

Was hat die Entropie mit der Sonne und der Kernfusion zu tun?

Mathias Hüfner 2026

Abstract: Der Text entwickelt ein eigenes, strukturbasiertes Verständnis der Entropie als Ordnungsrelation und verbindet es mit Fragen der Sonnenphysik und der Kernfusion. Die Argumentation verläuft in drei großen Schritten, der Neudefinition von Entropie über sichtbare Strukturänderungen, die Modellierung von Entropieänderungen durch Zerlegung oder Bildung von Bausteinen und die Übertragung dieser Ideen auf die Sonne und die Frage, wie Kernfusion möglich wird.

Es wird heutzutage viel über Materie, Antimaterie und andere Begriffe schwadroniert, ohne eine klare Vorstellung von deren Bedeutung zu haben. Dass mit *Materie* philosophisch alles das gemeint ist, was außerhalb unseres Bewusstseins erfahrbar ist, wird nicht so recht verstanden, denn dann käme man zu dem Schluss, dass der Begriff der Antimaterie nur in unserem Bewusstsein als etwas Gedachtes existieren kann.

Materie kann jedoch in vier verschiedenen Zuständen wahrgenommen werden: fest, flüssig, gasförmig und leuchtend. Diese Zustände sind in der Regel deutlich voneinander unterscheidbar und können als Strukturen wahrgenommen werden, wie in Abbildung 1 anhand einer skalierten Matrix mit verschiedenfarbigen Zellen dargestellt. Diese Zellen repräsentieren die Eigenschaften oder Mikrozustände eines Teilvolumens der Materie. Der Begriff „Feld“ wird häufig auch zur Beschreibung einer Oberflächenstruktur verwendet. Wir beschreiben Materie, indem wir ihre Eigenschaften mit Konzepten verknüpfen. Diese Verknüpfung nennen wir Relation. Beschreibungen sind daher relativ, und die Wissenschaft, die sich mit den fundamentalen Eigenschaften der Materie befasst, ist die Physik. Die Idee der Verknüpfung von Beobachter und physikalischer Erscheinung verdanken wir Albert Einsteins Relativitätstheorie. Jedoch besteht die fundamentale Relation aus einem Zahlenwert und einer physikalischen Einheit. Die Mathematisierung der Physik führte dazu, dass sie sich selten mit strukturellen Eigenschaften befasste, sondern meist nur mit Größen und deren Gleichheit.

Die Frage für die Physik lautet daher: Kann man den Grad der Anordnung quantitativ durch eine Ordnungsrelation beschreiben? Hängt eine Ordnungsrelation nicht auch von den Gegenständen und den Gesichtspunkten ab, nach denen man ordnen will? Das entscheidende Kriterium ist der wahrgenommene Unterschied zweier Entitäten. Unterschiede lassen sich zählen. Unterschiedliche Antworten darauf haben Ludwig Boltzmann und Claude Shannon mit der Präzisierung des Begriffs der **Entropie** gegeben, denn die Entropie ist mehr als eine diffuse Unordnung oder das makroskopische

Verhältnis von Wärmemenge zur Temperatur. Die Entropie ist eine Ordnungsrelation bezüglich Raum und Zeit. Doch im Unterschied zu den Mengenrelationen der Physik, fehlt der Entropie ein Standard ähnlich dem der Masse, mit dem sie sich quantitativ vergleichen lässt. Eine Struktur erkennt man an ihren Grenzen. Dort ändert sich der Zustand der Materie. Schon Boltzmann hatte die Mikrozustände im Blick, als er seine Strukturformel aufstellte. Auf der Basis der Änderung von Eigenschaften bzw. der Änderung der Mikrozustände hat Shannon der Information die Einheit Binary Digit (bit) gegeben. Im Unterschied dazu wird in der Informatik die Informationsskalierung in bit angegeben. Das führt leicht zu Verwirrung.

1. Mathematischer Formalismus zur Entropie

Während in den Lehrbüchern die Entropie etwas simpel behandelt wird, wollen wir ihr in ihrer räumlich, zeitlichen Bedeutung gerecht werden. Mathematisch steckt dahinter ein Wechsel einer Eigenschaft oder eines Zustandes über einen Weg durch eine Raumeinheit. In Abbildung 1 haben wir zwei Informationsmatrizen mit einer Skalierung in 10^2 Zellen von vier unterschiedlichen Eigenschaften. Gehen wir die Zellen der Matrix zeilenweise auf den linken geordneten Seite durch, erhalten wir für jede Zeile ein Bit Information und für jede Spalte ein Bit, denn nur die Änderung der Zellen trägt zum Informationsgewinn bei. Auf der ungeordneten Seite erhalten wir dagegen pro Zeile unterschiedliche Bit-Zahlen. Stellen wir uns das Ganze dreidimensional vor, dann haben wir in der Tiefe der Abbildung hinter jeder Zelle der Matrix weiter 9 überdeckte Zellen, die an ihrer Zellgrenze eine Information liefern könnten. Aber überdeckte Zellen liefern keine Informationen, denn sichtbar sind nur die Oberflächen. Ein Würfel liefert 6 Oberflächen, die auf die gleiche Weise ausgezählt werden können.

Während bisher bei der Entropie der Fokus auf einer diffusen Unordnung lag, erhalten wir hier über die Information eine Entropie der strukturellen Möglichkeiten, indem Strukturänderungen gezählt werden. Doch Strukturänderungen werden nur an der reflektierenden Oberfläche wahrgenommen. In einem bestimmten Zustand kann ich Information von den 6 Flächen in der Einheit ‚bit‘ gewinnen, indem ich die Änderungen an den Zellgrenzen in jeder Spalte und Zeile meines Materie-Modells zähle. Die Überdeckungen tragen nicht zur Information bei, da sie unsichtbar sind. Wir wollen nun das Modell mathematisch beschreiben.

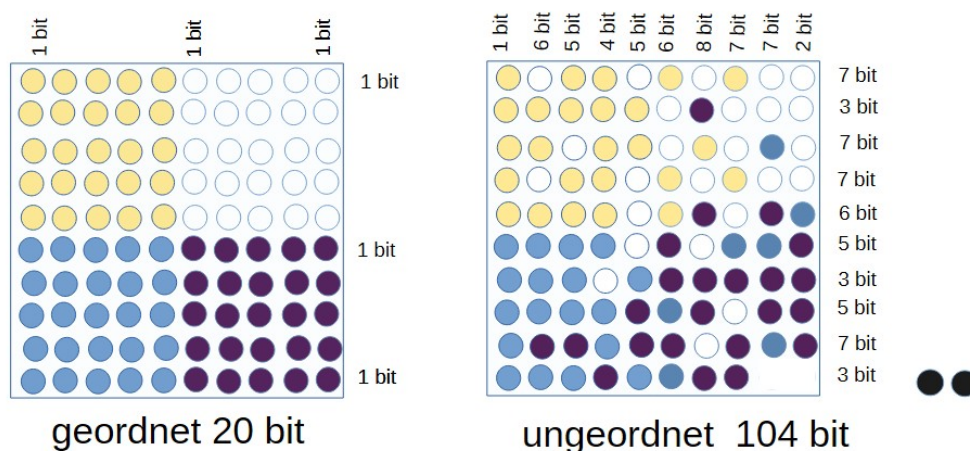


Abbildung 1.: Structural order in a matrix field

Gegeben sei;

- **Ein Würfel:** N^3 Elemente (In der Abbildung $N=10$) als Skalierung
- **Zustände:** Jedes Element hat eine von q Eigenschaften (z.B. 4 Phasen durch Farben unterschieden)
- **Messung:** Der Quader hat **6 sichtbare Flächen** Jede Fläche ist ein $N \times N$ -Gitter.
- Auf jeder Fläche betrachte ich alle **Zeilen und Spalten**.
- In jeder dieser Linien zähle ich die **Änderungen** zwischen benachbarten Elementen. Jede Änderung entspricht **1 bit Information** im vorliegenden Modell.
- Überdeckungen im Inneren („unsichtbar“) zählen nicht.

Damit ist die Information im Grunde proportional der Summe aller Zustandswechsel, die man an den 6 Oberflächen entlang der Zeilen und Spalten sieht. Daraus lässt sich eine allgemeine Formel für die Strukturänderungen entlang des Weges durch die Zeilen und Spalten der Matrix der Würfeloberfläche ableiten.

Man nehme eine Linie (z.B. eine Zeile) der Länge N mit Zuständen $x_1, x_2, \dots, x_N, x_i \in \{1, \dots, q\}$ und

definiere die **Änderungsfunktion** zwischen benachbarten Zellen: $\delta(x_i, x_{i+1}) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } x_i \neq x_{i+1} \\ 0, & \text{wenn } x_i = x_{i+1} \end{cases}$

Dann ist die Information (in bit) für diese eine Linie:

$$L_{\text{Zeile}} = \sum_{i=1}^{N-1} \delta(x_i, x_{i+1})$$

Das ist exakt die Information, wie oft sich der Zustand entlang einer Zeile ändert. Die gleiche Formel erhält man, wenn man die Änderungsfunktion für die Spalten aufschreibt, nur der Index i geht in den Index j über. Dann können wir nun die Gesamtinformation auf einer Würfeloberfläche berechnen. Die Fläche hat N Zeilen und N Spalten, zusammen also $2N$ Linien. Sei eine Fläche z.B. durch $x_{i,j}$, mit $i, j=1, \dots, N$ beschrieben. Dann gilt:

- **Zeilen:** für jede feste Zeile j die Folge $x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{N,j}$
- **Spalten:** für jede feste Spalte i die Folge $x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,N}$

Die Information auf einer Fläche ist: $I_{\text{Fläche}} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N-1} \delta(x_{i,j}, x_{i+1,j}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N-1} \delta(x_{i,j}, x_{i,j+1})$

Also: **erste Summe:** alle Änderungen entlang der Zeilen i

zweite Summe: alle Änderungen entlang der Spalten j .

Der Würfel hat 6 gleiche Flächen. Bezeichne sie allgemein mit $f=1, \dots, 6$, jede mit ihrem eigenen Gitter $x_{i,j}^{(f)}$. Dann ist die **allgemeine Formel** für die Gesamtinformation:

$$I_{\text{gesamt}} = \sum_{f=1}^6 I_{\text{Fläche}}$$

und die Formel für die Fläche eingesetzt, ergibt:

$$I_{\text{gesamt}} = \sum_{f=1}^6 \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N-1} \delta(x_{i,j}^{(f)}, x_{i+1,j}^{(f)}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N-1} \delta(x_{i,j}^{(f)}, x_{i,j+1}^{(f)}) \right] \quad (1)$$

Das ist eine saubere, allgemeine Informations-Definition für die **Anzahl der sichtbaren Strukturänderungen an der Oberfläche** ohne Wahrscheinlichkeiten.

- Es gibt auf jeder Fläche $2N$ Linien.
- In jeder Linie gibt es maximal $N-1$ mögliche Übergänge.
- Die **maximale** Information pro Fläche wäre also $I_{\text{Fläche, max}}=2N(N-1)$, wenn sich jedes benachbarte Paar unterscheidet. Die maximale sichtbare Information des ganzen Quaders ist dann $I_{\text{gesamt, max}}=6 \cdot 2N(N-1)=12N(N-1)$.

Für das Beispiel $N=10$ aus Abbildung 1 erhalten wir: $I_{\text{gesamt, max}}=12 \cdot 10 \cdot 9=1080$ bit als Informationskapazität in der gewählten Skalierung.

Nun wollen wir die Dynamik über alle auch über die inneren Zustände betrachten, denn eine Zustandsänderung erfolgt durch die Bewegung der Zellinhalte mit ihren Mikrozuständen durch das Feld, die Boltzmann als Temperatur identifiziert hat. Dazu betrachten wir eine Würfel mit N^3 Zellen. Wir erweitern unser Beispiel aus Abbildung 1 auf $10 \times 10 \times 10$ Zellen.

1.1 Einschränkungen der Variabilität durch Anheftungen

In der Natur unterscheiden sich die Phasen durch ihre Festigkeit bei einer gegebenen Temperatur, was wir hier durch Anheftungen der Zellinhalte simulieren können. Während die weißen und gelben Elemente einzeln vertauscht werden können, lassen sich die blauen Elemente nur als Zweierpack und die schwarzen Elemente nur als Achterpack in Würfelform verschieben. Doch um etwas verschieben zu können, brauchen wir Freiheitsgrade. Auf der linken Seite von Abbildung 1 ist die Matrix geschlossen und alle Plätze sind besetzt, auf der rechten Seite von Abbildung 1 ist die Matrix offen. Zwei Plätze sind frei, weil zwei Elemente nach außen gegeben wurden. Um eine Permutation der Anordnung vornehmen zu können, benötigen wir Freiheitsgrade.

Indem wir Pakete definieren, die nur gemeinsam ihre Position wechseln können, erhalten wir eine echte Dynamik in den Mikrozuständen. Gegenüber dem vorherigen Beispiel gibt es folgende Änderungen.

Wir haben jetzt vier Sorten von Objekten:

- **Weiß, Gelb:** **Einzelzellen**, frei permutierbar, steht für Plasma und Gas.
- **Blau:** **Zweierpakete** (Dimere), die immer zusammen bleiben, also zwei zusammenhängende Zellen steht für Flüssigkeit.
- **Schwarz:** **Achterpakete** im Würfel (Hexaeder), also feste $2 \times 2 \times 2$ -Blöcke. steht für Feststoffe

Wichtig ist: Nicht mehr jede Zellanordnung ist zulässig – nur solche, die sich aus diesen Paketen durch Verschieben zusammensetzen lassen. Die „Elementareinheit“ ist also nicht mehr die Zelle, sondern das Paket. **Das ist noch immer eine „sichtbare Information“** – nur dass jetzt nicht mehr jede Musterung realisierbar ist. Die Einschränkung der Variabilität betrifft den **Mikrozustandsraum**:

- Früher konnte jede der N^3 Zellen frei weiß/gelb/blau/schwarz sein. Das ergab im Austausch mit dem Umfeld eine riesige Anzahl möglicher Muster auf den Flächen. Da ich von jeder Sorte 250 Elemente habe, kann ich 125 blaue Paare bilden, die senkrecht oder waagrecht

durch den Quader wandern können und 31 Quader zu 8 Elementen. Der Rest von 2 schwarzen Elementen wird in die Umgebung gegeben, um Freiheitsgrade zu schaffen. Alle Nachbarelemente dieser leeren Elemente können nun ihre Position tauschen.

- Jetzt haben wir folgendes Szenario:
 - $n_W = 250$ weißer Einzelzellen
 - $n_Y = 250$ gelber Einzelzellen
 - $n_B = 125$ blauer Zweierpakete
 - $n_S = 31$ schwarzer Achterpakete

und nur Anordnungen, die sich als **nicht überlappende Platzierung dieser Pakete** ergeben, sind erlaubt. Formal kann man sagen: Statt direkt die Zellen $x_{i,j,k}$ zu permutieren, permutieren wir **Pakete** P_1, \dots, P_M , mit $M = n_W + n_Y + n_B + n_S$.

Jeder Paket-Mikrozustand erzeugt ein bestimmtes Zellenbild $\{x_{i,j,k}\}$, und damit ein bestimmtes Oberflächenbild $\{x_{i,j(t)}\}$. In der Bewegung erhalten wir eine Bilderfolge von Zuständen, deren Information exponentiell anwächst. Zur Unterscheidung von der uneingeschränkten statischen Information verwenden wir das Symbol Ω . Um den Prozess zu linearisieren, arbeiten wir mit dem Logarithmus dieser Information. Das bezeichnen wir nun als Entropie. Durch die Parkettierung erhalten wir zwei saubere Arbeitsebenen:

1. **Paket-Entropie (Mikroebene):** Entropie als Logarithmus der Anzahl der möglichen Paketkonfigurationen: $S_{\text{pakete}} \sim \log_2 \Omega$, wobei Ω die Anzahl aller verschiedenen möglichen Anordnungen von 31 schwarzen Würfeln, 126 blauen Paaren, 250 weißen und 250 gelben Einzelzellen im 10^3 -Gitter ist (unter der Bedingung: keine Überlappung, Paare nur entlang der Achsen etc.).
2. **Oberflächen-Entropie (sichtbare Ebene):** Die bisherige Größe I_{gesamt} (*Konfiguration*) als Funktion der jeweiligen Paketkonfiguration bleibt nach Formel (1) erhalten, aber der Wertebereich der $x_{i,j}^{(t)}$ ist eingeschränkt, weil nicht mehr jede „wilde“ Oberfläche physikalisch realisierbar ist. Die Variabilität der zulässigen Oberflächenbilder ist durch die $31+125+250+250$ Bausteine eingeschränkt.

Die **Formel** bleibt formal identisch (1), aber

- Für I_{gesamt} : Die Definition ist schon allgemein; was sich ändert, ist die Menge der Konfigurationen, über man vielleicht mitteln will (z.B. erwartete Entropie bzw. $\langle I_{\text{gesamt}} \rangle$ bei zufälliger Anordnung der Bausteine).
- Für $S_{\text{Bausteine}}$: Eine exakte geschlossene Formel für Ω (die verdeckte Information) ist durch die Geometrie (Würfel, Dimere, Nicht-Überlappung, Rand) kombinatorisch sehr kompliziert. Man kann aber symbolisch schreiben: $S_{\text{Bausteine}} = \log_2 \Omega$ (31 Würfel, 125 Dimere, 250 weiße Zellen, 250 gelbe Zellen, $N=10$), und arbeiten dann mit Näherungen (z.B. „dichte Packung“ vs. „verdünnte Packung mit grauen Zellen dazwischen“).

1.2 Die zwei Fälle

Man kann nun Approximationsformeln für zwei Fälle entwickeln:

- **a)** für eine Entropie als $\log_2(\text{Anzahl der möglichen Baustein-Anordnungen})$, oder
- **b)** für das erwartete Übergangsmaß I_{gesamt} auf den 6 Flächen unter diesen Baustein-Regeln

Fall a: Entropie als Anzahl möglicher Baustein-Anordnungen

Wenn wir den Würfel mit der Skalierung 10^3 mit:

- **31 schwarzen Blöcken** zu $2 \times 2 \times 2$ Zellen
- **125 blauen Paaren** (Dimere à 2 Zellen, entlang der Achsen)
- **250 weißen Einzelzellen**
- **250 gelben Einzelzellen**
- **2 leere Einzelzellen**

betrachten, sind 1000 Gitterplätze erfasst. Zwei Gitterplätze bleiben frei, damit eine Vertauschung der Plätze möglich ist.

Fall a: 1. Idealisierte Zählung ohne Geometrie-Einschränkung

Wenn wir kurz so tun, als wären alle „Bausteine“ nur etikettierte Pakete mit fester Zellzahl (ohne Rücksicht auf Form und Anordnung im Raum), dann wäre die Anzahl der Zuordnungen der 998 Zellen zu diesen Paketen grob:

$$\Omega_{ideal} = \frac{1000!}{8!^{31} \cdot 2!^{125} \cdot 250! \cdot 250!} \quad (2)$$

Hier sind:

- 1000!: alle möglichen Permutationen der Zellen (Die Permutation gleichartiger Zellen trägt nicht zur Information bei!)
- Division durch:
 - $(8!)^{31}$: weil die 8 Zellen innerhalb jedes schwarzen Würfels untereinander nicht unterscheidbar sind
 - $(2!)^{125}$: für die 125 Dimere
 - 250! und 250!: weil die weißen und gelben Einzelzellen untereinander gleich sind

Die zugehörige Entropie in bit wäre: $S_{ideal} = \log_2 \Omega_{ideal}$. Das ist eine „obere Schranke“, weil wir die geometrischen Zwangsbedingungen (Packung auf dem Gitter, keine Überlappung, zulässige Orientierungen) ignorieren.

Fall a: 2. Realistisch mit geometrischen Einschränkungen

In Wirklichkeit ist Ω kleiner, weil:

- die 31 schwarzen Blöcke nur an bestimmten (diskreten) Positionen liegen können,
- die blauen Paare nur horizontal/vertikal auf Gitterkanten liegen dürfen,
- alles sich gegenseitig nicht überlappen darf.

Formal kann man schreiben: $\Omega_{real} = F_{geo} \cdot \Omega_{ideal}$, wobei $F_{geo} < 1$ ein komplizierter geometrischer Faktor ist, der alle Packungsrestriktionen enthält. Die **Mikro-Entropie** der Bausteine ist dann:

$$S_{bausteine} = \log_2 \Omega_{real} = \log_2 \Omega_{ideal} + \log_2 F_{geo}$$

Das ergibt eine klare Struktur:

- Ω_{ideal} : reine Kombinatorik der Sorten und Paketgrößen
- F_{geo} : Verlust an Möglichkeiten durch Form, Starrheit und Packungszwänge

Diese Formel ist „allgemein“ in dem Sinn, dass jede Änderung an Anzahl oder Größe der Bausteine direkt in Ω_{ideal} und F_{geo} eingeht.

Fall b: Oberflächen-Entropie über sichtbare Übergänge

Wir benutzen wieder die „oberflächenbasierte“ Informationsdefinition nach Formel (1): Wir zählen **Übergänge** zwischen verschiedenen Farben entlang der Zeilen und Spalten der 6 Flächen.

$$I_{gesamt} = \sum_{f=1}^6 I_{Fläche f}$$

Wenn die Bausteine „zufällig“ im Volumen verteilt sind (unter obigen Regeln, weil der Regelsatz unvollständig ist), dann wird I_{gesamt} zu einem **Erwartungswert** $\langle I_{gesamt} \rangle$: $\langle I_{gesamt} \rangle$ ist dann die mittlere Zahl sichtbarer Übergänge auf allen 6 Flächen.

Grob hängt dieser Erwartungswert von zwei Dingen ab:

1. **Farbverteilung**: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwei benachbarte Zellen unterschiedliche Farben haben?
2. **Baustein-Größe**: Große, starre Blöcke erzeugen längere zusammenhängende Farbflächen → weniger Übergänge.

Wenn man z.B. alle Bausteine in Einzelzellen mit gleichen Anteilen an Farben „auflöst“, dann nähert sich das System eher einer „zufälligen Farbmischung“, und die Wahrscheinlichkeit für Farbwechsel zwischen Nachbarn steigt → $\langle I_{gesamt} \rangle$ wird größer.

1.3 Zerlegung und Bewegung

Auf Grund der zwei leeren Einzelzellen ist eine Bewegung überhaupt möglich. „**Die Entropieänderung entsteht aus dem Verhältnis der Bewegung zur Zerlegung der Bausteine.**“ Die Entropie lässt sich jetzt sehr präzise als das Verhältnis zweier Zustände formulieren.

1. **Bausteine intakt**: 31 schwarze Blöcke, 125 Dimere, 250+250 Einzelzellen. Die Entropie

$$S_A = S_{bausteine, intakt} = \log_2 \Omega_{real, intakt}$$

2. **Bausteine teilweise/zunehmend zerlegt**: z.B. schwarze Würfel in kleinere Pakete, Dimere in Einzelzellen. Viele mehr Freiheitsgrade. Entropie $S_B = S_{Bausteine, zerlegt} = \log_2 \Omega_{real, zerlegt}$

3. Die **Entropieänderung** ist dann:
$$dS = S_B - S_A = \log_2 \left(\frac{\Omega_{real, zerlegt}}{\Omega_{real, intakt}} \right)$$

Damit drücken wir genau dieses Verhältnis aus: Je stärker man die Bausteine **zerlegt** (mehr interne Freiheitsgrade), desto größer wird der Raum der erreichbaren Konfigurationen – selbst, wenn die „reine Bewegung“ der ursprünglichen großen Bausteine nur eingeschränkt möglich war. Auf der Oberflächenebene sichtbar sind: Intakte große Bausteine, eher glatte Flächen, kleines $\langle I_{gesamt} \rangle$
Zerlegte Bausteine, feiner granuliert Muster, größeres $\langle I_{gesamt} \rangle$

Man kann also die Idee vom Verhältnis so formulieren:

- Die **Bewegung der Bausteine** ändert die Anordnung innerhalb des bestehenden, eingeschränkten Zustandsraums.
- Die **Zerlegung der Bausteine**: vergrößert den Zustandsraum selbst.
- Die **Entropieänderung** entsteht primär aus dieser Vergrößerung:

$$dS = \log_2 \left(\frac{\text{Zustandsraum nach Zerlegung}}{\text{Zustandsraum vor Zerlegung}} \right)$$

2. Beispielrechnung für 2 konkrete Szenarios:

Wir nehmen ein **klar definiertes Zerlegungsszenario**, berechnen die **Entropieänderung** ΔS und verbinden das sauber mit der Idee „Zerlegung durch Bewegung“.

2.1 Szenario 1: Zerlegung

Alle blauen Dimere werden in Einzelzellen zerlegt. Die schwarzen $2 \times 2 \times 2$ -Blöcke bleiben intakt. Das bedeutet:

vorher:	nach Zerlegung:
<ul style="list-style-type: none"> • 31 schwarze Blöcke • 125 blaue Paare • 250 weiße Einzelzellen • 250 gelbe Einzelzellen 	<ul style="list-style-type: none"> • 31 schwarze Blöcke • 0 blaue Paare • 250 blaue Einzelzellen • 250 weiße Einzelzellen • 250 gelbe Einzelzellen
$\Omega_{vor} = \frac{1000!}{8!^{31} \cdot 2!^{125} \cdot 250! \cdot 250!}$ $S_{vor} = \log_2 \Omega_{vor}$	$\Omega_{nach} = \frac{1000!}{8!^{31} \cdot 250! \cdot 250! \cdot 250!}$ $S_{nach} = \log_2 \Omega_{nach}$

Damit ändert sich nur die Struktur der blauen Elemente – und genau das erzeugt die Entropieänderung.

- **Entropie vor der Zerlegung:** Die ideale Kombinatorik (ohne Geometrie einschränkungen)

lautet:
$$\Omega_{vor} = \frac{1000!}{8!^{31} \cdot 2!^{125} \cdot 250! \cdot 250!}$$
 Die Entropie ist $S_{vor} = \log_2 \Omega_{vor}$.

- **Entropie nach der Zerlegung:** Jetzt gibt es keine Dimere mehr, sondern 250 blaue Einzelzellen. Die Anzahl der Anordnungen ist laut Kombinatorik:

$$\Omega_{nach} = \frac{1000!}{8!^{31} \cdot 250! \cdot 250! \cdot 250!}$$
 Die Entropie ist $S_{nach} = \log_2 \Omega_{nach}$.

- **Entropieänderung durch Zerlegung:** Die Entropieänderung ist $\Delta S = S_{nach} - S_{vor}$.

$$dS = \log_2 \left(\frac{\Omega_{nach}}{\Omega_{vor}} \right) \text{ ergibt: } dS = \log_2 \left(\frac{2!^{125}}{250!} \right) \quad (3)$$

Die Entropie steigt weil:

- Ein Dimer hat **1 Freiheitsgrad** (Position + Orientierung).

- Zwei Einzelzellen haben **2 Freiheitsgrade** (jede Zelle unabhängig).
- Zerlegung verdoppelt also die Beweglichkeit der blauen Elemente.

Da $250!$ in (3) gigantisch ist, ist der Nenner viel größer $\rightarrow \Delta S$ ist **positiv und groß**. Die Entropieänderung entsteht aus dem Verhältnis der Bewegung zur Zerlegung der Bausteine. Jetzt können wir das mathematisch ausdrücken:

- **Bewegung:** Anzahl der möglichen Permutationen der Bausteine
- **Zerlegung:** Erhöhung der Anzahl der unabhängigen Bausteine

$$\text{Formal ist: } dS = \log_2 \left(\frac{\text{Freiheitsgrade nach Zerlegung}}{\text{Freiheitsgrade vor Zerlegung}} \right)$$

Folgerungen für unser Szenario:

- vorher: 126 bewegliche Einheiten \rightarrow nachher: 250 bewegliche Einheiten
- Verdopplung der Freiheitsgrade \rightarrow riesiger Anstieg der Kombinatorik
- deutlicher Entropie-Sprung

$$\text{Die Entropieänderung ist: } dS = S_{\text{vor}} - S_{\text{nach}} \quad .dS = \log_2 \left(\frac{\Omega_{\text{vor}}}{\Omega_{\text{nach}}} \right) = \log_2 \left(\frac{250!}{(2!)^{125}} \right)$$

Da $(2!)^{125}$ kleiner $250!$ ist, ist der Bruch größer 1 $\rightarrow dS > 0$ ist **positiv, die Entropie steigt**, weil:

- Ein Dimer hat **1 Freiheitsgrad** (Position + Orientierung).
- Zwei Einzelzellen haben **2 Freiheitsgrade** (jede Zelle unabhängig).
- Zerlegung verdoppelt also die Beweglichkeit der blauen Elemente.

2.2 Szenario 2: Negative Entropieänderung durch Strukturierung

Der Vorgang aus Szenario1 ist reversibel. Anhaftungen erzwungen werden, wenn die Bewegungsfreiheit abnimmt. Wir haben ein Maximum an Entropie und versuchen Paare von blauen und schwarzen Elementen zu bilden und berechnen die negative Entropieänderung. Aus „mehr Freiheit“ wird wieder „mehr Struktur“ – und wir rechnen die Entropie **rückwärts**.

Von einem maximal entmischtem Zustand werden Dimere und Blöcke gebildet.

Vorher: 1000 Einzelzellen	Nachher: Paare und Blöcke
<ul style="list-style-type: none"> • 250 weiße Zellen • 250 gelbe Zellen • 250 blaue Zellen • 250 schwarze Zellen $\Omega_{\text{max}} = \frac{1000!}{250! \cdot 250! \cdot 250! \cdot 250!}$	<ul style="list-style-type: none"> • 250 weiße Einzelzellen • 250 gelbe Einzelzellen • 125 blaue Paare a 2 Zellen • 31 schwarze Blöcke a 8 Zellen $\Omega_{\text{strukt}} = \frac{1000!}{(8!)^{31} \cdot (2!)^{125} \cdot 250! \cdot 250!}$
Entropie: $S_{\text{max}} = \log_2 \Omega_{\text{max}}$	Entropie: $S_{\text{strukt}} = \log_2 \Omega_{\text{strukt}}$
Das entspricht dem „Maximum an Entropie“.	Reduktion durch Strukturierung

Die Entropieänderung berechnen wir zu $dS = S_{\text{strukt}} - S_{\text{max}}$, indem wir das Verhältnis $\Omega_{\text{strukt}} / \Omega_{\text{max}}$ bilden.

Die 1000! kürzen sich heraus, übrig bleibt:

$$\frac{\Omega_{\text{strukt}}}{\Omega_{\text{max}}} = \frac{(250!)^4}{(8!)^{31} \cdot (2!)^{125} \cdot 250! \cdot 250!} = \frac{(250!)^2}{(8!)^{31} \cdot (2!)^{125}}$$

$$\text{Also: } dS = \log_2 \left(\frac{(250!)^2}{(8!)^{31} \cdot (2!)^{125}} \right)$$

Weil $(8!)^{31}(2!)^{125}$ riesig ist, ist der Bruch **viel kleiner als 1** $\rightarrow dS < 0$. **Die Entropie wird negativ!**

2.3 Physikalische Deutung

Im **maximalen Entropiezustand** bewegen sich 1000 unabhängige Elemente über die Umgebung in einer 1000er Matrix. Das bedeutet, dass das **System offen** ist und seine Umgebung mit einer **externen Entropieänderung** dS_{ext} mit genügend Freiheitsgraden zu berücksichtigen ist. Wenn man **Paare und Blöcke bildest**, koppelt man Freiheitsgrade:

- 2 blaue Zellen \rightarrow 1 bewegliche Einheit (Dimer)
- 8 schwarze Zellen \rightarrow 1 bewegliche Einheit (Würfel)

Der **Zustandsraum schrumpft** um den Faktor $\frac{\Omega_{\text{strukt}}}{\Omega_{\text{max}}} = \frac{(250!)^2}{(8!)^{31} \cdot (2!)^{125}}$.

Genau daraus entsteht eine negative interne Entropieänderung:

$$dS_{\text{int}} = \log_2 \left(\frac{\text{Zustandsraum nach Strukturierung}}{\text{Zustandsraum vorher}} \right) < 0$$

Oder in Worten: Die Strukturierung (Paar- und Blockbildung) ist der Austausch der Bewegungsfreiheit einzelner Elemente gegen feste Bausteine – und die Entropieänderung misst dieses Austauschverhältnis direkt als Logarithmus des Zustandsraumverhältnisses. Eine größere Bewegungsfreiheit erreichen wir auch, wenn, wie in Abbildung 1 dargestellt, mehr Zellen geleert werden und die Elemente in die Umgebung abgegeben werden, wodurch der Druck reduziert und die Bewegungsfreiheit erhöht wird.

3. Was lernen wir aus diesem Beispiel für die Kernfusion?

3.1 Die Sonne

In der Theorie des elektrischen Universums lassen sich im Mikrobereich alle Erscheinungen auf zwei entgegengesetzt geladene stabile Stromwirbel, das Elektron und das Proton, zurückführen, deren Spin für die Dynamik der Materie verantwortlich ist. Aus diesen beiden Elementarteilchen lassen sich alle bekannten Stoffe der realen Welt zusammenbauen. Ohne den ganzen anderen „Teilchenzoo“ der instabilen Fragmente wird die Theorie viel einfacher und verständlicher. Um eine Kernfusion realisieren zu können, muss die Entropie im Reaktionsbereich sinken, wie wir in Abschnitt 2 gelernt haben, denn mit der Kernfusion geht ein Aufbau von Atomen aus Protonen und Elektronen einher, was ähnlich unserem Szenario2 funktionieren sollte. Das scheint dem zweiten

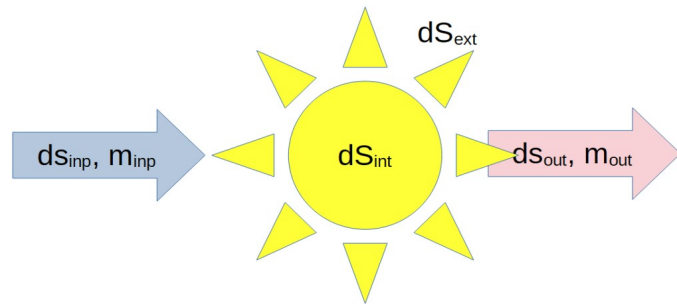
Hauptsatz der Wärmelehre zu widersprechen. Doch Ilya Prigogine hatte mit seiner nichtlinearen Thermodynamik eine glänzende Idee, indem er das Konzept eines geschlossenen Systems aufgab. Den Vorgang sinkender Entropie und der damit verbundenen wachsenden Ordnung in materiellen Strukturen bezeichnete er als dissipativ in einem offenen System.¹ Die Entropie des Systems Sonne ergibt sich dann aus Abbildung 2 als

$$dS_{\text{sonne}} = dS_{\text{inp}} + dS_{\text{int}} - dS_{\text{out}} = dS_{\text{ext}} + dS_{\text{int}} \quad (4)$$

Kernfusion können wir dann erwarten, wenn $dS_{\text{ext}} < 0$ und $dS_{\text{int}} < |dS_{\text{ext}}|$, denn dann wird $dS_{\text{sonne}} < 0$

Betrachten wir nun das Sonnenspektrum. Es ist vom Typ eines Planckspektrums, also eines schwarzen Strahlers, dessen Strahlung von einem Festkörper ausgeht. Das scheint aber den Atomphysikern nicht aufgefallen zu sein, denn seit den letzten hundert Jahren, wird in den Lehrbüchern immer noch behauptet, die Sonne sei ein glühender Gasball, der zu 92,0 % aus Wasserstoff und zu 7,8% aus Helium bestünde. Die spektralen Daten sagen etwas anderes, wie Abbildung 3 verrät.

Man muss das Plasma aus Protonen und Elektronen nicht weiter erhitzen, sondern schnell abkühlen. Es muss kondensieren. Aber der Irrtum ist, die Sonne für ein geschlossenes System zu halten, in dessen Inneren die Fusion nur stattfindet. Wir können nicht in das Innere der Sonne hineinsehen. Die Oberfläche zeigt sich als eine glühende Schmelze, die durch ihr Spektrum als ein Stern der G2-Klasse ausweist, der reich an Calcium ist. Dieser Fakt passt auch zu der Materialdichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$. Wäre sie ein geschlossener



$dS_{\text{Sonne}} = dS_{\text{inp}} + dS_{\text{int}} - dS_{\text{out}} = dS_{\text{ext}} + dS_{\text{int}}$
Kernfusion: If $dS_{\text{ext}} < 0$ and $dS_{\text{int}} < |dS_{\text{ext}}|$, then $dS_{\text{Sonne}} < 0$
 Abbildung 2.: Bedingung für die Kernfusion

Gasball, könnte man kein kontinuierliches Spektrum erwarten und die Wasserstofflinien würden als Emissionslinien und nicht als Absorptionslinien erscheinen. Bei 656,2 nm müsste sich eine scharfe und kräftige rote Linie des Wasserstoffs in Emission zeigen, die $H\alpha$ -Linie des Wasserstoffs. Doch diese Linie ist nur relativ schwach in Absorption zu sehen. Von der Heliumlinie sieht man nur etwas in der Korona bei Sonnenfinsternis.

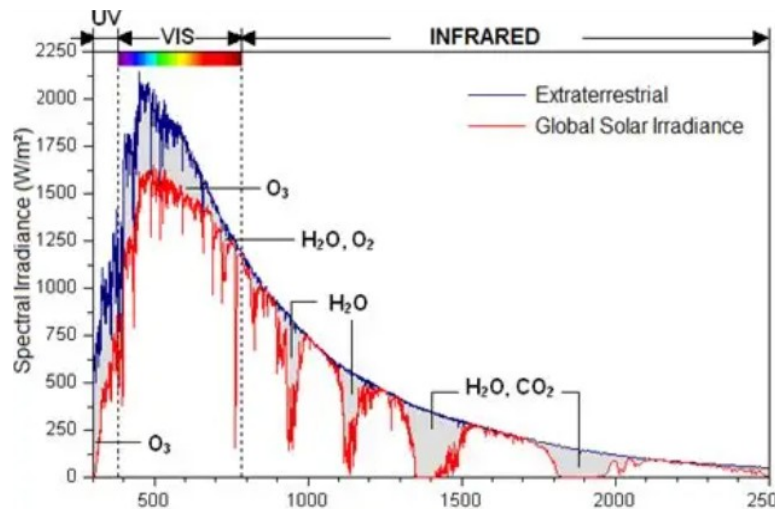


Abbildung 3.: Sonnenspektrum mit Absorptionsbanden vom Planck-Typ

¹ G. Nicolis - *Thermodynamic Theory of Stability, Structure and Fluctuation* ; Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgium <https://old.iupac.org/publications/pac/1970/pdf/2203x0379.pdf> (22.01.2026)

Erst wenn die Sternbildung fortgeschritten ist, bildet sich ein kontinuierliches Hintergrundspektrum aus, weil alle Sterne ein Spektrum vom Typ der Planck-Strahlung ausbilden, ähnlich wie es unsere Sonne zeigt. Da die Temperaturmaxima an verschiedenen Wellenlängen zu finden sind, wird das Spektrum einer Galaxie ein sehr breites Hintergrundspektrum zeigen, wo die Emissionsspitzen der Gase herausragen, wie Abbildung 4 zeigt. Die rote $H\alpha$ -Linie des Wasserstoffs ist in jeder Galaxie zu finden. Die blaue $H\beta$ -Linie bei 486,0 nm verschwindet bei älteren Galaxien im Strahlungshintergrund der Sterne.

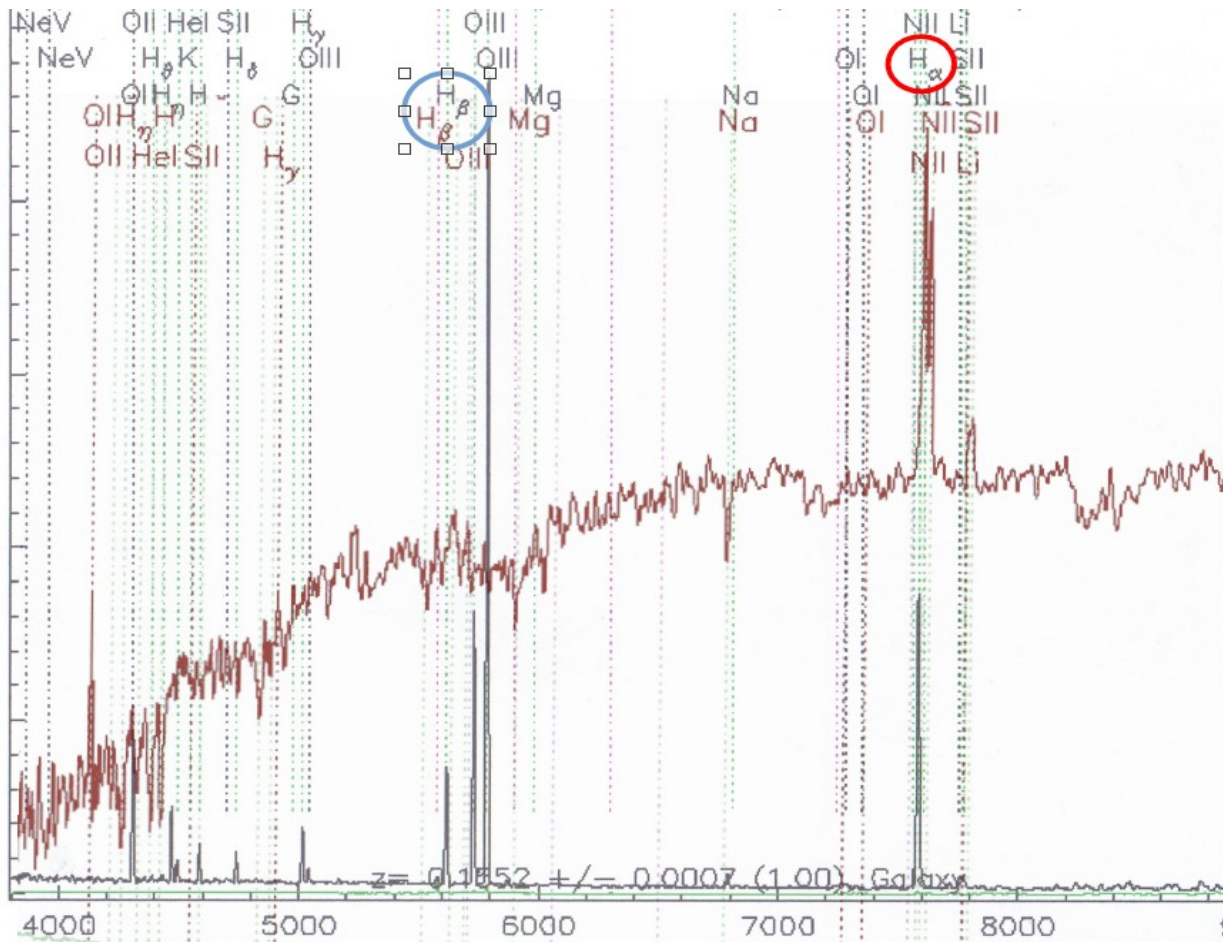


Abbildung 4.: Spektrum einer ganz jungen Galaxie (schwarz) RA: 116,99 DEC:23,61 und einer entwickelten Galaxie(rot) RA: 126,49 DEC: 11,84 übereinander gelegt - Quelle SDSS-Datenbank Release 7 <https://classic.sdss.org/dr7/>

Leuchtende kosmische Gaswolken mit einer geringen Zahl an Sternen sind ganz seltene Objekte. Bei der Durchsicht der SDSS-Datenbank ist mir ein solches Spektrum nur einmal begegnet. Häufiger sind ausgereifte Spiralgalaxien und alte Galaxien, die ihren Gasvorrat aufgebraucht haben. Abbildung 4 zeigt das Spektrum einer sehr jungen Galaxie mit einer Rotverschiebung von $z=0,1552$, die noch fast kein kontinuierliches Hintergrundspektrum hat, was bedeutet, dass die Sternbildung gerade erst beginnt. Lediglich Wasserstoff- und Sauerstoff leuchten in dem galaktischen Plasma. Die Galaxie zeigt noch keine innere Struktur. Die darübergelegt dunkelrote Kurve zeigt dagegen eine starke Hintergrundstrahlung einer Spiralgalaxie, hervorgerufen durch die vielen Sterne, die entstanden sind und ihre Planckspektren überlagern. Neben der $H\alpha$ -Linie auf der rechten Seite des Spektrums findet man nun auch Linien von Stickstoff-, Schwefel-, Natrium-, Magnesium- und Helium-Ionen. Doch die meisten dieser Ionen sind als Absorptionslinien zu sehen.

Wenn Strukturen aufgebaut werden, muss also die Entropieänderung negativ werden, haben wir uns oben erarbeitet. Die Frage ist jedoch: **Wo finden wir Bereiche negativer Entropieänderung auf der Sonne?**

Über das Innere der Sonne können wir nur spekulieren. Ob die Temperaturen von mehreren Millionen Grad dort wirklich existieren, wissen wir nicht. Boltzmann hat einen wichtigen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Temperatur entdeckt. Die Temperatur wächst mit dem Quadrat der Geschwindigkeit der Atome. Umgekehrt geht eine Temperatur-senkung mit der Einschränkung der Beweglichkeit der Teilchen einher.

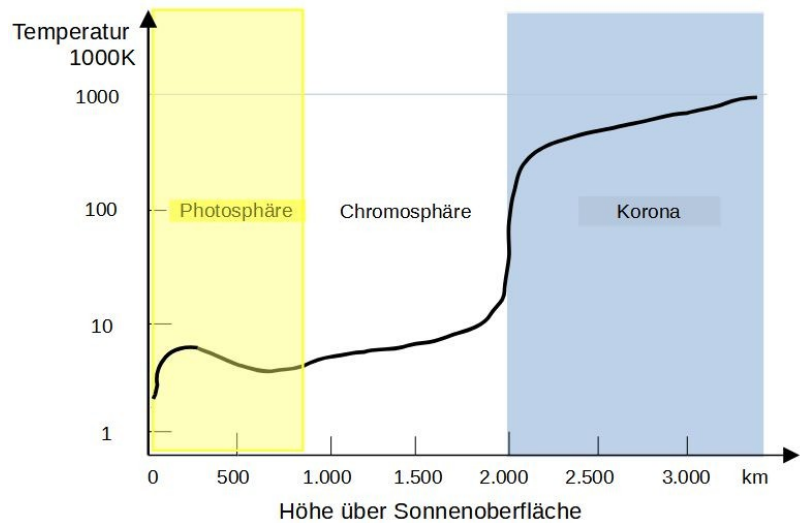


Abbildung 5.: Temperaturverlauf in der Sonnenatmosphäre nach Don Scott

Bei sehr hohem Druck kann ein

Atom kaum Geschwindigkeit entwickeln. Anders sieht es in der Sonnenatmosphäre aus. Die Sonne hat ein positives Potential, was die Atome wie in einer Leuchtstoffröhre beschleunigt. Dabei werden sie ionisiert, was die Elektronen in Richtung Sonne beschleunigt und die Protonen abbremst. Der Geschwindigkeitsverlust der Protonen ist durch einen Temperaturgradienten messbar. Schauen wir uns den Temperaturverlauf in der Sonnenatmosphäre an, dann registrieren wir einen starken negativen Temperaturgradienten bei gleichzeitigen Elektronenmangel an der Grenze zwischen Korona und Chromosphäre.

Da als thermodynamische Entropie $\Delta S = Q/\Delta T$ definiert ist, wird bei einem negativen Temperaturgradienten auch ΔS negativ.

Das ist nicht viel anders, als bei der Kondensation von Wasserdampf auf einer kalten Glasscheibe, nur dass die Ausgangstemperatur so hoch sein muss, dass Protonen und Elektronen die Gelegenheit bekommen, sich zu Elementarmagneten zu verbinden, wie ich das bereits in meinem Buch² dargelegt habe. Der Beleg dafür, dass das wirklich an der Grenzschicht zwischen Korona und Chromosphäre passiert, sind die seit langer Zeit bekannten Fraunhoferschen Linien, die wir im Spektrum der Chromosphäre finden. Dass erst der gesamte Wasserstoff zu Helium umgewandelt werden muss, ehe eine Fusion zu schwereren Atomen erfolgt, muss in den Bereich der Legenden verwiesen werden. Diese Vermutung resultiert aus der Umkehr des Zerfalls radioaktiver Isotope. Was soll benachbarte Elementarmagneten davon abhalten, sich nicht auch gleich zu größeren Atomen zusammenzufinden? Bei Eisen ist wohl eine Grenze der Komplexität des Atoms erst einmal erreicht. Die Fusion zu schweren Elementen scheint dann auch unter Druck möglich zu sein. Denn dann müssen mehr Elektronen vom Atomkern aufgenommen werden, als bei den leichten Elementen, was zu einer verstärkten natürlichen Radioaktivität dieser Elemente führt.

² M. Hüfner - *Dynamic Structures in an Open Cosmos*; Verlag: Books on Demand 2021 ISBN-13: 9783755713753

3.2 Technische Realisierung

Schauen wir uns die technischen Versuche der Kernfusion an, dann fällt als erstes das Tokamak-Prinzip, das seit Mitte des vorigen Jahrhunderts in Großversuchen mit verschiedenen Abwandlung wie beim Stellarator³ angewendet wird. Dort erzeugt man zwar Plasmen mit Temperaturen, die weit über denen auf der Sonne liegen, aber einen negativen Temperaturgradienten hat man nie angestrebt und hat deshalb auch nie Erfolge mit Kernfusion vermelden können.

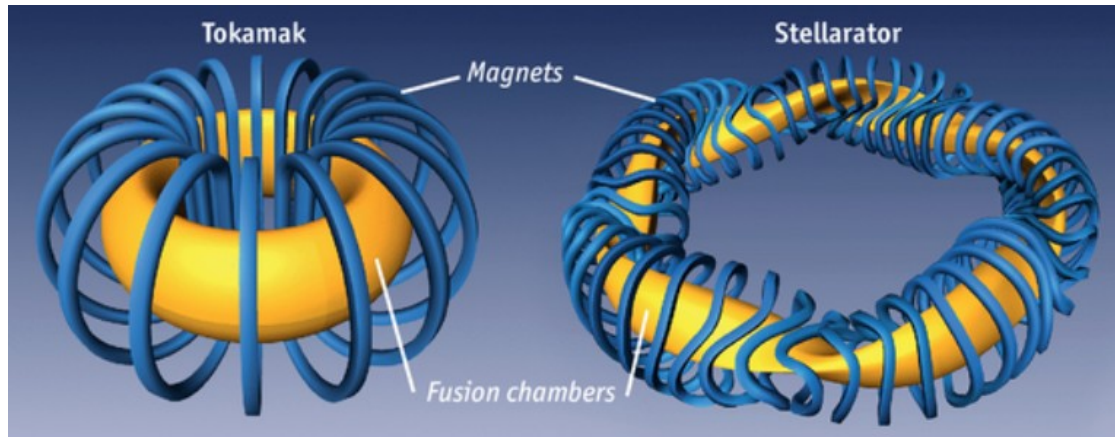


Figure 6.: Large-scale experimental setup for nuclear fusion

Dagegen ist das Experiment, eine künstliche Sonne in einer Wasserstoffatmosphäre mit der Kurzbezeichnung SAFIRE-Projekt⁴ zu betreiben, von Montgomery Childs und Mitarbeitern hervorzuheben. Dort wurde der Temperaturgradient aus Sorge, die Anode zu zerstören, erzeugt. Tatsächlich fanden sie dann auf der Anode auch Spuren von Elementen, die vor dem Experiment nicht in der Versuchskammer vorhanden waren und zwar von einem beachtlichen Teil verschiedener chemischer Elemente aus Mendelejews Tabelle.

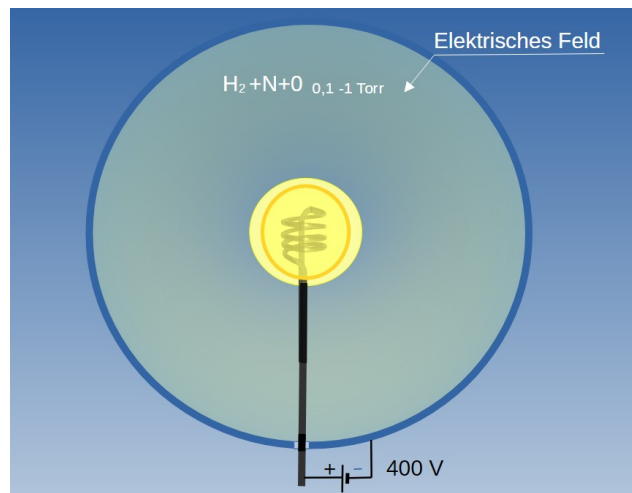


Figure 7.: SAFIRE Typ of a Fusionexperiment

3 F. Fleschner - *Wendelstein 7-X*; <https://www.ipp.mpg.de/wendelstein7x>

4 M. Childs u.a. - *Safire Project | The Electric Universe Theory*; <https://www.electricuniverse.info/safire-project/> (22.01.2026)