

Die Abenteuer des Anselm Wüßtegern

# Strahlende Aussichten

Jean-Pierre Petit

Dieses Buch entstand in Zusammenarbeit mit dem  
*Musée National des Sciences, des Techniques et de l'Industrie*  
(Paris-La Villette)



Aus dem Französischen von Thierry Rousseau

Die Vereinigung « Wissen ohne Grenzen », gegründet und unter dem Vorsitz von Professor Jean-Pierre Petit, Astrophysiker, hat zum Ziel, wissenschaftliches und technisches Wissen in der größtmöglichen Zahl von Ländern und Sprachen zu verbreiten. Zu diesem Zweck hat Professor Jean-Pierre Petit sein gesamtes populärwissenschaftliches Werk aus dreissig Jahren, und im besonderen die illustrierten Alben, frei zugänglich gemacht. Dementsprechend ist ein jeder frei, die vorliegende Datei zu vervielfältigen, entweder in digitaler Form oder in Form gedruckter Kopien und sie in Bibliotheken oder im Rahmen von Schule, Universität oder Vereinen zu verbreiten, deren Ziel die gleichen sind wie von « Wissen ohne Grenzen », unter der Bedingung, daraus keinen Profit zu erzielen und ohne dass ihre Verbreitung eine politische, sektiererische oder religiöse Konnotation beinhaltet. Diese Dateien im Format pdf können auch ins Computernetzwerk von Schul- oder Universitätsbibliotheken gestellt werden.



Jean-Pierre Petit plant zahlreiche weitere Werke, zugänglich für ein noch größeres Publikum. Einige werden selbst von Analphabeten gelesen werden können, dadurch, daß die Textepartien "zu sprechen beginnen" sobald ein Klick auf sie erfolgt. Diese Werke werden also als Stütze zur Alphabetisierung verwendet werden können. Andere Alben werden « zweisprachig » sein, indem man durch einen einfachen Klick von einer Sprache zur anderen wechseln kann, nachdem die Sprachkombination zuvor gewählt wurde. So entsteht eine neue Stütze zum Erlernen von Fremdsprachen.

Jean-Pierre Petit ist 1937 geboren. Er hat seine berufliche Laufbahn in der französischen Wissenschaft gemacht. Er ist Plasmaphysiker gewesen ( plasma physicist ), hat ein Informatikzentrum geleitet, Programme entwickelt, hunderte von Artikeln der unterschiedlichsten Wissensgebiete in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht, von der Mechanik der Flüssigkeiten bis zur theoretischen Kosmologie reichend. Er hat ungefähr dreissig Werke veröffentlicht, die in eine Vielzahl von Sprachen übersetzt wurden.

Kontakt zu « Wissen ohne Grenzen » kann über die Website <http://www.savoir-sans-frontieres.com> aufgenommen werden.

# Wissen ohne Grenzen

**Gemeinnützige Vereinigung, die 2005 gegründet wurde und von zwei französischen Wissenschaftlern geleitet wird. Ziel: Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse mit Hilfe des Bandes, das durch kostenlos herunterladbare PDFs gezogen wird. Im Jahr 2020: 565 Übersetzungen in 40 Sprachen wurden so erreicht. Mit mehr als 500.000 Downloads.**



**Jean-Pierre Petit**

**Gilles d'Agostini**

**Die Vereinigung ist vollkommen freiwillig. Das Geld wird vollständig den Übersetzern gespendet.**

**Um eine Spende zu tätigen, verwenden Sie die PayPal-Schaltfläche auf der Startseite:**

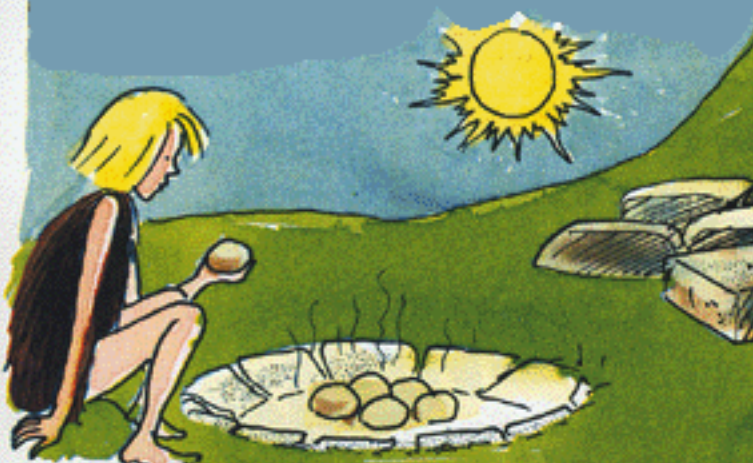
<http://www.savoir-sans-frontieres.com>





# Prolog

Es gab einmal eine Welt, in der Menschen das Feuer nicht kannten. Um Ihre Nahrung zu erwärmen, legten sie sie in die Sonne.



Es wäre doch besser, wir würden etwas anderes erfinden...



Immer wenn es Nacht wurde, brachten sie schwere Steine in ihre Höhlen, die tagsüber die Sonnenwärme gespeichert hatten.

Erschöpfend...



Schläfst Du?

Nein, die Steine sind schon kalt geworden.

Man friert...



Und es wird noch schlimmer, wenn der Winter da ist. Die Hälfte des Stamms ist schon erkältet...

Was machst Du denn da?

Ich erfinde einen Weg, **Energie zu speichern.**



Höhle

Steine

Schlitten

Gegengewicht

Es ist wirklich zu ermüdend, jeden Abend die Steine schnell herein zu bringen.

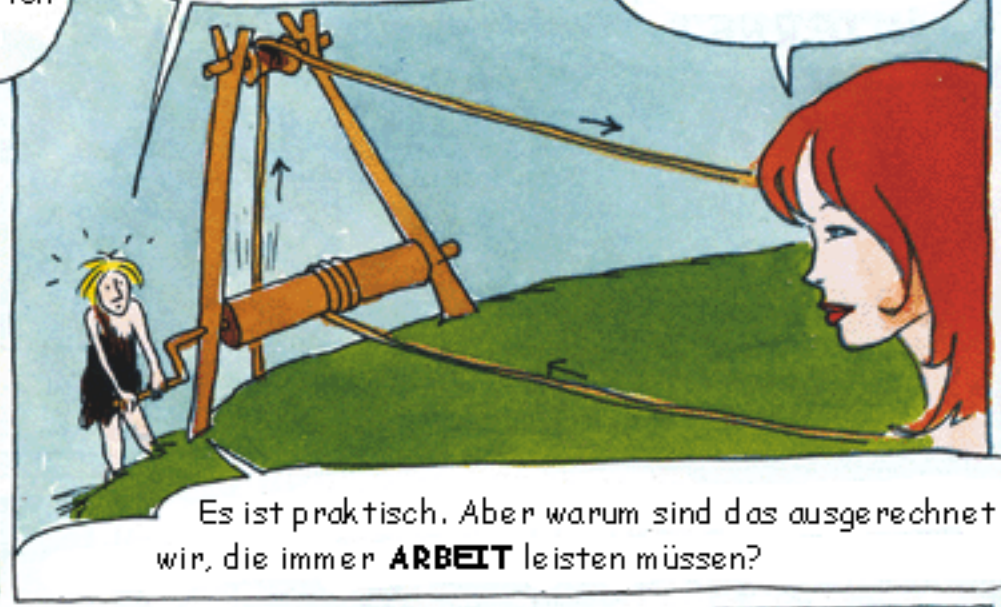




Daher habe ich mir dieses System ausgedacht, das jeden Abend den mit warmen Steinen beladenen Schlitten hineinfahren lässt



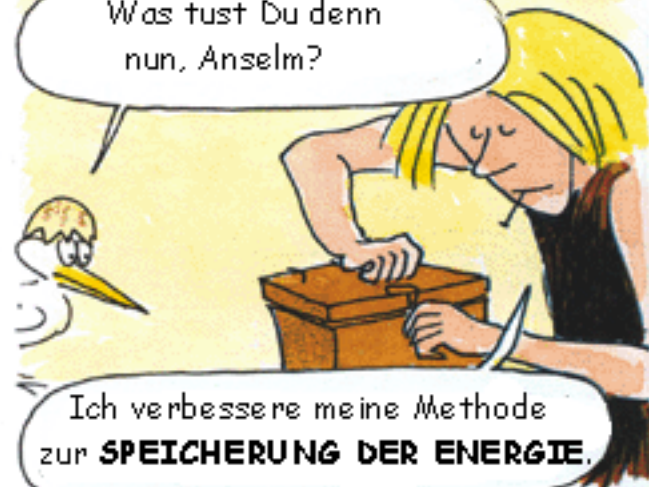
Tagsüber brauche ich nur Das Gegengewicht hoch zu hieven.



Du speicherst **POTENTIELLE ENERGIE**.

Es ist praktisch. Aber warum sind das ausgerechnet wir, die immer **ARBEIT** leisten müssen?

Was tust Du denn nun, Anselm?



Ich verbessere meine Methode zur **SPEICHERUNG DER ENERGIE**.

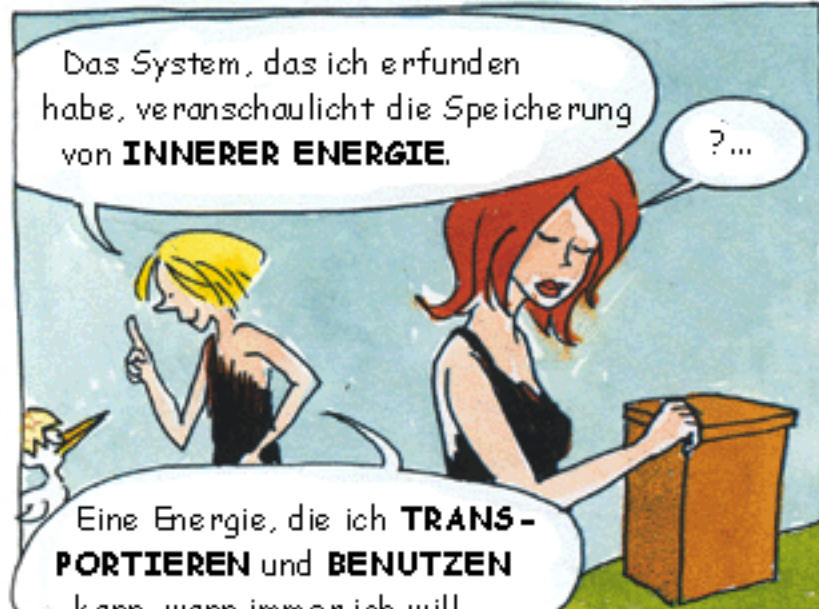
Voilà!



Du meinst, Du hättest es geschafft, im **INNERN** dieser Schachtel Energie zu speichern?



Das System, das ich erfunden habe, veranschaulicht die Speicherung von **INNERER ENERGIE**.



?...

Eine Energie, die ich **TRANSPORTIEREN** und **BENUTZEN** kann, wann immer ich will.



AAAAAAHHH

CLAP!



Sophie! Das war doch nur die **SPEICHERUNG INNERER ENERGIE!**

# CHEMISCHE ENERGIE

Ich muß unsere Höhle etwas putzen.  
Schauen wir mal: Salpeter, Schwefel...

...und Holzkohle. Das sind die Überreste des Feuers, das Der Gott des Donners entfacht hatte.

Es muß alles picco bello sein, sonst wird mir Sophie die Augen auskratzen!..

Nur noch dieser große Stein...

WUUM!



Sophie! Ich hab's gefunden! In diesem **SCHWARZEN PULVER**, das ich soeben erfunden habe, steckt **ENERGIE!**

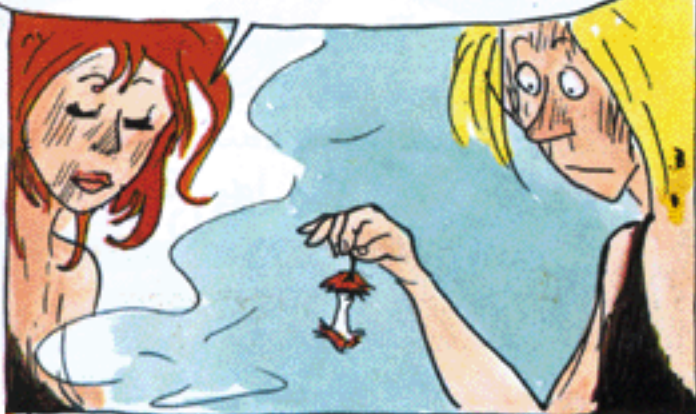


Wir können es benutzen, um Essen zu kochen, oder um es uns gemütlich warm zu machen!



Wirst gleich sehen...

Wenn Du meine Meinung hören willst, ist es zwar eine gute Erfindung, aber ihre Handhabung ist nicht sehr praktisch.



Soll ich das Handtuch werfen?



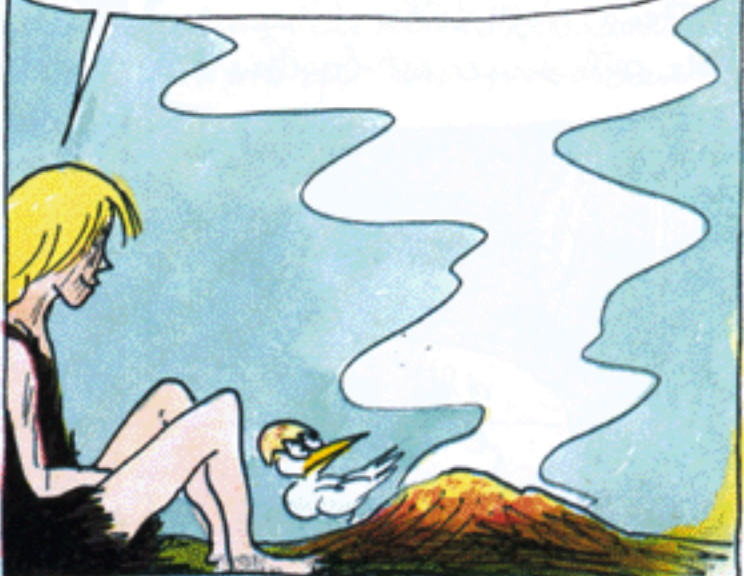
Was, wenn wir dieses Pulver mit Sand vermischen?

Es funktioniert!!! Der Sand verdünnt die Mischung derart, daß sie ihre Energie langsamer abgibt!



Die Energieabgabe kann kontrolliert werden.

Im nächsten Winter werden wir nicht mehr frieren...





Es gibt viel Wärme ab, aber das Atmen wird immer schwieriger.



Du meinst wohl, wir ersticken bald!

Na also! Es geht besser, wenn man den Rauch zu diesem Lederschlauch führt.



Der Rauch wird zu Ruß, den ich loswerden kann.



Es ist zwar besser, aber immer noch nicht sehr praktisch...



Das kann ich auch nicht irgendwo hinwerfen, sonst werde ich das Wasser des Sees vergiften.

## ATOMENERGIE

Das ist aber drollig: Das Wasser dieser Quelle ist heiß.



Woher kommt die Energie dafür?

Gibt es etwa kleine Teufel unter der Erdoberfläche?





...etwa kleine Schachteln mit Teufelchen drin?

Eine Legende besagt, dass vor langer Zeit **ENERGIE** in den **KERNEN** gewisser **ATOME**, wie dem **URAN**, eingeschlossen wurde. Diese Atome wurden in der Feuersglut der Sterne erzeugt, dann herausgeschleudert und schließlich in der Erde eingeschlossen, als diese entstand.

Diese Atome sind aber keine sehr soliden Behälter. Von Zeit zur Zeit gibt ein Deckel nach.

Die Legende besagt auch, dass am **ENDE DER ZEIT** alle Teufelchen aus ihren Schachteln gesprungen sein werden, und dass es diese Art Energie im Universum gar nicht mehr geben wird.

Und die **ENERGIE-**teufelchen gelangen ins Freie.

Es wird dann wie ein leerer Lederschlauch abschwellen.

Bis dahin wird es aber lange, sehr lange dauern...

Ach ja, immerhin...

Und wir müssen den Göttern dankbar sein, uns so viel Energie zur Verfügung gestellt zu haben.

Und wie lange bleiben denn die Teufelchen in ihren Schachteln? Wie lange behalten die **KERNE** diese **ENERGIE**, die in ihnen lauert?

Sohn, es hängt von den Schachteln ab, es hängt von den Atomkernen ab.



# HALBWERTSZEIT EINES RADIOAKTIVEN ELEMENTS

Betrachtet man eine ganze Menge an Schachteln, die jeweils ein Teufelchen beinhalten, so wird nach einer Zeit  $T$ , die man die **HALBWERTSZEIT** nennt, die **HÄLFTE** aller Schachteln ihr Teufelchen freigesetzt haben. Nach noch einmal der gleichen Zeit wird dann die Hälfte der übrig gebliebenen Schachteln auch geöffnet sein und so weiter. Je nach Schachtelart kann diese Halbwertszeit sehr unterschiedlich sein: von einem Sekundenbruchteil bis zu Milliarden Jahren.



Und wenn es im Zentrum der Erde all diese Schachteln nicht gäbe, würden wir im Winter viel mehr frieren.

Das wäre gut, wenn ich all diese mit Energie beladenen Atome finden könnte.



Man bräuchte nur genügend viele in eine Flasche zu tun, um im Winter zu heizen!

Vorsicht Anselm! Die Triebfedern der **KERNENERGIE** sind viel, viel stärker als die der **CHEMISCHEN ENERGIE**. Sie sind **HUNDERTTAUSEND MAL STÄRKER...**



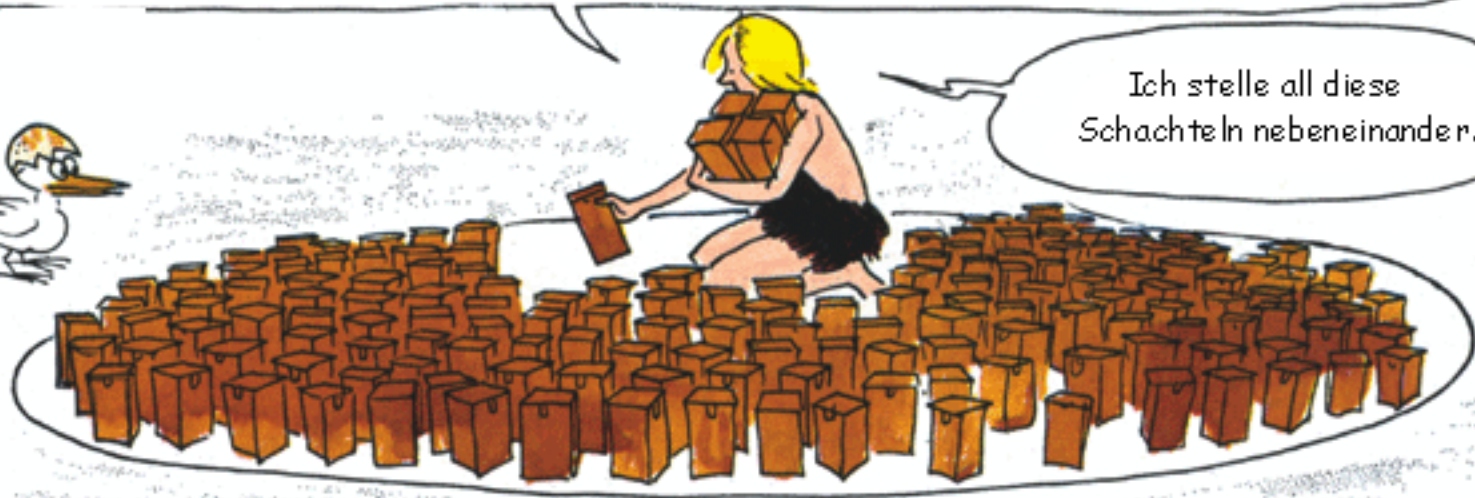
Kern

Die von den radioaktiven Kernen emittierten Teufel springen mit sehr viel Energie heraus.



Schauen wir mal, ob das tatsächlich stimmt, was mir der Herr Albert gesagt hat. Die Deckel dieser Schachteln öffnen sich nach und nach. Auf diese Weise öffnen sich die Schachteln eine nach der anderen.

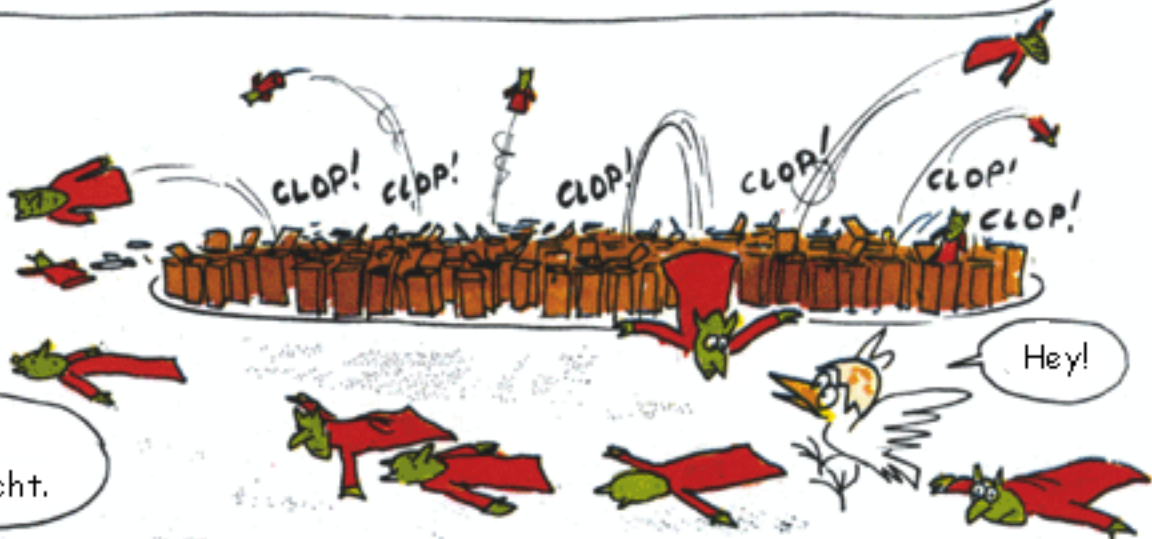
Ich stelle all diese Schachteln nebeneinander.



Gut, nach einer Halbwertszeit hat sich tatsächlich die Hälfte aller Schachteln geöffnet.



Herr Albert hatte Recht.

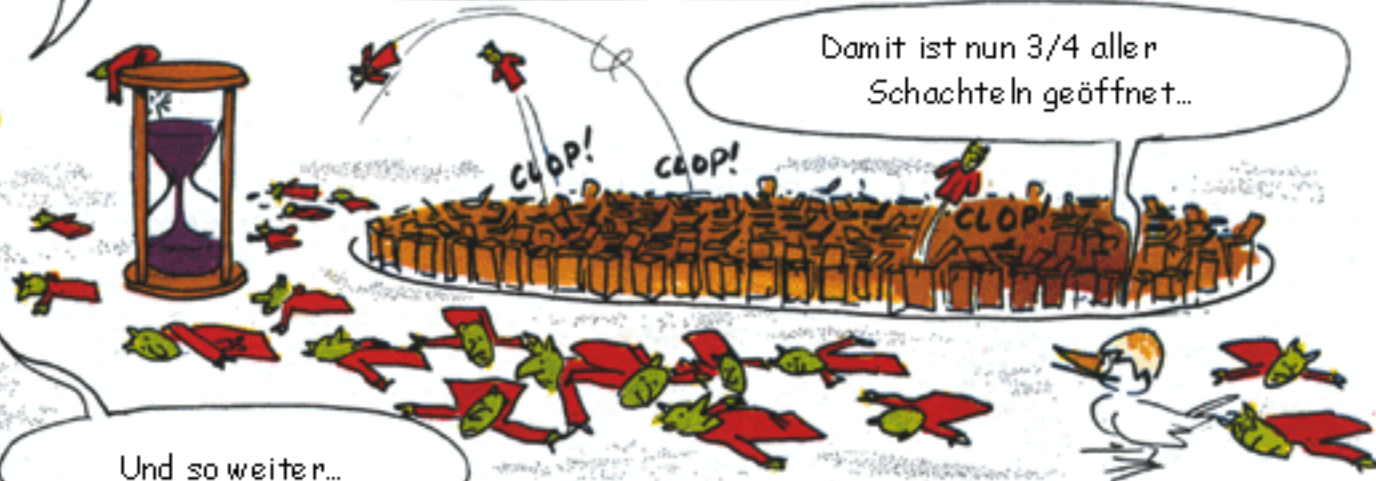


Nach einer zweiten, gleich langen Halbwertszeit hat die Hälfte aller übrig gebliebenen Schachteln auch ihr Teufelchen freigesetzt.

Damit ist nun  $\frac{3}{4}$  aller Schachteln geöffnet...



Und so weiter...





Kurzum: Es verlangsamt sich mit der Zeit. Der Rhythmus, in dem sich die Schachteln öffnen, nimmt ab.

Daher war am Anfang die Erde bestimmt viel radioaktiver als heute.

Seit dem hat es sich beruhigt.

## ENERGIE- UMWANDLUNG

Aber wo befindet sich darin die **WÄRME**?

Was, wenn wir das Ganze in einen Topf tun?

Probieren wir's mal...

Es funktioniert! Die von den **RADIOAKTIVEN ATOMEN** emittierte **ENERGIE** wird vom Wasser absorbiert und **IN WÄRME UMGEWANDELT**.

Aber diese **NATÜRLICHE RADIOAKTIVITÄT** setzt nicht viel **ENERGIE** frei.

Kurzum: Man bräuchte eine große Menge radioaktiven Materials, um heizen zu können.



# DIE VERSCHIEDENEN ARTEN TEUFELCHEN

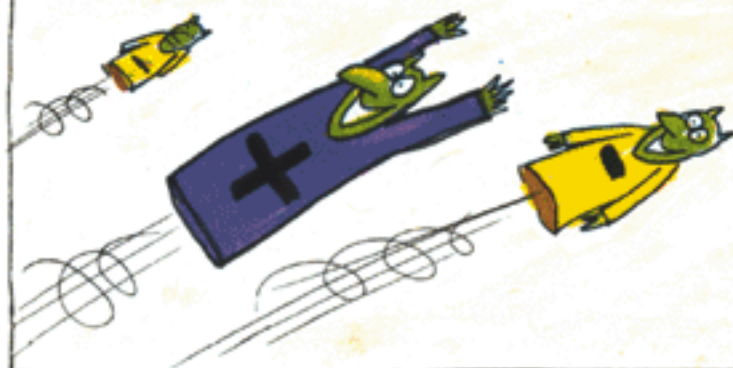
Eigentlich gibt es verschiedene Arten Teufelchen. Das Erste, was Atomkerne aussenden können, ist **GAMMASTRAHLUNG**. Sie ist dieselbe wie **RÖNTGENSTRAHLUNG**, eine Art unsichtbares Licht.



Vorsicht heiß!!

Man kann sie mit Hilfe einer Bleiwand absorbieren, die dick genug ist. Ihre Energie wird dann in Wärme umgewandelt.

Andere Teufelchen sind diejenigen, die eine **ELEKTRISCHE LADUNG** besitzen.



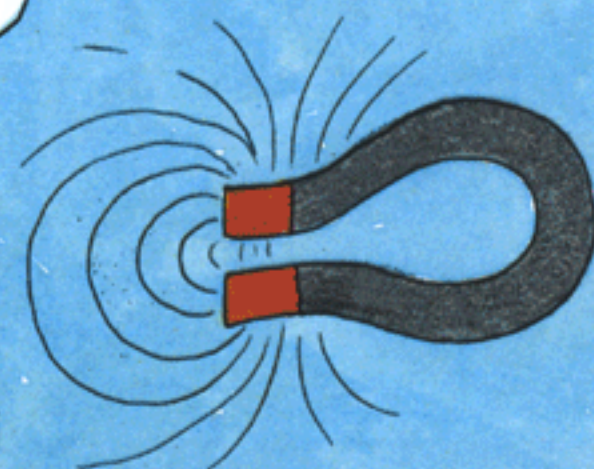
Sind sie schnell?

Es hängt von Ihrer **ENERGIE** ab. Aber ihre Geschwindigkeit kann mehrere zehntausend Kilometer in der Sekunde erreichen.



Bei dieser Geschwindigkeit kommen sie bestimmt überall durch als wäre es nichts...

!...



Eben nicht. Sie werden von **MAGNETISCHEN FELDERN** abgelenkt.

Genau so werden die geladenen, von der Sonne ausgesandten Teilchen (Sonnenwind) vom irdischen Magnetfeld abgelenkt (\*)

Die Erde wird also von ihrem Magnetfeld **GESCHÜTZT**.

Ja, genau. Besäße die Erde keinen solchen, natürlichen, magnetischen Schutz, so würden die geladenen Teilchen aus dem Sonnenwind erhebliche Schäden in den Geweben der Lebewesen verursachen.



Die dritte Art Teufelchen ist die Gefährlichste: es sind die **NEUTRONEN**. Auch sie erreichen Geschwindigkeiten um die 20.000km/sek. Da sie aber keine **ELEKTRISCHE LADUNG** haben, können sie nicht von Magnetfeldern abgelenkt werden.



Alle diese Teufel können in den Geweben irreversible Schäden verursachen. Man muß sich davor schützen!

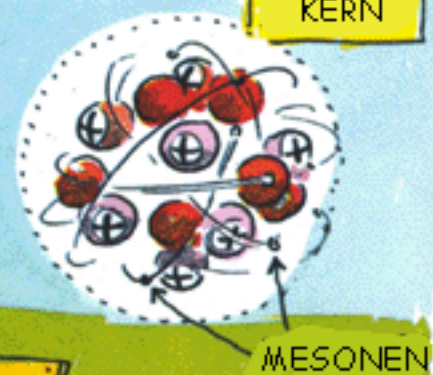
Neutronen und geladene Teilchen haben eine Masse und deren kinetische Energie  $\frac{1}{2} m v^2$  kann von einem Festkörper, einer Flüssigkeit oder einem Gas absorbiert werden, wo sie in Wärme umgewandelt wird. Aber ich möchte gern mehr über diese Kerne erfahren...





# STABILITÄT DER KERNE

Um einen **ATOMKERN** zu herzustellen, braucht man **NEUTRONEN, PROTONEN** und weitere Teilchen, die man **MESONEN** nennt.

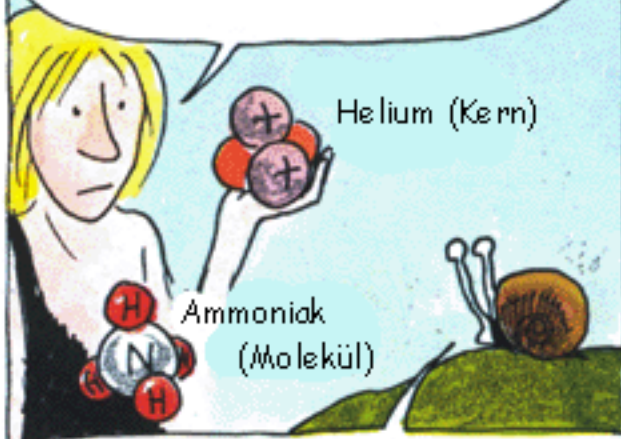


URAN 235  
92 PROTONEN  
+ 143 NEUTRONEN  
= 235 NUKLEONEN

PLUTONIUM 239  
94 PROTONEN  
+ 145 NEUTRONEN  
= 239 NUKLEONEN

In den **KERNEN** spielen **MESONEN** mehr oder weniger die Rolle, die **ELEKTRONEN** in **MOLEKÜLEN** spielen: sie gewährleisten deren **ZUSAMMENHALT**.

Demnach sind also **KERNE MOLEKÜLE?**



**KERNE** bestehen aus **NUKLEONEN**.  
**MOLEKÜLE** bestehen aus **KERNEN**.  
Und wir selbst bestehen aus **MOLEKÜLEN**.



**CHEMIE** befasst sich mit der Umorganisation innerhalb von **MOLEKÜLEN**.



**KERNPHYSIK** befasst sich mit der **UMORGANISATION** innerhalb von **ATOMKERNEN**.



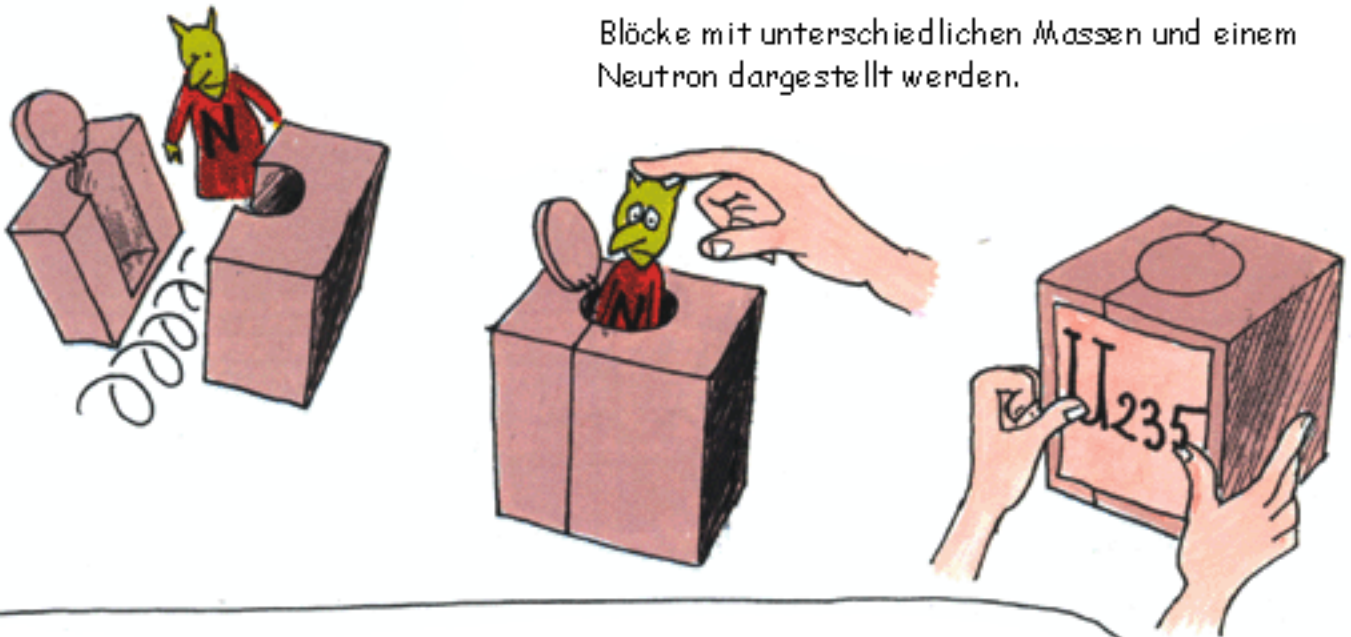
Ein Kern mit einer kurzen Halbwertszeit wird als **INSTABIL** bezeichnet.

Aber Neutronen können selbst manche an sich relativ stabile Kerne (d.h. mit hoher Lebensdauer) vollkommen destabilisieren und bewirken, dass sie auseinander brechen, also dass sie sich **SPALTEN**.

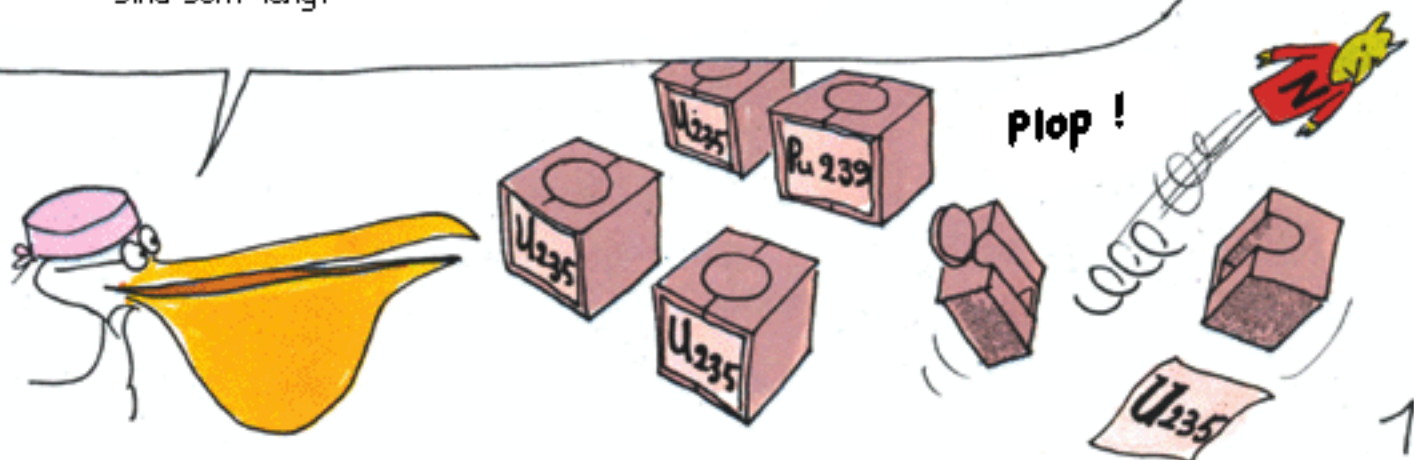
Das ist bei **URAN 235** und bei **PLUTONIUM 239** der Fall.

## DIE SPALTUNG

Diese Kerne können als ein Zusammenschluss zweier Blöcke mit unterschiedlichen Massen und einem Neutron dargestellt werden.

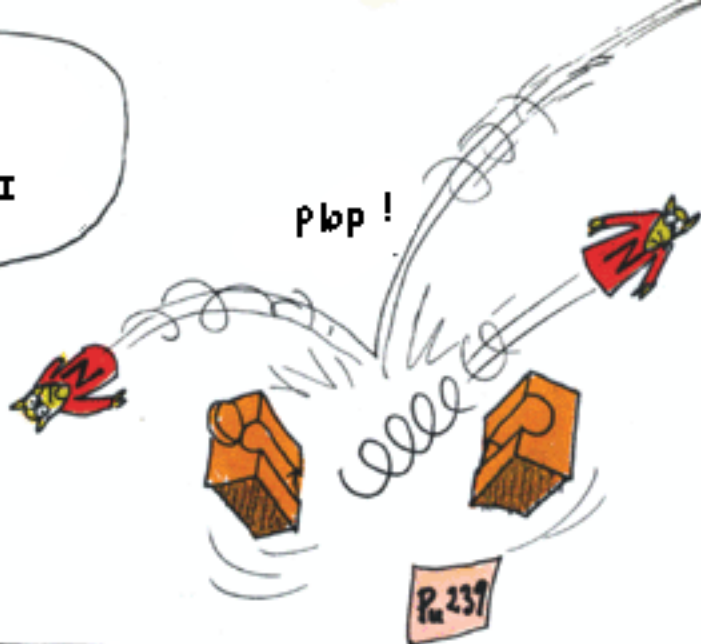
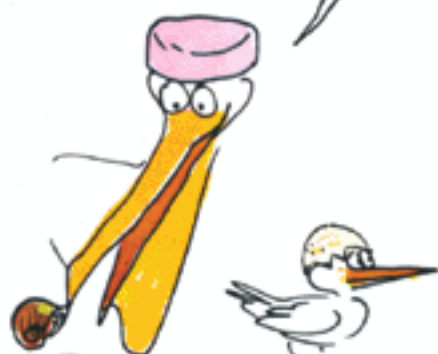


Die Kerne des Uran 235 und des Plutonium 239 sind von Natur aus radioaktiv, aber deren Halbwertszeiten sind sehr lang.





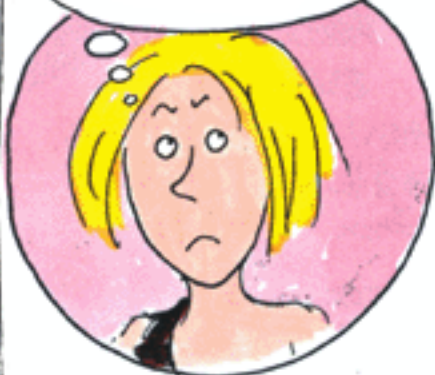
Hier findet eine **SPALTUNG** statt. Das Zusammentreffen mit einem Neutron hat diesen Plutoniumkern destabilisiert, und er bricht auseinander. Infolge dieser Reaktion werden **ZWEI** weitere Neutronen emittiert. (\*)



Das muß ich mir näher ansehen...

Anselm hat eine große Menge Schachteln mit Teufelchen innerhalb eines Kreises mit dem Radius R aufgestellt.

Uran 235 oder Plutonium 239.



So, und hier springen die **ENERGIE-Teufel** aus den Schachteln.

Na, schau mal einer an!



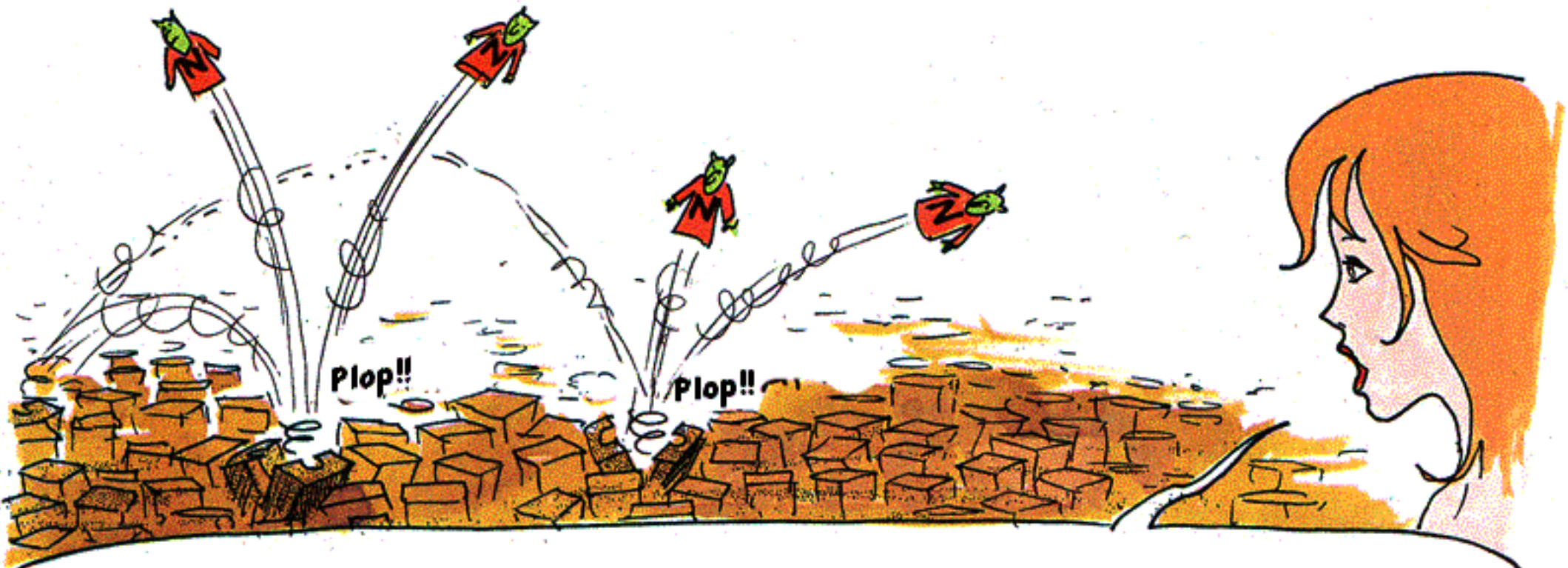
Es handelt sich hier um **NEUTRONEN**.

Dieser Teufel ist mit einer benachbarten Schachtel kollidiert und hat sie dazu gebracht, sich zu öffnen. Dadurch ist der darin enthaltene Teufel heraus gesprungen.

18 (\*) Dieses Bild ist lediglich schematisch gemeint. Eigentlich wird das erste Neutron vom spaltbaren Kern absorbiert ( $U^{235}$  wird zu  $U^{236}$  und  $Pu^{239}$  wird zu  $Pu^{240}$ ). Die zuletzt genannten sind diese neuen, sehr instabilen Kerne, die fast sofort auseinanderbrechen.



# KETTENREAKTIONEN



Und diese zwei Teufel bringen weitere Schachteln dazu, sich zu öffnen!



Die wiederum...



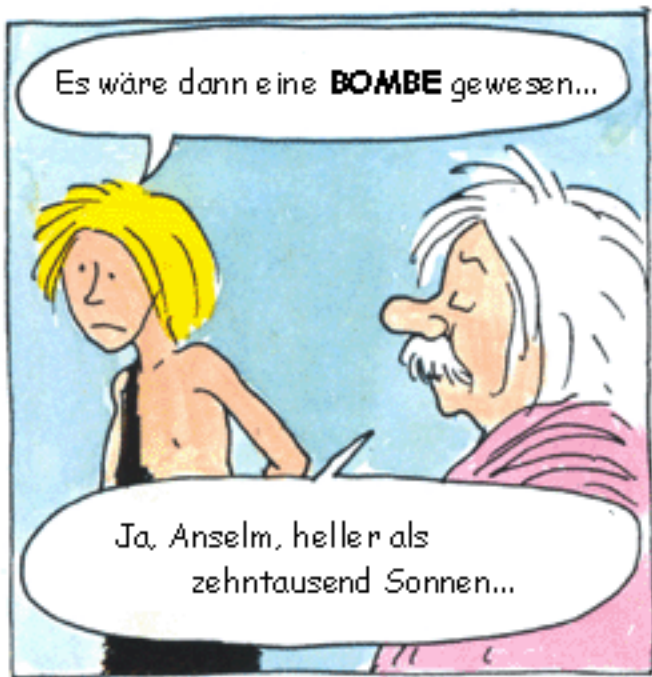
Sophie, schnell, nur raus hier!!!



Na so was!

Wenn die Schachteln echte Atome gewesen wären, wäre durch diese **KETTENREAKTION** die ganze **ENERGIE** innerhalb des Bruchteils einer Sekunde freigesetzt worden.



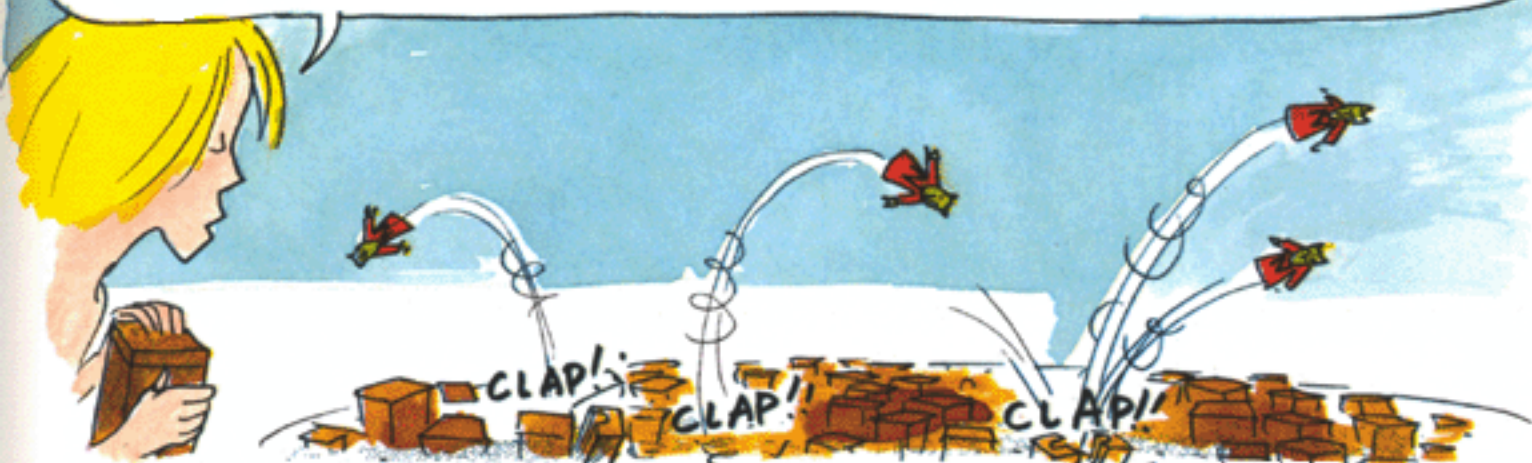


## KRITISCHE BEDINGUNGEN





Eigentlich kann man zwischen den beiden Extremfällen, der **NATÜRLICHEN RADIOAKTIVITÄT** und der **KETTENREAKTION**, eine Art Zwischenlösung finden. Indem man die **KONZENTRATION** variiert, und obwohl das Feintuning eine schwierige Angelegenheit ist, kann man die Anzahl an emittierten Teufel pro Sekunde, d.h. den erzeugten Energiefluß kontrollieren.



## DER KERNREAKTOR

Gibt es keinen besseren Weg, den Vorgang zu kontrollieren?

Man könnte etwas hinein tun, das die Energie-Teufel absorbiert.

Es sieht wie ein Fliegenfänger aus.

Schauen wir mal...

Indem ich die klebrigen Papierstreifen hinunterschiebe, fange ich die Teufel ein. Damit kann ich je nach Bedarf die Aktivität des Reaktors herabsetzen.





Und wenn Du die Papierstreifen noch weiter absenkst, kannst Du den Reaktor sogar vollständig herunterfahren.

Alle Teufel werden nach und nach eingefangen. Es findet quasi keine Reaktion mehr statt.

Es bleibt lediglich die „normale“ Aktivität des radioaktiven Stoffes übrig, die wesentlich geringer ist.

Gut. Um einen **KERNREAKTOR** zu bauen, braucht man genügend schwere Kerne, **URAN 235** oder **PLUTONIUM 239**. Und die Aktivität des Reaktors wird durch einen Stoff kontrolliert, der die Teufel einfängt. Letztere sind in diesem Fall die von der **SPALTUNG** stammenden Neutronen.

Konkret beinhaltet Uranez nur 0,7% des (spaltbaren) Urans 235. Der Rest besteht aus Uran 238, das nicht spaltbar ist.

Und man benutzt **CADMIUM**, um die **NEUTRONEN** einzufangen.

Es heißt, Plutonium 239 würde in der Natur nicht vorkommen. Wie kann man es dann in einem Reaktor benutzen?

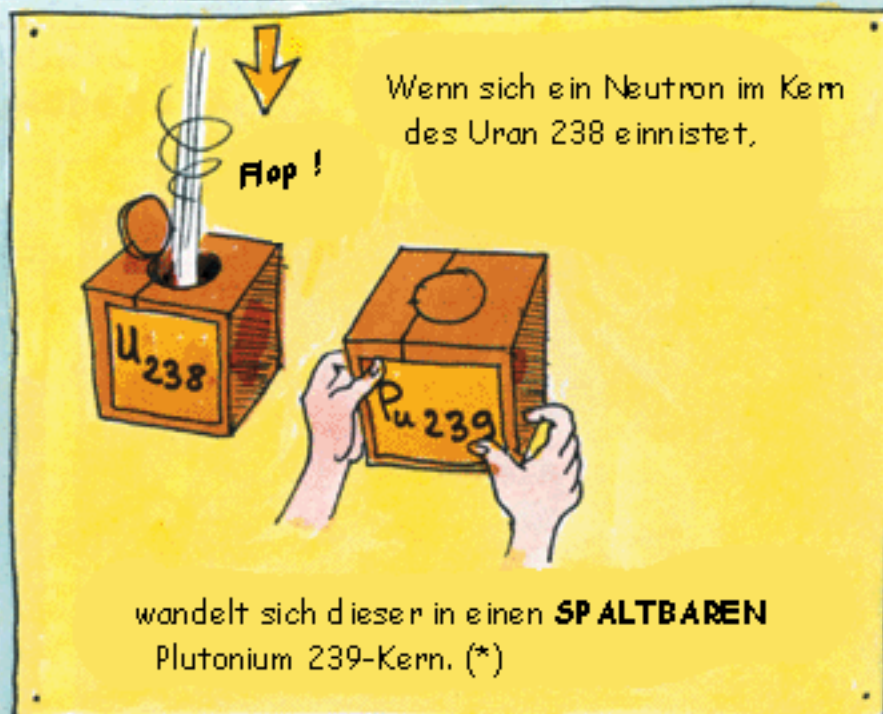
Ääh... Ach ja, das stimmt..



# BRUTSTOFFE

Uran 238 kann auch als eine Gefüge zweier Elemente angesehen werden. Für ein Neutron bleibt dann noch ein Platz frei.

Anders gesagt, wenn ein Uranreaktor läuft, enthält er eine Mischung aus **SPALTBAREM MATERIAL** und aus **BRUTSTOFF**, aus dem eine bestimmte Menge an neuem **SPALTBAREM MATERIAL** gewonnen wird.



Eine bestimmte Menge? Was heißt das?

Es hängt davon ab, wie man den Reaktor fährt. Die aus der **SPALTUNG** stammenden **NEUTRONEN** werden zunächst mit **20.000** Kilometer pro Sekunde in alle Richtungen emittiert.



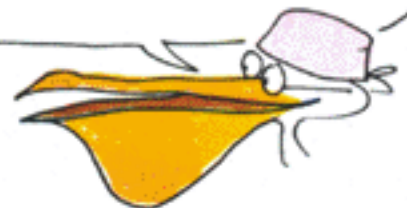
(\*) Dies geschieht in drei Etappen über  $U^{239}$ ,  $Np^{239}$  und schließlich  $Pu^{239}$ . Die Erzeugung von spaltbaren Kernen durch Neutroneneinfang nennt man Brüten. (Anm. d. Ü.)



# SCHNELLE BRÜTER

Diese **SCHNELLEN NEUTRONEN** treffen auf  $U^{238}$ , aus dem sie schnell  $Pu^{239}$  erbrüten.

Was machst Du?



Ich fülle meinen Reaktor mit einem Erz, das viel (angereichertes)  $U^{235}$  enthält.

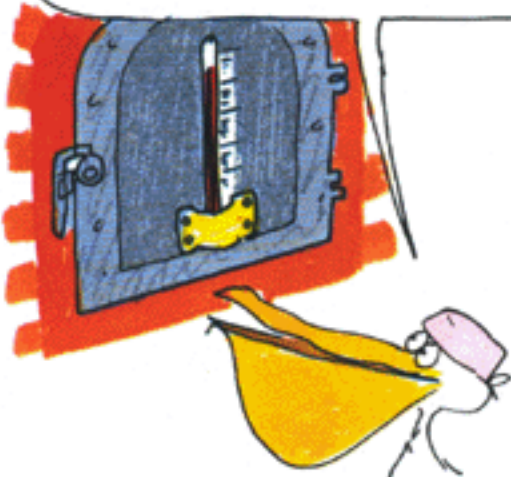
Dann umgebe ich das Ganze mit einem **Brutmantel**, der reich an  $U^{238}$  ist.



In der **SPALTZONE** des **REAKTORKERNS** bewegen sich die **SCHNELLEN NEUTRONEN** mit 20.000 km/Sek. Betrachtet man sie als ein Neutronengas, so hat dieses eine Temperatur von 16 Milliarden Grad.

**DREI JAHRE SPÄTER**

Na so was! Anselm hat **MEHR** spaltbares  $Pu^{239}$  erbrütet, als er  $U^{235}$  verbraucht hat. Dies ist ein **SURGENERATOR**.

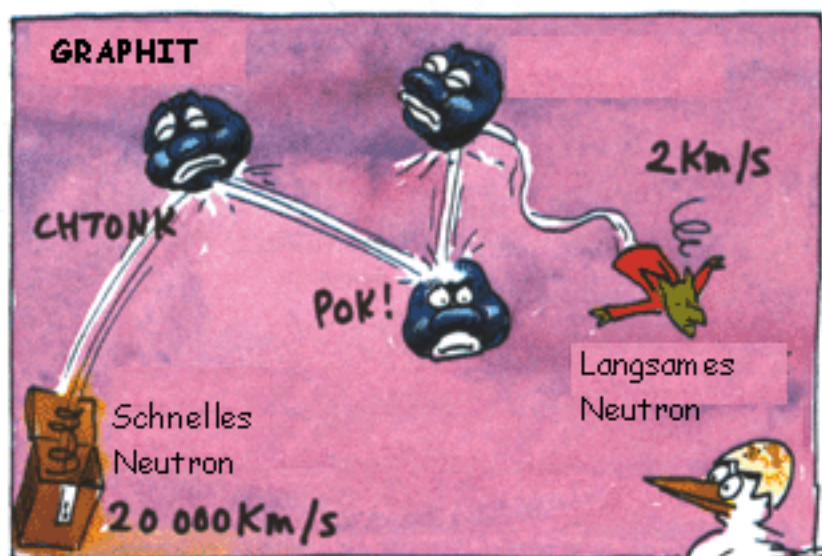
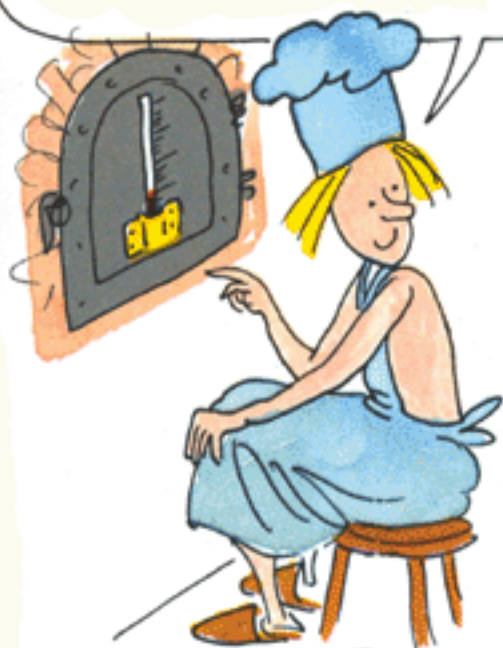


Es ist normal, da jede Spaltung **ZWEI** schnelle Neutronen erzeugt, die es wiederum erlauben, zwei Atome  $U^{238}$  in  $Pu^{239}$  umzuwandeln.



# LANGSAME BRÜTER

Mit **CADMIUM** kann ich Neutronen absorbieren und damit die Aktivität des Reaktors kontrollieren (oder ihn sogar vollständig herunterfahren). Aber mit **GRAPHIT** oder mit **SCHWEREM WASSER** kann ich die Neutronen **VERLANGSAMEN**, ohne sie zu absorbieren. Diese Stoffe sind sog. **MODERATOREN**.



Somit kann man die **GESCHWINDIGKEIT DER THERMISCHEN BEWEGUNG** der Neutronen bis zu **2 km/Sek.** herabsetzen. Dieses kalte Neutronengas hat dann die gleiche Temperatur wie der Reaktor selbst.




Zwar wird immer noch etwas  $\text{Pu}^{239}$  erbrütet, aber viel weniger als beim schnellen Brüter.

Eigentlich gibt es keine klare Grenze zwischen beiden Reaktortypen. Es existieren auch „lauwarme“ Reaktoren, die zwischen beiden extremen Varianten stehen.






# RADIOAKTIVER ABFALL & INDUZIERTE RADIOAKTIVITÄT



Die Spaltung eines Kernes  $U^{235}$  oder  $Pu^{239}$  kann viele verschiedene Trümmerkerne ergeben.  $U^{235}$  kann zum Beispiel in Strontium 94 und in Xenon 140 zerfallen, wobei beide Kerne radioaktiv sind. Man bemerke im Übrigen, dass:  $94 + 140 + 1 = 235$  ergibt.

Dies ist ein echtes Problem. Viele **TRÜMMERKERNE** sind harte Burschen und werden für lange Zeit radioaktiv bleiben. **STRONTIUM** lagert sich in den Knochen und **JOD** in der Schilddrüse ab. Plutonium ist auch sehr gesundheitsschädlich. Das alles verursacht **KREBS** und **LEUKÄMIE**.



Die aus der Spaltung stammenden Neutronen können auch von den ganz friedlichen Atomen, aus denen die Struktur des Reaktors besteht, absorbiert werden. Diese werden dann selber instabil und radioaktiv und zählen dann auch zum Atommüll.



# RADIOELEMENTE NACH MAß



Ein Reaktor erzeugt also instabile und radioaktive Abfallkerne mit verschiedenen Halbwertszeiten.

Nein, können sie nicht. Vielmehr verlieren sie etwas Masse, indem sie Heliumkerne, oder Elektronen aussenden. (\*)

Meinst Du etwa, diese Kerne können sich wiederum spalten?

O, siehe da, Anselm bringt den Abfall fort.

Plop!

Man kann Radioelemente mit verschiedenen Halbwertszeiten erzeugen, sozusagen radioaktive Kerne „nach Maß“, indem man bestimmte Elemente in den Reaktor einbringt und sie mit den Teufelchen beschießt. Und so erzeugt man eine sogenannte **KÜNSTLICHE** Radioaktivität.

Plop!

I'm a poor lonesome scientist... 🎵

Gallium 68 Halbwertszeit 1 Std.

(\*) Radioaktivität „Alpha“ und Radioaktivität „Beta“.



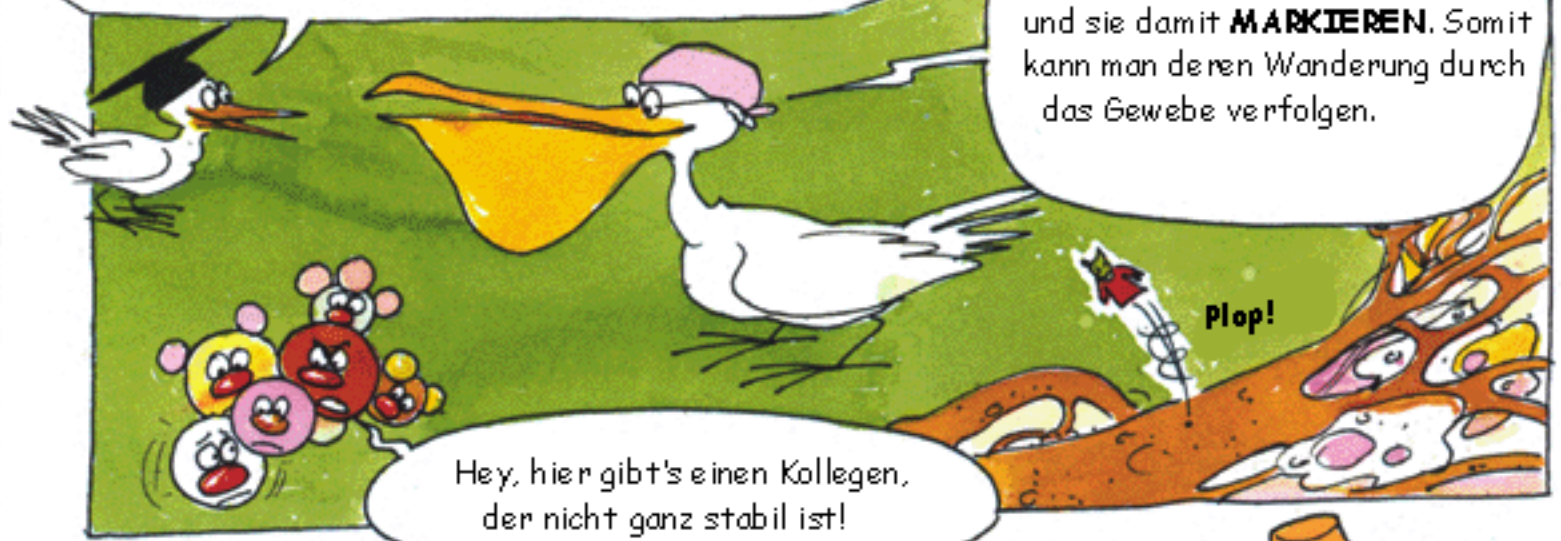
**KÜNSTLICHE RADIOELEMENTE** wurden von **FRÉDÉRIC & IRÈNE JOLIOT-CURIE** in den 1930er Jahren entdeckt. Ein paar Jahre später führte dies zur Entdeckung der **KERNSPALTUNG** durch **OTTO HAHN**.

O, seht mal hier! Anselm kann man nicht mehr sehen, und doch kann man ihn dank der Teufelchen **LOKALISIEREN**, die von der Ladung seiner Karre ausgesendet werden.



Ich hab' eine Idee! Indem man diese Teilchenemission der **KÜNSTLICHEN RADIOAKTIVITÄT** aufspürt, muß es möglich sein, bestimmte Kerne **AUF SCHRITT UND TRITT** zu verfolgen.

Diese Kerne, diese radioaktiven Isotope, kann man sogar in biologischen Molekülen anbringen und sie damit **MARKIEREN**. Somit kann man deren Wanderung durch das Gewebe verfolgen.




Es gibt eine Menge friedliche Anwendungen der künstlichen Radioaktivität. Zum Beispiel kann man die Wanderung des Düngers in der Erde studieren, indem man ein radioaktives Isotop des Phosphors in Phosphat einfügt.







# DIE A-BOMBE




Auch die Kunst der fidelen Feuerwerkmacher verdankt der Kernphysik wesentliche Fortschritte. Indem man mit Hilfe einer kleinen Sprengladung zwei Blöcke eines spaltbaren Stoffes ( $U^{235}$  oder  $Pu^{239}$ ) plötzlich zusammenbringt, erfüllt man die kritischen Bedingungen. Damit setzt eine Kettenreaktion ein, deren ästhetische Effekte wirklich unübersehbar sind.




So, so! Wenn ich diese beiden Massen zusammenbringe, erhalte ich die **KRITISCHE MASSE**



Eine enorme Anzahl an Teufel aller Arten wird emittiert, und aufgrund der Wärmeentwicklung steigen die radioaktiven Trümmer in die höheren Schichten der Atmosphäre empor. Damit haben auch die Nachbarn etwas davon...



Wenn auch Sie Mitglied des Clubs der **FIDELN FEUERWERKMACHER** werden wollen, müssen Sie über spaltbares Material verfügen (100%  $U^{235}$  oder  $Pu^{239}$ ). Hierfür haben Sie zwei Möglichkeiten: Entweder raffinieren Sie natürliches Uran, oder aber Sie wenden sich an den nächstgelegenen Reaktor und sammeln das  $Pu^{239}$  auf, das nach jedem Zyklus erzeugt wird.



Es ist bald fertig!...



# DIE FUSION



Sagen Sie mal, die Sonne enthält bestimmt viel Uran. Ist sie deswegen so heiß?

Nein Anselm, das ist es gar nicht. In den **CHEMISCHEN REAKTIONEN** geht man von einer Mischung verschiedener Substanzen aus, zum Beispiel **WASSERSTOFF** und **SAUERSTOFF**.

Aber... es geschieht... gar nichts?!

Ja, weil die Temperatur nicht hoch genug ist.

Erhitzen wir diese Mischung ...

**PAF!**

$H_2O$ , Wasser.

Es gibt also Reaktionen, die viel Energie abgeben, ohne toxische Substanzen zu produzieren...

Wenn eines Tages Flugzeuge mit einer Mischung aus (jeweils flüssigem) Sauerstoff und Wasserstoff fliegen, werden sie nur... Wolken zurück lassen!



Vielleicht kann man auch Mischungen aus Kernen „verbrennen“?

Vorausgesetzt, die Temperatur ist auch hoch genug...

DEUTERIUM

TRITIUM

HELIUM



**DEUTERIUM** und **TRITIUM** sind zwei Arten **SCHWERER WASSERSTOFF** und können miteinander reagieren. (Der Kern des leichten Wasserstoffs besteht lediglich aus einem einzigen Proton **P**.) Die Kerne dieser Isotope unterscheiden sich nur durch die Anzahl ihrer Neutronen. Die Mischung aus Deuterium und aus Tritium tendiert dazu, Helium zu erzeugen.

Großer teuflischer Ball

Hier sieht man zwei Moleküle aus gasförmigem **SCHWEREM WASSERSTOFF**, der zur Hälfte aus **DEUTERIUM** und zur Hälfte aus **TRITIUM** besteht. Bei normaler Temperatur kreisen **ELEKTRONEN** um die Kerne und bilden Molekularbindungen (indem sie jeweils zwei Kerne miteinander verbinden).



Deuterium-Molekül



Tritium-Molekül



Mit steigender Temperatur wird der Tanz wirklich teuflisch schnell. Die Moleküle brechen auseinander (Dissoziation), und die Elektronen-Bienen kreisen jeweils nur noch um einen einzigen Kern.

### UM DIE DREITAUSEND GRAD:

Es wird gänzlich unmöglich, um die Kerne zu kreisen, sie gehen ja ständig hin und her.

Ja, es ist die Hölle. Ich geb's auf...



Das heiße Gas wird nun zu einer Suppe aus Kernen und freien Elektronen, zu einem sog. **HEIßEN PLASMA**.

Ja, weiter so, drückt auf die Tüte!

Wisst Ihr was? Wir könnten Vieregruppen bilden!

Glaubt Ihr?

Ja, bei dieser Temperatur wäre es **STABILER**.

Ab **150 MILLIONEN GRAD (ZÜNDUNGSTEMPERATUR)** geschieht etwas Neues...

Die sind ja aufgedreht...

Da ist doch was im Busch...

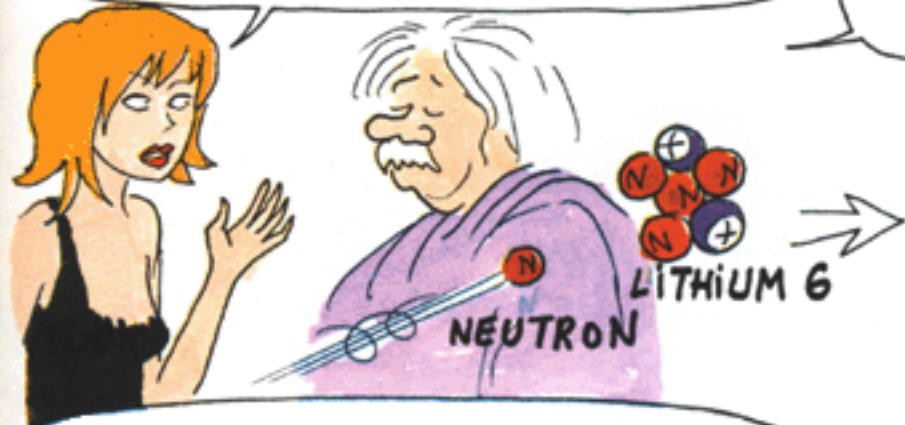
Hey, wartet mal!...  
 $2 + 3 = 5$ , und Helium hat doch nur 4 Nukleonen, oder?





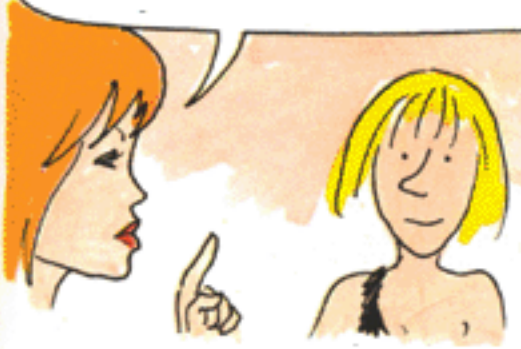
Dann ist aber die **FUSION** genau so umweltschädlich wie die **SPALTUNG**, da die aus der Fusion stammenden Neutronen aus den Nachbaratome ebenfalls radioaktive Atome machen werden.

Aber man versucht, diese Neutronen mit Lithium 6 zu absorbieren, welches dann Helium 4 und Tritium 3 ergibt.



Anders gesagt: Der Mantel aus Lithium 6 verhält sich wie ein „Brutmantel“, denn diese Reaktion liefert „Stoff für die Fusion“, nämlich Tritium 3.

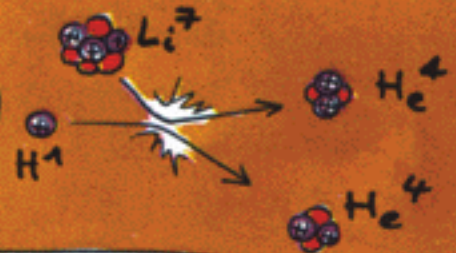
Ja, ein Fusionsreaktor hat eine gewisse Verwandtschaft mit einem Sarggenerator. Und es ist gut so, denn das instabile Tritium (\*) kommt in der Natur nicht vor.



(\*) Seine Halbwertszeit beträgt nur 12 Jahre.

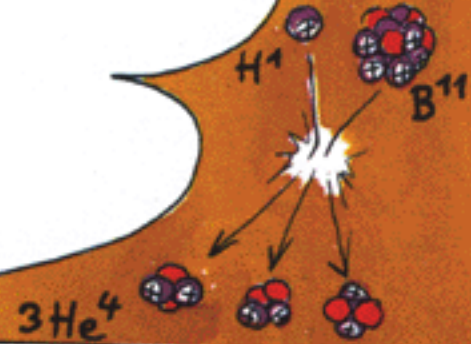


Ich sehe aber, dass es lauter Fusionsreaktionen gibt, die gar keine freie Neutronen abgeben.



Lithium 7 + (leichter) Wasserstoff 1 ergibt 2 Kerne Helium 4  
( $7 + 1 = 2 \times 4$ ).

Bor 11 + Wasserstoff 1 ergibt 3 Kerne Helium 4  
( $11 + 1 = 3 \times 4$ )



Ja, aber die erste Reaktion zündet bei **500** Millionen Grad. Und für die zweite braucht man fast eine Milliarde Grad!...

Hmm... Natürlich...  
Aber wie fusionieren Kerne konkret?

Im Herzen der Sonne geschieht es langsam, bei einer Temperatur von nur 15 Millionen Grad.

Demnach wäre die Sonne nur heiße Asche?

Ja. Um ein nukleares „Feuer“ zu entfachen, braucht man 150 Millionen Grad, damit die Reaktionen innerhalb, sagen wir, einer Sekunde stattfinden.



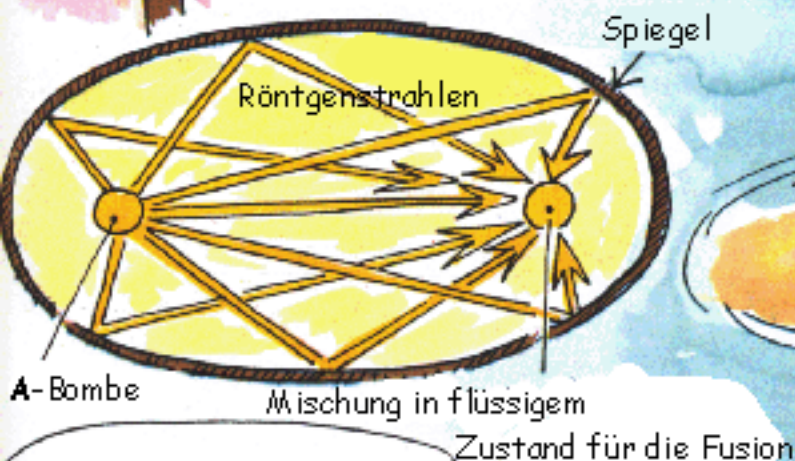
Genau das versucht man mit Maschinen namens **TOKAMAKS** zu erreichen.

Und es funktioniert?

Noch nicht... Es gibt noch Probleme...

Na, na, man muß die Ohren steif halten!

Hmm, Edward Teller ist die Fusion gelungen, als er eine neue Bombe erfunden hat. Das wollten wir nicht tun. Aber wir haben es getan. Teller hat eine Idee gehabt. (\*) Er hatte immer sehr gute Ideen. Immer wenn die A-Bombe zündet, sendet sie während der ersten Millionstel Sekunde viele Röntgenstrahlen aus. Teller hat vorgeschlagen, diese Strahlen mit einer Art Spiegel auf ein Ziel umzulenken, das aus einer Mischung aus Deuterium und Tritium bestand.



Und? Hat es funktioniert?

Leider ja, sehr gut..

(\*) Edward Teller, während des Krieges einer der Wissenschaftler in LOS ALAMOS, diente als Vorlage für die Hauptfigur des Filmes DR. SELTSAM ODER WIE ICH LERNT DIE BOMBE ZU LIEBEN (Dr. Strangelove or: how I learned to stop worrying and love the bomb).



Teller hat sogar den Spiegel aus Uran 238 gebaut.

Warum Uran 238?

Aber klar doch, denk mal nach!  
Wenn die H-Bombe zündet, erbrüten die schnellen, aus der Fusion stammenden Neutronen, aus  $U^{238}$  das  $Pu^{239}$ , welches sofort zerfällt.

Das ergibt die schreckliche Bombe  
**SPALTUNG-FUSION-SPALTUNG.**

## FUSION DURCH GERICHTETE ENERGIE

Man wird ja schön braun hier!


Man versucht, zur **FUSION** zu gelangen, indem man auf eine (flüssige) Mischung aus **DEUTERIUM** und **TRITIUM** alle Arten von Energie überträgt: Strahlung von sehr leistungsstarken **LASERN** und viele Teilchen (Elektronen und Atomkerne), die aus Teilchenbeschleunigern stammen. Es wird eine kolossale **LEISTUNG** verbraucht. Um dieses **THERMONUKLEARE** Feuer zu entfachen, muß man (einige milliardstel Sekunden lang) auf eine Kugel von weniger als 1mm Durchmesser eine Leistung konzentrieren, die der eines Sonnenspiegels mit der Größe Frankreichs gleichkäme!

Zwar ist die **MOMENTANE LEISTUNG** enorm groß, aber die gesamte **ENERGIE** bleibt bescheiden: Dieses nukleare „Streichholz“ entspricht in etwa zweihundert Gramm Pulver.

30mm  
Geschöß



# EPILOG




Zwar brauchen wir die **KERNENERGIE**,  
aber all das, **SPALTUNG** oder **FUSION**,  
bringt viele Probleme mit sich.


Es gibt ja diesen  
verdammten Abfall!

Und viele Unfallrisiken. Wenn ein  
Reaktor außer Kontrolle geriete, würde  
er seinen Stahlbehälter zerschmelzen  
und auch den Beton drum herum und selbst  
den Boden (**CHINA-SYNDROM** \*), und die  
sich spaltende Masse würde in den Boden  
einsinken ohne dass man den Prozess  
aufhalten könnte.

Was sollen wir tun?



40 Jahre sind nicht viel. Wir  
stehen erst am Anfang des  
**ATOMZEITALTERS**.



Was mich angeht, glaube ich an unwälzende  
Fortschritte, die die ganze Problematik  
vollkommen ändern werden. Aber eher von der  
Seite der **FUSION** als von der **SPALTUNG** her..

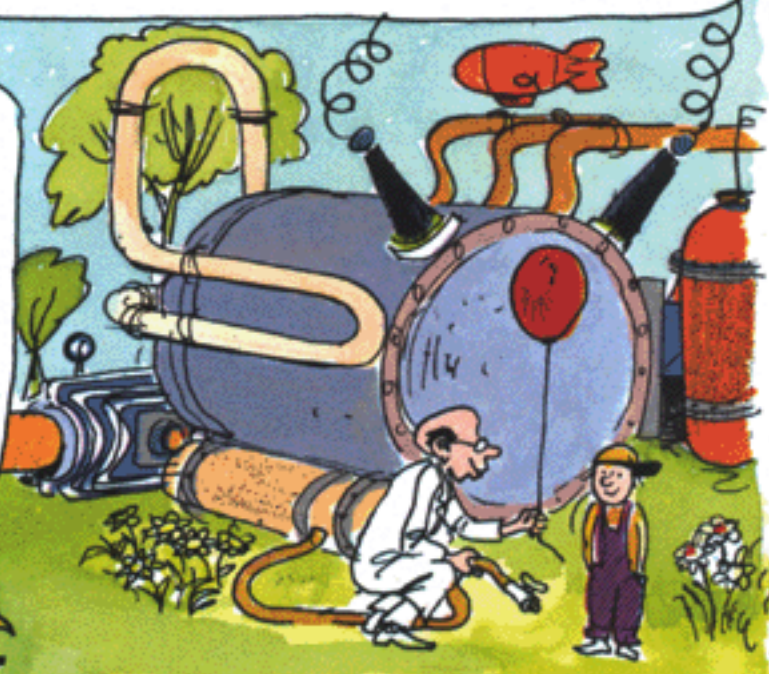
Tja..

(\* ) Atomphysiker haben dieses Bild entworfen, nach dem sich der Reaktor in die Erde  
hineinfressen und... in China wieder auftauchen würde!



Bei Fusionsreaktionen, an denen keine freien Neutronen beteiligt sind, kann man theoretisch mit Hilfe leistungsstarker magnetischer Fallen das **FUSIONSPLASMA ISOLIEREN** (da geladene Teilchen vor starken Magnetfeldern „zurückschrecken“.)

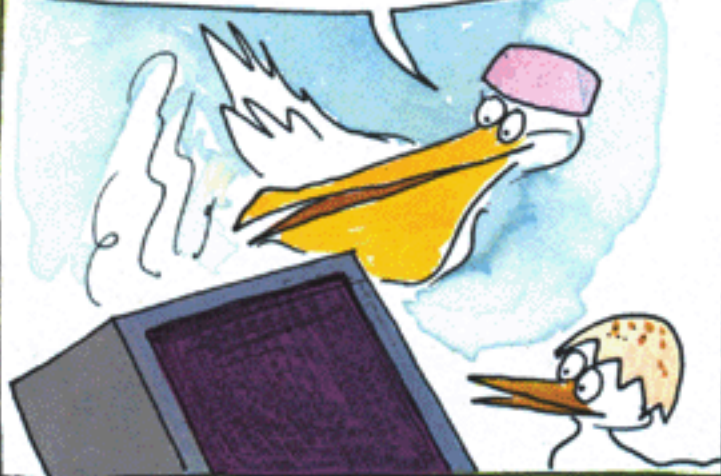
Es würde dann ein **GOLDENES ZEITALTER** herrschen! Das Fusionskraftwerk (Lithium-Wasserstoff oder Bor-Wasserstoff) wäre nicht umweltschädlich: Das einzige Reaktionsprodukt wäre nämlich Helium, mit dem man für die Kinder Luftballons aufblasen könnte!



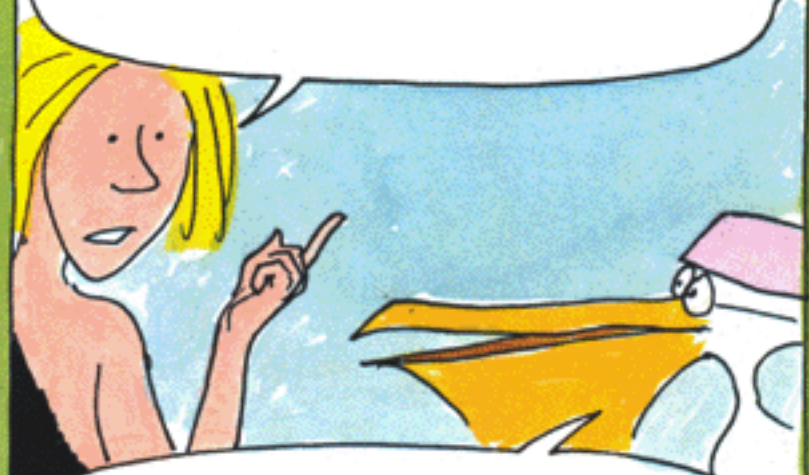
Daß ich nicht lache!  
Das ist doch bloß ein Traum!

Es existieren aber katalytische Heizöfen, mit denen man **BEI SICH ZUHAUSE** Feuer machen kann. Man braucht dazu keinen Kamin und man muß die nicht einmal Fenster aufmachen.

Das stimmt. Es entstehen Wasserdampf und Kohlendioxid, welche man, in moderaten Mengen, einatmen kann.



Könnte man sich einen **FUSIONS-KATALYSATOR** vorstellen, mit dem man bei nicht zu hoher Temperatur arbeiten könnte?



Einen kennst Du ja schon: Nämlich Kohlenstoff!



Ach ja, stimmt! Wie schafft es denn die Sonne, die Kernfusion aufrecht zu halten, obwohl die Temperatur in ihrer Mitte nur **15 MILLIONEN** Grad beträgt? Das ist ja **ZEHN MAL KLEINER ALS DIE ZÜNDUNGSTEMPERATUR VON 150 MILLIONEN GRAD?**

Kohlenstoff dient ihr als Katalysator. Er ist an den eher komplizierten Etappen der Reaktion beteiligt und wird am Ende regeneriert. Es fängt mit Kohlenstoff 12 und Wasserstoff 1 an, welche Stickstoff 13 ergeben. Dann wird dieser Stickstoff 13 in Stickstoff 15 umgewandelt, und es ergibt sich schließlich:  
Stickstoff 15 + Wasserstoff 1  
→ Kohlenstoff 12 + Helium 4  
(Bethe-Weizsäcker-Zyklus).

Zwar ist diese Reaktion für unsere Zwecke viel zu **LANGSAM**, nicht aber für die Sonne, die ja genügend Zeit hat.

## DIE MÜONEN

In einer kalten Gasmischung kann man komplizierte chemische Reaktionen in Gang setzen, indem man die Moleküle mit Elektronen beschießt, die aus einem einfachen Stromschlag stammen.



Beispiel:

$2 \text{CH}_4$  (Methan) + Strom  
ergibt:  
 $\text{C}_2\text{H}_2$  (Azetylen) +  $3 \text{H}_2$



In einem Molekül kann man die Elektronen durch **MÜONEN** ersetzen. Das sind Teilchen, die dicken Elektronen gleichkommen, und die die Kerne näher aneinander bringen.

Na dann, warum sollten wir nicht eine „lauwarme“ Fusionsmischung mit Müononen beschießen?





Funktioniert's?

NO PROBLEM, SIR! In einem Beschleuniger ist man nämlich in der Lage, Müonen zu erzeugen. Und wenn diese mit Deuterium- oder Tritiumkernen kollidieren, wird Helium erzeugt. Also findet tatsächlich eine Fusion statt. Aber es gibt noch Welten zwischen diesem Experiment aus der Mikrophysik, bei der nur ein paar Teilchen involviert sind, und einer für industrielle Zwecke einsetzbaren Fusion!!!...

Man kann auch mit dem **SPIN** der Kerne spielen, d.h. man lässt sie einen Walzer anstatt eines Tangos tanzen. Damit werden die Kollisionen effektiver.





In der Kernphysik ist das letzte Wort  
noch nicht gesprochen.



Zukünftige Entdeckungen können  
noch alles über den Haufen werfen.

Wir sind erst am Anfang  
der Geschichte. Wie denkst  
Du darüber, Anselm?...



Die Kernkraft stellt **GLEICHZEITIG**  
eine große Hoffnung und eine  
schreckliche Gefahr dar.



Ja, ja, ich höre zu...











Wissenschaft... Pfui!

Ein so schöner Planet...

Und nun, zufrieden?



