

Die Physik des Abnehmens

DIELLA, ZYMERAJ
DIELLA.ZYMERAJ@OUTLOOK.COM

Zusammenfassung

Dieses Paper widmet sich der Physik des Abnehmens und beleuchtet das Verhältnis zwischen Energieerhaltung und Körpergewichtsmanagement¹ durch die Anwendung fundamentaler physikalischer Prinzipien auf den menschlichen Körper und reale Situationen. Anhand von anschaulichen Beispielen und Berechnungen wird die Einfachheit der Energiebilanzgleichung und die kumulative Wirkung geringfügiger Ernährungsanpassungen oder körperlicher Aktivitäten auf das langfristige Gewichtsmanagement veranschaulicht. Darüber hinaus widmet sich das Paper gängigen Mythen rund um Strategien zum Abnehmen und unterstützt dabei, ein fundiertes Verständnis dafür zu entwickeln.

1 Was hat Physik mit dem Abnehmen zu tun?

Die Analyse des Mechanismus, der das Zu- und Abnehmen reguliert, erfordert wenige grundlegende physikalische Konzepte, wobei der Energieerhaltungssatz als wesentliche Komponente betrachtet wird (vgl. Apolin, 2023, S. 12). Gemäß Tipler und Mosca wird der Energieerhaltungssatz wie folgt definiert:

„Die Gesamtenergie des Universums ist konstant. Energie kann von einer Form in eine andere umgewandelt und von einem Ort an einen anderen übertragen, jedoch nie erzeugt oder vernichtet werden.“

(Tipler & Mosca, 2019, S. 200)

Anders ausgedrückt: Energie ist eine Erhaltungsgröße, d.h. die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems verändert sich nicht mit der Zeit. Grundsätzlich kann Energie zwischen diversen Energieformen umgewandelt werden, wie z.B. von kinetischer in thermische Energie. Der Energieerhaltungssatz ermöglicht den Transfer von Energie zwischen verschiedenen Systemen, wobei eine unveränderliche Gesamtmenge gilt.

1.1 Perpetuum mobile vs. Reale Maschine

Die Entdeckung des Energieerhaltungssatzes begann chronologisch betrachtet mit der Suche nach dem Perpetuum mobile (lat. ‚sich ständig Bewegendes‘). Ein Perpetuum mobile ist eine hypothetische Maschine, die – einmal in Gang gesetzt – ständig in Bewegung bleibt und kontinuierlich Energie abgibt, ohne dass dabei Energie von außen zugeführt werden muss. Eine solche Vorrichtung würde demzufolge Energie aus dem Nichts generieren, was den Grundsätzen des Energieerhaltungssatzes widerspricht (vgl. Apolin, 2023, S. 12). Im 12. Jahrhundert beschrieb

der indische Mathematiker und Astronom Bhaskara eine von ihm entwickelte Konstruktion (siehe Abb. 1): „Die Maschine dreht sich mit großer Kraft, weil das Quecksilber auf der einen Seite näher an der Achse ist als auf der anderen Seite.“ (Klemm, 1983, zitiert nach Apolin, 2023, S. 13)

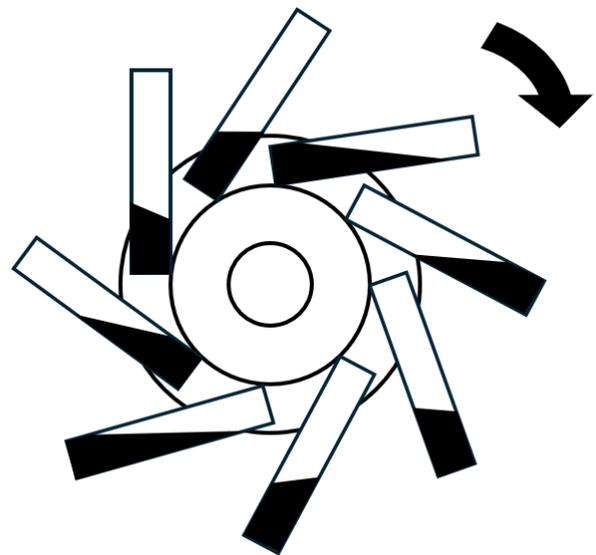


Abb. 1 – Indisches Modell für ein Perpetuum mobile, etwa um 1150 n. Chr. (nach Apolin, 2023, S. 13)

Das Rinnen der Flüssigkeit soll auf der rechten Seite des Mechanismus ein Übergewicht erzeugen, das das Rad in eine kontinuierliche Drehbewegung versetzen soll. Seitdem besteht das grundlegende Konstruktionsprinzip eines Perpetuum mobile aus einem radförmigen Mechanismus, an dem Massen befestigt sind, die ihre Schwerpunkte auf unterschiedlich komplexe Weise verändern. Trotz zahlreicher Versuche, solche Maschinen zu konstruieren, die verschiedene physikalische Prinzipien wie Mechanik,

¹¹ Physikalisch gesehen bezieht sich „Gewicht“ auf die Kraft, mit der ein Körper von der Gravitation angezogen wird, während „Masse“ die Menge an Materie eines Körpers darstellt. In diesem

Paper wird teilweise der Begriff „Körpergewicht“ u.Ä. aufgrund der gängigen Verwendung im Alltag verwendet.

Magnetismus, Hydraulik, Elektrizität und Thermodynamik nutzen, ist bislang jedes konstruierte Perpetuum mobile zum Stillstand gekommen.

Werden reale Maschinen aus dem Alltag betrachtet, wie z.B. der Motor eines Autos, so kann festgestellt werden, dass diesem Energie in Form von Benzin zugeführt werden muss, um das Fahrzeug in Bewegung zu setzen. Auch elektrische Geräte werden ständig oder in regelmäßigen Abständen über das Stromnetz mit Energie versorgt, wie etwa ein Computer oder ein Handy. Demnach handelt es sich um ein generelles Prinzip, welches aus dem Alltag bekannt ist: Gibt eine Maschine Energie ab, so sinkt diese im Inneren und muss erneut nachgefüllt werden (vgl. Apolin, 2023, S. 14). Die grundlegende Unterscheidung zwischen realen Maschinen, welche externe Energie für ihre Funktionalität erfordern und hypothetischen Perpetua mobilia, die kontinuierlich Energie ohne externe Zufuhr abgeben würden, wird in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

1.2 Hungerkünstler vs. realer Mensch

Hungerkünstler sind Menschen, von denen behauptet wird, dass sie ohne Aufnahme von Nahrung oder Nährstoffen in flüssiger Form überleben können. Selbst wenn sich ein Hungerkünstler im Ruhezustand befinden würde, würde aus dessen Körper kontinuierlich Energie in Form von Wärme abgegeben werden, die durch chemische Energie in Form von Nahrung ersetzt werden müsste. In dieser Hinsicht könnte ein Hungerkünstler als eine biologische Analogie eines Perpetuum mobile betrachtet werden, denn auch er steht im Widerspruch zum Energieerhaltungssatz (vgl. Apolin, 2023, S. 16 f.). Die Anwendung von Abbildung 2 auf den menschlichen Organismus ermöglicht einen Vergleich zwischen einem realen Menschen und einer realen Maschine. Bei einem realen Menschen erfolgt eine kontinuierliche Energieabgabe, während die chemische Energie im Inneren abnimmt. Ähnlich kann ein Hungerkünstler mit einem Perpetuum mobile (siehe Abb. 3) assoziiert werden, da auch in diesem Fall Energie aus dem Individuum austritt, jedoch die chemische Energie im Inneren angeblich konstant bleibt.

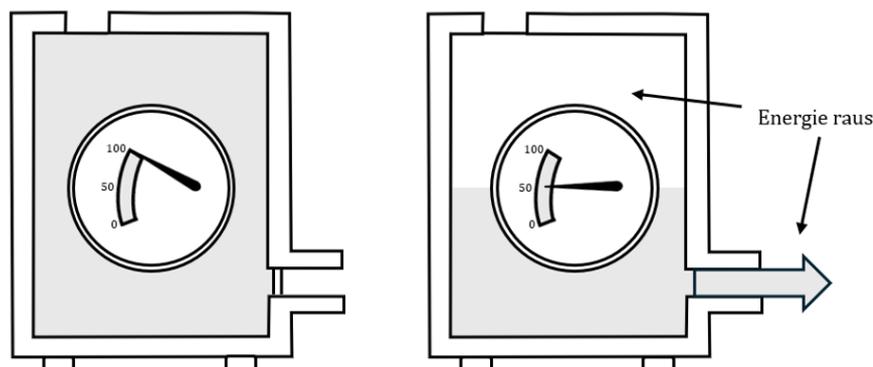


Abb. 2 – Schematische Darstellung einer realen Maschine (nach Apolin, 2023, S. 15)

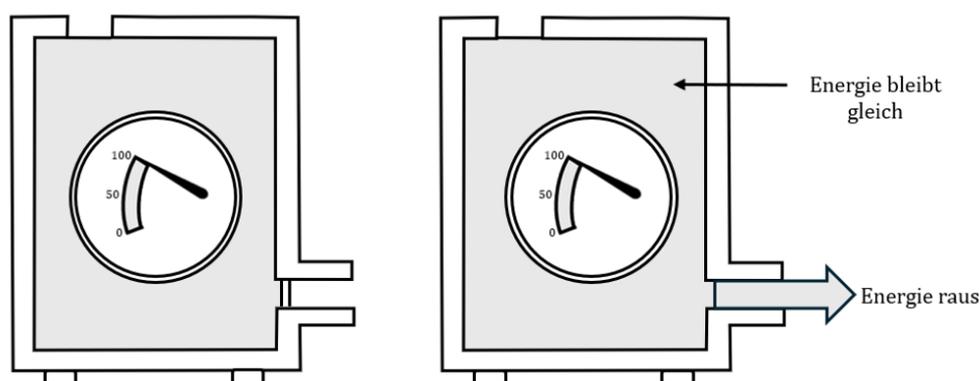


Abb. 3 – Schematische Darstellung eines Perpetuum mobile (nach Apolin, 2023, S. 15)

2 Energieinput, /-output und Energiebilanz

Wie bereits formuliert, lässt sich der Energieerhaltungssatz als grundlegendes Prinzip anwenden. Im Falle des Menschen erfolgt der Energiefluss durch den Input von Energie in Form von Nährstoffen und den Output von Energie durch den Grund- und Leistungsumsatz (siehe Abb. 4).

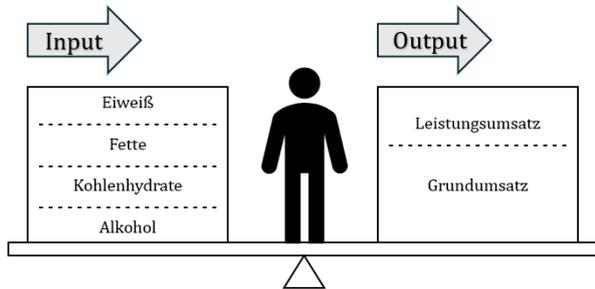


Abb. 4 – Energieinput und -output (nach Apolin, 2023, S. 29)

Da die Energie erhalten bleiben muss, wird durch diese Betrachtung deutlich, dass die Energiebilanz des menschlichen Körpers von zentraler Bedeutung ist. Diese Bilanz lässt sich in folgenden Zusammenhängen darstellen:

- Wenn der Energieinput gleich dem Energieoutput ist, bleibt die Energiebilanz ausgeglichen, d.h. die Masse des Menschen verändert sich nicht.
- Ist der Energieinput geringer als der Energieoutput, ist die Energiebilanz negativ, was zu einer Massenabnahme² führt.
- Umgekehrt führt ein Energieinput, der größer ist als der Energieoutput, zu einer positiven Energiebilanz und damit zu einer Massenzunahme.

Demnach resultieren Veränderungen der Masse direkt aus der Erzeugung einer negativen oder positiven Energiebilanz. In abgewandelter Form lautet die Aussage: Jeglicher Überschuss bzw. jegliches Defizit in der Energiebilanz geht zu Lasten bzw. zu Gunsten der Fette, da der Fettspeicher, aufgrund begrenzter Kapazitäten des Protein- und Kohlenhydratspeichers, der einzig variable Speicher im Körper eines Menschen ist (siehe Abb. 5). Entsprechend kann Fett durch Erzeugung einer negativen Energiebilanz abgebaut werden, indem der Energieinput gesenkt und/oder der Energieoutput erhöht wird (vgl. Apolin, 2023, S. 29 ff.).

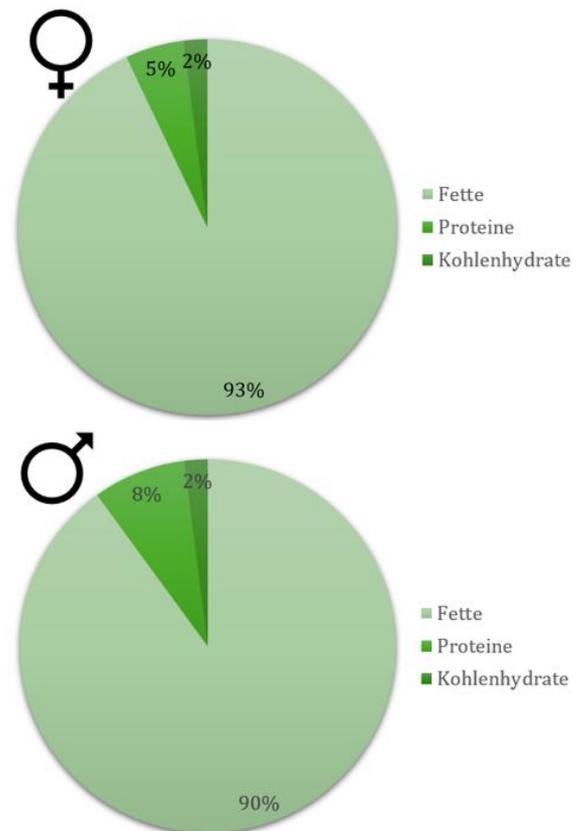


Abb. 5 – Energiespeicher des Menschen (nach Apolin, 2023, S. 52)

2.1 Die Entwicklung des BMI

Weltweit ist eine zunehmende Verbreitung von Übergewicht und Adipositas³ zu verzeichnen. Gemäß der Klassifizierung der WHO⁴ wird ein erwachsener Mensch als übergewichtig eingestuft, wenn sein BMI⁵ mindestens 25, und als fettleibig, wenn der BMI mindestens 30 beträgt. Aktuell sind nahezu drei Milliarden Personen betroffen, die einen BMI über 25 aufweisen. Bei mangelnder Intervention besteht die potenzielle Aussicht, dass bis zum Jahr 2035 etwa die Hälfte der globalen Bevölkerung mit Übergewicht und jede vierte Person mit Adipositas zu kämpfen haben könnte. Ein vermehrter Konsum von energiereichen Lebensmitteln, Transfetten und gesättigten Fetten sowie eine zunehmend inaktive Lebensweise haben zum weltweiten Anstieg der Fettleibigkeitsraten beigetragen (vgl. Radtke, 2024). Diese positive Energiebilanz lässt sich auch aus physikalischer Perspektive beschreiben. Da dieses Ungleichgewicht ausschließlich durch das Verhältnis von Energieinput und -output zustande kommen kann, ist anzunehmen, dass die Menschen insgesamt mehr und energie-

² im Alltag: „Gewichtsabnahme“

³ auch: Fettleibigkeit

⁴ Weltgesundheitsorganisation

⁵ Body-Mass-Index

reichere Nahrung zu sich nehmen und gleichzeitig weniger körperliche Aktivität betreiben. Diese Entwicklungen lassen sich einerseits auf eine verbesserte Nahrungsmittelversorgung und die ubiquitäre Verfügbarkeit von Fast-Food-Angeboten zurückführen. Zudem ist ein vermehrter Rückgriff auf elektronische Geräte wie Smartphones, anstelle von Outdoor-Aktivitäten zu beobachten. Des Weiteren tragen moderne Annehmlichkeiten wie Rolltreppen, Aufzüge und Elektroscooter dazu bei, dass die allgemeine körperliche Bewegung weiter abnimmt (vgl. Apolin, 2023, S. 34).

2.2 Energieinput

Der Input von Energie findet durch die Aufnahme von Nährstoffen statt. Die Initialphase der Nahrungsaufnahme durch den menschlichen Organismus erfolgt im Verdauungstrakt, wo die Nahrung topologisch betrachtet, noch nicht im Körper verortet und ihre chemische Energie für den Menschen noch nicht verfügbar ist. Innerhalb des Verdauungstraktes wird die Nahrung aufgespalten und durch die Darmwand in den Körper absorbiert, wodurch die chemische Energie für den Organismus nutzbar wird. Der effektive Energieinput entspricht ausschließlich der Menge, die durch die Darmwand in den Körperkreislauf gelangt, und nicht der gesamten Menge, die oral konsumiert wird. Aus vorhandenen Daten lässt sich schließen, dass der Verlust an energetischer Kapazität in der Größenordnung von etwa drei Prozent liegt. Dieser Verlust, der als Input-Verlust bezeichnet wird, repräsentiert die Energie, die niemals aus dem Darm in den Körper gelangt (vgl. Apolin, 2023, S. 66 ff.).

Die Nährstoffe für den menschlichen Stoffwechsel setzen sich im Wesentlichen aus einer begrenzten Anzahl von Atomarten zusammen, darunter Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C) und, im Falle von Aminosäuren und Proteinen, auch Stickstoff (N). In Tabelle 1 sind exemplarische chemische Summenformeln aus diesen Stoffklassen aufgeführt, die die Grundlage für die Freisetzung von Energie und die Aufrechterhaltung metabolischer Prozesse bilden, bzw. das Leben ermöglichen. Die Energiefreisetzung wird durch die Umstrukturierung der Atome in den Nährstoffen verursacht. Des Weiteren werden in Tabelle 2 Richtwerte für die Brennwerte jener Nährstoffe angeführt. (vgl. Apolin, 2023, S. 71 ff.) Der Brennwert bezeichnet die Energiemenge, die bei der metabolischen Oxidation von Nährstoffen im Organismus freigesetzt wird. Er gibt an, wie viel Energie pro

Gramm eines Nährstoffs bei vollständiger Nutzung gewonnen werden kann. Die Messung des Brennwertes erfolgt in den Einheiten Kilojoule und Kilokalorien (vgl. Volkert et al, 2011), wobei unter Verwendung des SI-Systems⁶ die Einheit der Energie in Joule [$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$] angegeben wird.

Summenformel	Nährstoff
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Traubenzucker (kurzkettiges Kohlenhydrat)
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Palmitinsäure (Bestandteil von Fett)
$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$	Alanin (Bestandteil von Proteinen)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Ethanol (trinkbare Form des Alkohols)

Tab. 1 – Summenformel von Nährstoffen (nach Apolin, 2023, S. 51)

Stoffe		
1 g Kohlenhydrate	17 kJ	4 kcal
1 g Fett	39 kJ	9,3 kcal
1 g Proteine	17 kJ	4 kcal
1 g Ethanol	29 kJ	7,1 kcal

Tab. 2 – Richtwerte für die Brennwerte der Nährstoffe (nach Apolin, 2023, S. 71)

Die Bestimmung der Energie, die in Tabelle 2 dargestellten Stoffe, erfolgt durch vollständige Verbrennung und Messung der erzeugten Abwärme. Diese Methode wird seit 1870 mit Bombenkalorimetern angewandt. Gemäß dem Energieerhaltungssatz muss die erzeugte Wärmeenergie exakt der freigesetzten chemischen Energie aus den Nährstoffen entsprechen. Die durch Bombenkalorimetrie ermittelten Werte repräsentieren den physikalischen Brennwert, der bei einer vollständigen Verbrennung auftritt und als Bruttowert betrachtet wird. Der auf Lebensmittelverpackungen oder in Tabellen angegebene Wert entspricht dem physiologischen Brennwert, welcher die tatsächlich vom Körper nutzbare Energie angibt und somit als Nettowert betrachtet wird. Demnach ist der Input-Verlust bereits in der Energiebilanz inkludiert.

Im Kontext des Abnehmens ist es von Bedeutung, den Brennwert von Körperfettgewebe zu berücksichtigen. Obwohl Tabelle 2 einen Brennwert von 39.000 kJ pro kg Körperfettgewebe

⁶ Système International d'Unités: internationales Einheitensystem

suggeriert, liegt der tatsächliche Brennwert zwischen 27.000 kJ und 31.000 kJ pro Kilogramm. Dieser Unterschied resultiert aus dem Vorhandensein eines geringen Anteils an Proteinen und einer variablen Menge an Wasser im Speicherfett des Körpers. Zur Vereinfachung wurden alle Schätzungen im Kapitel 4 mit einem Brennwert von 30.000 kJ pro Kilogramm durchgeführt (vgl. Apolin, 2023, S. 71 ff.)

2.3 Abnehmen vs. „Abspecken“

Ein gesunder menschlicher Körper besteht aus mehr als 20 verschiedenen Elementen. In Tabelle 3 wird eine Aufschlüsselung der sechs häufigsten Elemente nach ihrer Masse präsentiert, wobei jene sechs Elemente mehr als 99 Prozent der Gesamtmasse ausmachen. Die Vorherrschaft von Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Stickstoff (N) in dieser Aufstellung ist erwartungsgemäß, da der menschliche Organismus, wie bereits erwähnt, von der Energie lebt, die durch die Umgruppierung dieser Atome freigesetzt wird. Das dominierende Element im menschlichen Körper ist Sauerstoff, was auf die hohe Konzentration von Wasser⁷ im Körper zurückzuführen ist. Da Wasserstoffatome im Vergleich zu Sauerstoffatomen geringere Masse besitzen, trägt Sauerstoff maßgeblich zum Gesamtmasseanteil des Körpers bei (vgl. Apolin, 2023, S. 75 f.).

Element	Massenprozent
Sauerstoff (O)	64 %
Kohlenstoff (C)	20 %
Wasserstoff (H)	10 %
Stickstoff (N)	3 %
Calcium (Ca)	1,5 %
Phosphor (P)	1 %

Tab. 3 – Massenprozent nach Elementen sortiert (nach Apolin, 2023, S. 76)

Um die Fragen bzgl. des Abnehmens und Abspeckens zu verstehen, werden im folgenden Absatz der Darm- und Blaseninhalt, der Wasserspeicher sowie das Speicherfett berücksichtigt.

Zu den Begriffsdefinitionen von Abnehmen und Abspecken: Abnehmen wird oft allgemein als die Reduktion auf der Waage betrachtet, unabhängig davon, ob es sich um Wasser-, oder Fettverlust, oder der Entleerung von Darm- und/oder Blaseninhalt handelt. Die Darm- oder Blasenfüllung macht etwa zwei Prozent, d.h. in etwa 1,5 kg der Massenzusammensetzung eines Menschen aus.

Obwohl dieser Anteil gering erscheint, kann er bei einer Reduktion der Nahrungsaufnahme über einen Zeitraum von zwei Tagen zu einem erheblichen Gewichtsverlust führen, insbesondere wenn der Darm entleert ist. Jedoch trägt dies nicht langfristig zum Abnehmen bei, da eine Entleerung über den Zustand hinaus, der als leer betrachtet wird, nicht möglich ist. In Bezug auf den Wasserspeicher kann z.B. intensives Schwitzen in der Sauna innerhalb einer Stunde zu einem scheinbaren Gewichtsverlust von einem Kilogramm führen, der durch anschließende Flüssigkeitsaufnahme jedoch ausgeglichen wird.

Im Gegensatz zu den genannten Beispielen bezieht sich der Begriff Abspecken auf das gezielte Reduzieren von Körperfettmasse. Dieser Prozess umfasst den Verlust von Fettgewebe und kann mithilfe von Fermi-Rechnungen (siehe Kapitel 4) präzise quantifiziert werden (vgl. Apolin, 2023, S. 77 ff.).

2.4 Diätvorschriften

Die beiden Aussagen „Fett macht fett“ und „Kohlenhydrate machen dick“ werden oft mit verschiedenen Diäten⁸ in Verbindung gebracht, die entweder den Verzehr von Fetten oder von Kohlenhydraten stark einschränken. Allerdings kann eine Überprüfung dieser Ansichten mithilfe der Energiebilanz durchgeführt werden.

Der tägliche Energiebedarf eines durchschnittlichen Menschen beträgt etwa 10.000 kJ, was ungefähr 2.381 kcal entspricht⁹.

Wird die reine Energiezufuhr betrachtet, würde der ausschließliche Verzehr von Olivenöl etwa 0,3 Liter pro Tag erfordern, während der ausschließliche Verzehr von reinem Zucker etwa 0,6 Kilogramm erfordern würde. Beide Szenarien dienen hier zur rein energetischen Betrachtung. Die zentrale Erkenntnis ist, dass weder Fette noch Kohlenhydrate per se zu einer Gewichtszunahme führen, sondern vielmehr die Energiebilanz ausschlaggebend ist. Außerdem kann der menschliche Körper Kohlenhydrate in Fette umwandeln, d.h. dass durch eine übermäßige Zufuhr an Kohlenhydraten ebenso Fett angesetzt werden kann. Es ist zwar möglich, durch den Verzicht auf Fette oder Kohlenhydrate eine negative Energiebilanz zu erreichen und somit abzuspecken, jedoch sollte berücksichtigt werden, dass eine ausgewogene Ernährung wichtige Nährstoffe liefert, die für die Gesundheit unerlässlich sind.

In Anbetracht dessen, dass weder Fette noch Kohlenhydrate allein für eine Gewichtszunahme

⁷ Genauer: etwa zwei Drittel

⁸ Low-Fat- und Low-Carb-Diät

⁹ Umrechnungsfaktor: 1 Kilokalorie = 4,1868 Kilojoule

verantwortlich gemacht werden können, ist es ratsam, extreme Diätexperimente zu vermeiden und sich stattdessen an die allgemeinen Ernährungsempfehlungen der Ernährungsmedizin zu halten (siehe Abb. 6) und falls möglich eine moderate Reduktion der Gesamtkalorienzufuhr anzustreben (vgl. Apolin, 2023, S. 40 ff.), d.h. beispielsweise statt 10.000 kJ nur 7.000 bis 8.000 kJ.

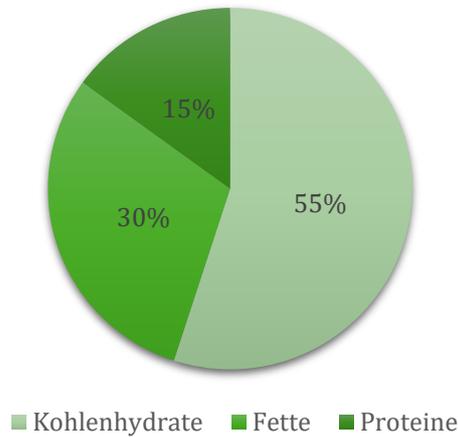


Abb. 6 – Richtwerte für eine günstige Zusammensetzung der Nahrung (nach Apolin, 2023, S.42)

How named diets work for weight loss

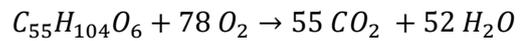
diet name	description	how it works
<i>Low Carb</i>	Eat fewer carbs and more foods rich in protein and fats	By creating a caloric deficit
<i>Low Fat</i>	Avoid foods high in fats and eat mostly protein and carbs	By creating a caloric deficit
<i>Ketogenic</i>	Eat almost no carbs, some protein and mostly fats	By creating a caloric deficit
<i>Intermittent Fasting</i>	Restrict your eating period to only a few hours every day	By creating a caloric deficit
<i>Paleo</i>	Eat only minimally-processed "paleolithic" foods	By creating a caloric deficit

Abb. 7 – Diätvorschriften samt Funktionsweise (nach myoleanfitness.com, 2017)

Die in Abbildung 7 dargestellten Diäten sind verbreitete Strategien zur Gewichtsreduktion, die im Grunde alle auf dem Prinzip eines kalorischen Defizits, d.h. einer negativen Energiebilanz, basieren (vgl. myoleanfitness.com, 2017). Wie bereits erwähnt, können überschüssige Kohlenhydrate in Fette umgewandelt und in den Fettdepots gespeichert werden, wenn die Kohlenhydratspeicher gesättigt sind. Es ist anzumerken, dass diese Umwandlung etwa 24 Prozent, der in den Kohlenhydraten enthaltenen Energie, verbraucht. Unter Berücksichtigung der Energiebilanz könnte eine höhere Aufnahme von Kohlenhydraten als erforderlich vorteilhaft sein, was demnach eher gegen eine Low-Carb-Diät spricht (vgl. Apolin, 2023, S. 134).

2.5 Exkurs: Wohin das Fett beim Abnehmen verschwindet

Nahrungsfette, sogenannte Triglyceride, fungieren als Energiereserve im Körper und werden im Fettgewebe gespeichert, bis sie benötigt werden (vgl. Machetanz & Rudolf-Müller, 2017). Der Abbau eines durchschnittlichen Triglycerids erfolgt durch die Reaktion mit Sauerstoff gemäß der Gleichung:



Hierbei werden Triglyceride unter Freisetzung von Energie in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. Bei einer Reduktion von 10 kg Fettgewebe würde etwa 8,4 kg als Kohlendioxid durch Ausatmen und die verbleibenden 1,6 kg als Wasser ausgeschieden werden. Nach diesem Prinzip gelingt Abspecken, d.h. der Prozess resultiert aus der Umgruppierung von Atomen und deren Ausscheidung aus dem menschlichen Körper (vgl. Taschwer, 2014).

2.6 Energieoutput

Es existieren zwei Ausgänge für die chemische Energie, die dem menschlichen Körper entweicht: entweder wird sie schrittweise in thermische Energie umgewandelt und als Wärme abgegeben, oder sie verlässt den Organismus in Verbindung mit den Nährstoffen, an die sie gebunden ist. Die letztere Option wird als Output-Verlust bezeichnet, da es sich um Energie handelt, die der Körper potenziell nutzen könnte, jedoch ungenutzt ausscheidet. Output-Verluste finden über den Schweiß und den Urin statt. Unter normalen Umständen bzw. bei einem gesunden Menschen sind diese Verluste vernachlässigbar gering, mit einem Anteil von etwa 10 kJ, was etwa 0,1 Prozent des Tagesbedarfs an Energie entspricht (vgl. Apolin, 2023, S. 106 f.).

$$\begin{aligned} \text{Gesamtumsatz (Energie-Output)} \\ &= \\ &\text{Grundumsatz} \\ &+ \\ &\text{Leistungsumsatz} \end{aligned}$$

Der Gesamtumsatz ist die Summe aus Grund- und Leistungsumsatz. Der Grundumsatz bezeichnet den Energiebedarf eines Individuums unter Bedingungen absoluter Ruhe und ist für die Aufrechterhaltung der Organfunktionen erforderlich. Jegliche darüberhinausgehende Energieaufwendung wird dem Leistungsumsatz zu-

geschrieben. Selbst scheinbar passive Aktivitäten wie Lesen im Bett, Sitzen und Stehen fallen in den Bereich des Leistungsumsatzes.

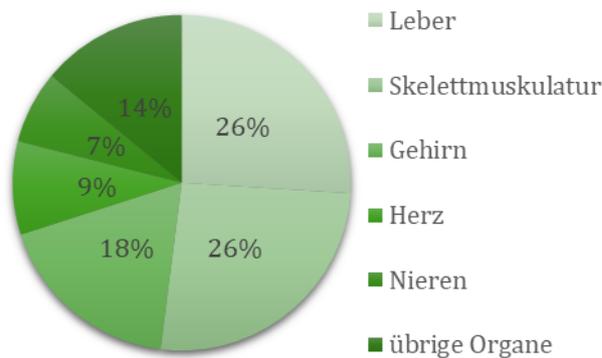


Abb. 8 – Richtwerte für die Anteile am Grundumsatz (nach Apolin, 2023, S. 111)

Abbildung 8 verdeutlicht, dass das Gehirn mehr als ein Sechstel des Energieverbrauchs im Ruhezustand beansprucht. Angesichts dessen, dass es nur zwei Prozent der Körpermasse ausmacht, ist der Anteil am Energieverbrauch von 18 Prozent bemerkenswert hoch. Erwähnenswert ist auch der Anteil der Muskeln, die etwa ein Viertel des Grundumsatzes ausmachen. Die Muskelmasse beeinflusst diesen also maßgeblich, was bedeutet, dass exzessive Diäten, die zu einem Verlust an Muskelmasse führen und somit den Energieverbrauch verringern, vermieden werden sollten (siehe Absatz 2.7). Darüber hinaus betont dies die Bedeutung von Krafttraining, da eine Zunahme an Muskelmasse den Grundumsatz erhöht und somit den Prozess des Abspeckens unterstützen kann (vgl. Apolin, 2023, S. 111 f.). Zahlenmäßig lässt sich der Grundumsatz durch folgende Formeln darstellen.

Grundumsatz Frauen [kcal/Tag]

$$655,1 + (9,6 \cdot \text{Körpermasse [kg]}) + (1,8 \cdot \text{Körpergröße [cm]}) - (4,7 \cdot \text{Alter [Jahre]})$$

Grundumsatz Männer [kcal/Tag]

$$66,47 + (13,7 \cdot \text{Körpermasse [kg]}) + (5 \cdot \text{Körpergröße [cm]}) - (6,8 \cdot \text{Alter [Jahre]})$$

Abb. 9 – Formeln zur Berechnung des Grundumsatzes (nach Apolin, 2023, S. 114)

In den genannten Formeln ist ein Ausdruck enthalten, der als „Alters-Term“ interpretiert werden kann. Dieser Term wird von den ersten drei Werten subtrahiert. Folglich ergibt sich daraus, dass der Grundumsatz mit zunehmendem Alter abnimmt (vgl. Apolin, 2023, S. 114 f.).

Der Leistungsumsatz unterteilt sich in drei Komponenten, was bedeutet, dass der Gesamtumsatz aus vier Teilen besteht (siehe Abb. 10).

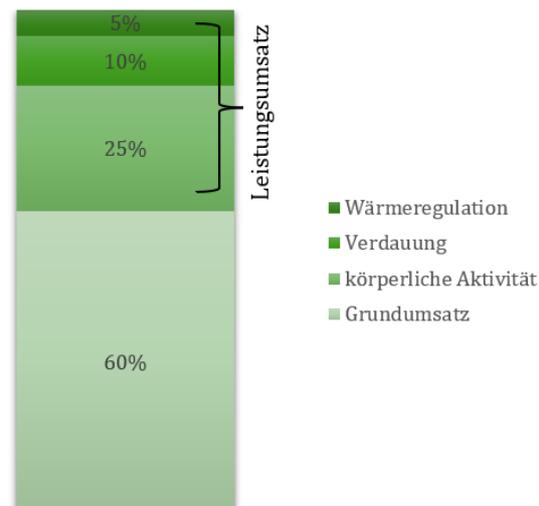


Abb. 10 – Realistische Zusammensetzung des Gesamtumsatzes (nach Apolin, 2023, S. 121)

Der Grundumsatz macht in den meisten Fällen zwischen 60 und 75 Prozent des Gesamtumsatzes aus. Die körperliche Aktivität stellt oft den zweitgrößten Anteil dar und kann bei intensiver körperlicher Belastung den Grundumsatz übertreffen. Im Kontext des Abspeckens ist es entscheidend, den Anteil an körperlicher Aktivität zu maximieren. Bei Personen mit geringer körperlicher Aktivität kann es vorkommen, dass der Energieumsatz für die Verdauung höher ist als der durch körperliche Aktivität. Unter normalen Umständen macht die Verdauung etwa zehn Prozent des Gesamtumsatzes aus. Zusätzlich trägt die Regulation der Körpertemperatur zum Gesamtumsatz bei, wobei dieser Beitrag unter normalen Bedingungen etwa fünf Prozent ausmacht und somit den geringsten Teil des Gesamtumsatzes bildet (vgl. Apolin, 2023, S. 120 f.).

2.7 Der Jojo-Effekt

Die Senkung des Grundumsatzes ist eine physiologische Reaktion des Körpers auf eine Reduktion der Nahrungsaufnahme, die dem Schutz der Fettreserven dient. Dieser Mechanismus verstärkt sich mit zunehmender Einschränkung der Nahrungsaufnahme. Jedoch resultiert dieser Verteidigungsmechanismus oft im Auftreten des bekannten Jojo-Effekts, welcher sich durch die folgende Energiebilanz veranschaulichen lässt. Angenommen eine Person befindet sich vor Beginn einer Diät in einer Energiebalance¹⁰. Zu Beginn wird die Nahrungszufuhr reduziert, was zu einer negativen Energiebilanz führt. Während dieser Phase kommt es zu einer Senkung des

¹⁰ Der Energieinput ist gleich hoch, wie der Energieoutput.

Grundumsatzes, was wiederum zu einer geringeren Einsparung von Kilojoule führt. Zudem nimmt die körperliche Aktivität während der Diät ab, was zu einem Rückgang des Leistungsumsatzes führt und die eingesparten Kilojoule weiter verringert. Am Ende der Diät kann die Person weiterhin eine negative Energiebilanz aufweisen, jedoch ist der Effekt deutlich geringer als zu Beginn.

Wenn die Person nach der Diät zu ihrem vorherigen Ernährungsmuster zurückkehrt, ist der Energieoutput im Vergleich zum Beginn der Diät deutlich geringer. Dies kann dazu führen, dass die Person schnell wieder in eine positive Energiebilanz gerät. Der Grundumsatz erhöht sich erst langsam wieder. Dies kann zu einer erneuten Gewichtszunahme führen, möglicherweise über das ursprüngliche Gewicht hinaus (vgl. Apolin, 2023, S. 84 ff.).

In Form von Gleichungen kann der Sachverhalt wie folgt ausgeführt werden:

- Vor der Diät:
 $E_{Input} = E_{Output}$
- Zu Beginn der Diät:
 $E_{Input} < E_{Output}$
- Nach der Diät:
 $E_{Input} \leq E_{Output}$
- Wieder im alten Leben:
 $E_{Input} > E_{Output}$

Zusätzlich kommt es bei einer starken Einschränkung des Energieinputs zum Abbau von Muskelmasse, die sich nicht von selbst wieder aufbaut. Nach der Rückkehr zum Ausgangsgewicht kann geschlossen werden, dass ein Austausch von Muskelmasse gegen Fett stattgefunden hat. Der Verlust von Muskelmasse ist nachteilig, da Muskelmasse eine hohe stoffwechselaktive Komponente ausweist und somit zur Aufrechterhaltung eines höheren Grundumsatzes beiträgt.

Es existieren jedoch Menschen, die in der Lage sind, langfristig Masse zu verlieren. Eine effektive Methode besteht darin, gleichzeitig mit dem Beginn der Diät die körperliche Aktivität zu steigern, um das Absinken des Grundumsatzes zumindest teilweise zu verhindern und die Aufrechterhaltung einer negativen Energiebilanz zu erleichtern. Um eine positive Energiebilanz am Ende der Diät zu verhindern, ist es entscheidend, die Aktivität dauerhaft aufrechtzuerhalten (vgl. Apolin, 2023, S. 85 ff.).

3 Fermi-Rechnungen

In diesem Kapitel werden populäre Fragestellungen zum Thema Abnehmen gestellt und mithilfe von Fermi-Rechnungen beantwortet. Unter Fermi-Rechnungen werden Abschätzungen verstanden, die auf einfachen Annahmen und Berechnungen basieren, um Größenordnungen und Werte grob zu bestimmen. (vgl. Apolin, 2023, S.36)

3.1 Ist es möglich 5 kg Fett in einer Woche zu verlieren?

Um die vorliegende Frage zu beantworten, wird der Energieerhaltungssatz herangezogen, um eine Schätzung des maximalen potenziellen Fettverlusts innerhalb einer Woche zu ermitteln. Dabei werden folgende Annahmen getätigt:

- Die Nahrungsaufnahme wird gänzlich unterbunden, d.h. es wird eine Null-Diät durchgeführt. Folglich gelangt keine Energie in den Organismus.
- Es findet ein ausschließlicher Abbau von Fettreserven statt. Dies entspricht nicht den tatsächlichen physiologischen Prozessen, da bei einer Null-Diät auch die Kohlenhydratspeicher entleert werden und Muskelmasse abgebaut wird.
- Der Grundumsatz bleibt unverändert, wobei üblicherweise eine Absenkung des Grundumsatzes auftritt.

Diese Annahmen sollen die Praxisferne des Ergebnisses verdeutlichen:

Unter Berücksichtigung eines Brennwertes von 30.000 kJ pro Kilogramm Körperfett und eines täglichen Energiebedarfs von 10.000 kJ ergibt sich folgende Berechnung: Innerhalb von drei Tagen summiert sich der Energie-Output auf 30.000 kJ, was dem Abbau eines Kilogramms Körperfett entspricht. Somit ergibt sich ein maximal möglicher Fettverlust von etwas mehr als zwei Kilogramm über eine einwöchige Zeitspanne. Ein Fettabbau von fünf Kilogramm Fett innerhalb einer Woche ist demnach nicht realisierbar (vgl. Apolin, 2023, S. 81 f.).

3.2 Wie verändert sich die Masse im Verlauf eines Jahres, wenn der Tagesbedarf um 1 % überschritten wird?

Unter Berücksichtigung der Prinzipien der Energieerhaltung und der Energiebilanz ergibt sich folgende Berechnung: Ein Überschuss von einem Prozent des täglichen Energiebedarfs entspricht 100 kJ. Über den Zeitraum eines Jahres summiert sich dieser Bilanzüberschuss auf $365 \cdot 100 \text{ kJ} =$

36.500 kJ, was etwa 1,2 Kilogramm¹¹ Körperfett entspricht.

Die Energiemenge von 100 kJ entspricht etwa zwei kleinen Würfelzuckern, 5 cl Orangensaft oder einem Teelöffel Butter.

Wird diese Energiemenge täglich eingespart, so würde über den gleichen Zeitraum ein Fettverlust von über einem Kilogramm möglich, vorausgesetzt alle anderen Parameter der Energiebilanz bleiben konstant (vgl. Apolin, 2023, S. 37 f.).

Maßnahme	Einsparung pro Tag	Tage, um 1 kg Fett abzunehmen
Nulldiät	10.000 kJ (2.381 kcal)	3
-50 % FdH („Friss die Hälfte“)	5.000 kJ (1.190 kcal)	6
-30 % FzD („Friss zwei Drittel“)	3.000 kJ (714 kcal)	10
-10 %	1.000 kJ (238 kcal)	30
-1 %	100 kJ (24 kcal)	300

Abb. 11 – Extreme Diäten und mögliche Maßnahmen (nach Apolin, 2023, S. 82)

Die dargestellte Abbildung präsentiert eine Vergleichsanalyse verschiedener Diätmodelle und Abnahmemaßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz in Bezug auf die Zeit, die benötigt wird, um ein Kilogramm Fett zu reduzieren.

3.3 Wie verändert sich die Masse einer Person im Verlauf eines Jahres, wenn sie keinen Alkohol mehr trinkt?

Getränk	Brennwert pro 1,5 l	Anteil am Tagesbedarf
Apfelsaft	3000 kJ	30,0 %
Coca-Cola	2775 kJ	27,8 %
Orangensaft	2760 kJ	27,6 %
Bier	2550 kJ	25,5 %
Fanta	2445 kJ	24,5 %
Sprite	2385 kJ	23,9 %
Eistee Pfirsich	1764 kJ	17,6 %

Abb. 12 – Kalorische Getränke (nach Apolin, 2023, S. 92)

Es wird empfohlen, täglich mindestens 1,5 Liter Flüssigkeit zu konsumieren. In Abbildung 12 sind Brennwerte von 1,5 Litern verschiedener Getränke dargestellt, wobei die gesamte Flüssigkeitszufuhr durch kalorische Getränke, anstelle von Wasser, gedeckt wird. Die Verwendung von Apfelsaft als Beispiel zeigt, dass der Konsum dieses Getränks bereits 30 Prozent des Tagesbedarfs ausmachen kann. Der Grund für diese Abbildung ist, dass viele Menschen sich der Kaloriengehalte ihrer Getränke nicht bewusst sind, und dass eine Reduzierung dieser kalorienhaltigen Getränke eine wichtige Maßnahme sein kann, um Fett abzubauen (vgl. Apolin, 2023, S. 91 f.).

Zur Beantwortung der Frage, wie sich die Masse einer Person im Verlauf eines Jahres verändert, wenn sie keinen Alkohol mehr trinkt, werden Umrechnungen bzgl. des Alkoholkonsums in Österreich durchgeführt. Die Menge an reinem Alkohol, die in Österreich pro Person und pro Jahr konsumiert wird, beträgt durchschnittlich 11,1 Liter (siehe Abb. 13). Basierend auf dieser Menge¹² kann die Masse mithilfe der Dichte von Ethanol $\rho_{\text{Ethanol}} \approx 0,79 \text{ g/cm}^3$ (vgl. LEIFIChemie, o.J.) ermittelt werden:

$$m = V \cdot \rho$$

$$m \approx 11100 \text{ cm}^3 \cdot 0,79 \text{ g/cm}^3$$

$$m \approx 8770 \text{ g}$$

Der Brennwert pro Gramm Ethanol beträgt 30 kJ. Somit kann ein durchschnittlicher gesamter Brennwert von etwa 263.000 kJ pro Person und pro Jahr ermittelt werden, was bedeutet, dass der tägliche Energiebedarf durch Alkoholkonsum etwa 720 kJ beträgt, d.h. etwa 7,2 Prozent des Tagesbedarfs. Beim Verzicht auf Alkohol folgt somit eine Massenreduktion von acht bis neun Kilogramm pro Jahr (vgl. Apolin, 2023, S. 92 f.).

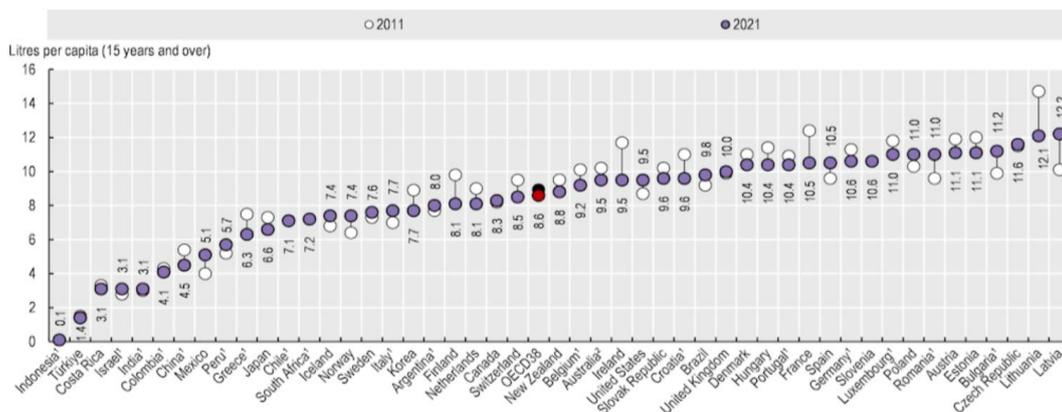


Abb. 13 – Recorded alcohol consumption (nach OECD Health Statistics, 2023)

¹¹ Resultiert aus dem Quotienten aus 36.500 kJ und dem Brennwert von 1 kg Körperfettgewebe (30.000 kJ)

¹² Umrechnung: $11,1 \text{ l} = 11,1 \text{ dm}^3 = 11100 \text{ cm}^3$

3.4 Wie lange muss am Ergometer trainiert werden, um 1 kg Fett abzunehmen?

Um die gestellte Frage zu beantworten, wird angenommen, dass die Anzeige am Hometrainer beispielsweise eine Leistung von 100 Watt anzeigt. Die Einheit Watt ergibt sich aus der Energie pro Zeit, d.h. $1 W = 1 J/s$ (vgl. Apolin, 2023, S. 46).

Des Weiteren werden in Abbildung 14 verschiedene Tätigkeiten mit ihren jeweiligen Wirkungsgraden dargestellt. Der Wirkungsgrad gibt an in diesem Fall an, welcher Teil der zugeführten chemischen Energie in Form von mechanischer Energie umgewandelt werden kann (vgl. Tipler & Mosca, 2019, S. 205).

Tätigkeit	Wirkungsgrad η
Bergauf gehen bei 5° Neigung	30 %
In der Ebene gehen	27 %
Radfahren	25 %
Treppensteigen	23 %
Laufen	20 %
Auf Leiter steigen	12 %
Schraubenzieher drehen	5 %
Halten von Gegenständen, Sitzen, Stehen	0 %

Abb. 14 – Beispiele maximaler Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Tätigkeiten (nach Apolin, 2023, S. 147)

Die auf dem Hometrainer angezeigte Leistung repräsentiert die Nettoleistung, da gemäß der Definition des Wirkungsgrads nicht die gesamte zugeführte Energie in Form von mechanischer Energie umgewandelt wird. Unter Berücksichtigung eines Wirkungsgrads von 25 Prozent beim Radfahren wird deutlich, dass 75 Prozent der zugeführten Energie in Form von Wärme umgewandelt werden müssen. Die Division aus der Nettoleistung und dem Wirkungsgrad¹³ ergibt die Gesamtbruttoleistung von 400 Watt.

Der Brennwert pro Kilogramm Körperfett beträgt $30.000 \text{ kJ} = 3 \cdot 10^7 \text{ J}$. Die benötigte Zeit, um diese Energiemenge bei einer Leistung von 400 Watt umzuwandeln, wird folgend bestimmt:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{3 \cdot 10^7 \text{ J}}{400 \text{ J/s}} = 75000 \text{ s} \approx 20,8 \text{ h}$$

Somit würde es etwa 20,8 Stunden dauern, um ein Kilogramm Körperfettgewebe abzubauen. Die Erzeugung einer negativen Energiebilanz erfordert also langanhaltende körperliche Aktivität (vgl. Apolin, S. 147 f.).

¹³ Umrechnung: $25 \% = 0,25$

3.5 Wie weit muss spaziert werden, um 1 kg Fett abzunehmen?

Um die Frage beantworten zu können, werden folgende Annahmen getätigt:

- Masse m einer Person: $m = 70 \text{ kg}$
- Geschwindigkeit $v = 4,5 \text{ km/h}$

Da keine Leistung vorausgesetzt wird, erfordert die Berechnung einen Leistungsfaktor anstelle eines Wirkungsgrads.

Tätigkeit	Auf die Masse bezogene Leistung in W/kg
Schlafen	1,15
Ruhig sitzen	1,54
Radfahren ($v = 13 \text{ km/h}$)	3,25
Spazieren gehen ($v = 4,5 \text{ km/h}$)	3,84
Treppen abwärts gehen	5,77
Schwimmen	8,33
Schnell laufen ($v = 8,8 \text{ km/h}$)	9,61
Sehr schnell laufen ($v = 12,6 \text{ km/h}$)	16,02
Treppen aufwärts steigen	17,94

Abb. 15 – Leistungsfaktoren unterschiedlicher Aktivitäten (nach LEIFIPhysik, o.J.)

In Abbildung 15 sind Leistungsfaktoren für verschiedene Tätigkeiten angegeben. Der Leistungsfaktor gibt an, welche Leistung der menschliche Organismus pro Kilogramm Körpermasse aufbringen muss (vgl. LEIFIPhysik, o.J.).

Zunächst wird die Energiemenge berechnet, die durch eine Stunde¹⁴ Spaziergehen umgewandelt wird.

$$E = 70 \text{ kg} \cdot 3,84 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$E \approx 968.000 \text{ J} \approx 1.000 \text{ kJ}$$

Da der Brennwert pro Kilogramm Körperfett 30.000 kJ beträgt, kann gefolgert werden, dass eine Person mit einer Masse von $m = 70 \text{ kg}$ und einer Geschwindigkeit von $v = 4,5 \text{ km/h}$, 30 Stunden spazieren gehen muss.

Die Frage nach der Strecke s lässt sich durch die Multiplikation der Geschwindigkeit mit der Zeit berechnen:

$$s = 4,5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 30 \text{ h} = 135 \text{ km}$$

Unter den gegebenen Annahmen müsste eine Person etwa 135 Kilometer spazieren, um ein Kilogramm Körperfettgewebe abzubauen.

¹⁴ Umrechnung: $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

3.6 Wie weit muss gelaufen werden, um 1 kg Fett abzunehmen?

Im Vergleich zum Gehen hat der Körper beim Laufen weniger Bodenkontaktzeit, was zu einer erhöhten Belastung und somit zu einer gesteigerten Effizienz führt. Gemäß einer Faustregel wird beim Laufen pro Kilometer und pro Kilogramm Körpermasse etwa eine Kilokalorie umgesetzt.

Eine Person mit einer Masse von angenommen 70 Kilogramm verbrennt demnach pro Kilometer etwa 70 Kilokalorien ($= 294 \text{ kJ} \approx 300 \text{ kJ}$). Daher würden 100 Kilometer Laufen erforderlich sein, um ein Kilogramm Körperfettgewebe ($= 30.000 \text{ kJ}$) abzubauen (vgl. Apolin, 2023, S. 167 ff.).

3.7 Wie hoch muss gestiegen werden, um 1 kg Fett abzunehmen?

Um die Frage zu beantworten, wird eine Person mit einer Masse $m = 70 \text{ kg}$ angenommen. Da erneut keine Leistung vorausgesetzt wird, wird der Leistungsfaktor für die Tätigkeit „Treppen aufwärtssteigen“ berücksichtigt (siehe Abb. 15). Zunächst wird die Energiemenge berechnet, die durch eine Stunde Treppensteigen umgewandelt wird.

$$E = 70 \text{ kg} \cdot 17,94 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$E = 4.520.880 \text{ J} \approx 4.530 \text{ kJ}$$

Unter der gegebenen Annahme müsste eine Person etwa 6,6 Stunden Treppensteigen, um ein Kilogramm Körperfettgewebe abzubauen. Das Ergebnis resultiert aus dem Quotienten der Energiemenge eines Kilogramms Körperfettgewebe ($= 30.000 \text{ kJ}$) und der Energiemenge, die durch eine Stunde Treppensteigen abgebaut wird.

Um die Höhe zu berechnen, sind weitere Annahmen erforderlich:

- Ein Stockwerk ist drei Meter hoch
 - Die Zeit, die die Person benötigt, um ein Stockwerk zu überwinden, beträgt $t \approx 7,5 \text{ s}$
- Die errechneten 6,6 Stunden entsprechen umgerechnet 23.760 Sekunden. Um die Anzahl der Stockwerke und letztlich die Höhe zu bestimmen, die in dieser Zeit zurückgelegt werden soll, wird folgendermaßen gerechnet:

$$\frac{23760}{7,5} = 3168 \text{ Stockwerke} \approx 9504 \text{ m}$$

Auf 365 Tage pro Jahr aufgeteilt, ergibt sich, dass täglich acht bis neun Stockwerke erforderlich sind, um innerhalb eines Jahres einen Kilogramm Körperfett abzunehmen.

4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Abbau von Körperfett ausschließlich von der Energiebilanz abhängig ist, wie es der Energieerhaltungssatz vorschreibt. Die grundlegende Regel lautet daher: Um Körperfett abzunehmen, muss eine negative Energiebilanz erzeugt werden, indem entweder die Nahrungsaufnahme reduziert und/oder die körperliche Aktivität erhöht wird. Bei der Nahrungsaufnahme ist es ratsam den Konsum von Fruchtsäften und Alkohol zu beachten und falls nötig zu reduzieren. In Bezug auf die Bewegung ist zu betonen, dass eine regelmäßige Aktivität von Bedeutung ist. Jede zusätzliche Bewegung trägt unmittelbar zur Energiebilanz bei, jedoch ist es wichtig realistisch und geduldig zu bleiben. Abnehmen ist ein langfristiges Projekt.

5 Literaturverzeichnis

- Apolin, M. (2023) Mach das! Die ultimative Physik des Abnehmens. München: Piper Verlag
- LEIFIchemie. (o.D.) Ethanol – der bekannteste Vertreter der Alkohole. Aufgerufen unter: <https://www.leifichemie.de/grundlagen-der-organischen-chemie/alkohole/grundwissen/ethanol-der-bekannteste-vertreter-der-alkohole> (05.01.2024)
- LEIFIphysik. (o.D.) Energieumsatz im Sport. Aufgerufen unter: <https://www.leifiphysik.de/mechanik/arbeit-energie-und-leistung/ausblick/energieumsatz-im-sport> (05.01.2024)
- Machetanz, L. & Rudolf-Müller, E. (2017, 04. Dezember) NetDoktor. Triglyceride. Aufgerufen unter: <https://www.netdoktor.de/laborwerte/triglyceride/> (22.02.2024)
- Myoleanfitness. (2017, 16. November) CICO: The Science-Based Truth You Need to Know. Aufgerufen unter: <https://www.myoleanfitness.com/cico-evidence-based-truth/> (04.01.2024)
- Radtke, R. (2024, 11. Jänner) Statista. Übergewicht und Adipositas weltweit. Aufgerufen unter: <https://de.statista.com/themen/11806/uebergewicht-und-fettleibigkeit/#topicOverview> (15.02.2024)
- Taschwer, K. (2014, 17. Dezember) DER STANDARD. Wohin das Fett beim Abnehmen wirklich verschwindet. Aufgerufen unter: <https://www.derstandard.at/story/2000009632952/wohin-das-fett-beim-abnehmen-wirklich-verschwindet> (03.01.2024)

- Tipler, P. A. & Gene M. (2019) Physik. (8. Aufl.)
Berlin: Springer Spektrum
- Volkert D. et al. (2011) Der Brockhaus Ernährung. (4 Aufl.) München: F.A. Brockhaus /
wissenmedia

6 Abbildungsverzeichnis

- OECD Health Statistics. (2023) Recorded alcohol consumption among the population aged 15 and over, 2011 and 2021 (or nearest year). [Abbildung, Abb.13] Aufgerufen unter; <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/7a7afb35-en/1/3/4/2/index.html?itemId=/content/publication/7a7afb35-en&csp=6cf33e24b6584414b81774026d82a571&itemGO=oe&itemContentType=book> (03.01.2024)