M3 Hintergrund

Die Veränderungen der Stoffwechselraten von Mikroorganismen im Kühlschrank können ebenso wie die von uns durchgeführten Messungen mit der **Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel** erklärt werden. Die so genannte ***RGT*-Regel** besagt, dass sich die Geschwindigkeit einer Reaktion um den Faktor zwei bis vier erhöht, wenn die Temperatur um 10 K steigt.

Die lässt sich allerdings nicht allein damit erklären, dass sich die Teilchen dann schneller bewegen und damit die **Anzahl der Stöße** zwischen den Teilchen zunimmt. Sie steigt nämlich nur in einem geringem Maße.

Vielmehr steigt die Zahl der **„erfolgreichen Treffer“**, also der Zusammenstöße, die zu einer Reaktion führen! Um dies zu verstehen, helfen ein Blick auf die **Bindungsbrüche bei einer Reaktion** und die **Energie- bzw. Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen in einer Stoffportion**.

1. Benennen Sie den quantitativen Zusammenhang von Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur (M3).
2. Beschreiben Sie die Auswirkung einer Temperaturerhöhung auf die Energieverteilung der Teilchen innerhalb einer Stoffprobe (M4).
3. Erläutern Sie die RGT-Regel in Form einer Argumentationskette.
4. Für Biologen: Erklären Sie, warum die RGT-Regel sich nicht uneingeschränkt auf biochemische Stoffwechselprozesse übertragen lässt.

LNCU Team: G. von Borstel, Stand 2023. Alle Abbildungen und Materialien unter CC BY-SA 4.0

M4 Bewegungsenergie von Teilchen bei verschiedenen Temperaturen

Bei gleicher Temperatur haben gleichartige Teilchen in einer Stoffprobe keineswegs die gleiche Geschwindigkeit. Sie stoßen permanent zusammen, werden gebremst und beschleunigt.

Es gibt also ein breites Spektrum an Geschwindigkeiten, die mit unterschiedlicher Häufigkeit auftreten. **Ludwig Boltzmann** hat erkannt, dass die Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten und damit Energie von Gasteilchen von der Temperatur abhängt und dies mathematisch erfasst.

Mit höheren Temperaturen verändert sich die Kurve!

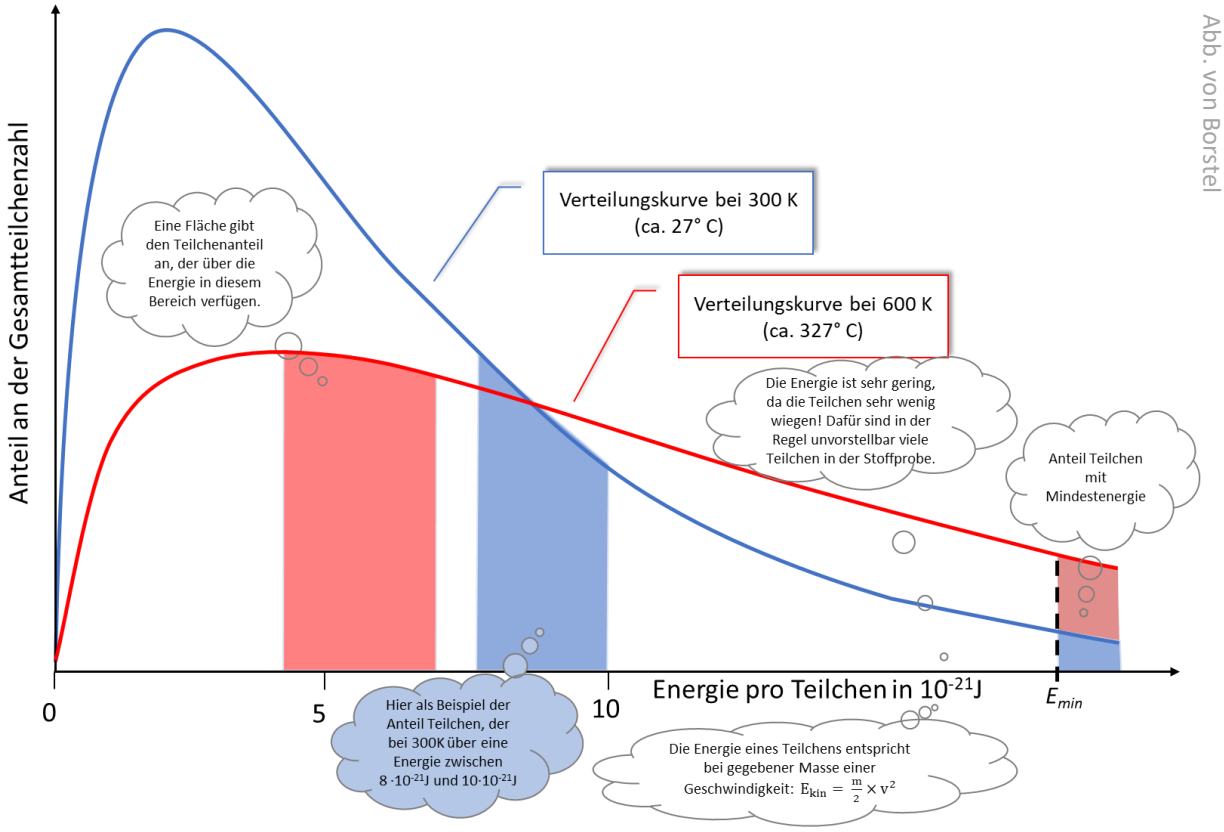


Abb. 1 „Maxwell-Boltzmann-Verteilung“ – Die Wirkung der Temperaturen auf die Verteilung kinetischer Energien.

M5 Genau hingeschaut - Modellkritik

Typisch für chemische Reaktionen sind Mindestenergien im Bereich von 10^{-19} J pro Teilchen. Häufig entsteht in grafischen Darstellungen entsprechend Abb. 3 ein falscher Eindruck bezüglich des Anteils der Teilchen mit Mindestenergie.

Wird in einem Teilbereich einer Stoffprobe die Temperatur so hoch, dass viele Teilchen die Mindestenergie überschreiten, setzt die Reaktion ein. Bei exothermen Reaktionen sorgt die freiwerden Wärme dafür, dass die Reaktion dann vollständig abläuft.

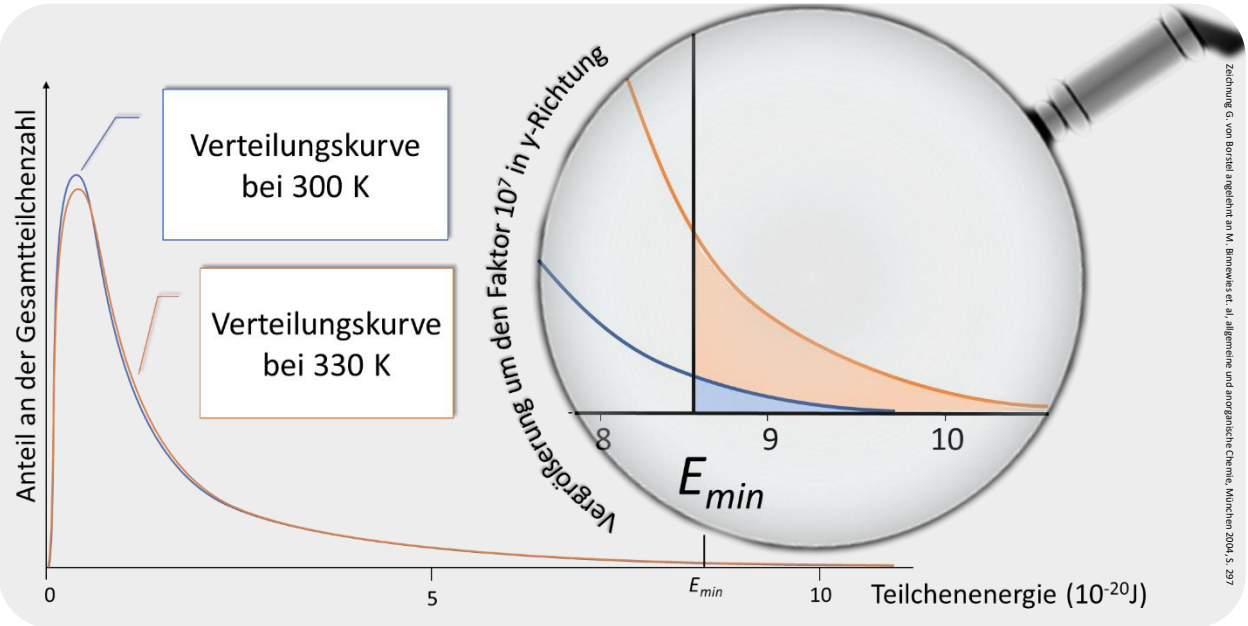


Abb. 2: Nur ein sehr kleiner Teil aller Teilchen verfügt über die für die Reaktion notwendige Mindestenergie. Dieser Anteil wächst exponentiell mit der Temperatur.

Zusatzaufgabe

Abb. 1 zeigt die relevanten Teilchen eigentlich gar nicht. Erklären Sie diese Aussage.

M6 Reaktionen im Weltraum - Ein Wissenschaftler kommt zu Wort

Auszüge aus einem Interview mit Dr. S. Thorwirth, Chemiker am I. Physikalischen Institut der Universität zu Köln (Arbeitsgruppe für Laborastrophysik) April 2020:

Im Weltraum ist es überwiegend sehr kalt! Wir müssen für diese Erkenntnis die Erde gar nicht verlassen. Radioteleskope können Strahlung von sehr weit entfernten Orten empfangen. Daraus entnehmen wir u. a. Informationen über die Rotation von Molekülen und wissen, dass die Temperaturen z. B. in der Taurus Molecular Cloud-1 (TMC-1) im Sternbild Stier nur um 10K liegen. In dieser sogenannten Dunkelwolke gibt es jedoch große Mengen an zum Teil exotischen Moleküle wie C_3S oder HC_3N.

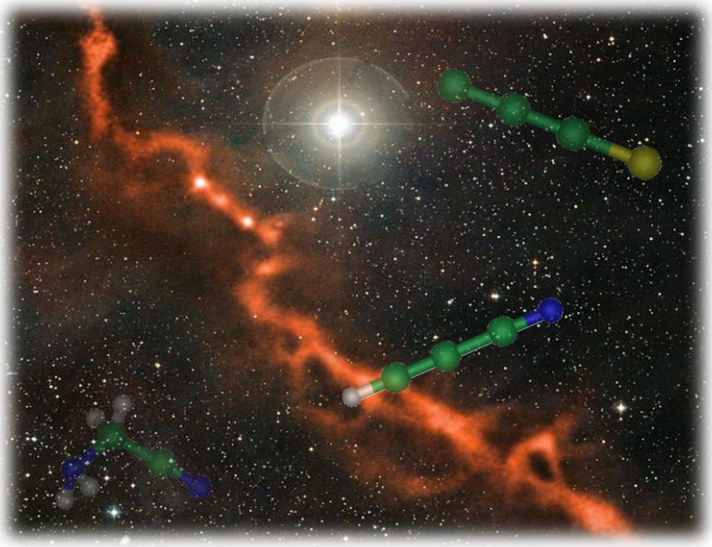


Abb. 3: A. Hacar et al., Part of the Taurus Molecular Cloud, CC-BY 3.0. Aufnahme der Staubemission (Wärmestrahlung) mit dem APEX Teleskop im Sternbild Stier, 450 Lichtjahre entfernt & S. Thorwirth, Ball & Stick Modelle dort nachgewiesener Moleküle.

Wie können die entstehen? Nach irdischen Maßstäben sollten dort kaum Reaktionen stattfinden, denn bei den dort herrschenden Temperaturen verfügen keine Teilchen über ausreichend Energie, um die Barriere der Aktivierungsenergie zu überwinden. Und wenn eine Reaktion nicht stattfinden kann, hilft es auch nicht, dass Zeit auf astronomischen Skalen eine eher untergeordnete Rolle spielt.

Da in Dunkelwolken aber viele Moleküle zu beobachten sind, gibt es folglich Reaktionen mit wenig oder keiner Aktivierungsenergie. Ein möglicher Reaktionstyp ist der zwischen Ionen und neutralen Molekülen oder Atomen. So wird H_2, das astronomisch häufigste Molekül überhaupt, dort zunächst durch Ionisation teilweise zu H_2^+ gewandelt. Das Molekül-Ion $H{\bullet}H^+$ gibt es tatsächlich und es kann mit neutralem Wasserstoff weiterreagieren: $H_2^+ + H_2 \rightarrow H_3^+ + H$.

Das so gebildete H_3^+-Ion fungiert nun seinerseits als Protonendonator und ist damit Initiator für viele Folgereaktionen. Es protoniert bspw. Sauerstoffatome oder auch Moleküle und so entstehen Ionen, die selbst entweder unter Abgabe eines Protons reagieren oder auch ein freies Elektron einfangen können. Bei letzterem Prozess wird so viel Energie frei, dass die Molekül-Ionen in zwei oder mehr ungeladene Atome oder Moleküle fragmentieren. So kann eine wahre Vielzahl an unterschiedlichen Substanzen entstehen.

Ach ja: wie entstehen dort eigentlich Wasserstoff-Ionen? Eine Ionisierung durch UV Licht scheidet praktisch aus, denn die Materiewolken sind im Inneren zu dicht. Aber kosmische (Materie-) Strahlung aus Sternen oder auch Supernova-Explosionen besteht aus sehr schnellen Teilchen wie Protonen oder Heliumkernen. Und diese ionisieren die Moleküle über entsprechende Stöße!

Noch komplexere organische Substanzen (wie bspw. Ethansäure, Ameisensäuremethylester oder auch Dimethylether) können auch auf dem dort vorhandenen Staub entstehen. Bei den tiefen Temperaturen frieren viele Substanzen zunächst auf dem Staub regelrecht aus. Wenn dann irgendwann aus der Dunkelwolke ein Stern entsteht, wird das umliegende Material aufgewärmt und die Stoffe können sich vom Staub lösen. Schaut man nun mit Radioteleskopen in

entsprechende Gebiete, wo es schon wärmer ist, findet man diese komplexen Moleküle. Dies ist von großer Relevanz, weil sich auf diese Weise prinzipiell sogar so etwas Komplexes wie Aminosäuren, die Bausteine des Lebens, bilden könnten. Ob Leben so entstanden ist, weiß man nicht. Man hat bisher erfolglos versucht, über Radioastronomie z. B. Glycin zu finden. Das bedeutet aber nicht, dass es astrochemisch nicht gebildet wird. Je komplexer ein Molekül ist, desto schwieriger ist es nämlich, „seinen spektroskopischen Fingerabdruck“ in der Radiostrahlung zu identifizieren.

Das vollständige Interview wird noch als Video zur Verfügung gestellt!

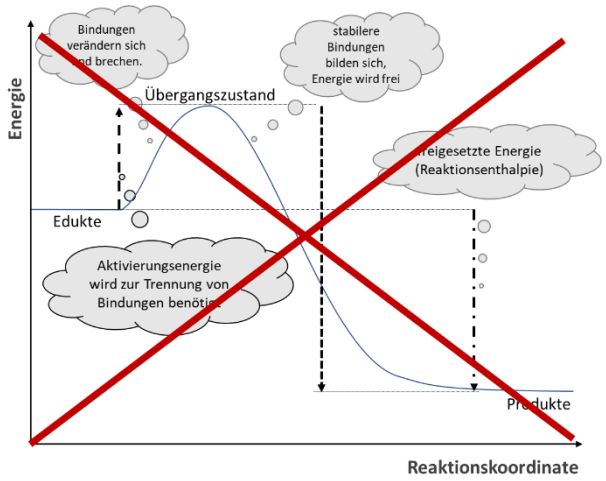


Abb. 4 Energiediagramm 1

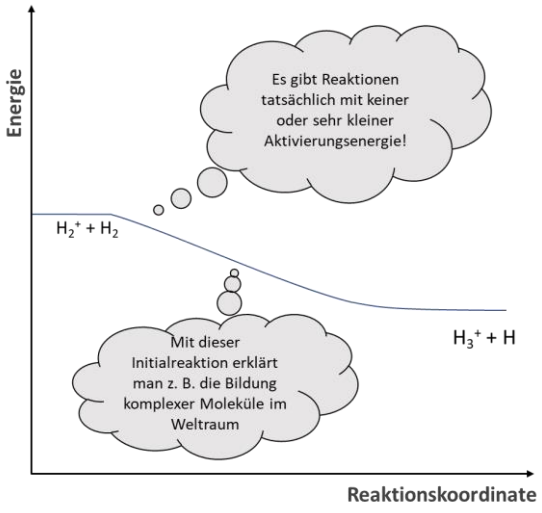
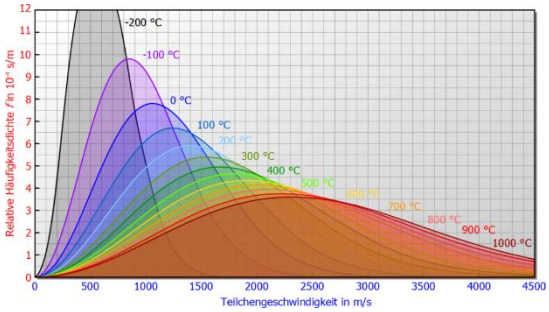


Abb. 5 Energiediagramm 2

Zusatzaufgabe

Klären Sie unbekannte Fachbegriffe, fassen Sie die wesentlichen Aussagen von Dr. Thorwirth zusammen und erläutern Sie die Abb. 4 und 5.

M7 Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung für Interessierte



© A. Höfler mit freundlicher Genehmigung

Zahlreiche interessante Hintergründe zu diesem und auch anderen Themen stellt Dipl.-Ing.-Päd. Andreas Höfler gemeinsam mit vielen anderen Autoren unter tec-science.com bereit.