

Ich habe ChatGPT folgende Frage gestellt:

Wieviel Nahrung muss ein Sportler zu sich nehmen, um für 4 Stunden eine Leistung von 250 Watt zu erbringen und zusätzlich 500 Watt für eine Stunde?

Rechnung von ChatGPT:

Ein Sportler leistet mechanisch:

$$500 \text{ W} \times 1 \text{ h}$$

Da

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

und eine Stunde

$$3600 \text{ s}$$

hat, ergibt sich:

$$500 \times 3600 = 1\,800\,000 \text{ J}$$

also:

$$1,8 \text{ MJ}$$

Das ist die **äußere mechanische Arbeit**.

Bei einem Verwertungsgrad von **42 %** muss der Körper chemisch mehr Energie bereitstellen:

Mein Einschub: Diese 42 % können Sie nachlesen in: „Chemie“
Dickerson/Geis, ISBN 3-527-25867-1, Seite 558. Der Rest ist Wärme.

$$E_{\text{Nahrung}} = \frac{1,8 \text{ MJ}}{0,42}$$

$$E_{\text{Nahrung}} \approx 4,29 \text{ MJ}$$

Umgerechnet in Kilokalorien:

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$\frac{4\,285\,714}{4184} \approx 1024 \text{ kcal}$$

Ergebnis

Der Sportler müsste ungefähr

$$4,3 \text{ MJ} \approx 1020 \text{ kcal}$$

an verwertbarer Nahrungsenergie aufnehmen.

Das ist nur die Energie für diese **eine Stunde Leistung**. Der Grundumsatz und weitere Verluste des Körpers kommen zusätzlich dazu.

Als Nahrung entspräche das grob zum Beispiel:

Energieträger Energie pro g Benötigte Menge für ca. 1020 kcal

Kohlenhydrate ca. 4 kcal/g ca. 255 g

Eiweiß ca. 4 kcal/g ca. 255 g

Fett ca. 9 kcal/g ca. 114 g

Für sportliche Leistung würde der Körper praktisch meist eine Mischung aus Kohlenhydraten und Fett nutzen.

Wichtig: Wenn Sie mit „Verwertungsgrad 42 %“ den Wirkungsgrad von **Nahrung → ATP** meinen, und zusätzlich noch der Wirkungsgrad **ATP → mechanische Muskelarbeit** berücksichtigt werden soll, müsste man nochmals anders rechnen. Die obige Rechnung setzt 42 % als Gesamtwirkungsgrad von chemischer Energie zu äußerer mechanischer Leistung an.

Meine Bitte: Bitte erweiterte Rechnung:

16s nachgedacht

Ja. Dann muss man **zwei Wirkungsgrade** unterscheiden:

Nahrung → ATP → mechanische Muskelarbeit

Mein Einschub: ATP ist Adenosintriphosphat. Es bewirkt als wichtigste Energiequelle u.a. den Kraftschlag der Muskulatur

Die Muskelkontraktion selbst läuft über ATP an Actin/Myosin:

Mein Einschub: Kraftschlag: Begriff aus der Sportmedizin. Damit ist meist gemeint ein explosiver, maximaler Krafteinsatz. Im Stoffwechsel der Herzmuskel bedeutet Kraftschlag wie stark sich das Herz zusammenzieht

Gegeben

Mechanische Leistung:

$$P = 500 \text{ W}$$

Zeit:

$$t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

Mechanische Arbeit:

$$W = P \times t = 500 \times 3600$$

$$W = 1\,800\,000 \text{ J} = 1,8 \text{ MJ}$$

Das ist die **außen abgegebene mechanische Arbeit**.

Stufe 1: ATP → mechanische Muskelarbeit

Nehmen wir für die Umwandlung von ATP-Energie in äußere mechanische Muskelarbeit beispielhaft:

$$\eta_{\text{Muskel}} = 25\%$$

Dann muss als ATP-Energie bereitgestellt werden:

$$E_{\text{ATP}} = \frac{1,8 \text{ MJ}}{0,25}$$

$$E_{\text{ATP}} = 7,2 \text{ MJ}$$

Der Muskel müsste also ungefähr

$$\boxed{7,2 \text{ MJ}}$$

an ATP-Hydrolyse Energie umsetzen.

Stufe 2: Nahrung → ATP

Sie geben für die Bildung nutzbarer ATP-Energie einen Verwertungsgrad von:

$$\eta_{\text{Nahrung} \rightarrow \text{ATP}} = 42\%$$

Dann braucht man als Nahrungsenergie:

$$E_{\text{Nahrung}} = \frac{7,2 \text{ MJ}}{0,42}$$

$$E_{\text{Nahrung}} \approx 17,14 \text{ MJ}$$

In Kilokalorien:

$$17,14 \text{ MJ} = 17\,140\,000 \text{ J}$$

$$\frac{17\,140\,000}{4184} \approx 4097 \text{ kcal}$$

Also:

$E_{\text{Nahrung}} \approx 17,1 \text{ MJ} \approx 4100 \text{ kcal}$
--

Gesamtwirkungsgrad

Der Gesamtwirkungsgrad wäre:

$$\eta_{\text{gesamt}} = 0,42 \times 0,25 = 0,105$$

also:

$$\eta_{\text{gesamt}} \approx 10,5\%$$

Das bedeutet:

$$\text{Nahrungsenergie} \times 10,5\% = \text{äußere mechanische Arbeit}$$

$$17,14 \text{ MJ} \times 0,105 \approx 1,8 \text{ MJ}$$

Wie viel Nahrung ist das?

Für ungefähr **4100 kcal** entspräche das theoretisch:

Energieträger Energie pro g Menge

Kohlenhydrate ca. 4 kcal/g ca. 1025 g

Fett ca. 9 kcal/g ca. 455 g

Eiweiß ca. 4 kcal/g ca. 1025 g

Praktisch wäre es natürlich eine Mischung aus Kohlenhydraten und Fett.

Wie viel ATP wird dabei umgesetzt?

Die freie Energie der ATP-Hydrolyse in der Zelle liegt grob bei etwa:

$$50 \text{ kJ/mol}$$

Dann gilt:

$$n_{\text{ATP}} = \frac{7,2 \text{ MJ}}{50 \text{ kJ/mol}}$$

$$n_{\text{ATP}} = \frac{7200 \text{ kJ}}{50 \text{ kJ/mol}}$$

$$n_{\text{ATP}} \approx 144 \text{ mol}$$

Molare Masse von ATP ungefähr:

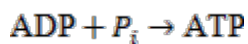
$$507 \text{ g/mol}$$

$$144 \times 507 \text{ g} \approx 73\,000 \text{ g}$$

also:

ca. 73 kg ATP-Umsatz

Das heißt nicht, dass der Körper 73 kg ATP speichern muss. ATP wird ständig recycelt:



und sofort wieder verbraucht.

Ergebnis in einem Satz

Wenn ein Sportler **500 W eine Stunde lang mechanisch abgibt**, braucht er bei **25 % Wirkungsgrad ATP → Muskelarbeit** und **42 % Wirkungsgrad Nahrung → ATP** ungefähr:

4100 kcal Nahrungsenergie

und setzt dabei ungefähr

7,2 MJ ATP-Energie $\approx$ 144 mol ATP

um.

Wählt man für den Muskel statt 25 % einen anderen Wirkungsgrad, ändert sich das Ergebnis entsprechend.

Kann der menschliche Körper das, wenn er zusätzlich weitere 250 Watt pro Stunde 4 Stunden lang aufwendet?

Ja — **grundsätzlich kann der menschliche Körper das**, aber es ist bereits eine **sehr hohe sportliche Belastung**, je nach Bedeutung Ihrer Zusatzangabe.

Ich interpretiere Ihre Frage so:

Zusätzlich zur einen Stunde mit 500 W leistet der Sportler noch 4 Stunden lang jeweils 250 W mechanische Arbeit.

Also:

$$500 \text{ W} \times 1 \text{ h}$$

plus

$$250 \text{ W} \times 4 \text{ h}$$

1. Mechanische Arbeit

Eine Stunde:

$$500 \times 3600 = 1,8 \text{ MJ}$$

Zusätzliche 4 Stunden:

$$250 \times 4 \times 3600 = 3,6 \text{ MJ}$$

Gesamt mechanisch:

$$1,8 + 3,6 = 5,4 \text{ MJ}$$

Also:

$5,4 \text{ MJ}$ äußere mechanische Arbeit
--

2. Benötigte ATP-Energie

Wie zuvor angenommen:

$$\eta_{\text{ATP} \rightarrow \text{Muskelarbeit}} = 25\%$$

Dann:

$$E_{\text{ATP}} = \frac{5,4 \text{ MJ}}{0,25}$$

$$E_{\text{ATP}} = 21,6 \text{ MJ}$$

Der Körper müsste also etwa

$21,6 \text{ MJ}$

ATP-Hydrolyse Energie umsetzen.

3. Benötigte Nahrungsenergie

Mit Ihrem Verwertungsgrad:

$$\eta_{\text{Nahrung} \rightarrow \text{ATP}} = 42\%$$

$$E_{\text{Nahrung}} = \frac{21,6 \text{ MJ}}{0,42}$$

$$E_{\text{Nahrung}} \approx 51,4 \text{ MJ}$$

In Kilokalorien:

$$\frac{51,4 \text{ MJ}}{4,184 \text{ kJ/kcal}} \approx 12\,300 \text{ kcal}$$

Also:

$51,4 \text{ MJ} \approx 12\,300 \text{ kcal}$
--

4. ATP-Umsatz

Mit grob:

$$\Delta G_{\text{ATP}} \approx 50 \text{ kJ/mol}$$

ergibt sich:

$$n_{\text{ATP}} = \frac{21\,600 \text{ kJ}}{50 \text{ kJ/mol}}$$

$$n_{\text{ATP}} \approx 432 \text{ mol}$$

Masse ATP, wenn man es nicht recyceln würde:

$$432 \times 507 \text{ g} \approx 219\,000 \text{ g}$$

also:

ca. 219 kg ATP-Umsatz

Natürlich wird ATP ständig recycelt; der Körper speichert keine 219 kg ATP.

5. Kann der Körper das leisten?

Für normale Menschen: nein, kaum. Für sehr gut trainierte Ausdauersportler: ja, aber am oberen Rand.

Die Leistung entspricht insgesamt:

Abschnitt	Leistung	Dauer	Bewertung
Spitzenabschnitt	500 W	1 h	extrem hoch, Weltklassebereich
Zusatzarbeit	250 W	4 h	für trainierte Ausdauerathleten realistisch
Gesamt	5 h Belastung sehr schwer enorme Stoffwechselleistung		

Der kritische Punkt ist die **eine Stunde mit 500 W**.

Das ist für die meisten Menschen unmöglich. Selbst viele gut trainierte Sportler schaffen keine 500 W über eine Stunde. Bei Radprofis liegt eine Stundenleistung oft eher im Bereich von etwa 350–450 W; 500 W über eine Stunde wäre außergewöhnlich.

Die 4 Stunden mit 250 W sind dagegen für sehr gut trainierte Menschen möglich, aber sie verbrauchen viel Energie und benötigen Kohlenhydrate, Fettstoffwechsel, Sauerstofftransport, Kühlung und Flüssigkeit.

6. Wärmeproblem

Der Gesamtwirkungsgrad war:

$$0,42 \times 0,25 = 0,105$$

also nur etwa:

10,5%

Von rund **12.300 kcal Nahrungsenergie** werden nur etwa **1.290 kcal** als mechanische Arbeit sichtbar.

Der Rest wird überwiegend zu Wärme:

$$12\,300 - 1\,290 \approx 11\,000 \text{ kcal}$$

Das ist gewaltig. Der Körper müsste diese Wärme über Schweiß, Hautdurchblutung und Atmung abführen.

7. Energiespeicher

Ein Mensch hat genug **Fettenergie**, aber nicht genug schnell verfügbare **Kohlenhydrate**.

Typische Größenordnung:

Speicher	Energie
Blutglukose	sehr wenig
Leber- und Muskelglykogen	ca. 1.500–2.500 kcal
Körperfett	zehntausende kcal

Für solche Leistungen braucht der Körper während der Belastung laufend Nachschub, besonders Kohlenhydrate. Sonst fällt die Leistung stark ab.

Ergebnis

Bei Ihrer erweiterten Belastung:

$$500 \text{ W} \times 1 \text{ h} + 250 \text{ W} \times 4 \text{ h}$$

ergibt sich ungefähr:

5,4 MJ mechanische Arbeit

21,6 MJ ATP-Energie

51,4 MJ $\approx$ 12 300 kcal Nahrungsenergie

ATP-Umsatz}} \boxed{432 \text{ mol ATP} \approx 219 \text{ kg}}

Biologisch möglich, aber nur für einen extrem leistungsfähigen, trainierten Körper — und die Stunde mit **500 W** ist der eigentliche Grenzpunkt.