Armee nicht erhöht werden sollte, musste er einen anderen Weg finden, das Budget zu kürzen. Er dachte er könnte Ersparnisse erzielen, indem er die Uniformen der Soldaten zu einem geringeren Preis bereitstellte, indem er Münchens Bettler im kürzlich begründeten militärischen Arbeitshaus anstellte. Seine Idee war nicht nur, das Problem der „robusten Bettler“, die in ganz Europa bekannt waren, zu lösen, sondern auch die Bettler zu bilden und sie somit zu ermutigen Selbstversorger zu werden und ihren Anteil dazu beizutragen ihr eigenes Geld zu verdienen.⁸

⁶ Thompson diente bis 1781 als *Staatssekretär für die Kolonien (Under-Secretary of State for the Colonies)* und als Oberst der königlichen American Dragoons bis dieses Regiment nach England abkommandiert wurde

⁷ Thompsons Titel Count Rumford bezieht sich auf die amerikanische Stadt in New Hampshire wo er seine erste Frau heiratete. Die Stadt wird heute Concord genannt. Siehe: Bouton, Nathaniel (1857). *The History of Concord: From Its First Grant in 1725 to the Organization of the City Government in 1853 (Die Geschichte von Concord: Von seinem ersten Bewilligung 1725 bis zur Organisation der Stadtverwaltung 1853)*. Concord: Benning W. Sanford.

⁸ Rumford berechnete, dass 7% der Einwohner Münchens vom Betteln in den Straßen lebten, obwohl eine große Anzahl dieser Bettler offensichtliche zurechnungsfähig und arbeitsfähig waren. Siehe: F.K.Möhl, „Die Vorläufer der Organisation der heutigen Armenpflege in München, insbesondere das Armenpflegeinstitut des Grafen Rumford“, Bamberg 1903, S.33

Suppe No. II.

| Zutaten | Gewicht | | Kostenbetrag | | |
|--|---------|----|--------------|-----|-----|
| | lb | ℥ | Nth. | gr. | pf. |
| 2 Viertel Perlgrau- pen | 70 | 18 | 1 | 16 | 9 |
| 2 Viertel Erbsen | 65 | 20 | 1 | 5 | 3 |
| 8 Viertel Kartoffeln Dropschnitte | 230 | 8 | — | 14 | 9 |
| Salz | 69 | 20 | 3 | 9 | 6 |
| Weinefig | 19 | 26 | — | 10 | 3 |
| Wasser | 46 | 26 | — | 12 | 7 |
| Wasser | 982 | 30 | — | — | — |
| Summe d. Gewichts | 1485 | 20 | — | — | — |
| Für Brennholz, Mäde und Bedien- te, Reparaturen | — | — | 1 | 3 | 9 |
| Summe der täglichen Ausgabe, wenn 1200 Menschen beföstigt sind. | — | — | 9 | 1 | 10 |

Die obige Summe (9 Nthlr. 1 gr. 10) mit 1200, als der Zahl der vertheilten Suppen-Portionen, dividirt, beträgt für jede Portion ungefähr 2 Pfennige.

Das Originalrezept der Rumfordsuppe Nr.2: Die erste Verfeinerung wurde gemacht indem die Gerste durch Kartoffeln ersetzt wurde. Die Suppe wurde durch die Verwendung von Kartoffeln wesentlich billiger.

Zum Arbeitshaus gehörte eine Suppenküche, die bald zur Schlüsseleinrichtung im Arbeitshaus wurde. Thompson bekam heraus, dass er eine Mahlzeit für alle seine Arbeiter zubereiten konnte, die weniger kosten würde als jeder einzelne für seine Ernährung ausgeben würde. Die Arbeiter erhielten ein freies Mittagessen, das aus 20 Unzen „Rumford-Suppe“ bestand und welches in der Suppenküche serviert wurde. Thompson entwickelte und veröffentlichte verschiedene Rezepte mit denen bis zu 1200 Portionen auf einmal zubereitet werden konnten. Diese Rezepte und ihre Varianten wurden als „Rumfordsuppe“ bekannt. Sie war ursprünglich eine Mischung aus Graupen, Erbsen, Salz, Essig und Wasser, aber später wurde sie mit Brotschreien und Kartoffeln verfeinert.⁹

⁹ Benjamin Thompson, Reichsgraf Rumford, *Kleine Schriften politischen, ökonomischen und philosophischen Inhalts*, München 1804, ff. 274 und 276; Die Veröffentlichung des Rezeptes beinhaltet die Kosten für das in der Küche verwendete Gas und die Gehälter des Koches und der Angestellten, die die Suppe ihren Empfängern servierten.

Dennoch erntete die Rumfordsuppe einige Kritik obwohl sie eine gute Grundlage an Kohlenhydraten (durch die Kartoffeln und die Gerste) und Protein (durch die Erbsen) lieferte. Obwohl die Suppe den Verbraucher sehr zu füllen vermochte, ernährte sie sie nicht gut – zumindest nicht die Erwachsenen. Moderne Rechnungen lassen uns erkennen, dass die Rumfordsuppe Nr.1 570 Kalorien lieferte, die Rumfordsuppe Nr.2, in der Kartoffeln verwendet wurden um die Graupen zu ersetzen, lieferte nur 420 Kalorien.¹⁰ Wenn wir moderne Standards berücksichtigen, sollte die tägliche Einnahme eines Erwachsenen bei etwa 2000 Kalorien pro Tag liegen. Offensichtlich waren die Rumfordsuppen nur effizient, wenn es darum ging, jemanden zu geringen Kosten zu ernähren, aber nicht, um die täglichen Voraussetzungen der Ernährung zu erfüllen, besonders für einen langen Arbeitstag im militärischen Arbeitshaus. So scheiterte sie dabei, Rumfords Plan, die Arbeiter zu ernähren, zu erfüllen. Wohlfahrtsorganisationen übernahmen dennoch das Rezept der Rumfordsuppe und nutzten sie um obdachlose Menschen und solche, die während der Napoleonischen Kriege arbeitsunfähig wurden, zu unterstützen.¹¹

¹⁰ Familien wurden ermutigt, ihre Kinder ins militärische Arbeitshaus mitzunehmen, wo sie zur Schule gehen konnten und, wenn sie wollten, kleine Aufgaben übernehmen konnten. Siehe: Fritz Redlich, *Science and Charity: Count Rumford and his Followers* (Wissenschaft und Wohlfahrt; Count Rumford und seine Anhänger), *International Review of Social History*, Band 16, Ausgabe 2 (1971), S. 184 – 216

¹¹ Heute gibt es seine große Vielfalt an Rumfordsuppen, deren Rezepte nicht zwingend viel mit den ursprünglich von Thompson für die Verwendung in der Suppenküche des Arbeitshaus ausgedachten Suppen gemeinsam haben



Santorio Santorio (1561 – 1636) war ein italienischer Arzt, der seine Abhandlung *Ars de statica medicina* im Jahre 1614 veröffentlichte¹².

In dem Buch geht es hauptsächlich um die Forschung am menschlichen Stoffwechsel. Es war teilweise auf die Experimente, die Santorio an sich selbst durchgeführt hatte, gestützt. Auf der ersten Seite seines Buches kann man ein Bild des verwendeten Aufbaus des Experiments sehen. Es zeigt Santorio, der auf der Waage (einem sogenannten Wiegestuhl) sitzt; auf einem Tisch neben ihm kann man Besteck und Geschirr sehen. Er dokumentierte das Gewicht von dem was er aß und trank (*ingesta*) und auch das der Exkremente (*excreta*) über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren und wies die Differenz der zwei als *unbemerzte Ausdünstung* aus.¹³ Er fand heraus, dass das „Gewicht“ der unbemerkten Ausdünstung – durchschnittlich 2,5 Pfund pro Tag – höher war als das seiner Exkremente. Santorio berücksichtigte eine Vielzahl an Faktoren wie Krankheit, Alter, körperliche Aktivität, Ernährung und auch Schlaf, welche alle die unbemerkte Ausdünstung erhöhen oder verringern konnten. Zusätzlich

¹² Santorio Santorio, *Ars de statica medicina*, 1614

¹³ Richard Toellner (Hrsg.), *Illustrierte Geschichte der Medizin*, Band V, Weltbild Verlag, Augsburg (2000) S. 2371

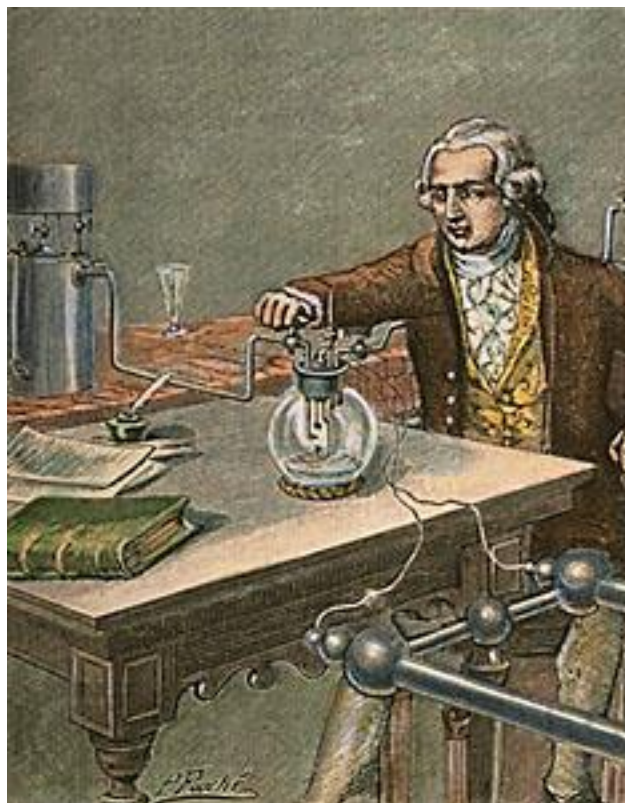
erfand er Messinstrumente um den Puls und die Körpertemperatur zu bestimmen. Seine Befunde sind die ersten Ergebnisse einer Langzeitstudie des menschlichen Stoffwechsels.

Energie – die Entdeckung von Sauerstoff und sein Nutzen bei der Verbrennung

Während Santorio sich auf das *Gewicht* seiner aufgenommenen Nahrung konzentrierte, spezialisierte sich Antoine Laurent de Lavoisier (1743 – 1794), ein französischer Wissenschaftler, auf *Wärme* und *Verbrennung*.¹⁴ Die Definition von Wärme war immer noch von den Ideen der Phlogistontheorie geprägt. Obwohl diese Theorie anschließend in Lavoisiers Zeit verworfen wurde, trug Lavoisier einen beachtlichen Teil zu dieser wissenschaftlichen Revolution bei. Lavoisier glaubte fest an die Tatsache, dass Masse in chemischen Reaktionen gespeichert werde, eine Idee, die aus den wissenschaftlichen Bemühungen der Aufklärung stammt. Die Idee der Erhaltung der Masse war der Schlüssel zu einer der wichtigsten Erkenntnisse der Chemie: Oxidation.

Lavoisier erkannte, dass, wenn ein Metall roste, die Masse des Rosts („calx“, üblicherweise in Pulverform gewogen) ein höheres Gewicht hatte als das ursprüngliche Metallstück. Lavoisier fand auch heraus, dass dieser Prozess umkehrbar ist, d.h. wenn das „calx“ durch Erwärmung des Metalls reduziert wurde, wurde dessen Gewicht reduziert. Die Phlogistontheorie konnte diese Veränderungen der Masse nicht erklären, weil die Wärme laut der allgemein geltenden Ideen ein unwägbares („gewichtloses“) Element war. Lavoisier entwickelte die Idee, dass der Vergleich mit der „Luft“ vielleicht der Schlüssel zu den Veränderungen der Masse sei und glich seine Experimente mit dieser Theorie ab.

¹⁴ Die Encyclopedia Britannica honoriert Lavoisiers Leistungen, indem sie ihn den „Vater der modernen Ernährung“ nennt. Die online Version findet sich unter <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/332700/Antoine-Laurent-Lavoisier>, 21.März 2012



Lavoisier, Antoine-Laurent: Beim Experimentieren um die Bestandteile von Wasser zu bestimmen. Foto. Encyclopædia Britannica Online. Web. 21 März 2012.

Die Theorie der Verbrennung konnte nicht weiter entwickelt werden bis Lavoisier und Priestley, ein britischer Chemiker ihre jeweilige Erkenntnisse kombinierten. Die zwei respektierten sich gegenseitig gleichermaßen obwohl sie verschiedene Meinungen über den Vorgang der Verbrennung hatten. Priestleys Ansicht war stark an die Phlogistontheorie angelehnt aber er kontrollierte seine experimentelle Umgebung besser als der Franzose. Priestley war auf die Tatsache aufmerksam geworden, dass die „Luft“, die während eines Experiments hergestellt worden war, „anders als die normale Luft“¹⁵ war. Lavoisier wiederholte das Experiment, indem er gewöhnliche rote Quecksilber-Ablagerungen auf dieselbe Weise erhitzte und so wie Priestley dem im Prozess produzierten Gas große Aufmerksamkeit widmete. In der nachfolgenden Analyse konnte er den letzten Hinweis finden, den er benötigte, also den Unterschied zwischen experimentellem Gas und frischer Luft. Er entdeckte das im ‚Umwandlungsprozess involvierte Element und nannte es

¹⁵ Das Experiment wurde von Joseph Black im Jahre 1750 durchgeführt, in dem der Kohlendioxid entdeckte

„Oxygen“, angelehnt an das griechische Wort für „etwas scharf machen“ (frei übersetzt als „Säureproduzent“ wegen des sauren Geschmacks der Säure). Obwohl Priestley das selbe Experiment durchgeführt hatte, identifizierte er Sauerstoff nicht als Element – stattdessen charakterisierte er das produzierte Gas als „un-phlogistierte Luft“, um so der Phlogistontheorie genau zu folgen. Lavoisier benutzte sein neu erlangtes Wissen um den Sauerstoff als Teil der chemischen Reaktion mit einzubinden und war in der Lage seine Theorie um die Effekte der Umwandlung und Verbrennung zu erweitern.

Thermodynamik: Warum sollte da „Energie“ in meinem „Essen“ sein?

Der Gebrauch des Wortes Kalorie wird heute synonym mit Energie verwendet. Auf vielen Produkten der modernen Supermärkte wird die in ihnen enthaltene Energie in Form von Kilokalorien und der Menge an Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß in einer Tabelle angegeben, die auf die Verpackung des Produktes gedruckt ist.¹⁶ Die Etymologie des Wortes „kalorisch“ reicht weit zurück in Lavoisiers Zeiten und die Theorie von Phlogiston, als Wärme als unwägbares („gewichtsloses“) chemisches Element angesehen wurde, das jedem Körper innewohnt. Die Idee von Wärme als Element wurde abgelehnt aber das Wort Energie spiegelt noch immer gerade diese Idee wider. Es ist ein Ausdruck, der ursprünglich aus dem Griechischen stammt und „von Natur aus wirkend“¹⁷ bedeutet. Diese Bezeichnung wurde von William Rankine im Jahre 1853 eingeführt. Rankine definierte Energie als „eine Macht zu verändern, im Gegensatz zum Widerstand.“ Weiterhin unterschied er zwischen „echter oder wahrnehmbarer“ Energie (z.B. Bewegungsenergie) und „potentieller oder latenter“ Energie.¹⁸

¹⁶ 1860 verkündete Max Rubner, dass seine Kalorie die Energiemenge sei, die benötigt wird, um ein Gramm Wasser von 4 auf 5 Grad Celsius zu erhöhen. Siehe: Mildred Ziegler, „The history of the calorie in nutrition“ („Die Geschichte der Kalorie in der Ernährung“), Scientific Monthly, 15/6 (1922), S. 520 - 526

¹⁷ Duden, Fremdwörter, Eintrag Energie

¹⁸ William Rankine, „On the General Law of the Transformation of Energy“ („Über das allgemeingültige Gesetz der Energieumformung“), Philosophical Magazine and Journal of Science, series 4, vol.5, no. 30, (1853), S. 109 – 117

Die Wissenschaft Mitte des 19. Jahrhunderts war sehr mit der Notwendigkeit beschäftigt, wie Arbeiter die Energie für die Fabrikarbeit erhalten könnten. Nach der Veröffentlichung über die Erhaltung der „lebendigen Kraft“¹⁹ von Helmholtz schien es offensichtlich, dass arbeitende Männer ihr Essen in mechanische Arbeit umwandeln mussten und dass diese zwei Seiten der Gleichung, wenn auch völlig unbekannt, dennoch gleich sein müssten. Die Energie konnte anscheinend von jeder Art Essen geliefert werden, da einige Arten an Essen offensichtlich gegeneinander ausgetauscht werden konnten. Das war sehr praktisch, wenn man die Nahrung als „Antriebsstoff“ ansah, der dann in Arbeit umgewandelt werden musste, da der Umwandlungsprozess nicht mehr als der Energiegewinn einer chemischen Reaktion war und nicht von der physikalischen Form der Nahrung abhing. Auf diese Weise konnte die Physiologie im Sinne der analytischen Chemie verstanden werden.



Rubners Tier-Kalorimeter in der Ausstellung „Energie = Arbeit“ in Berlin 2010, Fotografie von Elke Jung-Wolff. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Stiftung Brandenburger Tor, Berlin (Copyright Stiftung Brandenburger Tor)

Rubner arbeitete mehrere Jahrzehnte im Bereich der Thermodynamik und präsentierte letztendlich seine experimentellen Ergebnisse, mit denen er beabsichtigte, die Gültigkeit des physikalischen Gesetzes der Energieumwandlung für menschliche und tierische Subjekte zu beweisen. Er definierte Wärme als eine „Messgröße für die Intensität eines Lebensprozesses“.

Um seine Idee zu unterstützen, fertigte Rubner einen experimentellen Aufbau an, mit dem er das Produkt des Energieumwandlungsprozesses in einem tierischen Körper kontrollieren konnte. Das Tierkalorimeter, das im obigen Bild gezeigt wird, war eine isolierte Kammer, in die ein einziger Hund gesetzt wurde. Die Kammer war mit Messinstrumenten für Druck und Temperatur ausgestattet und auch für Sauerstoff und Kohlendioxid in der Kammer. Die Kammer bot nur wenig Raum für Bewegung, sodass der Hund keine Energie mit Herumzapeln verschwenden würde. Die Idee dahinter war, dass alle Energie, die dem tierischen Körper durch Nahrung zugeführt wurde, in „Wärme“ umgewandelt werden musste, da Umwandlung in mechanische Energie nicht möglich war. Rubner schloss letztendlich, dass die gesamte Energie, die im Futter enthalten war, irgendwann in Hitze umgewandelt wurde (*Nahrungs-induzierte Thermogenese*).²⁰ Nachdem die Menge der in Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß enthaltenen Energie ermittelt worden war, bemühte Rubner sich, die Fähigkeiten des menschlichen Körpers, Energie in Wärme und mechanische Arbeit umzuwandeln zu unterscheiden. Die Idee war, die Substanz zu identifizieren, die am wenigsten in Wärme umgewandelt wurde, denn das würde bedeuten, dass der Rest der Energie in mechanische Arbeit umgewandelt würde. Rubner identifizierte die Proteine als die Substanz, bei der das Wärme-zu-Energie Verhältnis am ungünstigsten hinsichtlich der Produktion von Arbeit aus Essen ist. Wenn jemand ein Anhänger der generellen Idee des industriellen Zeitalters war, in dem der menschliche Körper in den Schnittpunkt zwischen Energie, Kosten und Arbeitsbelastung gestellt wurde, dann war diese Erkenntnis sehr praktisch. Die Hauptquelle der Proteine war Fleisch, was teuer war, verglichen mit Getreide oder Kartoffeln, welche im Gegen-

¹⁹ Siehe Referenz 1

²⁰ Elisabeth Neswald, private Kommunikation

satz dazu Hauptquellen für Kohlenhydrate waren.²¹ Und da die „Arbeiter“ ihr „Essen“ in „Arbeit“ umwandeln sollten, schien es offensichtlich, dass Fleisch unter keinen Umständen wichtig für ein ausgeglichenes Leben sei. Infolgedessen sollte Fleisch, eine teure Ware, nur als „Brain food“ an Menschen, die geistige Arbeit leisteten, ausgegeben werden.



Gedenkmarke von Justus von Liebig, 2003 von der Bundespost zu Liebig's 200. Geburtstag herausgegeben; von Liebig wurde zwischen dem „Fleisch-Extrakt“, einem Vorgänger der heutigen Instantuppe und dem „Fünf-Kugel-Apparat“ (zuvor „Kali-Apparat“ oder „Potassium-Apparat“ genannt), durch den die Menge an Kohlenstoff in einer unbekannt Substanz ermittelt werden konnte, eingrahmt.

Wenn man berücksichtigt, dass der menschliche Körper zeitweise keine Energie für die Umwandlung in mechanische Arbeit benötigt, würde man zu einem alternativen Schluss kommen. Die Geschichte von „Liebig's Fleisch-extrakt“ zeigt, dass Fleisch an sich nicht das perfekte „Brain food“ war. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der Chemieprofessor unter den Chemikern sehr bekannt. Die meisten seiner Experimente führte er in einem Bereich der neuen organischen Chemie durch, einem Zweig, von dem Wissenschaftler dachten, er könne nicht außerhalb eines lebendigen Organismus studiert werden.²² Untersuchungen in der organischen Chemie versuchten die Zusammensetzung fast jeder organischen Substanz zu bestimmen. Liebig erfand einen Apparat, den er „Fünf-Kugel-Apparat“ nannte, mit dem er die

Menge an Kohlenstoff in jeder organischen Substanz bestimmen konnte.

Dennoch wurde er am bekanntesten mit seiner Arbeit über die Physiologie der Tiere und auch über „agrарwirtschaftliche Chemie“. Liebig's Schlüsselannahme war, dass im Prinzip der Prozess der Fettbildung während der Verdauung komplett von den Laborchemikern gezeigt werden könnte. Obwohl diese Annahme während seiner Zeit heftig diskutiert wurde, stellte sie sich am Ende als richtig heraus und demzufolge war Liebig der erste Wissenschaftler, der Chemie, Physiologie und Medizin miteinander verband.

Sein wichtiger Beitrag zur Welt der Ernährung, „Liebig's Fleischextrakt“, ist ein Nebenprodukt seines Versuches, einem Freund bei der Bewältigung einer schweren Krankheit zu helfen. Im Jahre 1853 litt Emma Muspratt, die Tochter eines englischen Freundes von Liebig, während ihres Aufenthaltes in München, wo Liebig seit 1852 eine Professur innehatte, stark an Typhus. Sie war nicht imstande zu essen und ihr Verdauungsapparat wären sowieso nicht in der Lage gewesen, feste Nahrung zu verarbeiten. Liebig wusste, dass es keine Standardmethode gab, jemanden zu ernähren, der an Typhus litt und somit erkannte er, dass die einzige Möglichkeit, die Patientin zu ernähren, sei, Fleisch-extrakt direkt in ihren Körper einzuflößen. Der Extrakt wurde hergestellt, indem Hühnerfleisch gemahlen wurde und dann in einer wässrigen Lösung aus Salzsäure eingelegt wurde. Nach 12 Stunden filterte Liebig die Reste des Fleisches aus der Flüssigkeit, die nun das fast intakte Protein enthielt. Er neutralisierte dann die Säure und ließ Emma Mespratt sie trinken. Sie erholte sich innerhalb kurzer Zeit.²³ Der Fleischextrakt konnte nicht in einen geschäftlichen Erfolg umgewandelt werden, da die Herstellung des Extraktes sehr arbeitsaufwändig war. Dennoch wurde es vom Münchner Apotheker von Pettenkofer als Heilmittel für kranke Personen, die nicht essen konnten, hergestellt.

²¹ Max Rubner, *Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung*, Leipzig 1902

²² Friedrich Wöhler änderte seine Experimente zwischen 1824 und 1828, als er eine Synthese aus den organischen Substanzen Oxalsäure und Carbamid (Harnstoff) herstellte.

²³ Günther K. Judel, „Die Geschichte von Liebig's Fleischextrakt“, *Spiegel der Forschung* (Universität Gießen), vol. 20, no. 1, 2003, pp.6 – 15

Der physikalische und physiologische kalorische Bruttowert

Das Wissen um die Existenz von Sauerstoff war allein nicht genug um zu erklären warum die Bestandteile des Essens im Körper verbrannt wurden, zumindest nicht bis der französische Chemiker Antoine Lavoisier in der Lage war ein Experiment zu erstellen, aus dem geschlossen werden konnte, dass eine gewisse Form der Verbrennung innerhalb des menschlichen Körpers stattfinden musste.



Das Eis-Kalorimeter nach dem Design von Laplace und Lavoisier (1780). Eis wurde in die Hauptkammer (mit dem Korb) und auch in eine Abtrennungswand gefüllt um die Kammer so von der Laborumgebung zu isolieren. Das Objekt, das Wärme bewahrte oder erzeugte, wurde in den Korb platziert und schmolz das Eis. Die Menge an abgeflossenem Wasser war äquivalent zu der in der Reaktion entwickelten Hitze.

Die Entwicklung der Wärme in chemischen Prozessen war der Schlüssel um das Interesse der französischen Wissenschaftler Simon Laplace und Antoine Lavoisier zu wecken. Sie erfanden das Eis-Kalorimeter, einen anspruchsvollen Apparat zur Bestimmung der Wärmemenge, die von einem Tier entwickelt

wurde, oder die in ruhenden Festkörpern gefunden werden konnte.²⁴ Die Wärme wurde genutzt um Eis zu schmelzen und die Wassermenge, die in dem Prozess entstand, war äquivalent zu der Menge an Wärme, die aus der chemischen Reaktion entstand.

Zusammen mit seinem Assistenten Armand Séguin führte Lavoisier auch Experimente dazu durch, wie eingeatmete Luft durch während physikalischer Arbeit verändert wird. Er erstellte einen experimentellen Aufbau, bei dem eine Testperson während der Messungen atmosphärische Luft durch eine Maske, die das ganze Gesicht bedeckt, einatmen würde. Diese Maske war speziell angefertigt worden um die ausgeatmete Luft in eine Flasche zu leiten, die eine alkalische Flüssigkeit enthielt. Das Kohlendioxid in der Flasche veranlasste eine chemische Reaktion, in der unlösliches Alkalikarbonat erzeugt wurde. Die ausgeatmete Luft konnte in der Flasche in Form von Blasen beobachtet werden, das Alkali Kohlendioxid löste sich während des Prozesses und sammelte sich am Boden der Flasche.

Das Experiment wurde auf zwei verschiedene Arten durchgeführt, zuerst mit einer Person in Ruhe und dann mit einer Person in Arbeit. Lavoisier nahm bereits an, dass der Zweck des menschlichen Atmungsprozesses eher darin bestand, Wärme zu produzieren, als den Körper mit Sauerstoff zu versorgen. Demzufolge verglich er die ausgeatmeten Gase mit den eingeatmeten Gasen, zusammen mit der Temperatur der Person. Die endgültige Schlussfolgerung aus den Experimenten mit Séguin war, dass Tiere organische Materialien mittels eingeatmetem Sauerstoff verbrennen.

Im Allgemeinen messen Kalorimeter die „Wärme“, die bei chemischen Reaktionen entsteht und Laplace und Lavoisier hatten bereits dokumentiert, dass Tiere organische Substanzen in Wärme umwandeln. Der nächste Schritt war, zu bestimmen, wie viel Wärme aus jeder Substanz entwickelt werden könne und diese Wärme wurde in Kalorimetern gemessen, indem die fragliche Substanz zu Asche verbrannt wurde. Die Wärme, die zusätzlich zu der in der Reaktion entwickelten Wärme entstand, wird „*physischer* kalorischer Wert“ genannt.

²⁴ Simon Laplace, Antoine de Lavoisier, „Mémoire sur la chaleur“, Mémoires de l'Académie des sciences, Année 1780, S.355

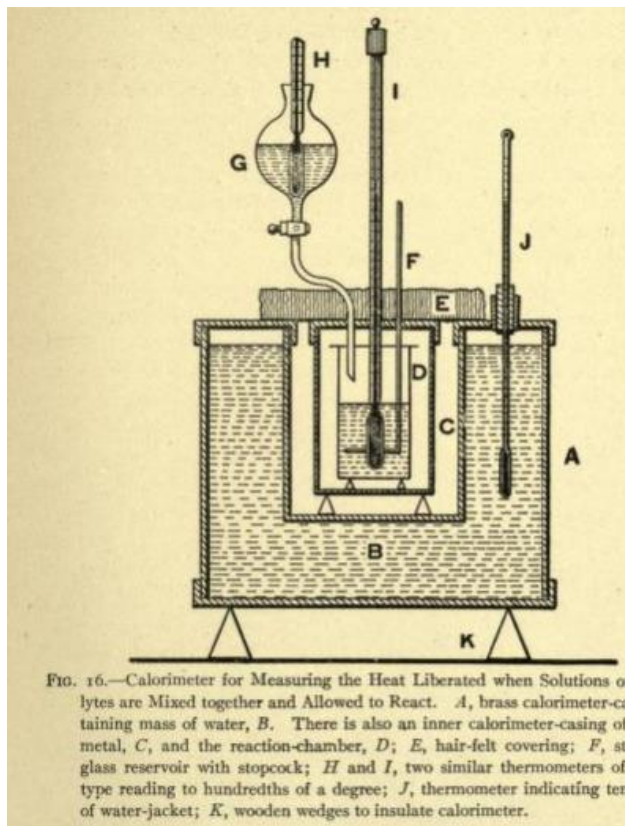


FIG. 16.—Calorimeter for Measuring the Heat Liberated when Solutions of Iytes are Mixed together and Allowed to React. A, brass calorimeter-casing containing mass of water, B. There is also an inner calorimeter-casing of metal, C, and the reaction-chamber, D; E, hair-felt covering; F, glass reservoir with stopcock; H and I, two similar thermometers of type reading to hundredths of a degree; J, thermometer indicating ten of water-jacket; K, wooden wedges to insulate calorimeter.

Kalorimeter, Nevil Monroe Hopkins, *Experimentelle Elektrochemie* (1905); dieses Kalorimeter wurde genutzt um die Wärme zu messen, die während der Reaktion zweier Flüssigkeiten miteinander entwickelt wird. Der Abflusscontainer D ist auch die Reaktionskammer, in die die zweite Flüssigkeit aus dem Aufbewahrungscontainer G abgeleitet wird. Zwei Thermometer I und J wurden in der Reaktionskammer und an der isolierenden Wand angebracht um die in der chemischen Reaktion entstehende Hitze zu kontrollieren.

Das Kalorimeter nach Hopkins Art (siehe obiges Bild) bestimmt die Energiemenge, die während einer chemischen Reaktion frei wird, indem die reagierenden Flüssigkeiten in eine gemeinsame Reaktionskammer gegossen werden. Zwei Thermometer werden verwendet um die Veränderung der Temperatur während der Reaktion zu überwachen. Der *physische kalorische Wert* ist nicht wirklich relevant, zumindest was den menschlichen Stoffwechsel angeht. Der kalorische Wert jeder Nahrung variiert für jede Spezies, die sie zu konsumieren beabsichtigt, da der relevante Wert hier der sogenannte *physiologische kalorische Wert* ist. Er kann grob bestimmt werden, indem die Exkremente des fraglichen Tiers oder des Menschen verbrannt werden und dieser Wert mit dem physischen kalorischen Wert des consu-

mierten Essens verglichen wird. Aus der Differenz wird dann der physiologische kalorische Wert. Es muss allerdings angemerkt werden, dass der physiologische kalorische Wert nicht als exakter Wert angesehen werden kann. Er ändert sich nicht nur von Spezies zu Spezies, sondern ist mehr oder weniger ein persönlicher Wert des jeweiligen Tieres (oder Menschen), das (der) getestet wurde.

Warum Energie nicht genug ist: Mangelkrankungen

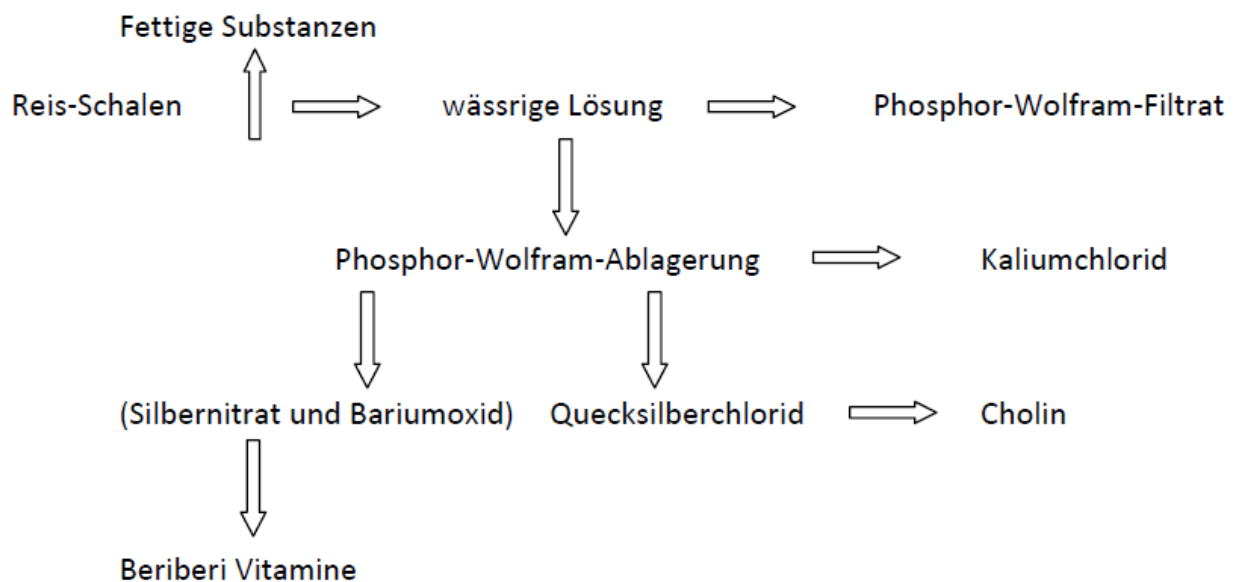
Eine der ältesten Krankheiten, die Seefahrern gut bekannt ist, ist Skorbut, von dem heute bekannt ist, dass es durch Vitamin C-Mangel hervorgerufen wird. Die ältesten Berichte über Seeleute, die an dieser Mangelkrankung litten, gehen bis in die Tage des antiken Ägyptens zurück. Es war bekannt, dass Männer an Bord eines Handelsschiffes krank wurden, aber der genaue Grund war unbekannt. Aufgrund der Notwendigkeit als eine brauchbare Einheit zu agieren, hatten die Schiffe große Mengen an Zwieback und gepökeltem Fleisch an Bord, da sie diese über einen längeren Zeitraum lagern konnten. Diese Nährstoffe, die eine gute Grundlage für die täglich benötigte Energie lieferten, konnten mit Fisch oder Käse ergänzt werden. Aber diese zusätzlichen Zutaten waren anfällig dafür innerhalb kurzer Zeit zu verderben und somit wurde ein Ersatz benötigt, nachdem sie konsumiert worden waren.

Außerdem war bis ins 18. Jahrhundert noch keine Heilmethode gefunden worden bis ein schottischer Arzt namens James Lind (1736-1812) eine Behandlung fand um diese Krankheit zu besiegen. Lind führte ein Experiment mit einem Dutzend Leute durch, die offensichtlich an Skorbut litten und die die meisten der bereits gut bekannten und dokumentierten Symptome zeigten. Er unterteilte seine Patienten in sechs Paare und gab jedem davon eine besondere Diät um die Effekte der Nahrung und auch der Hygiene zu testen. Nach 14 Tagen war Lind imstande zu schlussfolgern, dass die einzige Gruppe, die alle Skorbut Symptome überwunden hatte, diejenige war, die Orangen und Zitronen auf ihrem besonderen Menü hatten. Er überließ es „der Erfahrung anderer, die Wirksamkeit dieser Früchte zu bestätigen“, was so viel bedeutete wie, dass er sich sehr wohl bewusst war, dass er ein Heilmittel gefunden hatte, aber noch nicht den Grund, warum dieses Heilmittel so sehr wirksam war.

Die Erforschung von Beriberi, einer Mangelkrankung, die durch den Mangel an Vitamin B1 hervorgerufen wird, war sogar noch erfolgreicher. Sie begann mit verschiedenen Annahmen darüber, wie die Krankheit vielleicht verursacht wurde, und es wurde auf falschen Schlussfolgerungen begründet warum sie nicht heilbar sei. Der erste Wissenschaftler, der Beriberi untersuchte, war der Holländer Christian Eijkman (1858-1930), der die Gelegenheit hatte, den Grund und die Heilung von Beriberi zu erforschen in Form einer, wie sie heute genannt werden würde, „großräumig angelegten Studie“. Nach einer erweiterten Ausbildung in Deutschland, wo Koch kurz zuvor Bakterien als den Auslöser von Tuberkulose und Cholera identifiziert hatte, war Eijkman überzeugt, dass Beriberi auch von gewöhnlichen „Bakterien“ verursacht werde und versuchte dies in einer sorgfältig beaufsichtigten Studie zu beweisen.²⁵ Der Staat Java, in dem Eijkman seine Experimente durchführte, hielt zu der Zeit um die 280,000 Personen gefangen. Eijkman bestellte für diese Gefangenen eine Diät in Form von geschältem Reis, ungeschältem Reis oder einer Mischung aus beidem und vermerkte in seinen Berichten die Fälle von Beriberi unter den Gefangenen.²⁶ Zusätzlich wurden andere Faktoren, die die Hygiene betrafen und die Krankhei-

ten hervorgerufen hätten, wie die Belüftung oder die Wasserdurchlässigkeit der Böden, ausgemerzt. Eijkman erkannte, dass die Gefangenen, die von geschältem Reis lebten, in größerem Umfang von Beriberi betroffen waren, als die anderen. Was aber war die Ursache dieses Effektes? Eijkman schloss aus einer anderen Studie, dass der weiße Reis das Bakterium enthielt, das Beriberi verursachte und dass die rote Hülle, die beim Schälen des Reises entfernt wurde, ein Gegenmittel enthielt. Dieser Punkt ist besonders wichtig, wenn es darum geht zu verstehen, warum erfolgreiche Ergebnisse immer noch zu Fehlschlüssen führen können. Wir wissen heute, dass Beriberi eine Mangelkrankung ist, und es deshalb kein aktives Bakterium gibt, das die Infektion oder ähnliches verursacht. Es wird von dem andauernden Mangel einer Substanz hervorgerufen, die unser Körper benötigt um vernünftig arbeiten zu können.

Casimir Funk war der wahrscheinlich erste Forscher, der imstande war, alle Effekte von Mangelkrankungen in eine konstruktive Theorie einzubetten. Er wies Skorbut, Beriberi und viele andere als Krankheiten aus, die dann ausbrachen, wenn „eine einseitige Ernährung eine lange Zeit eingenommen wird“ wegen des „ Mangels einer Substanz, die für den Stoff-



²⁵ Douglas Allchin, „Christiaan Eijkman & the Cause of Beriberi“ in: Doing Biology, Harper Collins, Glenview 1996

²⁶ Christian Eijkman, „Ein Versuch zur Bekämpfung der beri-beri“, Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie für klinische Medizin, Ausgabe 149, S. 187 – 194

wechsel notwendig ist“. Funk behauptete, dass, bis auf eine, alle diese Krankheiten, die seine Arbeit von 1912 abdeckte, geheilt werden könnten, indem man nur eine neue Klasse organischer Substanzen, welche er Vitamine (kurz für Vital Amin, auf die chemische Struktur der neuen Substanz bezogen) nannte, zum

Essen eines jeden hinzufüge. Er unterschied die Vitamine, die bereits von zeitgenössischen Wissenschaftlern entdeckt worden waren und legte fest, welche Krankheit sie heilen würden, z.B. wäre das heutige „Vitamin C“ das „Skorbut Vitamin“ gewesen, das „Vitamin B1“ das „Beriberi Vitamin“. Funk vermerkte auch, wie und in welcher Menge das „Beriberi Vitamin“ aus einer wässrigen Lösung herausgelöst werden könnte und präsentierte letztendlich eine chemische Formel für das Vitamin.

Eine Skizze von Funks Destillationsprozess um das Beriberi Vitamin zu erhalten. Er behauptet in seiner Veröffentlichung von 1912, dass ein analoger Prozess auch verwendet werden könne um das Skorbut Vitamin herauszulösen. Das Bild wurde reproduziert aus C.Funk, „Etiology of the Deficiency Diseases“ („Ursachen der Mangelkrankungen“), Journal of State Medicine, vol. 20 (1912), S.347 (Bild), und übersetzt von Anna Grohmann

Er erstellte auch eine Zeichnung der heilenden

Effekte, indem er Vögeln, die an Beriberi litten, eine Dosis des „Beriberi Vitamins“ verabreichte. Eine „genaue Dosis von 40mg“ war ausreichend um eine Taube innerhalb sehr kurzer Zeit zu heilen und verhinderte auch die Wiederkehr von Beriberi für eine Zeitspanne von sieben bis zwölf Tagen, selbst wenn die Taube wieder auf eine Diät mit poliertem Reis gesetzt wurde. Zwei Tatsachen schienen aus diesem Experiment deutlich zu werden. Erstens schien das Vitamin als heilender Vertreter den Heilungsprozess aktiviert zu haben und zweitens ist der Körper in der Lage das Vitamin zu speichern und zu rationalisieren.

Essen, Energie und Arbeit was written by Andreas Junk with the support of the European Commission (project 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) and the University of Flensburg, Germany. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.