

ATP: Die universelle Energiewährung des Lebens

Autor: Wolfram Klatt

Veröffentlicht am: 10.08.2026

Dokument generiert über Gesundheitsmythen.de

ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT)

Adenosintriphosphat (ATP) ist die universelle Energiewährung aller lebenden Zellen. Der Artikel erklärt die chemische Struktur und Entstehung von ATP sowie verbreitete Mythen um angebliche ATP-Nahrungsergänzungsmittel und Frequenztherapien.

ATP (Adenosintriphosphat): Die universelle Energiewährung des Lebens

Das Leben auf der Erde ist in all seiner schillernden Vielfalt erstaunlich einheitlich, wenn man auf die molekulare Ebene hinabsteigt. Egal, ob es sich um ein gigantisches Blauwalherz handelt, das Blut durch tonnenschwere Adern pumpt, um die leuchtende Laterne eines Glühwürmchens in einer Sommernacht, um die tiefen Wurzeln einer tausendjährigen Eiche oder um das menschliche Gehirn, das in diesem Moment diese Zeilen liest und verarbeitet – sie alle werden von exakt derselben molekularen Antriebskraft am Leben erhalten: ATP.

Adenosintriphosphat (ATP) ist zweifellos eines der faszinierendsten und wichtigsten Moleküle der gesamten Biologie. Es ist das essenzielle Bindeglied zwischen den Nährstoffen, die wir aufnehmen, und der Energie, die wir für schlichtweg jeden Aspekt des Lebens benötigen. Wer das Leben in seinem Kern verstehen möchte, kommt an ATP nicht vorbei. In diesem Artikel

beleuchten wir das Molekül im Detail – von seiner chemischen Struktur über seine lebenswichtigen Funktionen im Körper bis hin zur wissenschaftlichen Einordnung populärer Therapiekonzepte.

1. Definition und Grundlagen: Der zelluläre Akkumulator

Adenosintriphosphat, kurz ATP, ist ein Nukleotid. Das bedeutet, es ist strukturell eng mit den molekularen Bausteinen unserer Erbsubstanz (DNA und RNA) verwandt. In den Naturwissenschaften wird es universell als die "Energiewährung" der Zelle bezeichnet.

Diese Metapher der Währung beschreibt den zellulären Alltag mit höchster Präzision. Wenn wir Nahrung wie Kohlenhydrate, Fette oder Proteine zu uns nehmen, ist die darin enthaltene chemische Energie für die meisten zellulären Maschinen nicht direkt nutzbar. Man kann sich diese Nährstoffe wie einen wertvollen Goldbarren vorstellen: Er besitzt zweifellos einen hohen Wert, ist aber im Alltag unpraktisch, wenn man beim Bäcker ein einzelnes Brötchen kaufen möchte. Die Zelle muss diese große, unhandliche Energieform zunächst in eine universell akzeptierte, handliche Einheit umtauschen. Diese kleine, überall im Körper "akzeptierte" Einheit ist das ATP.

Eine weitere, sehr anschauliche Metapher ist die eines wiederaufladbaren Akkus. ATP gleicht einem vollständig geladenen Akku. Wenn die Zelle Energie für eine bestimmte Aufgabe benötigt – sei es für eine Muskelbewegung oder den Aufbau eines Proteins –, "entlädt" sie diesen Akku. Dabei wird ein winziges, genau dosiertes Energiepaket freigesetzt. Der entladene Akku (dann ADP, Adenosindiphosphat, genannt) wird anschließend in den "Kraftwerken" der Zelle, den Mitochondrien, wieder aufgeladen.

Die biochemische Struktur von ATP

Chemisch betrachtet besteht das ATP-Molekül aus drei wesentlichen Komponenten:

1. **Adenin:** Eine stickstoffhaltige Base, die auch im genetischen Code vorkommt.
2. **Ribose:** Ein Zucker mit fünf Kohlenstoffatomen, der als zentrales strukturelles Rückgrat fungiert.

3. **Drei Phosphatgruppen:** Diese sind kettenartig an die Ribose angehängt. Die Vorsilbe "Tri" (drei) in Triphosphat verweist auf genau diese drei Gruppen.

Das Prinzip des ATP-Akkus

```
[ ENERGIE WIRD BENÖTIGT ]
    ?
    ?
    ?????????????????????
    ?      ATP      ? (Voller Akku)
    ? (3 Phosphatgruppen)?
    ?????????????????????
        ?
        ? Abspaltung einer Phosphatgruppe (Hydrolyse)
        ? Freisetzung von nutzbarer Energie
        ?
    ?????????????????????
    ?      ADP      ? (Leerer Akku)
    ? (2 Phosphatgruppen)?
    ?????????????????????
        ?
        ? Nährstoffe werden verbrannt (Zellatmung)
        ?
    Energie wird investiert, um Phosphat wieder anzuhängen
        ?
    [ WIEDERAUFLADUNG ZU ATP ]
```

2. Der naturwissenschaftliche Mechanismus: Wie Energie freigesetzt wird

Um zu verstehen, warum ausgerechnet ATP so hervorragend als Energielieferant funktioniert, hilft ein Blick auf die Thermodynamik und die physikalische Chemie seiner molekularen Struktur.

Die molekulare Feder

Das eigentliche Geheimnis des ATP verbirgt sich in seinem Schwanz aus den drei Phosphatgruppen (bezeichnet als Alpha-, Beta- und Gamma-Phosphat). Unter den physiologischen Bedingungen, die in unseren Zellen herrschen, sind diese Phosphatgruppen stark negativ geladen.

Aus der Physik wissen wir: Gleiche Ladungen stoßen sich ab. Da hier drei negativ geladene Gruppen direkt nebeneinanderliegen, stehen sie unter enormer elektrostatischer Spannung. Sie verhalten sich wie eine fest zusammengepresste metallische Spiralfeder, die eigentlich mit aller Macht auseinanderspringen möchte. Die chemischen Bindungen zwischen den Phosphatgruppen (die sogenannten Phosphoanhydridbindungen) halten diese Abstoßung jedoch mühsam zusammen.

Wird nun durch die Zelle Energie benötigt, spaltet ein Enzym mithilfe eines Wassermoleküls (ein Prozess, der Hydrolyse genannt wird) die äußerste dieser Phosphatgruppen ab. Die molekulare Feder "entspannt" sich. Die Produkte dieser Reaktion – das ADP und das freie Phosphat-Ion – sind energetisch deutlich stabiler als das angespannte Ausgangsmolekül ATP.

Die Differenz in der sogenannten Freien Enthalpie (ΔG) wird bei dieser Entspannung freigesetzt. Diese Energiemenge ist für biologische Systeme geradezu perfekt kalibriert: Sie ist groß genug, um wichtige und energieaufwendige biochemische Reaktionen anzutreiben, aber klein genug, um die empfindliche Zelle nicht durch zu viel auf einmal freigesetzte Abwärme zu beschädigen.

Die Neusynthese: Das Wunderwerk der ATP-Synthase

Da unsere Zellen in jeder Sekunde unermüdlich Energie verbrauchen, müssen sie das "leere" ADP unablässig wieder in ATP umwandeln. Dafür muss ein neues Phosphat-Molekül an das ADP angehängt werden – ein Vorgang, der logischerweise Energie kostet (man muss die "Feder" ja wieder spannen).

Die Hauptquelle für diese Energie ist beim Menschen die **Zellatmung**, die vor allem in den Mitochondrien stattfindet. Dieser Prozess gleicht in vielerlei Hinsicht einem hydroelektrischen Staudamm, einem der faszinierendsten Mechanismen, den die Evolution hervorgebracht hat.

Bei der Zellatmung werden Nährstoffe wie Glukose (Traubenzucker) schrittweise in ihre Bestandteile zerlegt. Die dabei freiwerdenden Elektronen fließen durch eine Kette von Proteinen in der Mitochondrienmembran (die sogenannte Atmungskette), ähnlich wie Strom durch ein Kabel fließt. Am Ende dieses Flusses wartet der Sauerstoff, den wir einatmen, um diese

Elektronen aufzunehmen (wodurch Wasser entsteht).

Die Proteine der Atmungskette nutzen die Energie dieses Elektronenflusses für eine beeindruckende Aufgabe: Sie pumpen Protonen (positiv geladene Wasserstoff-Ionen) auf eine Seite der Membran. Es entsteht ein gewaltiger Rückstau an Protonen – ganz analog zum Wasser, das sich hinter der Mauer eines Staudamms sammelt.

Und nun betritt die **ATP-Synthase** die Bühne. Sie ist das Tor in diesem molekularen Staudamm.

Die Metapher des Staudamms (ATP-Synthase)

```
Hohe Protonenkonzentration (Aufgestautes Wasser)
+++++
===== MEMBRAN (Staudamm) =====
      ?                               ?
      ?                               ?
      ?                               ?
[ PROTEIN-PUMPEN ]                   [ ATP-SYNTHASE ]
(Pumpen Wasser hoch)                (Die Turbine)
      ?                               ?
      ? Elektronen-                  ?
Protonen fließen zurück              ?
      ? fluss                        ? und drehen den Rotor
      ?
-----
Niedrige Protonenkonzentration (Tal)
```

Die Drehung presst ADP + Phosphat
mit mechanischer Gewalt zusammen:
ADP + P → ATP

Die ATP-Synthase ist ein buchstäblicher molekularer Rotor, eine mikroskopisch kleine Turbine, die in der Membran sitzt. Wenn die aufgestauten Protonen durch den Kanal der ATP-Synthase zurückfließen, versetzen sie den Kopf dieses Enzyms in eine rasante, mechanische Drehbewegung. Wie bei einer Turbine im Wasserkraftwerk, die einen Generator antreibt, erzwingt diese rotierende Welle tiefgreifende Strukturveränderungen im Enzym. Mit geradezu brachialer, mechanischer Gewalt drückt das Enzym ADP und das Phosphat wieder zusammen, bis sie sich zu einem neuen ATP-Molekül verbinden. Dieser Vorgang nennt sich "oxidative Phosphorylierung".

3. Die weitreichende Bedeutung für Natur, Körper und Alltag

Ohne die ständige Hydrolyse (Spaltung) und Neusynthese von ATP stünde das Leben buchstäblich innerhalb von Sekunden still. Wenn die ATP-Produktion ausfällt – etwa durch einen Mangel an Sauerstoff beim Ertrinken oder durch bestimmte Umweltgifte, welche die Atmungskette blockieren –, führt dies unweigerlich und rasant zum Stillstand aller Zellfunktionen.

Die Bedeutung von ATP für unseren Körper durchdringt jede Facette unserer Biologie:

- **Muskelkontraktion und Bewegung:** Jede noch so kleine Bewegung, vom Blinzeln eines Auges, über das Schlagen des Herzens bis hin zum Marathonlauf, wird durch ATP ermöglicht. Im Muskelgewebe binden mikroskopisch kleine Proteine (Myosin) an Fasern (Aktin) und ziehen diese wie Ruderer aneinander vorbei. Der Muskel verkürzt sich. Damit sich das Myosin wieder lösen und für den nächsten "Ruderzug" ausholen kann, ist zwingend ein neues ATP-Molekül erforderlich.
- **Das Gehirn und das Nervensystem:** Unser Gehirn macht nur etwa 2 Prozent unseres gesamten Körpergewichts aus, verbraucht aber rund 20 Prozent unserer täglichen Energie. Der Löwenanteil dieses ATPs wird nicht primär für das eigentliche "Denken" im abstrakten Sinne aufgewendet, sondern für die Aufrechterhaltung der elektrischen Spannung an den Zellmembranen der Neuronen. Die sogenannte Natrium-Kalium-Pumpe, ein spezialisiertes Enzym, arbeitet pausenlos daran, Ionenladungen auszugleichen. Nur dank dieser von ATP angetriebenen Pumpen können Nervenzellen "feuern" und Signale weiterleiten. Jeder Gedanke, jedes Gefühl und jede Erinnerung ist abhängig von diesem Molekül.
- **Das Immunsystem:** Wenn Krankheitserreger in den Körper eindringen, müssen Immunzellen sich rasch teilen, Antikörper produzieren und in das betroffene Gewebe wandern. Diese sogenannte Immunantwort ist ein energetischer Kraftakt, der ohne gewaltige Mengen an ATP unmöglich wäre.
- **Biosynthese und Zellteilung:** Der Körper muss kontinuierlich neue Zellen bilden (Mitose) und körpereigene Bausteine wie Proteine und Hormone herstellen. Der Aufbau komplexer Moleküle erfordert den ständigen energetischen "Antrieb" durch ATP. Es fungiert als Bauarbeiter, der die molekularen Steine aufeinanderstapelt.

4. Wissenschaftliche Einordnung häufiger Missverständnisse

In der öffentlichen Wahrnehmung, in Ratgebern und vereinfachten Erklärungen kommt es häufig zu Missverständnissen rund um das ATP. Um die wissenschaftliche Realität in ihrer ganzen Präzision zu erfassen, lohnt es sich, einige dieser Konzepte genauer zu betrachten.

Die "energiereiche Bindung" physikalisch betrachtet

In manchen Lehrbüchern ist vereinfachend von einer "energiereichen Phosphatbindung" die Rede, als wäre die Energie physisch in der Bindung eingeschlossen – ähnlich wie Benzin in einem Tank. Chemisch gesehen ist das eine etwas ungenaue Metapher. Eine chemische Bindung "enthält" an sich keine freisetzbare Energie; vielmehr kostet es immer Energie, eine bestehende Bindung *aufzubrechen*.

Der entscheidende Energiegewinn resultiert erst daraus, dass sich unmittelbar nach der Spaltung des ATP neue, sehr stabile Bindungen mit umgebenden Wassermolekülen bilden. Dieser neue Zustand ist insgesamt viel stabiler (energieärmer) als der Ausgangszustand. Die Energie wird also freigesetzt, weil das gesamte physikalische System in einen stabileren Zustand "fällt". Der Begriff der energiereichen Bindung ist ein gängiger biochemischer Jargon, der jedoch physikalisch präziser als "ein thermodynamisch hochgradig instabiler Zustand" beschrieben werden müsste.

ATP als Langzeitspeicher? Ein Missverständnis

Oft besteht die Vorstellung, der Körper würde überschüssige Energie direkt als ATP "einlagern", ähnlich wie man Geld auf ein Sparkonto legt. Tatsächlich eignet sich ATP für eine langfristige Speicherung kaum. Es ist stark wasserlöslich, in der wässrigen Umgebung der Zelle relativ reaktiv und ein zu großer Vorrat würde den osmotischen Druck (den Flüssigkeitshaushalt) der Zelle völlig aus dem Gleichgewicht bringen.

Daher hat die Evolution andere Wege gefunden: Der Körper speichert Energie langfristig in Form von Fettgewebe und mittelfristig in Form von Glykogen (einem Vielfachzucker, der in Muskeln und Leber gelagert wird). Diese Speichermoleküle sind stabil und kompakt. Erst wenn

die Energie akut gebraucht wird, werden diese Reserven verbrannt, um "frisches" ATP zu generieren. ATP ist demnach wie das Bargeld im Portemonnaie, das man sofort ausgibt, während Fett dem langfristigen Aktiendepot entspricht.

Die Herausforderungen bei der oralen Aufnahme von ATP

Auf dem Markt für Nahrungsergänzungsmittel finden sich mitunter Präparate, die direkt ATP enthalten, oft beworben mit dem Versprechen einer sofortigen "Energie-Auffrischung" für Zellen und Muskeln. Der Wunsch, sich bei Erschöpfung durch eine einfache Kapsel wieder leistungsfähig zu fühlen, ist absolut verständlich und menschlich.

Biologisch betrachtet stößt dieser Ansatz jedoch auf große Hürden. Der menschliche Verdauungstrakt ist darauf ausgelegt, große Moleküle zu zerkleinern. Wenn ATP geschluckt wird, wird es durch die Magensäure und die Verdauungsenzyme des Darms fast augenblicklich in seine Einzelteile (wie Adenosin und freie Phosphate) zerlegt. Es gelangt praktisch nicht als intaktes ATP-Molekül in die Blutbahn.

Selbst wenn es dies täte, stehen wir vor der nächsten Hürde: Intakte Körperzellen besitzen keine direkten Aufnahmemechanismen, um fertiges ATP aus dem Blutkreislauf in das Zellinnere zu transportieren. Im Gegenteil: Kommt ATP in großen Mengen frei im Blut oder im Gewebewasser vor, wird dies vom Körper oft als Gefahrensignal ("Damage-associated molecular pattern", DAMP) interpretiert, da ATP eigentlich strikt ins Zellinnere gehört und sein plötzliches Auftauchen im Blut meist bedeutet, dass irgendwo Zellen geplatzt oder verletzt worden sind.

Aus Sicht der evidenzbasierten Medizin und Ernährungsphysiologie lässt sich die Energieproduktion der Zelle daher nicht durch das "Schlucken von fertigem ATP" steigern. Effektiver sind Ansätze, die den Zellen die nötigen Bausteine und Reize zur Selbstreproduktion geben – etwa durch eine ausgewogene Nährstoffzufuhr, ein angepasstes Maß an Bewegung (was die Neubildung von Mitochondrien stimuliert) und ausreichende Erholungsphasen.

5. Alternative Therapieansätze und ihre Betrachtung im Lichte der Wissenschaft

Menschen, die unter chronischer Erschöpfung, Antriebslosigkeit oder komplexen Krankheitsbildern wie dem Chronischen Fatigue-Syndrom (ME/CFS) leiden, haben oft einen jahrelangen Leidensweg hinter sich. Die konventionelle Medizin stößt bei diesen komplexen Syndromen häufig an ihre Grenzen, und es mangelt oft an schnellen, ursächlichen Heilungsansätzen. In dieser verzweifelten und extrem belastenden Situation suchen viele Patienten verständlicherweise nach alternativen Erklärungsmodellen und Therapien, die neue Hoffnung spenden.

Im Bereich der komplementären und alternativen Medizin spielen Konzepte rund um den "ATP-Mangel", "mitochondriale Dysfunktionen" oder "blockierte Zellenergie" eine sehr präasente Rolle. Es ist wichtig, diese Ansätze respektvoll, aber gleichzeitig mit einem klaren, wissenschaftlich fundierten Blick einzuordnen, um Betroffenen zu helfen, evidenzbasierte von weniger fundierten Entscheidungen zu trennen.

Frequenz- und Quantentherapien

Einige komplementäre Richtungen bieten Methoden an, bei denen der Körper mit speziellen Lichtfrequenzen, elektromagnetischen Wellen oder sogenannten "Quantenfeldern" behandelt wird. Die Erklärungsmodelle besagen mitunter, dass diese spezifischen Schwingungen direkt in "Resonanz" mit der ATP-Synthase träten oder den Mitochondrien von außen Energie zuführen würden, um die zelluläre Batterieladung zu erhöhen.

Aus physikalischer und biochemischer Perspektive lassen sich diese Annahmen aktuell nicht belegen. Die Erzeugung von ATP durch die ATP-Synthase ist kein Vorgang, der sich durch schwache äußere Magnetfelder oder reine Schwingungen antreiben lässt. Sie beruht auf einem harten biochemischen Prozess – dem Aufbau eines messbaren elektrochemischen Protonengradienten (dem zuvor beschriebenen "Staudamm"), der zwingend durch die Verbrennung von Nährstoffen (Zellatmung) unter der Verwendung von Sauerstoff entsteht. Das Konzept, zelluläre Energie unter Umgehung des Stoffwechsels allein durch physikalische Schwingungen aufzuladen, widerspricht den etablierten thermodynamischen Prinzipien.

Diagnosen der Mitochondrien-Medizin

Die Erforschung von Mitochondrien ist ein hochkomplexes, essenzielles medizinisches Feld. Es gibt tatsächlich seltene, angeborene Defekte in den Mitochondrien (Mitochondriopathien), die zu schweren neurologischen und muskulären Einschränkungen führen und fachärztlich behandelt

werden müssen.

Im Bereich der Komplementärmedizin wird die Diagnose "mitochondriale Dysfunktion" (oder "erworbene Mitochondriopathie") oft jedoch deutlich weiter gefasst und als primäre Ursache für eine Vielzahl von chronischen Erschöpfungszuständen diagnostiziert. Teilweise erfolgt diese Diagnose auf Basis von laborchemischen Testverfahren (wie bestimmten Blutuntersuchungen zur ATP-Konzentration in Zellen), die in der medizinischen Leitlinien-Diagnostik als nicht ausreichend validiert gelten, da der intrazelluläre ATP-Spiegel extrem schnell schwankt.

Therapeutisch werden dann oft hochdosierte Infusionen, komplexe Nahrungsergänzungs-Regime (die Vorstufen der ATP-Synthese liefern sollen) oder Ozontherapien angeboten. Für Patienten ist dies oft mit erheblichen finanziellen Kosten verbunden. Während einige Betroffene von einer Besserung ihres Wohlbefindens berichten, was auch durch intensive Zuwendung oder Placebo-Effekte erklärbar sein kann, fehlen für viele dieser spezifischen Behandlungsprotokolle groß angelegte, randomisierte und kontrollierte klinische Studien, die einen objektiven, messbaren Nutzen auf die zelluläre ATP-Produktion belegen würden.

Das Konzept der "Verschlackung" und Detox

Ein weiteres Erklärungsmodell in der Alternativmedizin besagt mitunter, dass Umweltgifte, Stoffwechselabfälle oder "Schlacken" die ATP-Produktion blockieren würden – ähnlich wie Schmutz, der einen Motor verstopft. Die Lösung seien sogenannte "Detox"-Kuren oder Entgiftungen.

Der menschliche Organismus verfügt jedoch von Natur aus über hochkomplexe, exzellent arbeitende Entgiftungsorgane – in erster Linie die Leber und die Nieren, unterstützt von Darm, Haut und Lunge. Diese Organe bauen permanent schädliche Stoffe ab und scheiden sie aus. Das Konzept der undefinierten "Schlacken", die sich dauerhaft in Zellen ablagern und spezifisch die ATP-Synthese blockieren, findet in der pathologischen und biochemischen Forschung keine Entsprechung. Solange Leber und Nieren gesund sind, entgiftet sich der Körper selbständig in einem Maße, das durch spezielle Kuren oder Säfte wissenschaftlich nachweislich kaum noch gesteigert werden kann.

6. Faszination Wissenschaft: Die unvorstellbare Leistung unseres Körpers

Letztendlich zeigt sich: Die tatsächliche, echte Wissenschaft des Lebens braucht gar keine mystifizierenden Erklärungen, denn die nackten Fakten sind weit faszinierender als jede erdachte Geschichte.

Führen Sie sich einmal die schiere Menge an Energie vor Augen, die Sie benötigen, um zu existieren. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt befinden sich in Ihrem gesamten Körper in der Summe nur etwa 50 bis 250 Gramm ATP. Da wir aber für die Erhaltung unserer Körpertemperatur (rund 37 °C, unabhängig vom Wetter), für unsere Millionen von Herzschlägen und unser kontinuierliches Bewusstsein ununterbrochen immense Mengen an Energie benötigen, muss dieses ATP in atemberaubender Geschwindigkeit recycelt werden.

Ein einzelnes ATP-Molekül in Ihrem Körper wird schätzungsweise ein- bis dreimal *pro Minute* in ADP gespalten und sofort wieder zu ATP zusammengesetzt.

Rechnet man diesen rasanten Kreislauf über einen ganzen Tag hoch, offenbart sich eine der erstaunlichsten Zahlen der Biologie: Ein durchschnittlicher Erwachsener baut an einem normalen, ruhenden Tag ungefähr **sein eigenes Körpergewicht an ATP** um. Bei schwerer körperlicher Arbeit, etwa bei Bauarbeiten oder intensivem Ausdauersport, kann dieser Umsatz sogar auf deutlich über 100 Kilogramm pro Tag ansteigen.

Sie produzieren und verbrauchen jeden Tag über 60 bis 70 Kilogramm reine, molekulare Energiewährung, ohne dass sich das Gesamtgewicht des ATPs in Ihrem Körper auch nur um ein einziges Gramm verändert – ein gigantischer, perfekt ausbalancierter Stoffwechselkreislauf.

Ermöglicht wird dieses Wunder durch die ATP-Synthase, den angesprochenen molekularen Motor in unseren Mitochondrien. Dieser winzige, aus Proteinen bestehende Rotor dreht sich mit unglaublichen 130 Umdrehungen *pro Sekunde* – das entspricht fast 8000 Umdrehungen pro Minute. Das ist das Tempo eines echten Hochleistungs-Sportwagenmotors. Nur ist dieser biologische Motor so unfassbar klein, dass Millionen davon mühelos auf die Spitze einer einzigen Stecknadel passen würden. Diese meisterhaften Nanomaschinen arbeiten just in dieser Sekunde fehlerfrei in den Billionen Zellen Ihres Körpers und treiben in Ihnen das wunderbare, hochkomplexe Phänomen an, das wir Leben nennen.