

Die Abenteuer des Anselm Wüßtegern

Tausend Milliarden

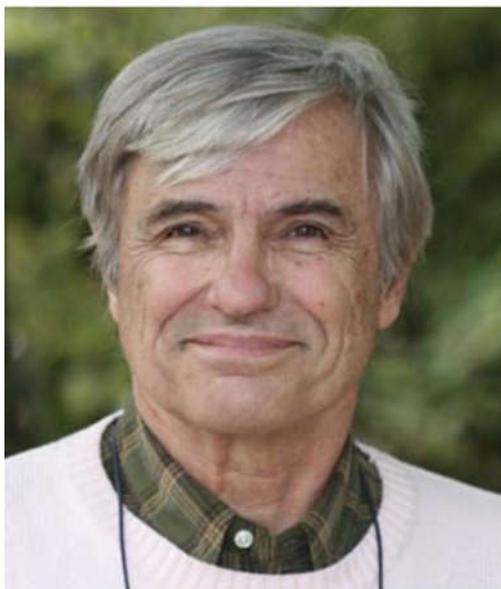
Sonnen!

Jean-Pierre Petit

Wissenschaft ist vielleicht die raffinierteste Form der fantastischen Literatur...

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>



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.

Die Originalausgabe erschien 1986 unter dem Titel "Mille milliards de soleils!"

Aus dem Französischen von Thierry Rousseau

Bitte beachten Sie:

Es wird ausdrücklich erlaubt, diese Datei zu vervielfältigen und an andere Personen zu senden oder zu übergeben. Es wird ebenfalls erlaubt, diese Datei auf Ihrer Webseite anzubringen oder dort einen darauf hinweisenden Link anzugeben.

Warnung

Astrophysik ist eine **neue** Wissenschaft. Bis vor ein paar Jahren gelangte die Information zum Menschen durch das schmutzige Fenster der Atmosphäre.



Die **Dynamik der Galaxien** wartet immer noch auf ihren Kepler oder ihren Laplace. Bisher kann man das Gleichungssystem, das eine **Galaxie** beschreibt, immer noch nicht mathematisch sauber lösen.

Auf diesem Gebiet beißen sich seit Jahrhunderten die Theoretiker die Zähne aus.

Paradoxerweise kennt man die frühe Kindheit des Universums (den **Urknall**) besser als dessen spätere Jugend. Die bleibt... nebelig.

Ein Konsens ist nicht in Sicht, und es existieren widersprüchliche Theorien über die **Geburt** und die **Entwicklung der Galaxien**.

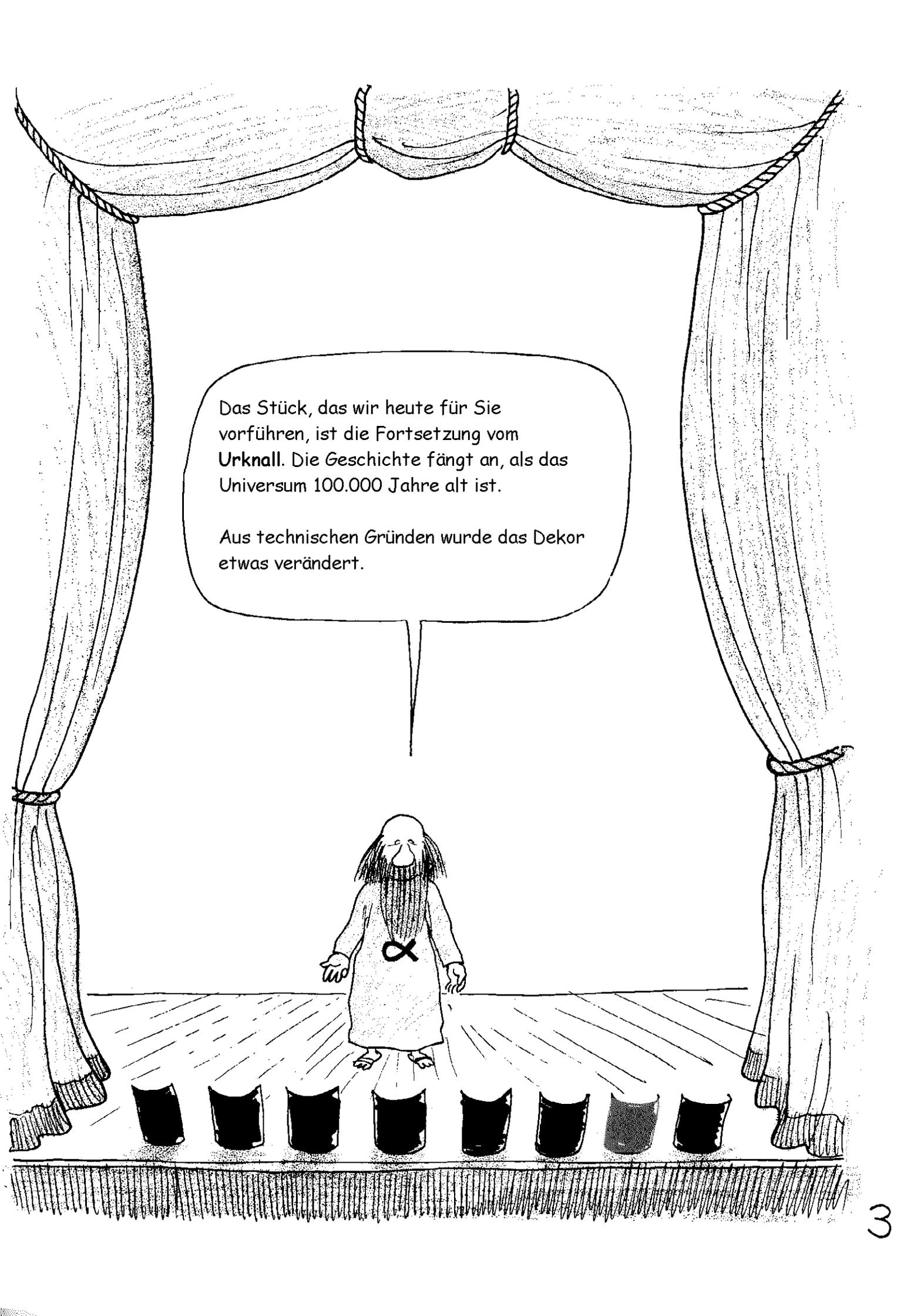
Die vom Weltraumteleskop gewonnenen Daten werden vielleicht, nach Auswertung mit den besten Computern, zu einem schlüssigeren **Gesamtbild** führen... in einiger Zeit.

Daher mußte der Autor einigen persönlichen Präferenzen den Vorrang geben. Eines Tages wird man die folgende **Geschichte** als eine brillante **Synthese** betrachten...

...oder nur als **Unfug!**

Weihnachten

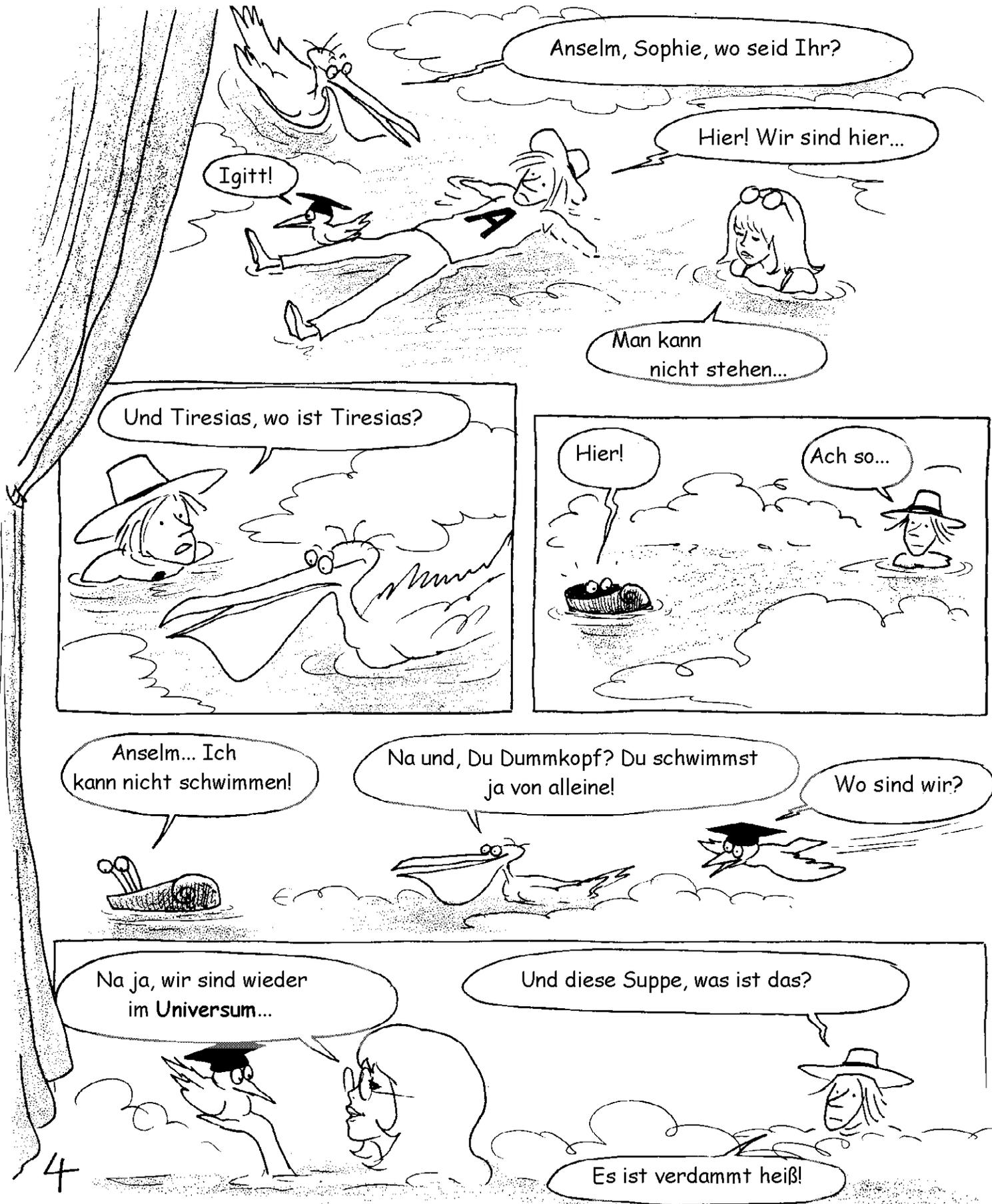
1985



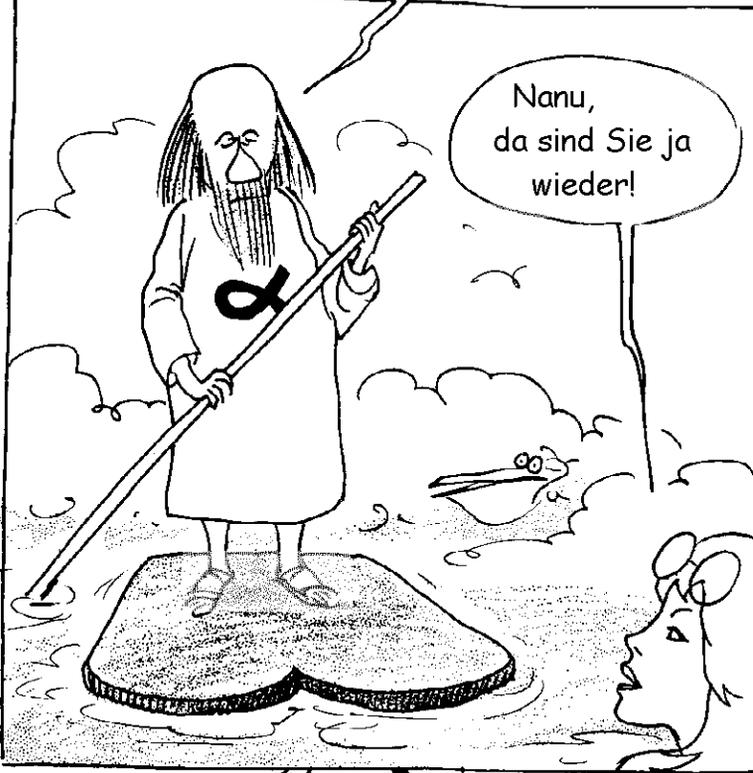
Das Stück, das wir heute für Sie
vorführen, ist die Fortsetzung vom
Urknall. Die Geschichte fängt an, als das
Universum 100.000 Jahre alt ist.

Aus technischen Gründen wurde das Dekor
etwas verändert.

Das Planet-Universum



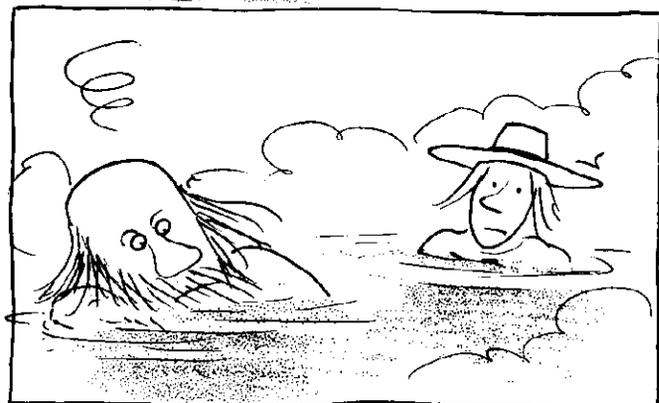
Diese Suppe, junger Mann, das ist die Materie.



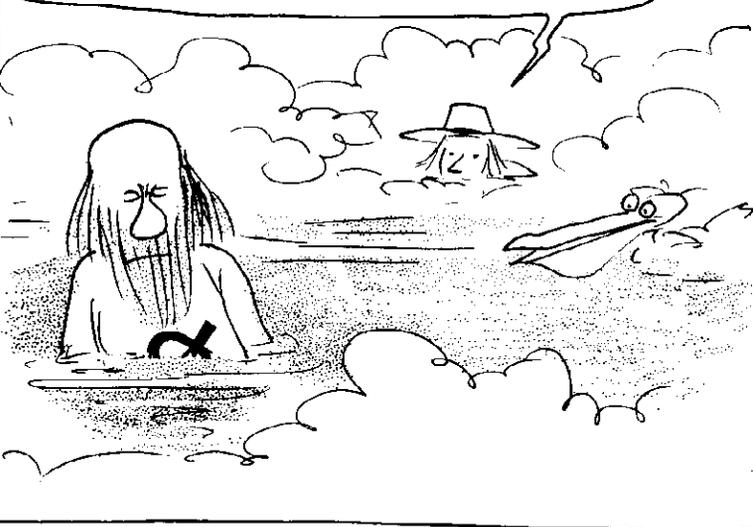
Am Anfang schwebte der Geist Gottes auf dem Wasser...



Hör auf, Du Ikonoklast Du!

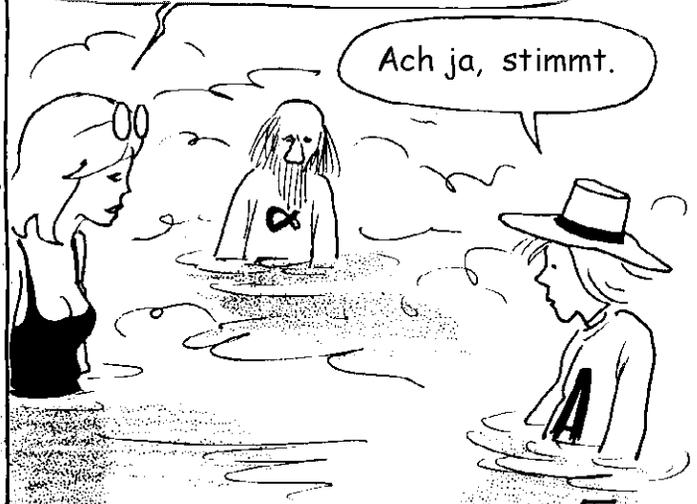


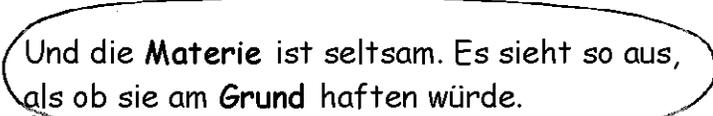
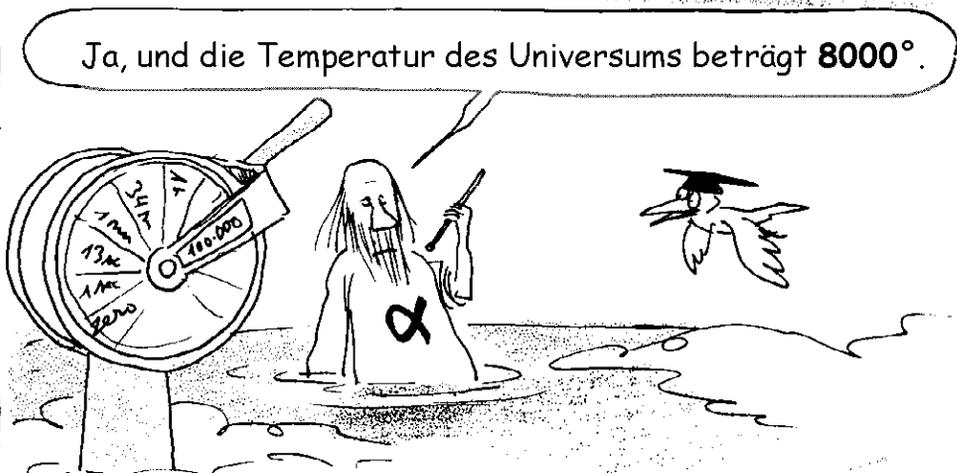
Oh, schaut mal, ein Wunder!



Ach was, er kann stehen, das ist alles

Ach ja, stimmt.





(* siehe "Der Urknall")



Auf den ersten Blick ist die Welt rund?

Ja, es ist eine Art sphärischer Kuchen, der sich immer weiter aufbläst...

Was für ein Gebäck!

An der Oberfläche verhält sich die **Materie** wie eine **Flüssigkeit**.



Aber was gibt's darunter?

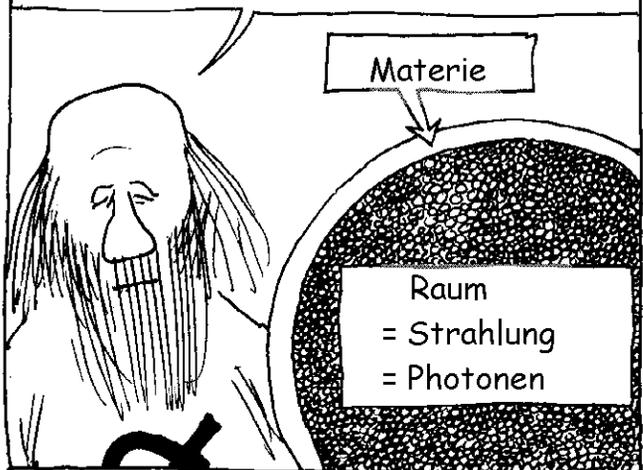
Darunter ist der **Raum**. Es gibt viel mehr Raum als Materie.



Meinen Sie, daß dieses Planet-Universum hohl ist?

Liebes kleines Fräulein, Sie wissen doch, daß das **Vakuum** nicht existiert. Das "kosmische Vakuum" besteht eigentlich aus einer dichten Menge **Photonen**, die sich rastlos hin und her bewegen. Es sind die **ersten Photonen**, die während des **Urknalls** erzeugt wurden. Seitdem kommt eine Milliarde dieser Photonen auf jedes Teilchen aus **Materie**.

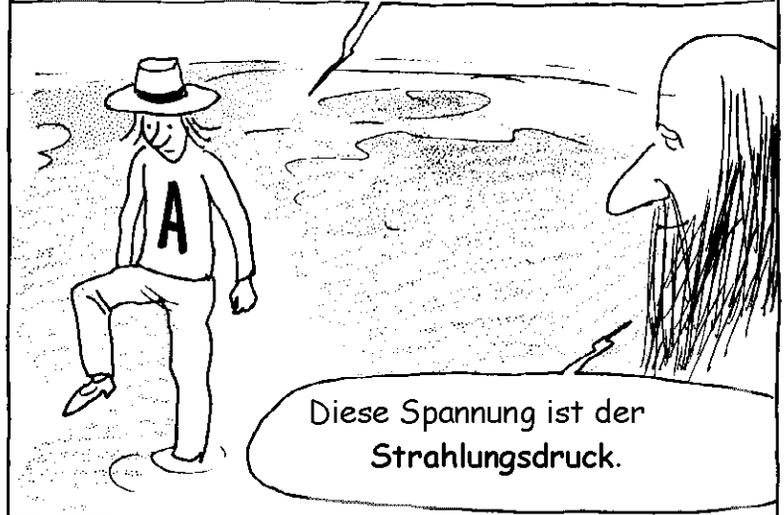
Anders gesagt, dieser sphärische Kuchen ist eine Art **elastischer** Schaumstoff, wo jedes Loch ein Photon darstellt (*)



Materie

Raum
= Strahlung
= Photonen

Elastisch? Das finden Sie elastisch? Dieser Schaumstoff ist doch so hart wie Stahl.



Diese Spannung ist der **Strahlungsdruck**.

(*) Der Durchmesser eines Loches entspricht der **Wellenlänge** des zugehörigen Photons.



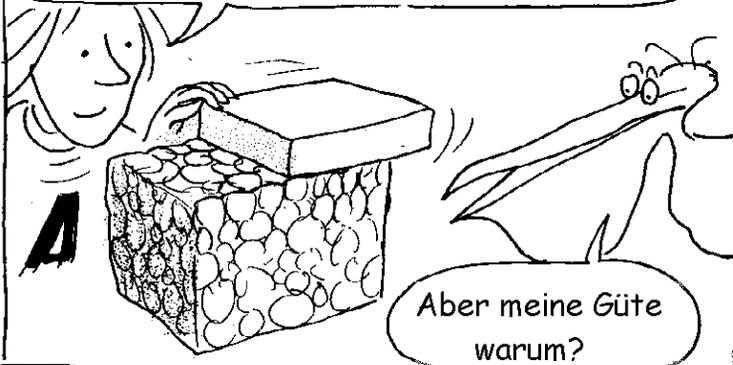
Eigentlich bilden **Materie** und **Vakuum**, d.h. dieses aus den ersten Photonen bestehende **Gas**, eine **homogene Mischung**. Wenn ich richtig verstehe, haben Sie aber in diesem Modell beide getrennt. Infolge der **Ausdehnung** dieses **Planet-Universums**, das ja wie ein Gebäck im Ofen funktioniert, nimmt der **Strahlungsdruck** ab. Im Übrigen simuliert die Dicke des "Materie-Gas" die **Volumendichte** der Materie, die ebenfalls abnimmt.



Wechselwirkung von Strahlung & Materie



Unterhalb 3000° , bewegt sich die **Materie** frei über die kosmologische Hintergrundstrahlung.



Aber meine Güte warum?

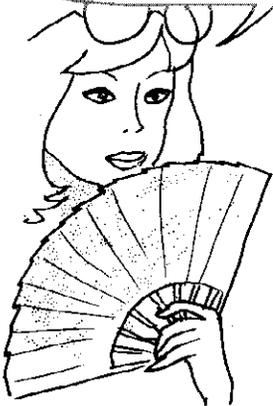
Atome, Léon, bestehen aus positiv geladenen Kernen und aus negativ geladenen Elektronen.



Wasserstoff

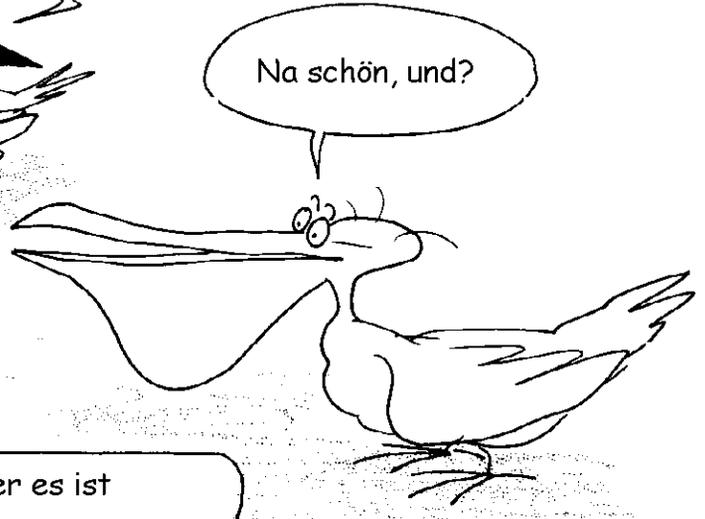
Helium

Oberhalb 3000° wird die **Geschwindigkeit** der **thermischen Bewegung** der Atome so groß, daß die **Atomkollisionen** die Elektronen daran hindern, in aller Ruhe um die Kerne zu kreisen.

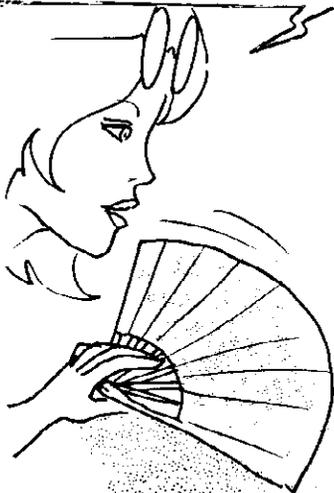


Die Elektronen sind dann **frei** und man sagt, die **Materie** sei **ionisiert**.

Na schön, und?



Licht entspricht zwar einer **Photonenbewegung**, aber es ist auch eine **elektromagnetische Welle**, eine Schwingung des Raumes.



Und diese Schwingung wird von den leichten Elektronen **stärker** empfunden als von den schweren Kernen.



In einem Gas ist eine sich propagierende Schwingung eine Druckwelle (*), eine Schallwelle. Demnach wäre also Licht eine... Strahlungsdruckwelle, die sich mit **300.000 km/Sek.** fortpflanzt.

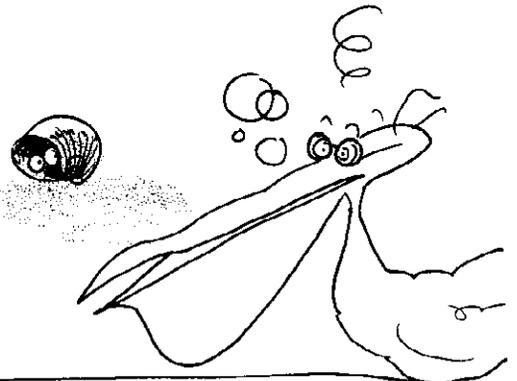
In einem Gas ist die Geschwindigkeit der thermischen Bewegung der Teilchen in etwa gleich der Schallgeschwindigkeit. In einem "Photonengas" ist es nicht anders.



Ich muß zugeben, daß dieses Photonengas eine meiner besten Erfindungen ist. Hiermit sind Wellen und Teilchen **Hose wie Jacke**.

Gut, nehmen wir an:

- 1) ein **ionisiertes Gas** steht in starker Wechselwirkung mit einem "Photonengas".
- 2) "**Vakuum**" besteht aus einem Photonengas.
- 3) Dann "**klebt**" die ionisierte Materie am Vakuum.



Wenn die Temperatur der Materie im Universum **3000°** unterschreitet, dann verbinden sich die Elektronen mit den Kernen. Dadurch werden sie weit unempfindlicher gegenüber den elektro-magnetischen Schwingungen.

Die Verbindung zwischen **Materie** und **Hintergrundstrahlung** lockert sich, und die Atome können sich frei im **Vakuum** bewegen.

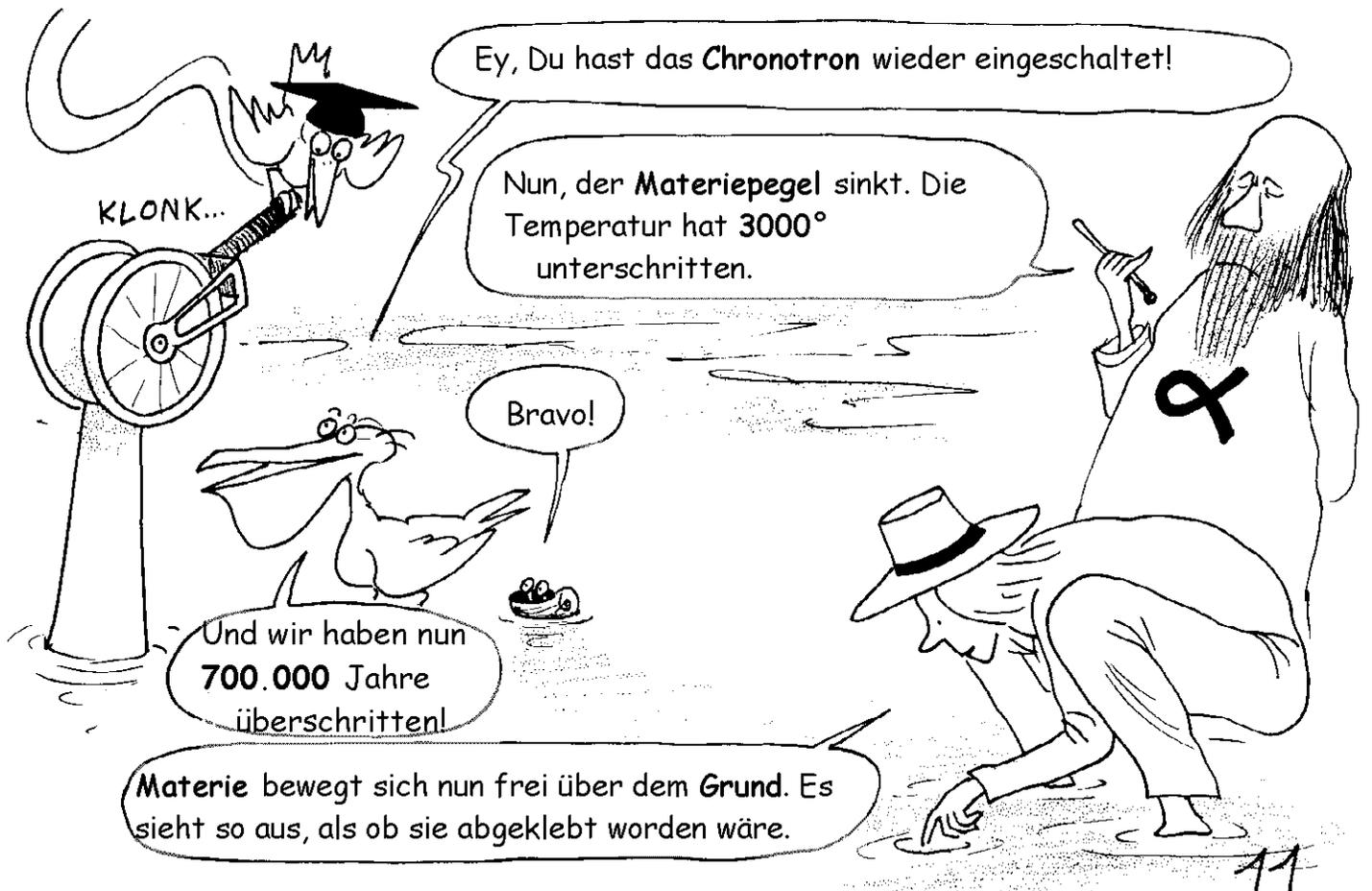


Sie werden von den Kernen "gehalten".



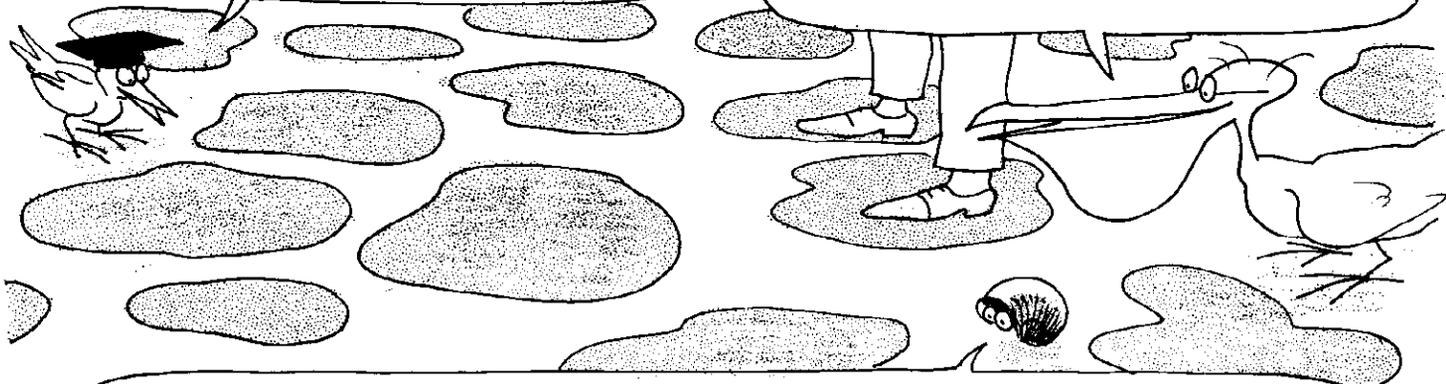


Entkopplung



Aber nicht überall. Die Materie bildet nun Pfützen.

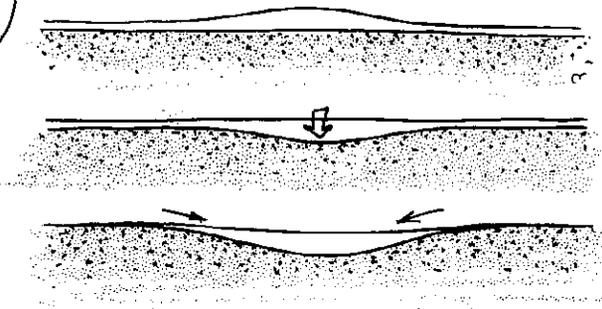
Der Grund wird weicher. Hier und da bilden sich Dellen, wo die Materie hinfließt.



Materie ist schwer. Sie wirkt auf den Grund, der nachgibt.

Die gravitationelle Instabilität

Das ist normal. Wenn Materie sich an einem Punkt ansammelt, **krümmt sie den Raum**, und weitere Materie wird angezogen. (*)



Daher entsteht eine Vielfalt an Pfützen, wo die **Materie kondensiert**.





Na ja, eigentlich sind die Dellen gar nicht so tief.

Das alles stagniert ja die ganze Zeit.

Der Schaumstoff ist noch zu **kompakt**, als daß tiefe Dellen entstehen könnten. Sogar große Pfützen verursachen nur ganz leichte Krümmungen. Wir müssen warten, bis sich das Universum entspannt, damit der Grund weich genug wird...

...der **Strahlungsdruck** beträgt noch drei zehntausendstel des heutigen irdischen Atmosphärendrucks.

Drei zehntausendstel des Atmosphärendrucks!... Das nennen Sie einen zu großen Druck?

Ja, die **Gravitationskraft** ist nämlich so schwach, daß dieser Druck ausreicht, ihr entgegenzuwirken.

Ach ja, stimmt... Diese Kraft ist ja die schwächste aller Naturkräfte.

Die Kompaktheit des Schaumstoffes (der Strahlungsdruck) hindert also den Grund daran, Dellen zu bilden und Materie kann daher schlecht kondensieren. Durch die Ausdehnung des Universums verringert sich aber diese Kompaktheit, dieser Druck. Aber wie lange muß man warten, bis die Gravitationskraft die Oberhand gewinnt?

Etwa **4,5** Milliarden Jahre.

Während wir so lange warten, möchte ich gern verstehen, warum die Pfützen mehr oder weniger den selben Durchmesser haben, und warum gerade diesen Durchmesser und keinen anderen...

Wieviel Materie beinhalten diese Pfützen?

Zehn- bis hunderttausend Sonnenmassen.

Die Jeans-Länge

Im Übrigen, warum gibt es überhaupt diese Pfützen? Warum bleibt nicht das Universum überall gleich? Ich möchte gern verstehen, warum dies so und nicht anders geschieht.

Genau! Probieren geht über studieren...

Zuerst untersuche ich, wie sich ein Klumpen Materie auf einem starren Grund verhält.

Er braucht eine gewisse Zeit, um auseinander zu fließen.

Die Kraft, die für das Auseinanderfließen der Materie verantwortlich ist, ist der Druck, der die Materie dazu bewegt, so viel Raum wie nur möglich zu besetzen.

Anscheinend ist die Zeit, die die Pfütze braucht, um ihren Radius zu verdoppeln, proportional zu ihrem ursprünglichen Radius.

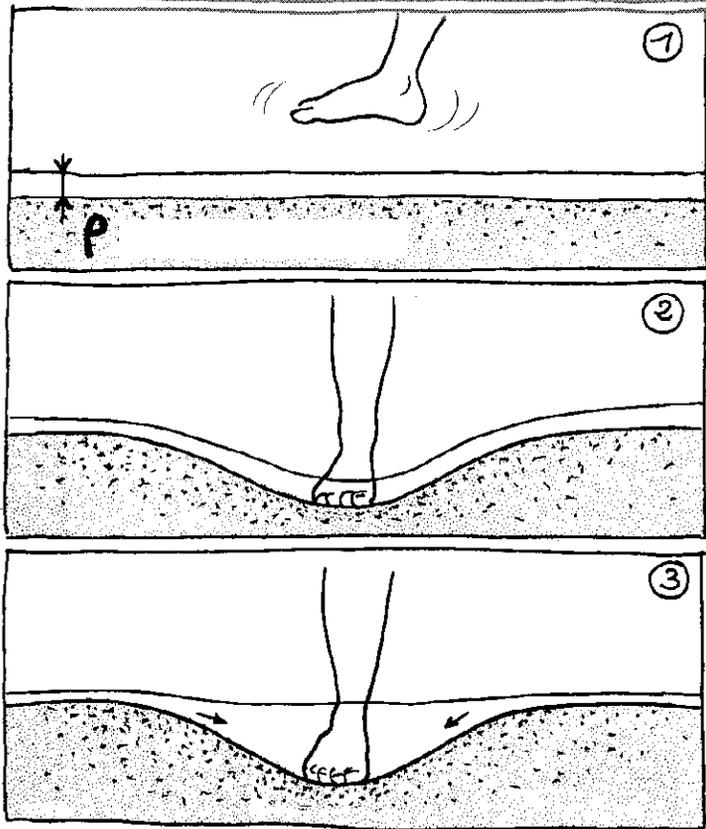
Und je **heißer** die Materie ist, desto **schneller** fließt sie auseinander.

Das ist normal, denn eine Temperatur entspricht einem Druck: je heißer ein Medium ist, desto größer sind die Kräfte, die dazu neigen, es auseinander zu bringen, d.h. der Druck.

O Gott...
Was für ein Durcheinander!

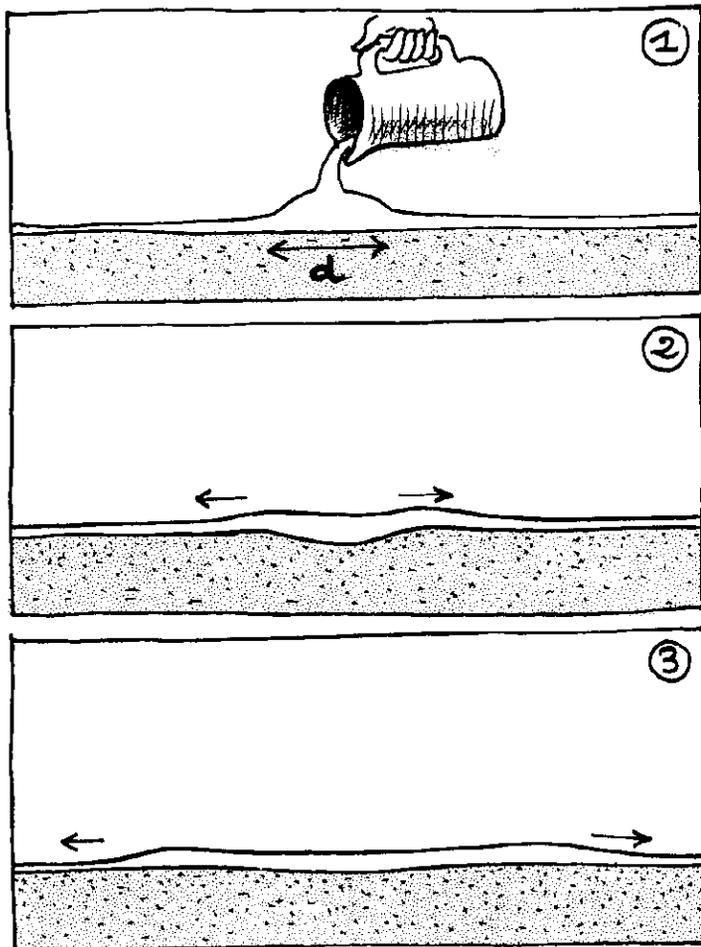


Gut, damit weiß ich also mehr über die Art und Weise, wie eine Pfütze auseinander geht. Nun zu Schritt 2: Diesmal erzeuge ich keinen **Überdruck**, sondern krümme den elastischen Grund.



Diese absichtlich erzeugte Krümmung füllt sich nach einer gewissen Zeit auf. Diese Zeit nennt man die **Akkretionszeit**. Sie ist umso kürzer, je tiefer die Flüssigkeit (die die Massendichte darstellt) ist.

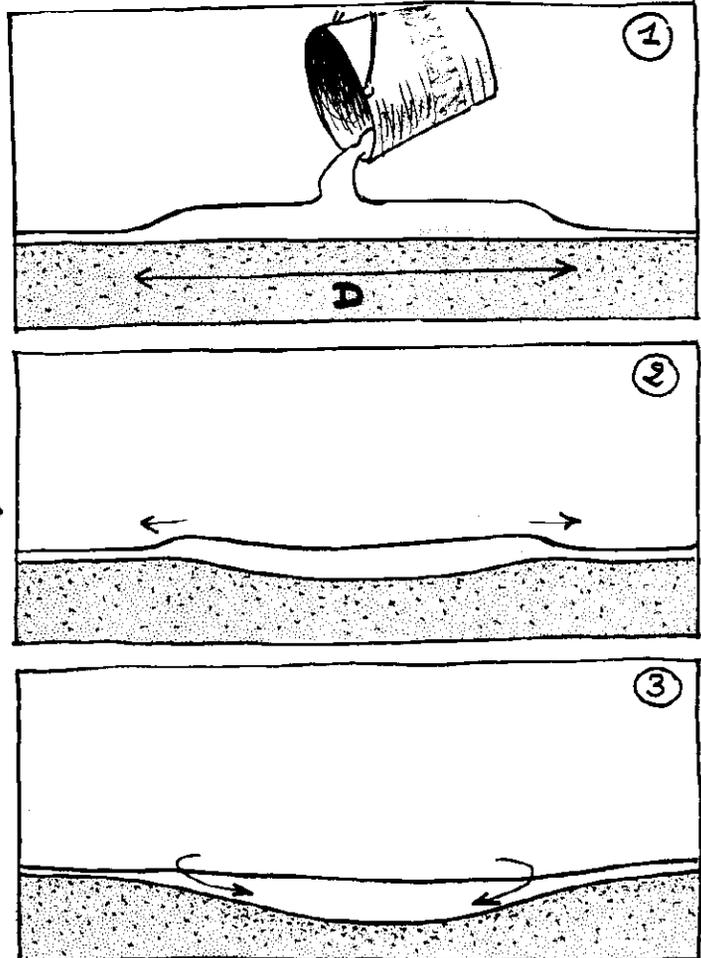
Nun muß man nur noch beide Effekte miteinander kombinieren...



Ein kleiner Klumpen wird schnell auseinander gehen. Die von ihm verursachte Delle wird keine Zeit haben, sich zu vergrößern, denn die Materie wird zu schneller wegfließen.

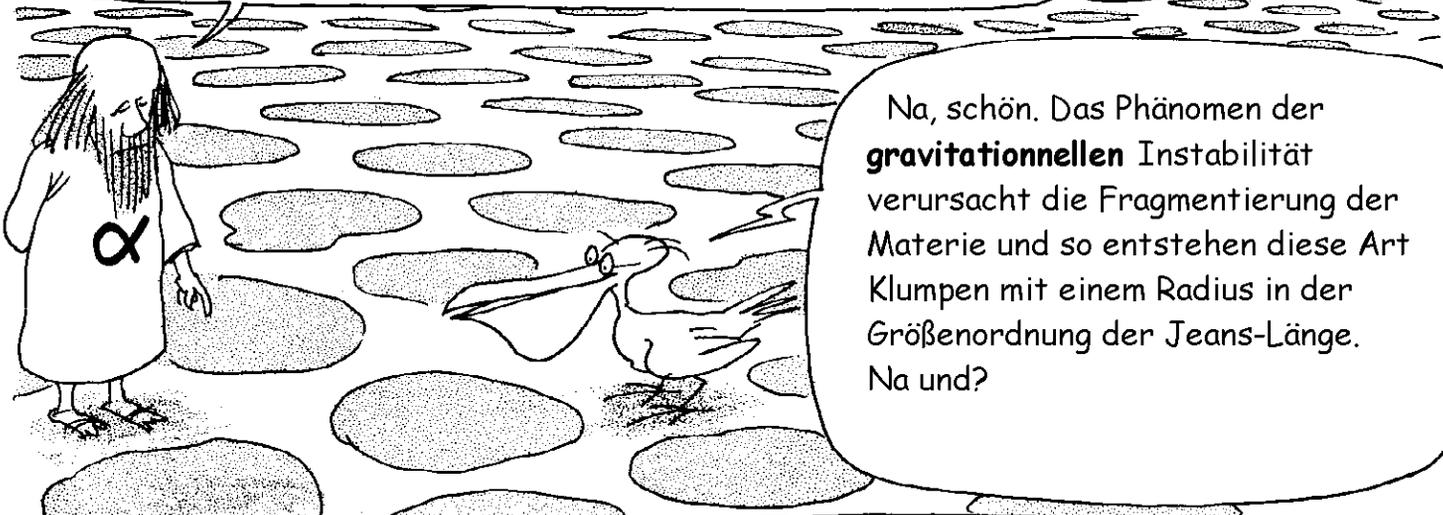


Dagegen braucht ein **großer** Klumpen eine **lange** Zeit, um auseinander zu fließen. Die von ihm verursachte Delle wird sich nicht leeren und wird Zeit haben, sich zu vergrößern.

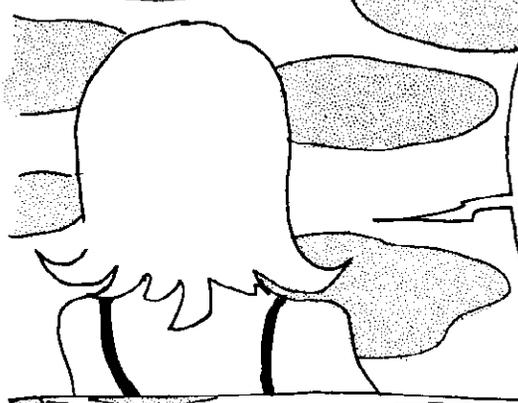


Und ich nehme an, daß für den Radius ein Grenzwert existiert, oberhalb dessen sich die Delle vergrößern wird?

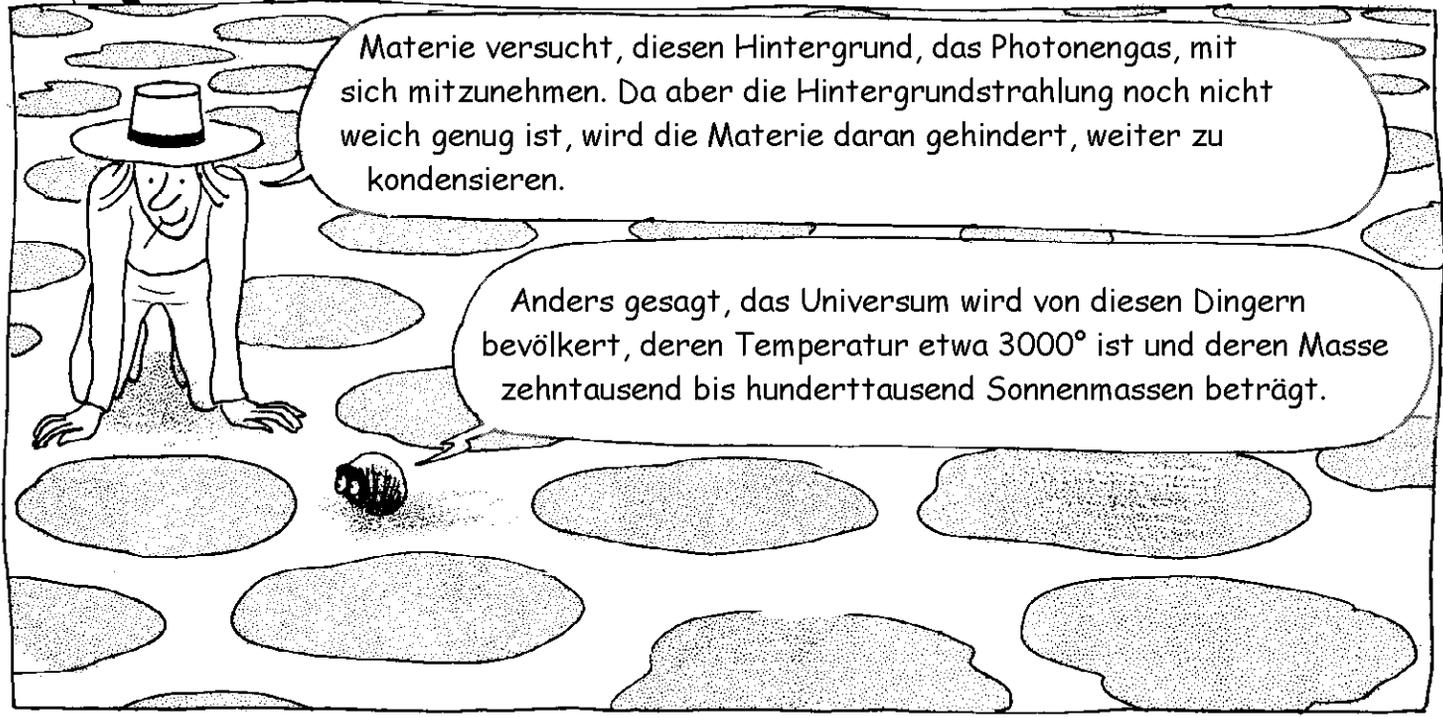
Korrekt! Das ist der **Radius** (oder die Länge) von **Jeans** (*).
Und tatsächlich haben alle entstandenen Pfützen einen Radius, der ziemlich nahe an diesen Grenzwert kommt.



Na, schön. Das Phänomen der **gravitationellen** Instabilität verursacht die Fragmentierung der Materie und so entstehen diese Art Klumpen mit einem Radius in der Größenordnung der Jeans-Länge. Na und?



In diesen Klumpen wird die Materie komprimiert und heiß. Ihre Temperatur steigt bis **3000°**. Folge: sie wird ionisiert und es entstehen reichlich freie Elektronen. Die Kopplung zwischen Materie und **Hintergrundstrahlung** tritt wieder zutage. Materie "klebt" wieder am "Vakuum".

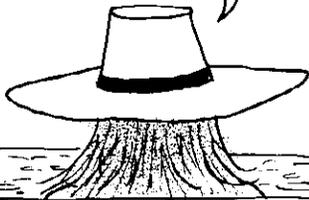


Materie versucht, diesen Hintergrund, das Photonengas, mit sich mitzunehmen. Da aber die Hintergrundstrahlung noch nicht weich genug ist, wird die Materie daran gehindert, weiter zu kondensieren.

Anders gesagt, das Universum wird von diesen Dingen bevölkert, deren Temperatur etwa **3000°** ist und deren Masse zehntausend bis hunderttausend Sonnenmassen beträgt.

(*) Sir James Jeans, englischer Astronom (1877-1946)

Zugegeben, es passiert nicht mehr viel. Lediglich die Ausdehnung des Universums bringt diese Klumpen weg von einander. Vorher bestand das Universum aus einer Mischung aus Wasserstoff- und aus Helium-Atomen; nun sieht es wie eine Emulsion aus, die weiter als der Horizont reicht.

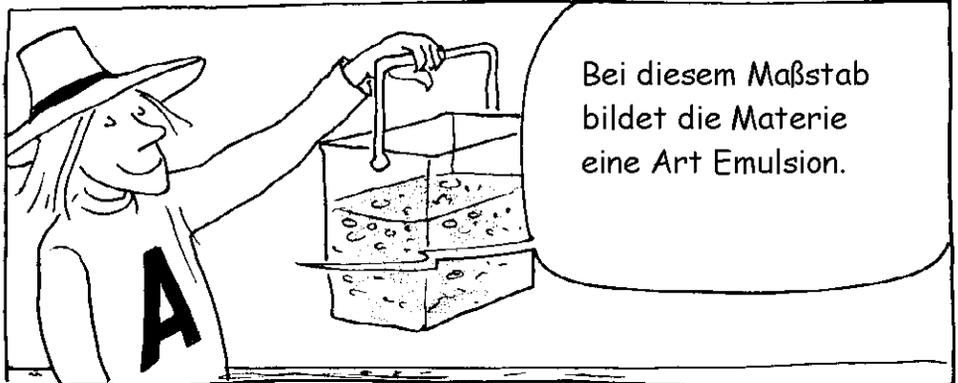
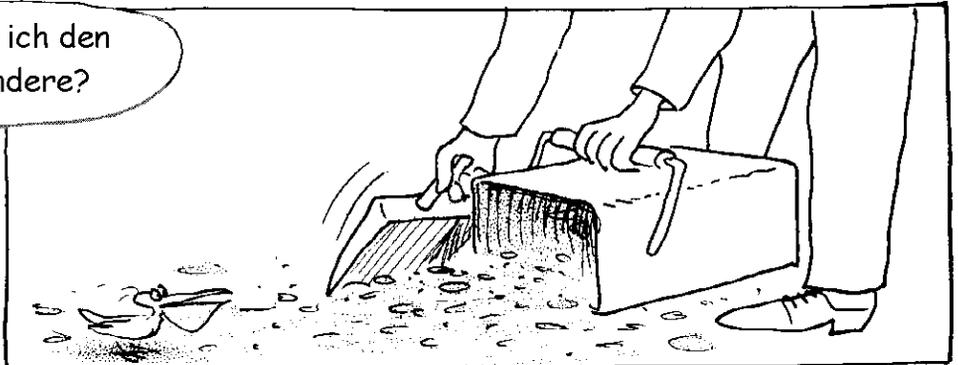


♪ Hinterm Horizont geht's weiter... ♪



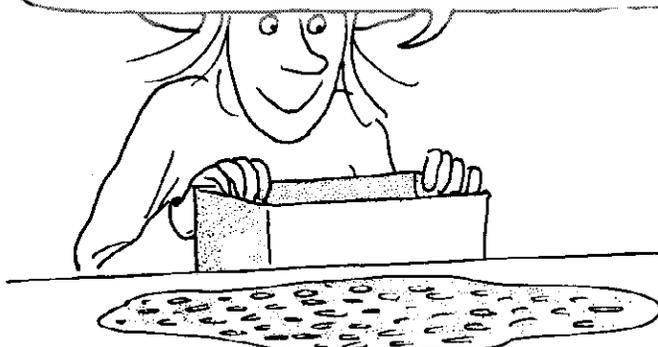
Der Makrokosmos

Und wenn ich den Maßstab ändere?



Bei diesem Maßstab bildet die Materie eine Art Emulsion.

Nun werde ich sie auf einen starren Grund kippen, um zu sehen, wieviel Zeit sie braucht, um auseinander zu fließen. Dann werde ich das Gleiche auf einem weichen Grund machen...



Anders gesagt: Du willst die gleichen Versuche wie vorher wiederholen, nur in einem größeren Maßstab.

Dieses neue Medium besitzt ebenfalls eine Temperatur, die man in der Emulsion aus der Geschwindigkeit der thermischen Bewegung der Klumpen ermitteln kann. (*)

Mit anderen Worten: Du bekommst bei einem größeren Maßstab eine neue Tendenz zur Fragmentierung.

Und so entstehen **Galaxien**. Ist doch schön, oder?

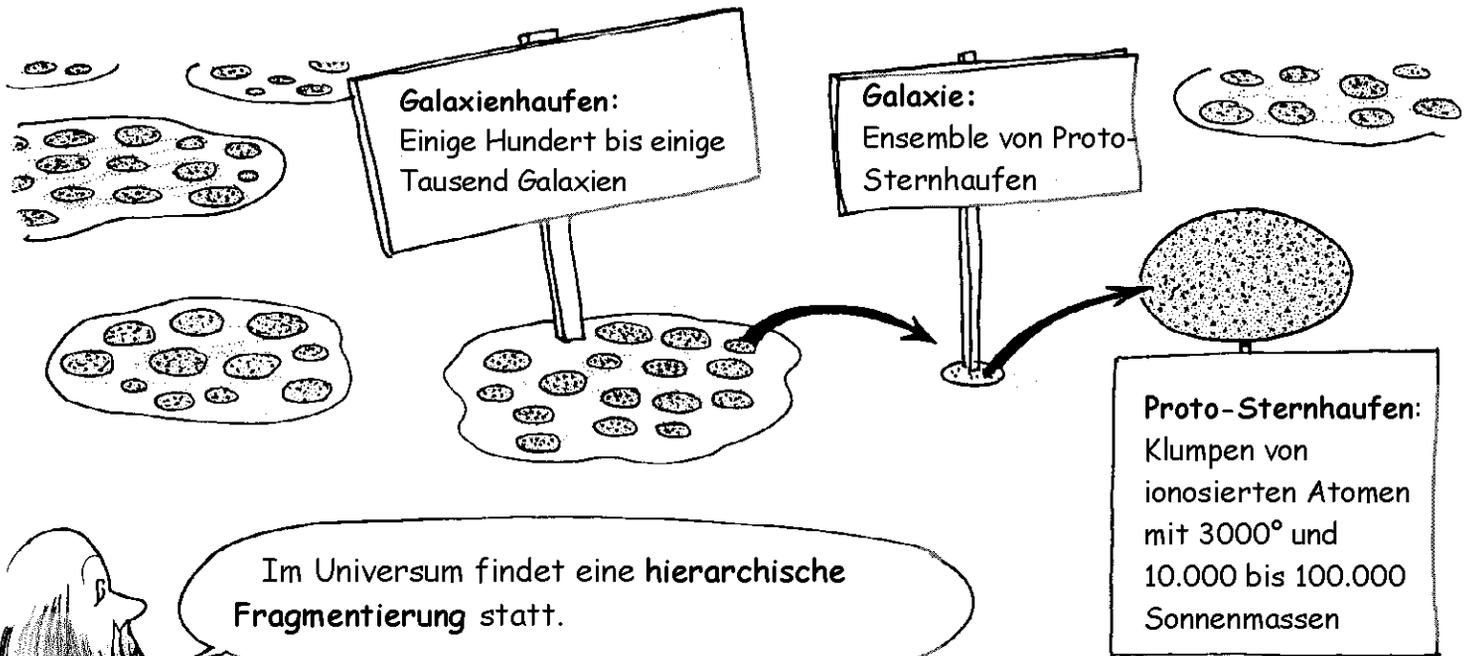
Ändern wir wieder den Maßstab.

Es ist einfach: Dieses Medium wird als eine Galaxien-Emulsion betrachtet. Wieder wird eine **Fragmentierung** stattfinden, diesmal bei einem noch größeren Maßstab.

Diese Fragmentierung wird die **Galaxienhaufen** erzeugen.

(*)

Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der thermischen Bewegung der Teilchen eines Gases.



Im Universum findet eine hierarchische Fragmentierung statt.

Ich nehme an, dies nimmt kein Ende?

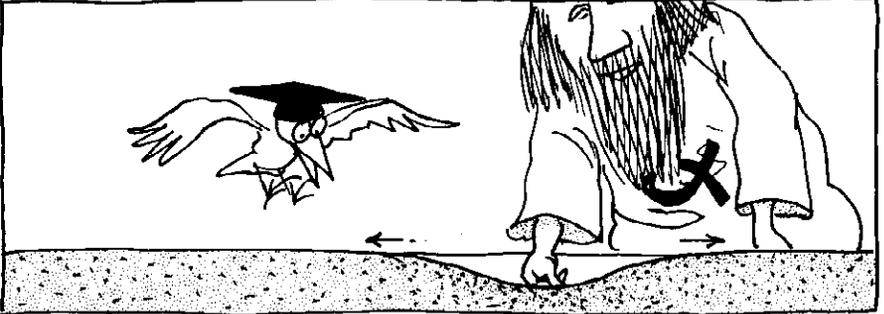


Na ja, eben DOCH!

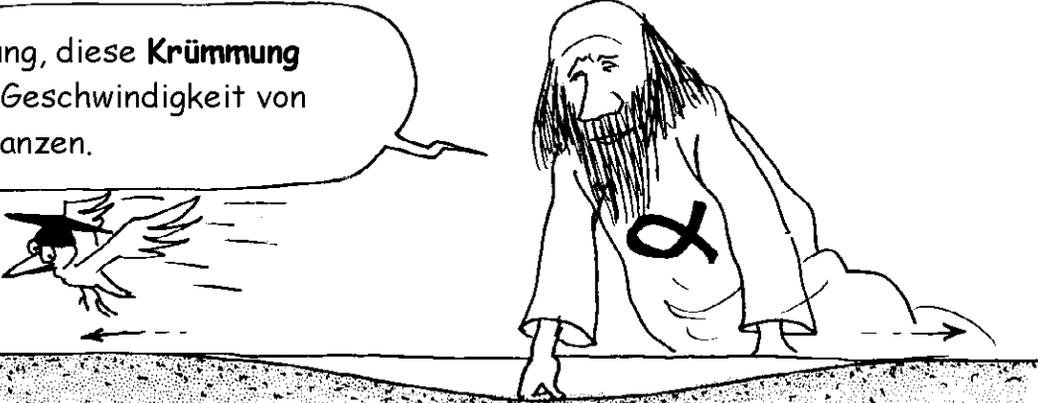
Und warum nicht?



Wenn ich plötzlich eine lokale Delle, eine Krümmung des Grundes erzeuge...



...wird sich diese Störung, diese **Krümmung** des Grundes mit einer Geschwindigkeit von **300.000 km/s** fortpflanzen.

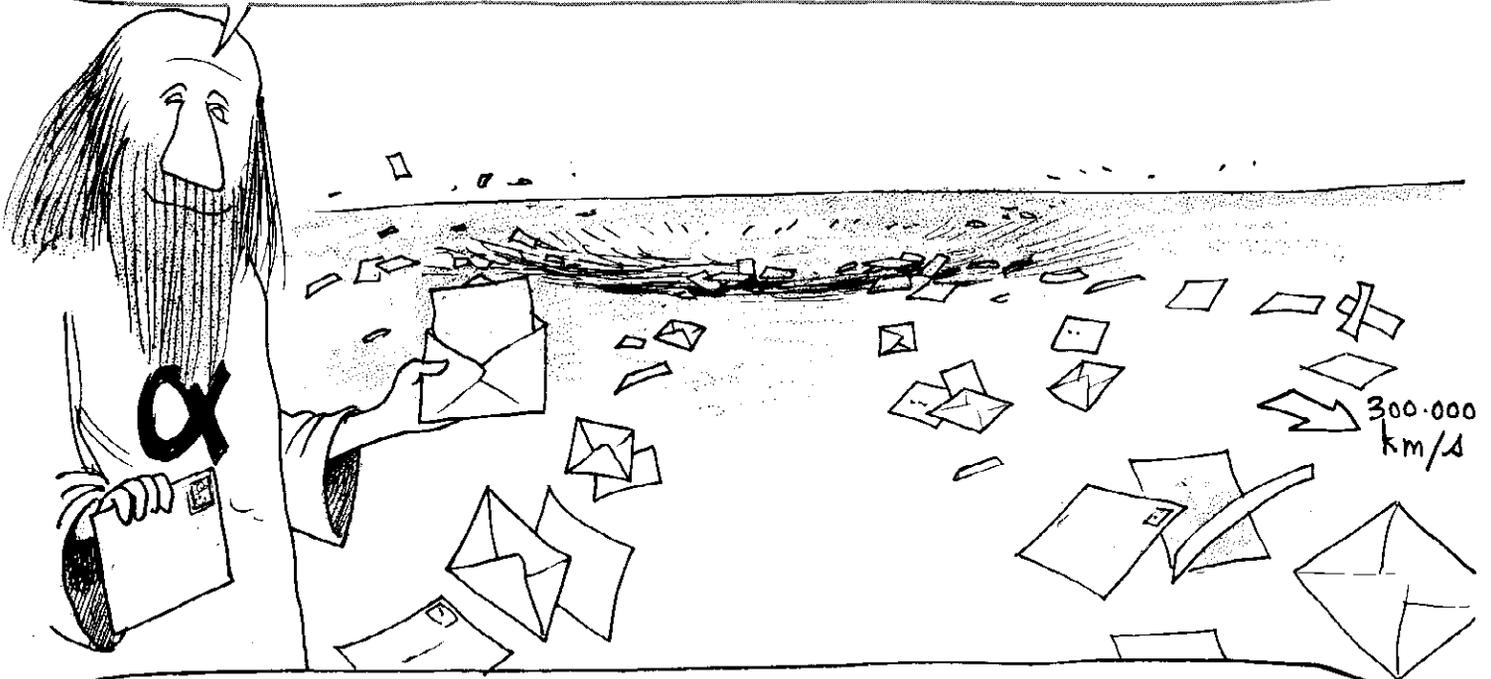


Dann ist das, was sich so
fortpflanzt, ... Licht?

Nein, es ist eine Krümmungswelle,
eine Gravitationswelle.

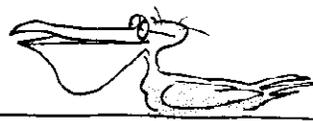
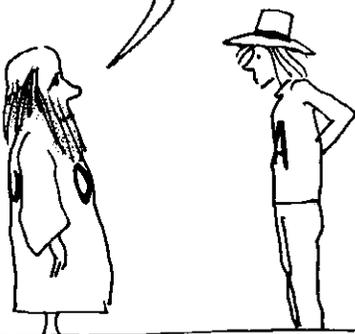
Das Gravitationsfeld pflanzt sich fort mit
der selben Geschwindigkeit wie Licht.

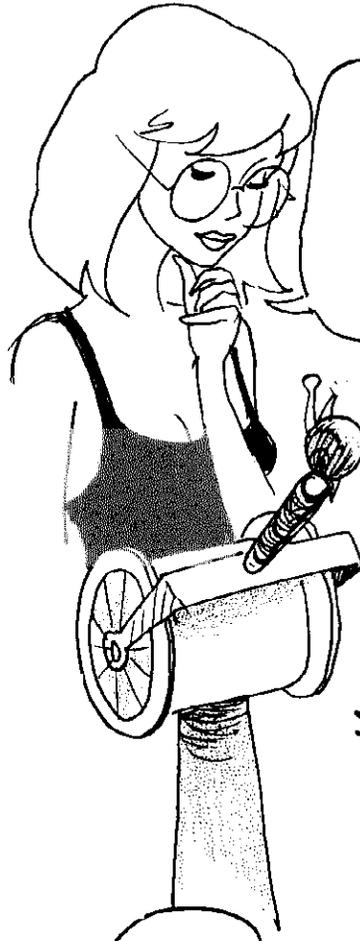
Durch diese Fortpflanzung der Krümmung "lädt" eine vorhandene
Materiekondensierung die weitere Materie ein, mit zu machen.



Wenn in einem Raumgebiet mit dem Durchmesser D eine gravitationelle
Instabilität stattfindet, dann ist dieser Durchmesser notwendigerweise kleiner
als ct , wo c die Lichtgeschwindigkeit und t das Alter des Universums sind.

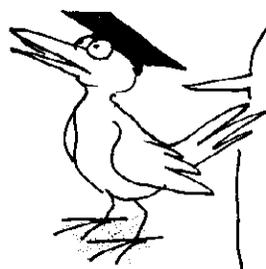
Und woher kommt
diese Bedingung?





Ich hab's! Nimm mal an, Du wolltest per Post Leute zu einer Versammlung einladen, die in 2 Tagen stattfinden soll. Dann könntest Du noch alle einladen, die in Deutschland wohnen. Aber für Leute, die weiter weg wohnen, wird es wegen der Zeit unmöglich.

Aber klar doch! Man kann keine Leute zu einer Versammlung einladen, die schneller stattfinden soll, als die Post zu ihnen brauchen wird!



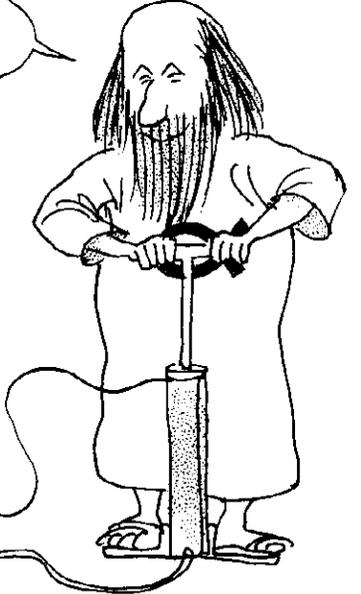
Das Chronotron zeigt 100 Millionen Jahre an. Daher werden die momentan größtmöglichen Strukturen kleiner sein als hundert Millionen Lichtjahre im Durchmesser. Daher stellen die Galaxienhaufen eine Obergrenze dar.



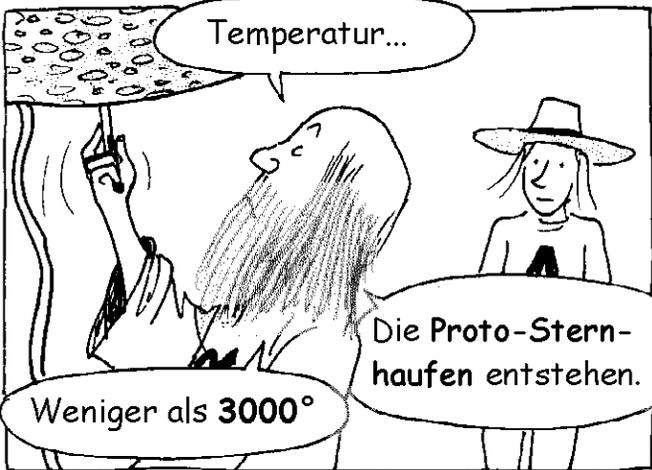
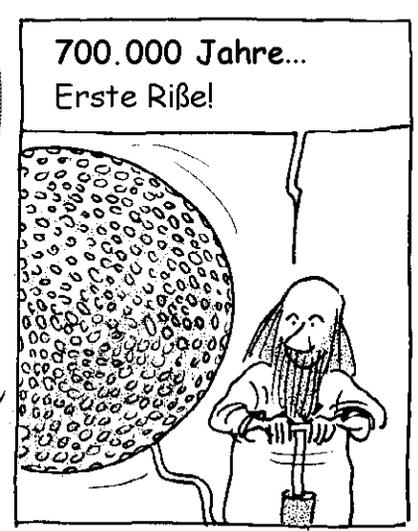
Erst wenn man geduldig genug ist und etwa zehn Milliarden Jahre wartet, wird man sehen können, wie die Superhaufen entstehen. (Das sind Haufen von Galaxiehaufen.)

Aber das Universum dehnt sich aus. Global dehnt es sich also aus, während es lokal kontrahiert...

Schaut mal...



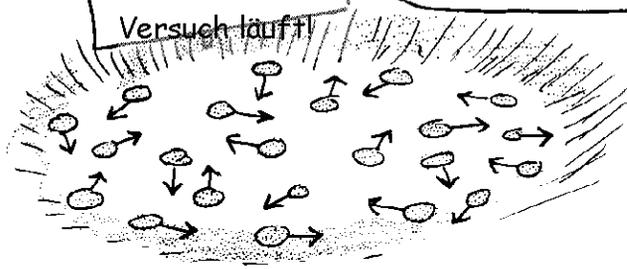
Es weiß nicht, was es will!





Nun haben wir $t = 500$ Millionen Jahre. Die Galaxien sind schon entstanden, auch wenn sie immer noch aus Gasklumpen mit 3000° bestehen, den Proto-Sternhaufen. Sie sammeln sich in Dellen: Das sind die Galaxienhaufen. Dort verhalten sie sich ein bißchen wie Gasmolekülen und haben ungeordnete Bewegungen.

Galaxienhaufen
Versuch läuft!



Das Universum ist immer noch sehr kompakt, und die Galaxien werden wechselwirken, miteinander kollidieren.

Kollisionseffekte



Ähnliches würde in einem **Gas** geschehen. Die selben Naturgesetze gelten für das unendlich Große wie für das unendlich Kleine. **Kollisionen** setzen die **Galaxien-Moleküle** in **Rotation**. Somit wird die jeweilige **Gesamtenergie** der **Galaxien** gleichermaßen in **Translationsenergie** ($1/2 mv^2$) und in **Rotationsenergie** verteilt. Nach dieser Situation der **Äquipartition der Energien**, des **thermodynamischen Gleichgewichts**, strebt naturgemäß jedes **Gas**. (*)

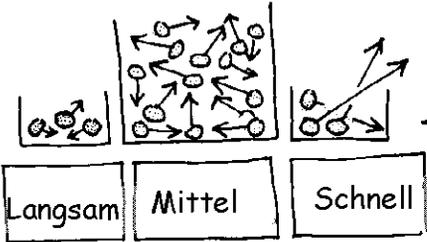
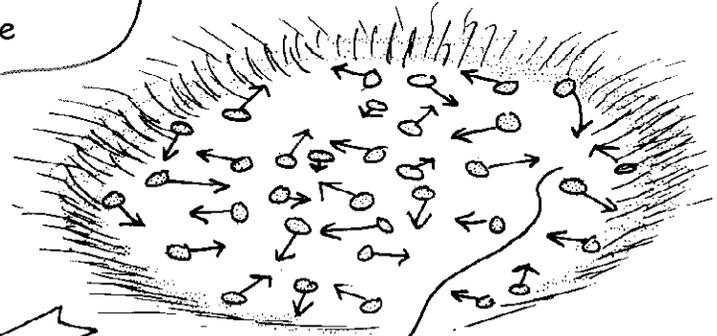
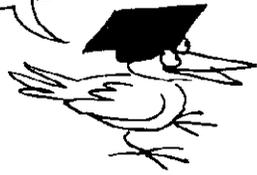
Anders gesagt, es sind die Zusammenstöße zwischen den Galaxien, die ihre Rotationsbewegungen **erzeugen**?

Nur am Anfang. Junge Galaxien kollidieren oft. Sehr schnell aber bringt die **Ausdehnung des Universums** die Galaxien auseinander, und diese Zusammenstöße werden weit seltener.

Anders gesagt, die Rotationsbewegung, die man heute beobachtet, ist ein Überbleibsel aus einer Zeit, als das Universum **dichter** und **kollisionenreich** war,

(*) Zweites Prinzip der Thermodynamik

Die Geschwindigkeiten der thermischen Bewegungen der Elemente sind alle nahe einem Mittelwert. Aber durch Kollisionen werden zufällig sehr schnelle sowie sehr langsame Elemente erzeugt.



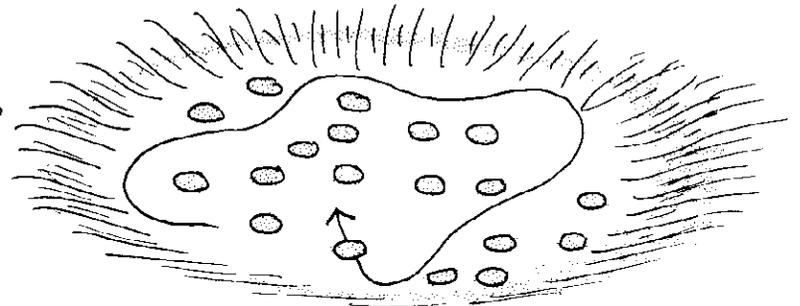
Ciao!

Die Elemente, die dadurch eine superschnelle Geschwindigkeit bekommen, können entfliehen und verlassen den Haufen. Dies geschieht genau dann, wenn deren Geschwindigkeit die Fluchtgeschwindigkeit des Haufens überschreitet.

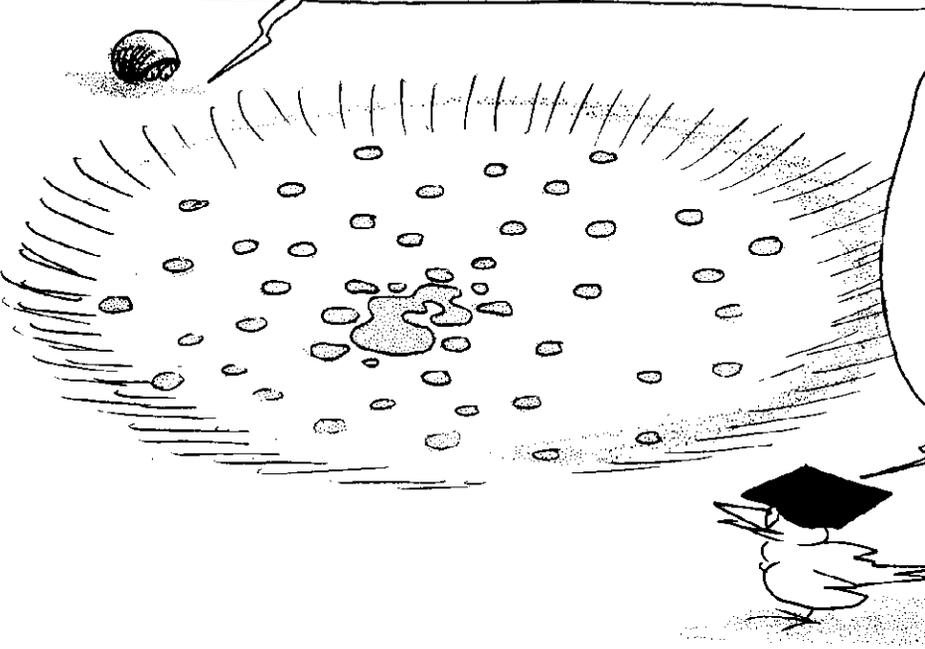


Da solche superschnelle Elemente durch aufeinander folgende Kollisionen ständig erzeugt werden, besitzt ein solches **selbstgravitierendes System** eine natürliche Neigung dazu, seine Elemente zu verlieren.

Der allergrößte Anteil der Elemente begnügt sich aber damit, in der Delle herumzufliegen.



Umgekehrt kann der Zufall der Kollisionen **superlangsame** Elemente erzeugen, die dazu neigen werden, zum Zentrum dieses kollisionellen, **selbstgravitierenden Systems** zu "fallen" und sich dort anzusammeln. Das Zentrum der kollisionellen Haufen (wo die Elemente aufeinander treffen) wird also immer mehr **massereiche** Elemente zählen.



Schaut z.B., was im Zentrum dieses **Galaxienhaufens** geschieht: Die **langsamen** Galaxien sammeln sich dort an und bilden eine **kannibale Galaxie**.

Eine verdammt tiefe Delle fängt an, sich zu entwickeln...

O Gott o Gott! Es sieht so aus, als ob der Grund bald zerreißen wird!...

Max, Hilfe, es bricht durch!

Tiresias,
verdammt,
halte durch!

KRAÂÂK



Was ist das? Ein Erdbeben?

Der Grund wird von großen Wellen, wie von
Krümmungswellen durchlaufen.

Vermutlich hat irgendwo
ein Zusammenbruch
stattgefunden...

Es sind Krümmungswellen, oder anders gesagt
Gravitationswellen.



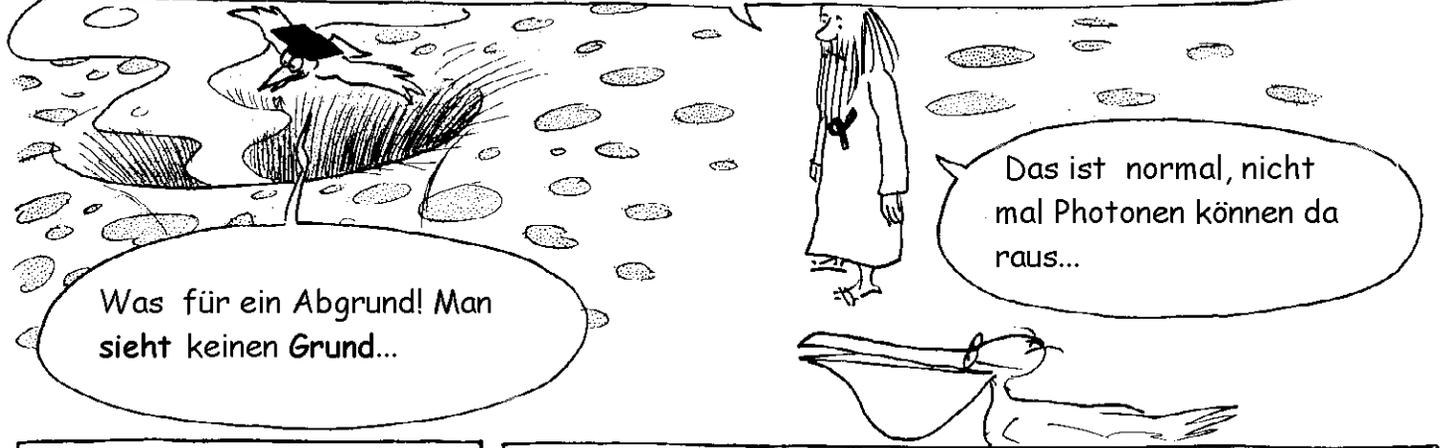
Es scheint sich zu beruhigen...

Und da kommen Max und Tiresias zurück.



Anscheinend ist unser Freund nur knapp einem **schwarzen Loch** entronnen.

Der Grund des Planet-Universums ist leider nicht sehr stabil. Wenn man ihn zu sehr belastet, bricht er durch...



Was für ein Abgrund! Man sieht keinen Grund...

Das ist normal, nicht mal Photonen können da raus...



Ich werde's niemals schaffen, hier raus zu kommen. Ich verschwende meine ganze Energie.

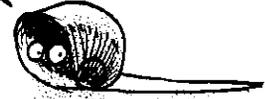


Es ist dieser Zusammenbruch, der die **Gravitationswellen** von soeben erzeugt hat...

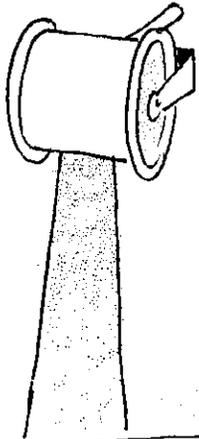
Seltsames Ding

Geh nicht so nah ran!

Zusammenfassend ist es nicht nur so, daß dieses Universum zusammenbrechen kann, sondern dazu taugt es auch noch nichts, was die Wasserdichtigkeit angeht!



Das große Feuerwerk



Das **Chronotron** zeigt an, daß Milliarden Jahren vergangen sind. Das Universum hat sich fragmentiert. **Kollisionen** haben die **Galaxien** zum **rotieren** gebracht.



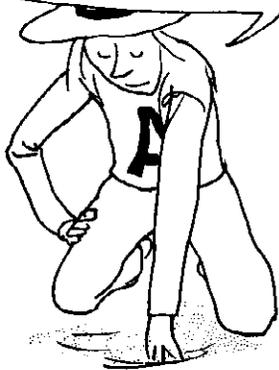
Die **Ausdehnung des Universums** hat alle diese Objekte so sehr von einander entfernt, daß sie sich nun gegenseitig ignorieren.

Diese "**Proto-Galaxien**" bestehen hauptsächlich aus Konzentrationen an ionisierten Atomen, die **Proto-Sternhaufen**, deren Temperatur ca. **3000°** beträgt und die wegen ihrer "**Adherenz**" auf die **Hintergrundstrahlung** nicht in sich zusammenbrechen können.

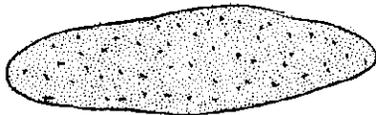
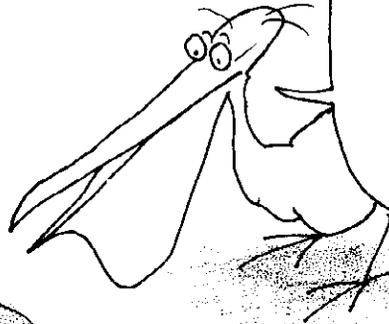
Jemand, der das Universum in diesem Alter betrachten könnte, würde unscharfe Nebeln sehen, die ein diffuses Licht ausstrahlen...



Der Grund ist weicher geworden. Die Ausdehnung des Universums hat den Strahlungsdruck erheblich verringert.

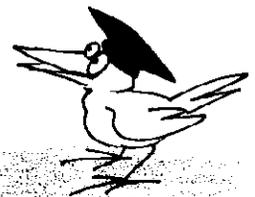


Wie kann die Kondensierung der Materie eines Tages weitergehen? Wenn die Klumpen kondensieren, wird deren Temperatur zwangsläufig 3000° überschreiten, deren Adhärenz auf dem Grund wird nicht aufgehoben, und dieser wird also immer weiter der Kondensierung der Materie folgen, oder?

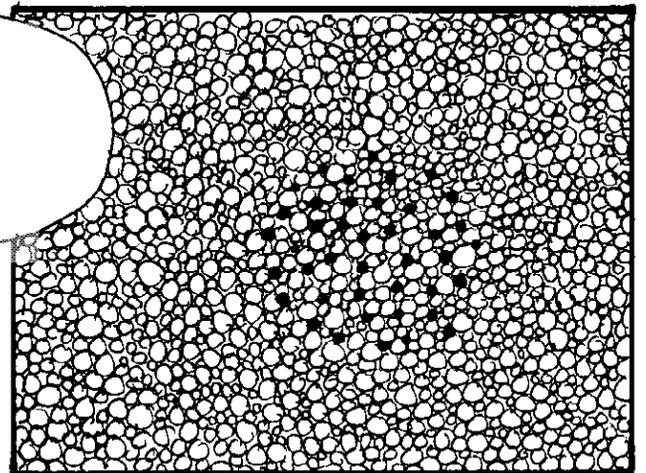


Proto-Sternhaufen

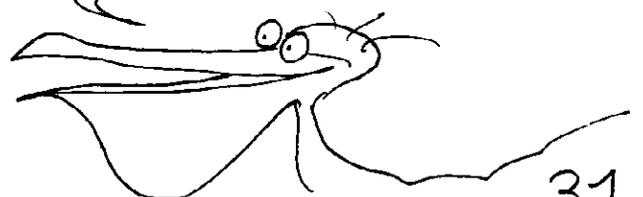
Korrekt, Leon! Jetzt aber werden die Gravitationskräfte innerhalb der Proto-Haufen "das Vakuum komprimieren" können, das aus energiearmen Photonen besteht.



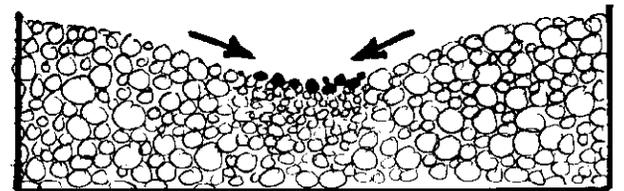
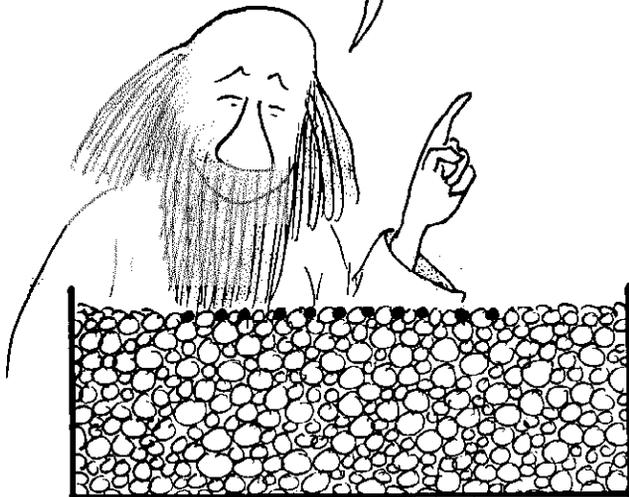
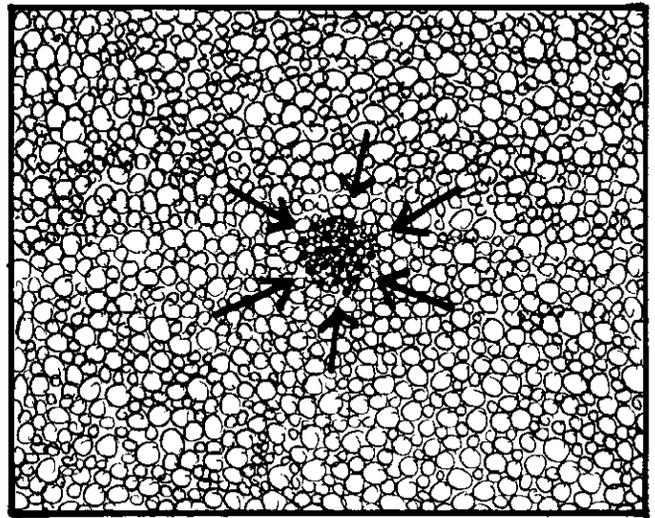
Die Region, wo sich der Klumpen, der Proto-Sternhaufen, befindet, kann als eine Mischung aus Materie und aus "Vakuum" gesehen werden, wobei dieses aus den ersten Photonen besteht. Das Ganze hat eine Temperatur von 3000° .



Und wann kondensiert das Ganze?



Materie wird nicht auf den Raum, auf die kosmologische Hintergrundstrahlung, rutschen, sondern sie wird diese mit sich mitnehmen, so wie hier dargestellt.



Aber Moment mal! Dies wird eben dann geschehen, wenn die Hintergrundstrahlung einen gewissen kritischen Wert unterschreiten wird. Und wenn ich das richtig sehe, wird es überall im Universum **gleichzeitig** geschehen.



Und es wird **FIAT LUX** heißen! Tja, nehmen Sie mal diese Sonnenbrille, es wird nicht mehr lange dauern...

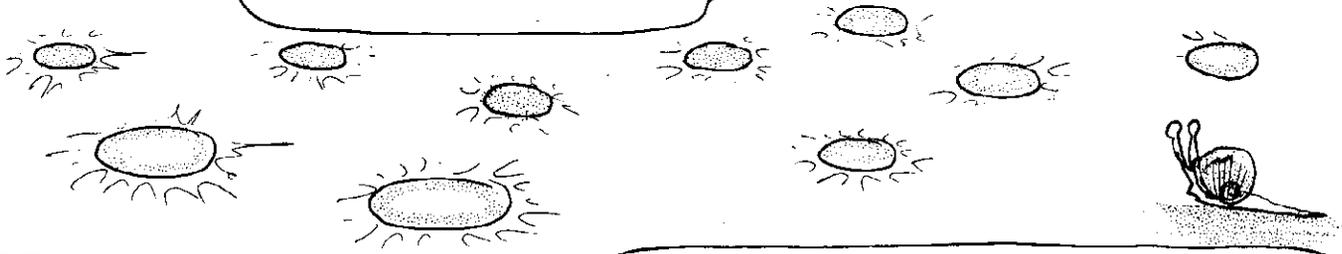
Ich muß zugeben, daß ich mit diesem Trick sehr zufrieden bin, der es erlaubt, das Rennen im ganzen Universum gleichzeitig zu starten.



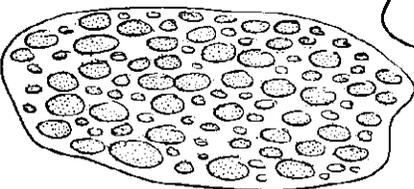
Starkes Ding! In der Tat, es geht los!



Die Protohaufen kontrahieren. Ihre Temperatur steigt an. Die Atome strahlen viel Energie im UV-Bereich und diese entweicht.

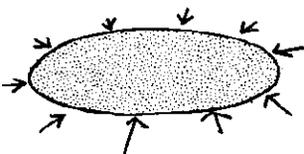
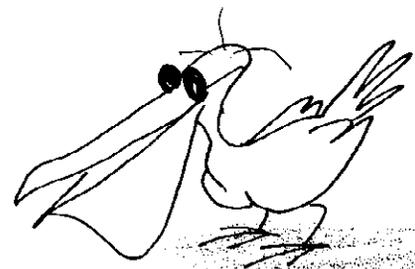
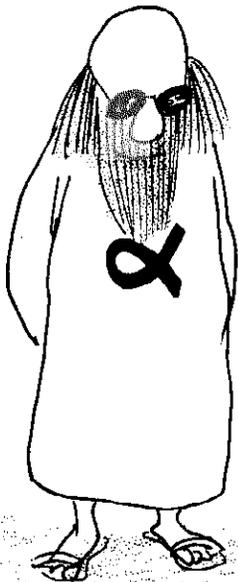


Siehe da, die Proto-Sternhaufen fragmentieren.

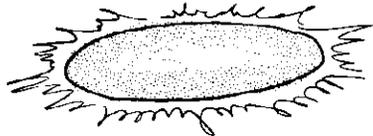


Warum?

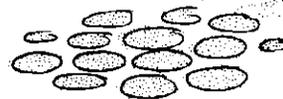
Unter dem Einfluß der Gravitationskraft neigt Materie dazu, in "Zellen" zu fragmentieren, deren Radius durch die Jeans-Länge gegeben ist. Diese geht mit der Temperatur einher. Wenn die Temperatur plötzlich fällt, nimmt die Jeans-Länge schnell ab und unterschreitet den Radius des Objekts. Daher findet eine sofortige Fragmentierung statt.



Klumpen kontrahiert & wird heiß.



Plötzlich strahlt er in UV.



Dadurch wird er kälter und fragmentiert.

Hier haben wir es mit einer hierarchischen Fragmentierung zu tun, aber in die andere Richtung.

Und wo wird das enden?

Fusion

Probieren geht über Studieren. Ich werde Materie in diesem Zylinder komprimieren, wir werden sehen...

Ich ahne's schon...

WUUM!

Was ist passiert?

Es ist Fusion, mein Schatz. Wenn Du Wasserstoff komprimierst, schmelzen die Atomkerne zusammen und Energie wird freigesetzt. Warum hast Du mich nicht gefragt?...

Schaut mal, das haut einen um!

Die Sterne entzünden sich.

Wird's lange dauern?

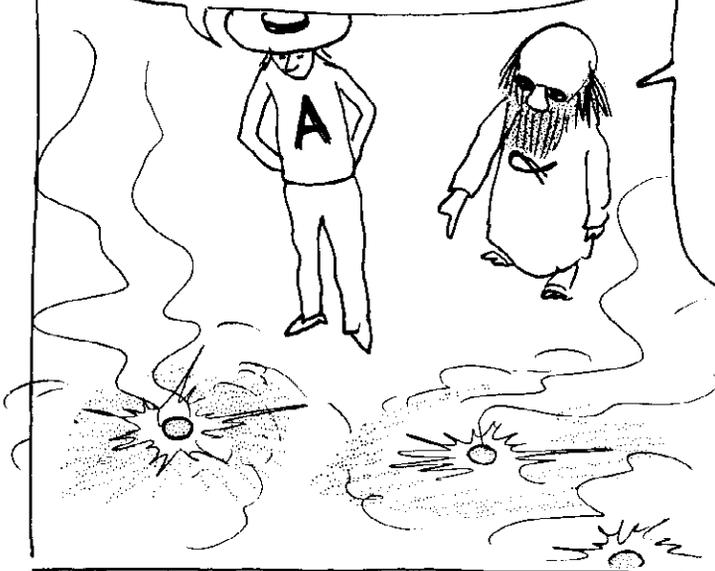
Bei diesem Höllenrythmus würden unsere Babies bald keinen Wasserstoff mehr haben. Aber es wird nicht lange dauern, bis es sich beruhigt.



Da bin ich aber beruhigt!

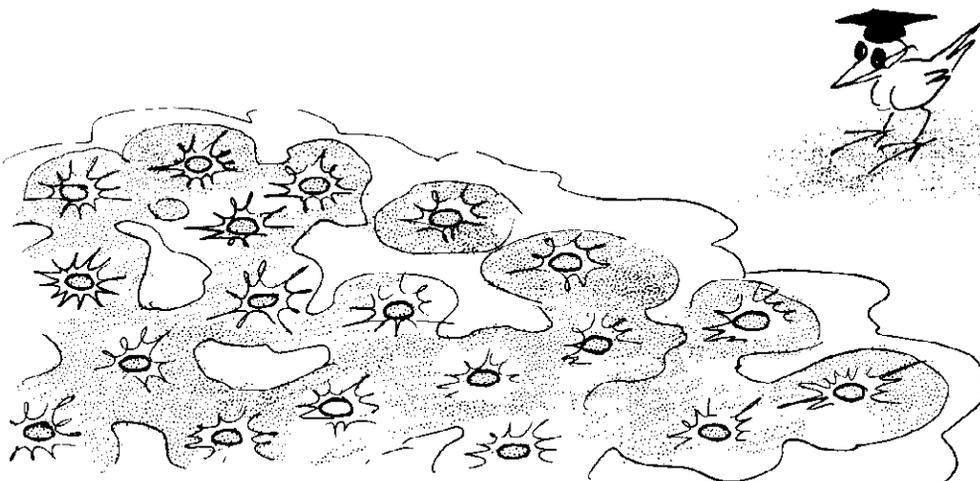


Wird so die ganze Materie zum Stern?



Nicht wirklich. Wenn ein Stern geboren wird, strahlt er wie verrückt und bläst auch Materie um sich herum. Dadurch wird die umgebende Materie aufgeheizt und im thermodynamischen Sinne homogenisiert. Dadurch wird auch alles auseinandergenommen, was gerade dabei war, sich zusammenzusetzen.

Anders gesagt ist die **Galaxie** in diesem Stadium eine Mischung aus sehr strahlungstarken Sternen und aus **Residuengas**.



Sterne strahlen Energie ab und heizen das umgebende Gas. Damit erhöhen sie auch seinen Druck...

Galaxie



...und diese Druckkräfte blähen das Gas-Halo auf.



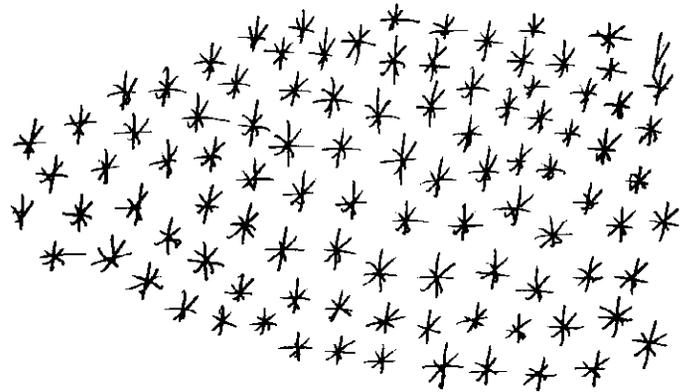
Sternen-Galaxie

Diese "galaktische Atmosphäre" dehnt sich viel weiter aus als die bloße "Sternen-Galaxie".

Residuengas



Diese sehr massereiche Galaxie (tausend Milliarde Sternen) scheint ihr ganzes Gas verloren zu haben. Warum?

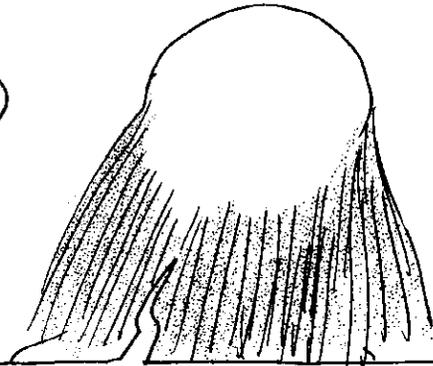
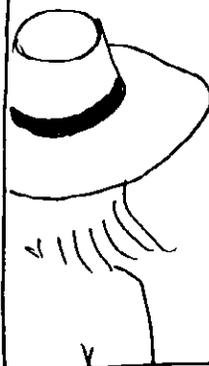


Ja, stimmt! Wohin ist ihr Residuengas verschwunden?



Vielleicht gab's vom Anfang an gar keins?...

36



Nun hat es sich beruhigt. Aber als die tausend Milliarden Sternen dieser Galaxie auf einmal gezündet haben, war das ein wahrhaftiger **Ofen**.

Und so hat die **Geschwindigkeit der thermischen Bewegung der Moleküle** (*) mehrere hundert Kilometer pro Sekunde erreicht, einen Wert, der größer als die **Fluchtgeschwindigkeit** ist. Alle Atome des Residuengas haben dann die große Delle der Galaxie verlassen.

Druckkräfte haben sozusagen das Gas aus der Delle geschleudert.

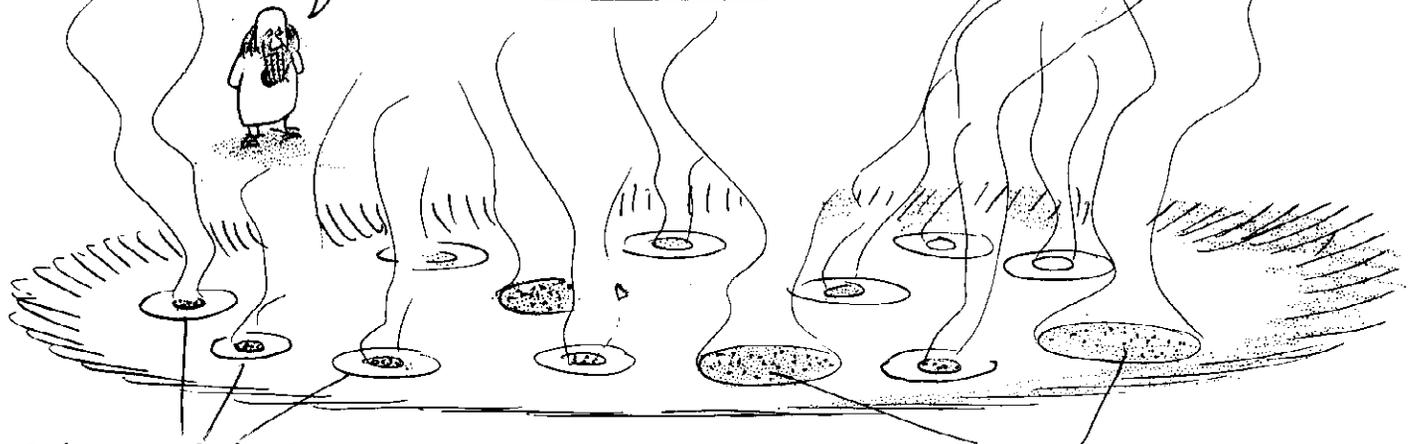
Ich nehme an, es wird eines Tages in die Delle zurückfallen?

Nein, es wird niemals zurückkommen, denn die Teilchen aus dem Residuengas sind zu schnell geworden und haben sich zu sehr entfernt. Hinzu kommt, daß das Gas sich so sehr ausgedehnt hat, daß es sich sehr verdünnt hat.

Was zur Folge hat, daß die Atome nicht mehr aufeinander treffen und... für alle Zeiten ihre *Geschwindigkeit* beibehalten werden.

(*) Siehe: Warum kann ich nicht fliegen?

Alle Galaxien eines **Galaxienhaufens** befinden sich also in diesem diffusen, sehr verdünnten Medium, das eine Temperatur von mehreren Millionen Grad erreicht.



Schwere Galaxien

Leichte Galaxien

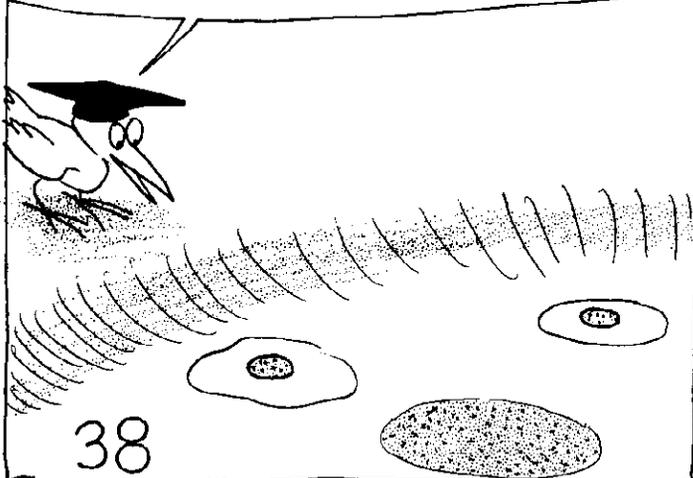
Leichte Galaxien bilden weniger heftige Öfen. Sie behalten ihr Gas.



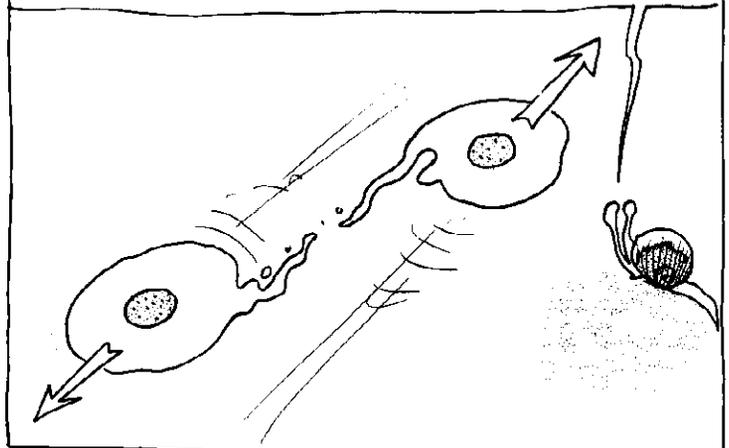
Sie entwickeln sich in der Delle des Galaxienhaufens wie Eier in einer heißen Bratpfanne.



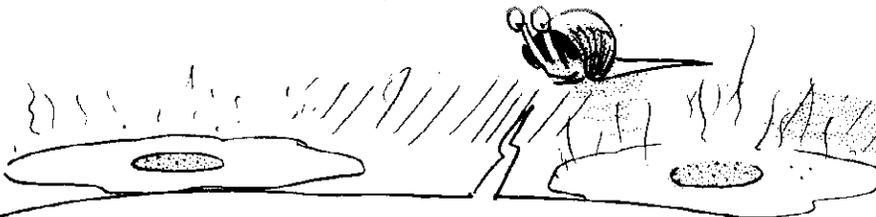
Die leichten Galaxien besitzen "Eiweiß" und "Eigelb". Dagegen besitzen die schweren Galaxien, die man auch **elliptisch** nennt, nur fettes Eigelb.



Die Halos an Residuengas der leichten Galaxien erhöhen die Chance dieser Objekte zu wechselwirken. Dadurch ist die Rotationsbewegung der Gashalos betont.



Die Sterne haben sich sehr beruhigt. Verglichen mit dem, was sie bei ihrer Geburt veranstaltet haben, sind das bloße Aschenfeuer geworden.



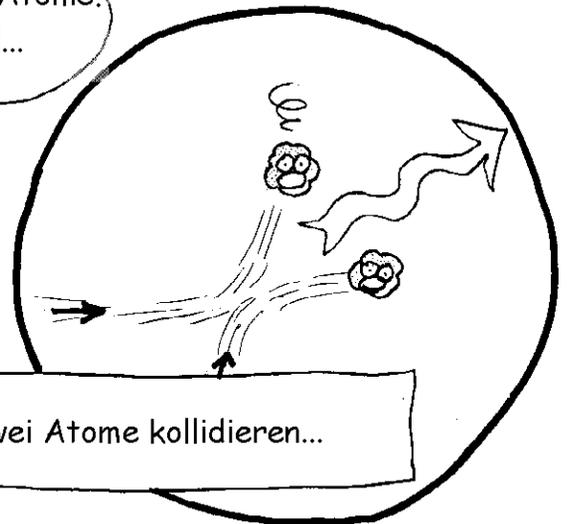
Wenn sie so weiter gemacht hätten, wären sie sehr kurzlebig gewesen.

Das Residuengas der leichten Galaxien strahlt ja...

Was verursacht diese Strahlung?



Das sind die Atome. Schau mal...



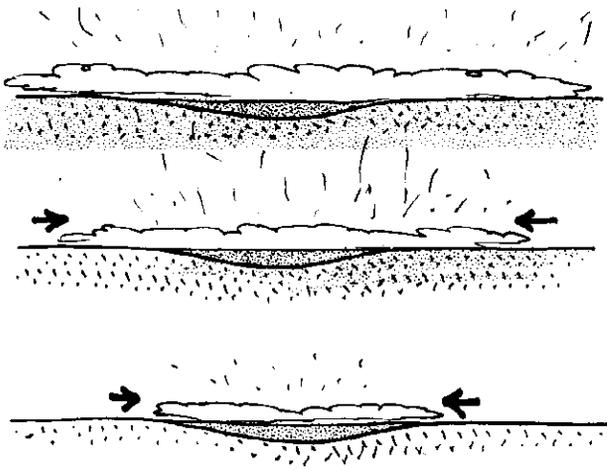
Zwei Atome kollidieren...

...was ja Strahlung verursacht. Bei diesem Vorgang wird ein Teil der kinetischen Energie der Atome in Strahlung umgewandelt.

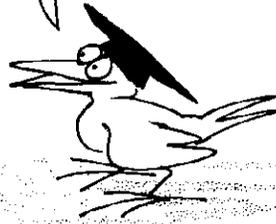
Die Geschwindigkeit der thermischen Bewegung der Atome nimmt ab. Die Gasmasse wird **kühler**. Und **Temperatur** ist ja mit **Druck** korreliert.



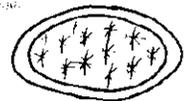
Von der Strahlung induzierte Kühlung des Gases



Da der Druck abnimmt, kommt das interstellare Gas brav zurück in die "Galaxien-Delle".



Das "Eiweiß" ist auf das "Eigelb" geflossen.



Das hier vorgestellte Modell bildet eine 2 dimensionale Darstellung. (Die dritte Dimension wurde dazu benutzt, die Krümmung, das Gravitationsfeld usw. darzustellen.) Galaxien sind aber dreidimensionale Objekte. Galaxien, die nicht oder wenig rotieren, werden eher kugelig bleiben und wie eine **Sphäre** aussehen. Galaxien, die sich schnell drehen, werden dagegen abgeflacht und wie ein Pfannkuchen aussehen. Unsere Galaxie, die **Milchstraße**, dreht sich um die eigene Achse in 200 Millionen Jahren.

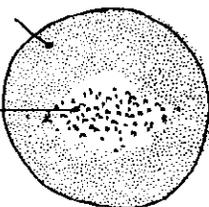
Wenn das Residuengas auf seine Galaxie zurückfällt, verhindert die Zentrifugalkraft seine radiale Verdichtung. Dagegen wirkt nichts gegen eine Verdichtung entlang der Drehachse. Daher zeigt das interstellare Gas in Galaxien die Form einer sehr abgeflachten Scheibe.

Heißes Gas

Kaltes Gas

Sterne

Sterne



*Gez.
Die Geschäftsführung*

Wenn ich richtig verstanden habe, gibt es im Universum zwei Haupttypen von Galaxien:

- * Schwere, elliptische Galaxien, die fast kein Gas besitzen
- * Leichtere Galaxien mit zehn bis hundert Milliarden Sternen, die aus einer Mischung von zwei Gasen bestehen: Das Sternengas und das interstellare Gas.

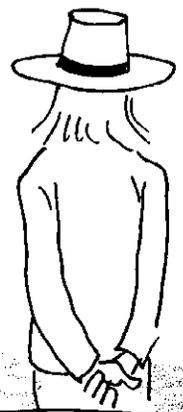
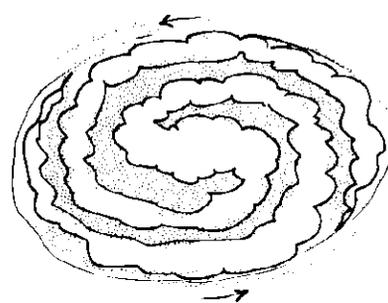
Die **stellare Suppe** enthält so viele Sterne, daß diese in der Tat als **Moleküle eines "Sternengases"** aufgefaßt werden können.

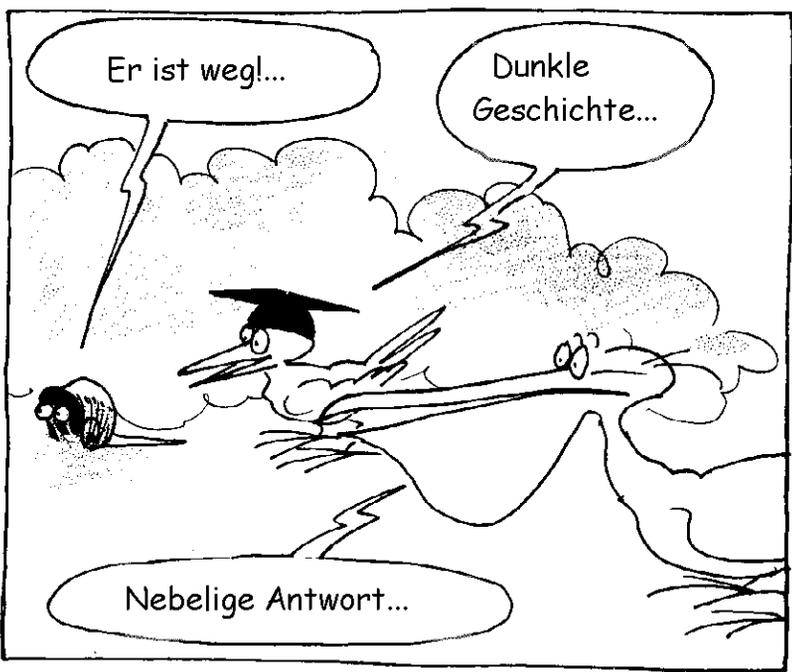
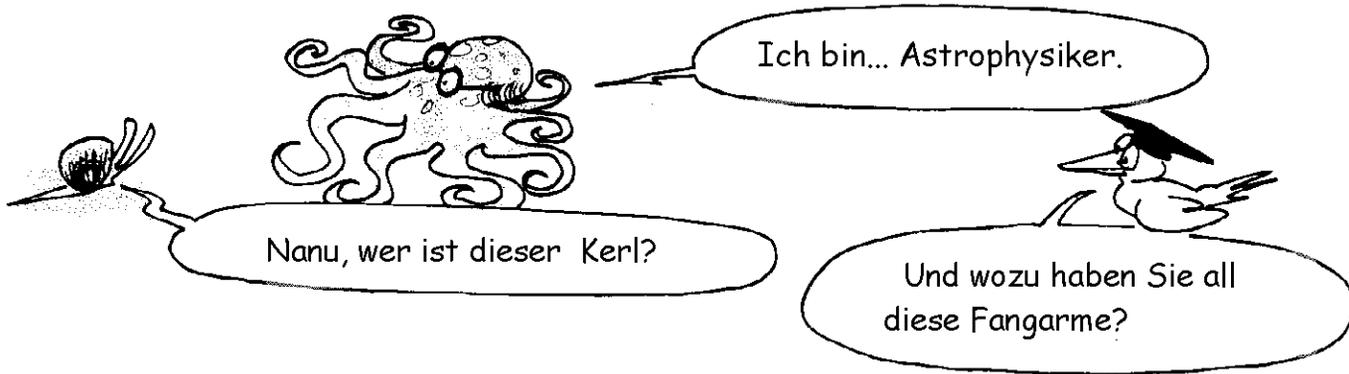
Die Spiralstruktur

Schaut mal! Etwas Sonderbares geschieht: Das interstellare Gas und das "Sternengas" drehen sich nicht mit der selben Geschwindigkeit. Dadurch wird das interstellare Medium heterogen.

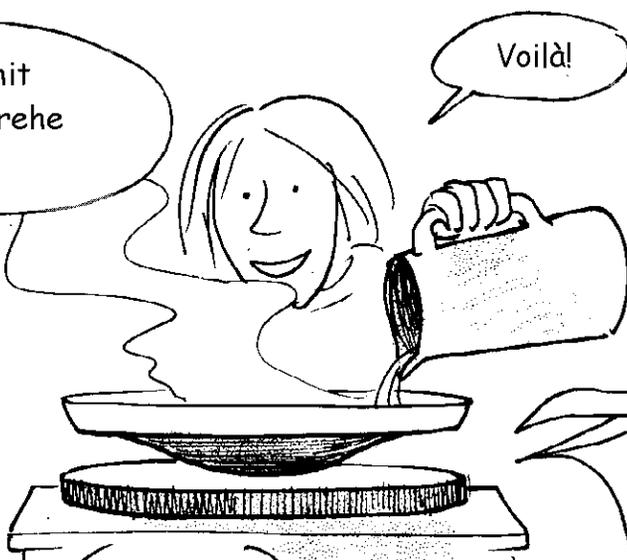
Das Residuengas rotiert schneller!

Es bildet Filamente, die eine Spirale zeichnen.









Ich fülle die Pfanne mit einer Flüssigkeit und drehe das Ganze...

Voilà!



Die Bratpfanne stellt das stellare Medium dar und der Kaffee ist das interstellare Residuengas. Wenn ich die Pfanne abbremse, dreht sich der Kaffee **schneller** als die Pfanne und **spiralförmige Wellen** treten in Erscheinung.



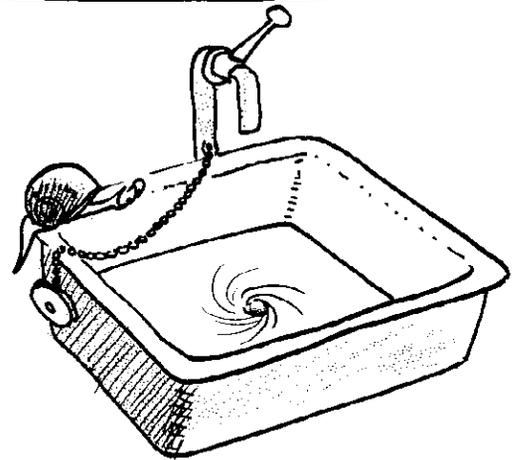
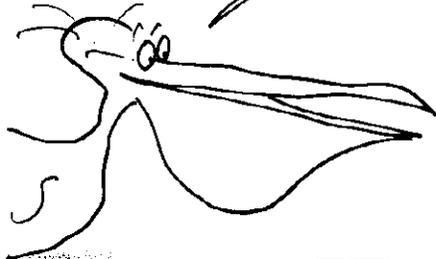
Die **Spiralstruktur** der mit Residuengas gefüllten Galaxien wäre dann auf ein Phänomen von **dynamischer Reibung** zurückzuführen. Zwei Gase: das **interstellare Gas** und das "**Sternengas**" drehen sich mit unterschiedlichen **Geschwindigkeiten** und "**reiben**" aneinander, genau wie die Flüssigkeit auf dem Boden der Bratpfanne reibt...



...genau wie Kaffee am Rand einer Tasse reibt.

Aber warum weisen die **elliptischen** Galaxien keine Spiralstruktur auf?

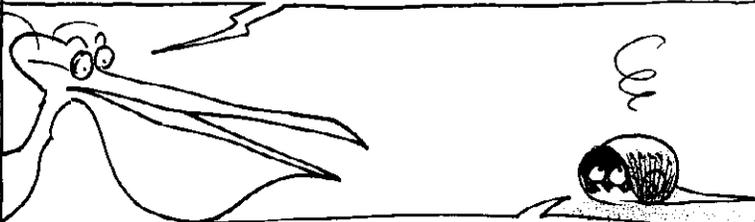
Einfach deswegen, weil sie kein **Residuengas** besitzen. Sie haben es gänzlich verloren, als deren **ersten Sterne** gezündet haben.



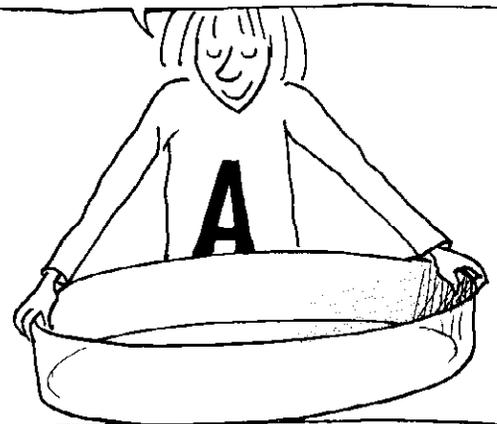
Es ist ebenfalls ein Phänomen von **dynamischer Reibung**, die die Spiralstruktur erzeugt, wenn man ein Waschbecken leert.

Sagt mal, das ist ganz schön schlimm, was Ihr da sagt! Demnach könnte der Schlüssel zum Rätsel der Spiralgalaxien auf dem Boden eines Waschbeckens oder einer Kaffeetasse liegen?

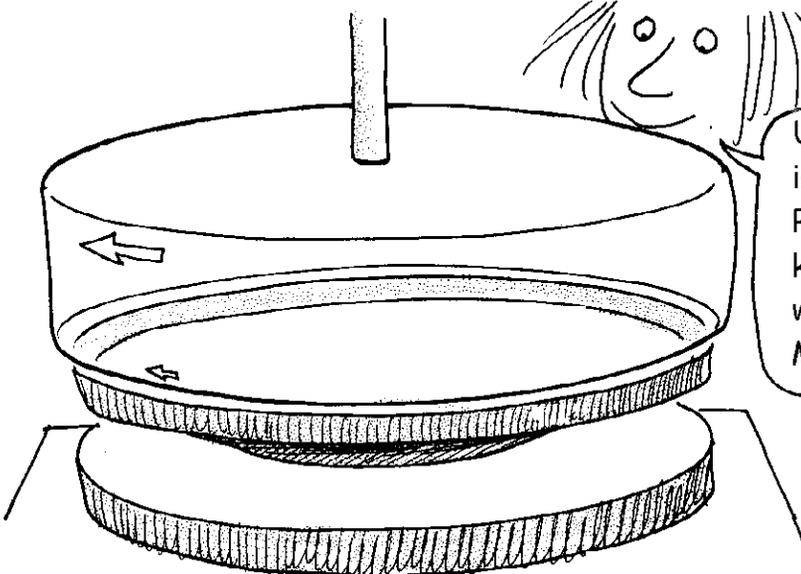
Bisher haben wir eine Flüssigkeit mit einer starren Wand wechselwirken lassen. Versuchen wir es nun mit einem System, in dem eine *Gas*masse und eine Flüssigkeit wechselwirken.



Sind Galaxien vielleicht bloße kosmische Abflüsse?



Unter dieser *Glocke* habe ich ein Gas isoliert und habe eine Flüssigkeit in die Pfanne gegossen. Anhand dieses Systems kann ich untersuchen, was geschieht, wenn eine *Gas*masse und ein anderes Medium wechselwirken.

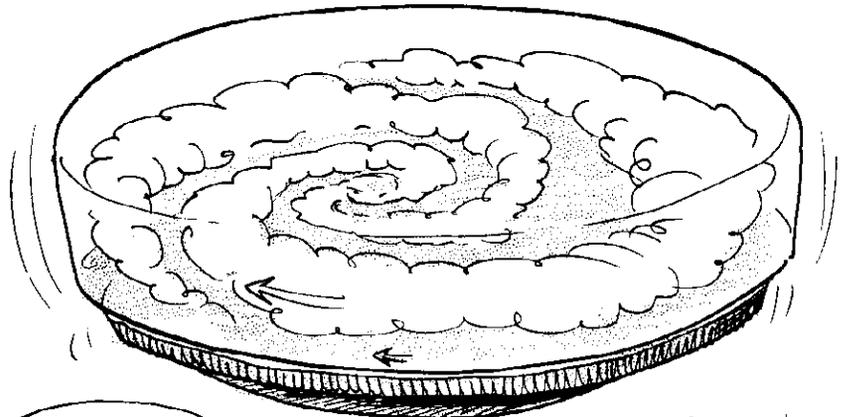


Die Gas-Flüssigkeit Reibung ist relativ schwach. Du wirst nur sehr kleine lokale Fluktuationen der Temperatur und des Drucks erzeugen können: allerhöchstens ein paar Prozente...



Ja, aber mein Gas ist mit Wasserdampf gesättigt. Die kleinste Temperaturänderung wird dazu führen, daß das Wasser **kondensiert**. (*)

Schaut mal! Anselm hat einen wunderschönen künstlichen Zyklon erzeugt.

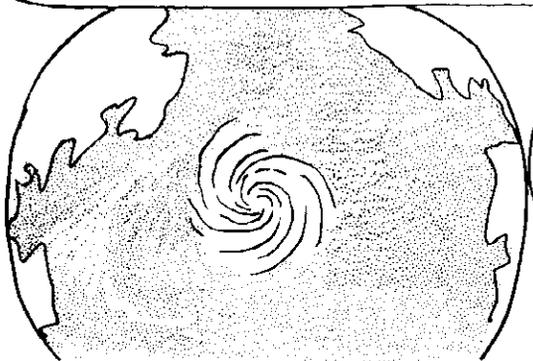


Sehr schön!



Max, Du hast ja recht!

In einem Zyklon "reibt" eine feuchte Luftmasse auf den flüssigen Boden, was Druck- und Temperaturänderungen erzeugt, welche die Kondensation des Wasserdampfs verursachen. Erst dieses **Sekundärphänomen** verrät sehr eindrucksvoll das spirale **Primärphänomen**. (**)



Gut, aber was hat das mit Galaxien zu tun? Schließlich ist die Spiralstruktur noch lange keine Wolke aus Wasserdampf?

46 (*) **Superkritischer Dampf**

(**) Im Übrigen erzeugt dieses Phänomen Wärme und versorgt somit das Zyklon mit Energie. (Aber das ist eine andere Geschichte...)

Kommen wir zurück zu unserem **Modell** einer *Galaxie*. Eine *Gasmasse*, die das "**Sternengas**" darstellt, rotiert in einer "**Delle**". Darüber sitzt das **Residuengas**, das ein bißchen schneller rotiert. Daraus entsteht ein Phänomen von **dynamischer Reibung**, und die **Massenverteilung** ändert sich, weil die Störung eine **spirale Geometrie** besitzt.

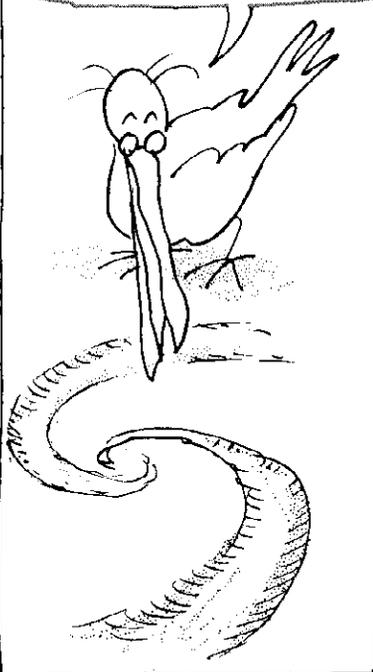


Jegliche **Materiekonzentration** (aus Sternen oder aus Gas) vertieft die Delle im Schaum ein bißchen mehr. Da, wo **Masse** ist, da gibt es eine **Krümmung**.



Anders gesagt, entstehen eine Art spiralförmige Täler, wo sich das Gas ansammeln kann.

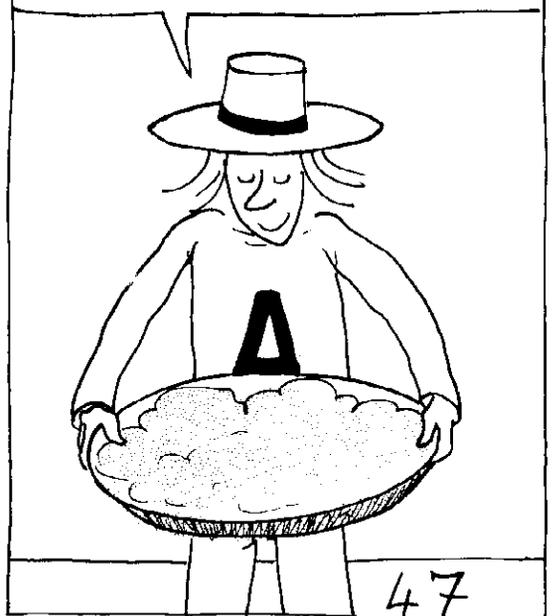
Aber ich sehe immer noch keine Konzentration von Wasserdampf...



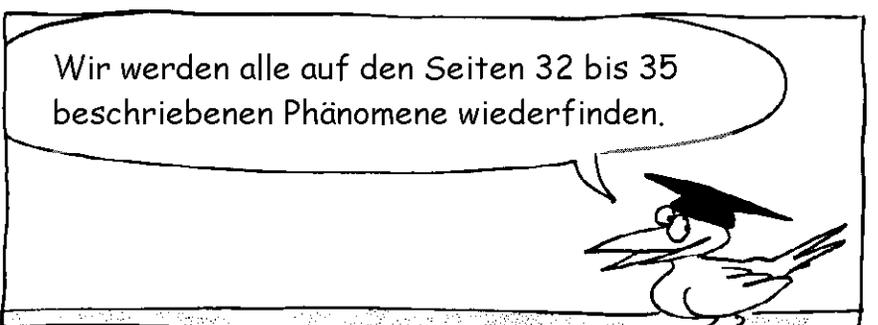
Sammeln wir ein bißchen interstellares Gas ein...



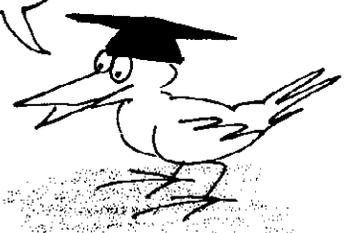
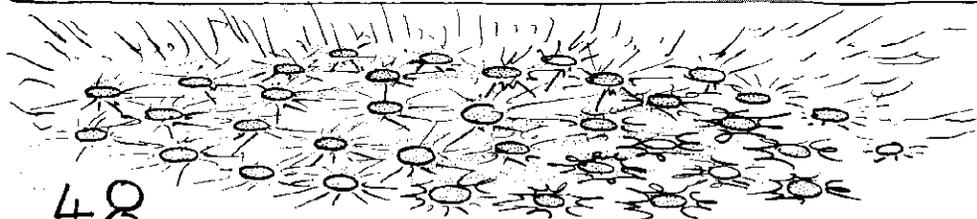
...und schauen wir mal, was mit dem interstellaren Gas geschieht, wenn es in diese Art "Täler" fällt...



Der galaktische Metabolismus

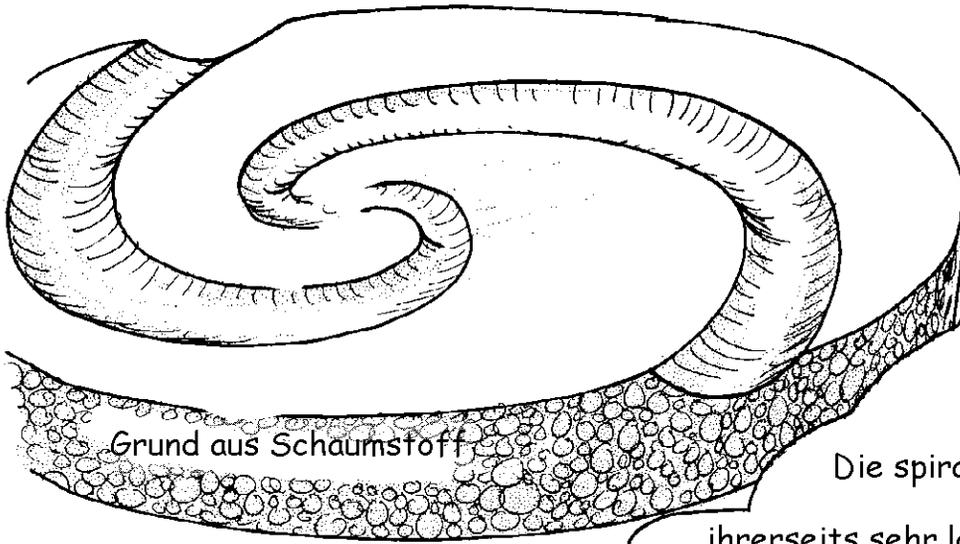
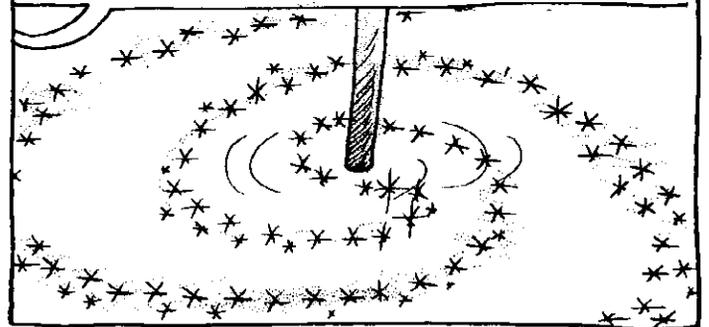
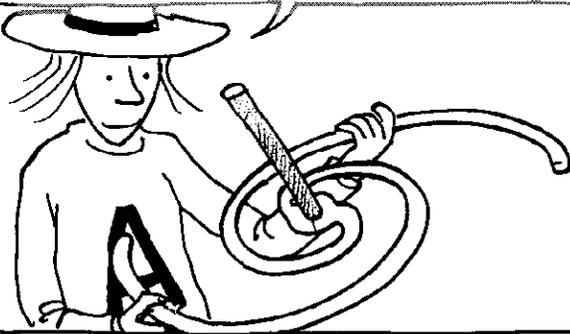


...zünden und Sekundärsterne erzeugen.



Mit dieser Art Schablone werde ich diesmal ein **Tal** nachmachen.

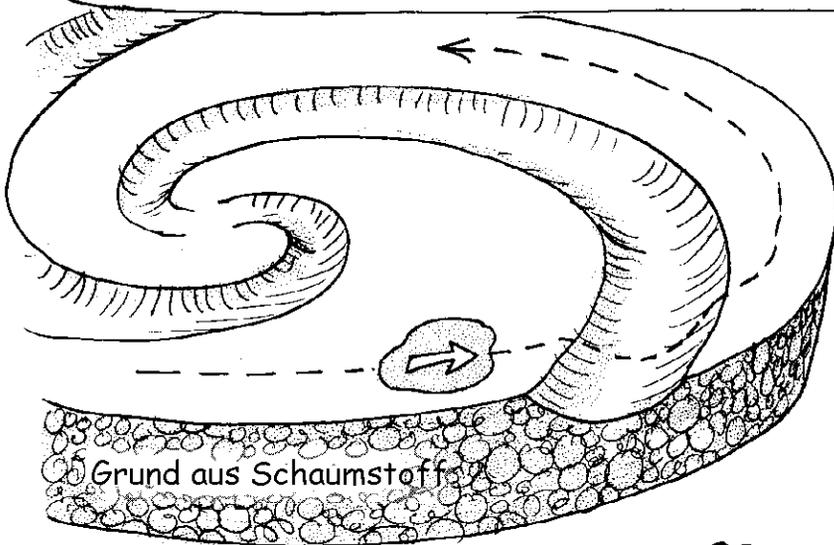
Es geschieht das Gleiche: Sterne entstehen in den Dellen, in diesem Tal.



Anselm hat recht.

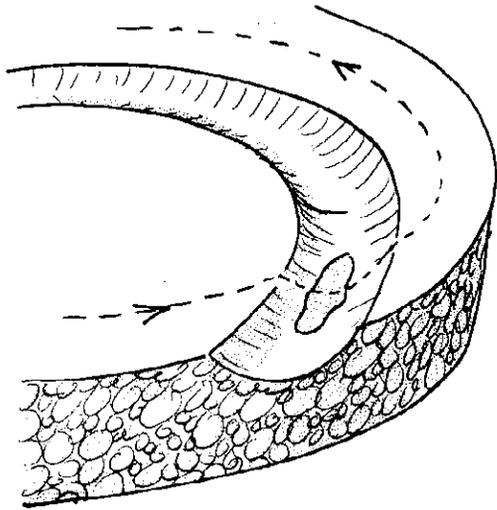
Die spiralförmige Störung, die sich ihrerseits sehr langsam dreht, erzeugt diese

Art Täler, die nicht sehr tief sind (einige Prozent der gesamten "Galaxie-Delle").

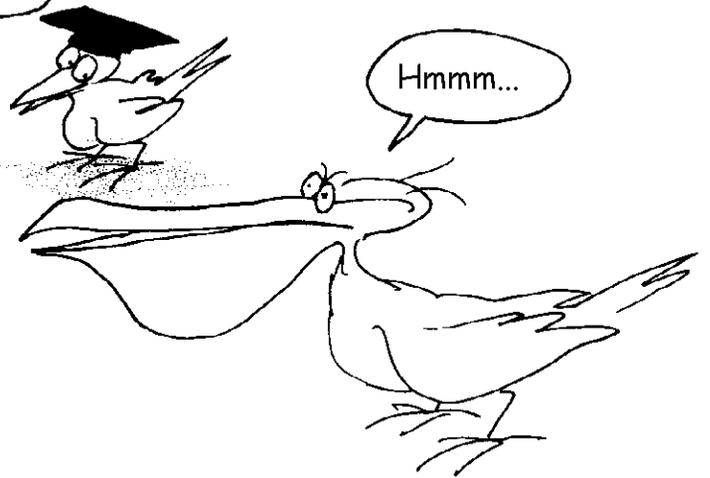


Das interstellare Gas rotiert schneller als die spiralförmige Störung. Hier sehen wir eine Gaswolke, die kurz davor ist, in diese Art "Tal" rein zu rutschen.





Wenn sie das Tal erreicht, wird das Gas komprimiert, was bei der Gelegenheit ein paar **Sterne der zweiten Generation** erzeugt. Dann kommt die Wolke ruhig aus dem Tal. Die **Spiralarms** sind also der Geburtsort neuer Sterne.

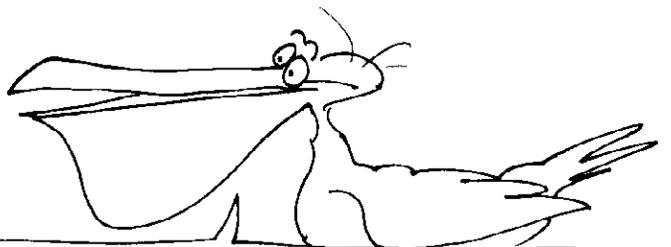


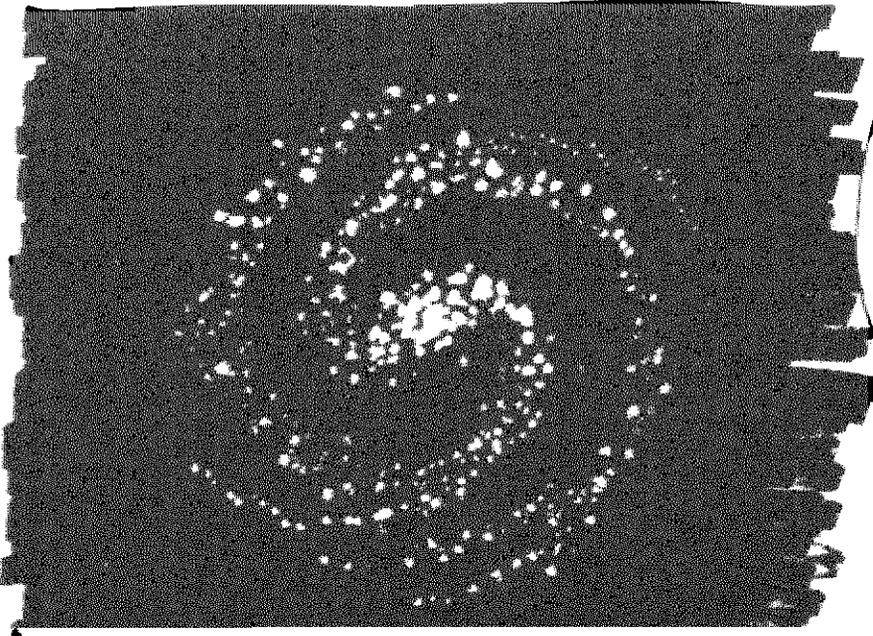
Die Zyklone des Universums

Bei irdischen Zyklonen ist die ursprüngliche Störung zwar schwach, aber die Atmosphäre ist feucht, daher **instabil**, und verrät das Phänomen durch Kondensation des Wasserdampfs.



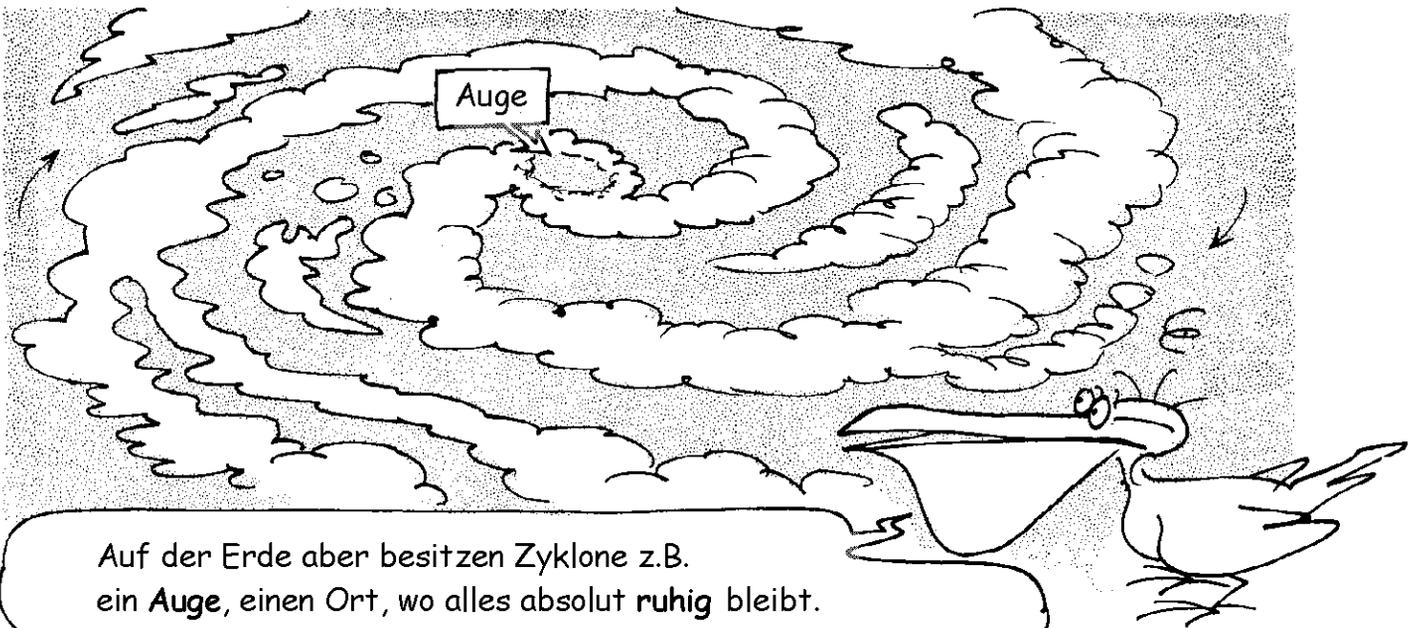
In den Galaxien ist die ursprüngliche spiralförmige Störung ebenfalls schwach. Aber das interstellare Gas ist **instabil** und verrät das Phänomen durch Kondensation der Materie.





Solche junge, sehr heiÙe Sterne findet man aber nur in den Spiralarmen, wo man deren Anwesenheit daran bemerkt, daÙ sie das interstellare Gas stark beleuchten...





Auf der Erde aber besitzen Zyklone z.B. ein **Auge**, einen Ort, wo alles absolut **ruhig** bleibt.

Na ja, stell Dir vor: Die Spiralgalaxien, diese Zyklone des Planet-Universums, besitzen ebenfalls ein **zentrales Auge!**



Die differentiale Drehung

Kommen wir zurück zur Kaffeetasse.



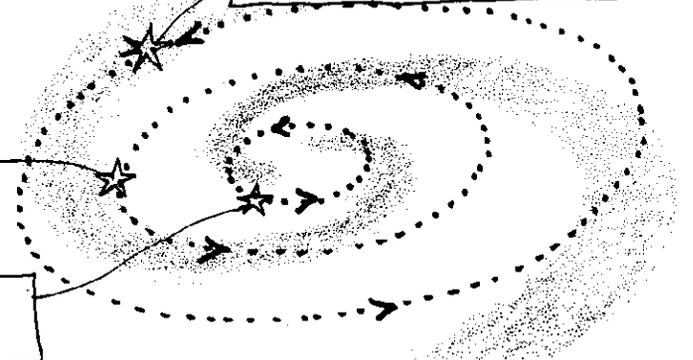
Es ist wie in einer Tasse Kaffee: Die Objekte in einer *Galaxie* drehen sich nicht alle mit der selben **Drehgeschwindigkeit**. Unsere Sonne befindet sich am Rande der *Galaxie* und braucht **200 Millionen Jahre**, um eine Umdrehung hinter sich zu bringen.



1 Umdrehung in 100 Millionen

Eine Umdrehung in 50 Millionen Jahren

Sonne: Eine Umdrehung in 200 Millionen Jahren



Also, kurz gesagt, dreht sich die Mitte einer Galaxie schneller als deren Rand.

Ihr seht ja, das sind Waschbecken!

Seit Tiresias fast in einem schwarzen Loch verschwunden wäre, ist das bei ihm zur fixen Idee geworden!

Das ist aber nicht dumm! Es gibt ja viele anerkannte Leute, die denken, es gäbe in der Mitte der Galaxien ein großes schwarzes Loch...

Da ist eine "ECHTE" Galaxie mit Bewegungen in allen drei Dimensionen.

Grob gesagt: Die Sterne, die ja Teilchen aus dem "Sternengas" sind (und daher als "Moleküle" angesehen werden können), fliegen bei jeder Umdrehung durch die ultra-flache Gasscheibe durch.

Dies erklärt, warum die Wechselwirkung zwischen Sternen und interstellarem Medium relativ schwach bleibt.

Ich nehme an, daß es daran liegt, daß sie nur dann mit dem Gas wechselwirken, wenn sie die flache Scheibe durchqueren?

Gasscheibe

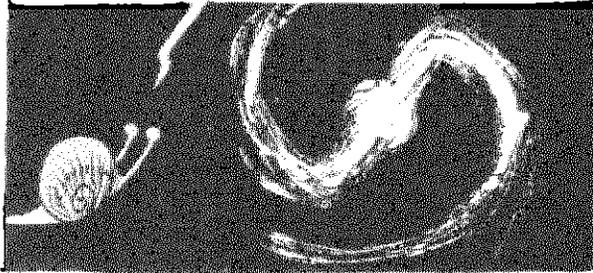
Korrekt!

In der Mitte der Galaxien gibt es erstens mehr Sterne, und zweitens ist ihre Rotationsperiode um das Zentrum kleiner.

In dieser Region ist also die Wechselwirkung, die Reibung des stellaren Mediums auf das interstellare Medium größer.

1 Umdrehung in 50 Mill. Jahren

Daher ist diese Struktur in der zentralen Region ausgeprägter und kann sogar die Gestalt einer Balken annehmen.



Kommen wir zum Gas zurück. Was passiert, wenn ich einen Klumpen interstellares Gas so los lasse?

Diesmal tut man gar nichts!

Man guckt nur zu!

Durch Strahlung kühlt das Gas von selbst ab. Dadurch nimmt seine Jeans-Länge ab, und es fragmentiert.

In den Galaxienarmen neigt das Gas dazu, sich in großen Klumpen zu versammeln, deren Radius gleich dem Jeans-Radius ist (*)

(*) In "echten" Galaxien hat auch die Dicke der Scheibe diese Größenordnung.

Aber die Gasklumpen werden weiterhin durch Strahlung abkühlen?

Ja, aber die jungen Sterne, die in diesen Wolken geboren werden, heizen sie wiederum ständig auf.

Wirst gleich sehen. Machen wir eine Experiment. Ich nehme mir eine UV-Lampe.

Willst Du einen Gasklumpen braun werden lassen?

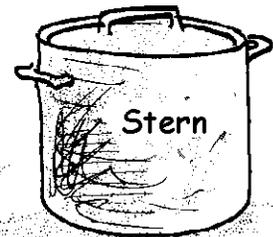
Mit dieser Art Licht wird die von den jungen, sehr heißen Sternen abgegebene Strahlung simuliert, die den Klumpen aufheizt. **Wärme** ist aber mit **Druck** korreliert, und die Druckzunahme bläht den Gasklumpen auf.

Wenn die Energiezufuhr zu plötzlich geschieht, kann ich sogar die Materie so wegblasen, daß der Klumpen auseinander fällt.

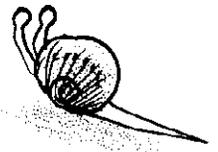
Eine Frage bleibt:
Was ist ein Stern?

Das Phänomen Stern

In der Mitte eines Gasklumpens erreichen die Temperatur und der Druck solch hohe Werte, daß **Wasserstofffusion** stattfindet und viel Energie freisetzt.



Das erhöht den **Druck** in der Mitte des Sterns noch. Vergessen wir nicht, daß Druck nichts Anderes als Energie pro Volumen ist.



Ein **Stern** ist also nichts Anderes als eine Art Kochtopf mit Selbstzündung, der sich auch von selbst aufheizt.

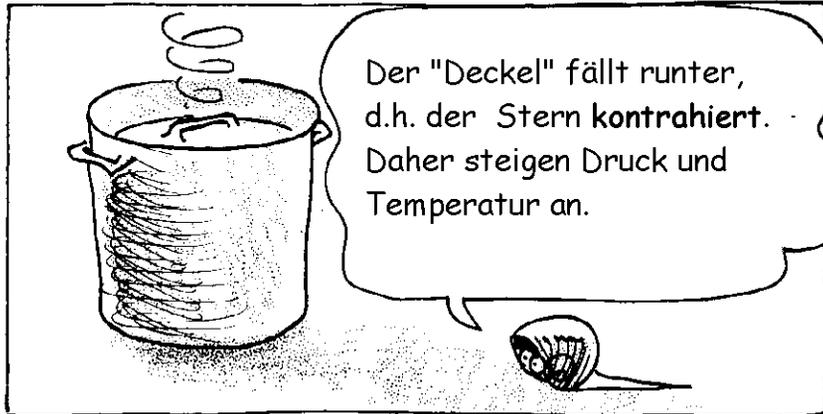
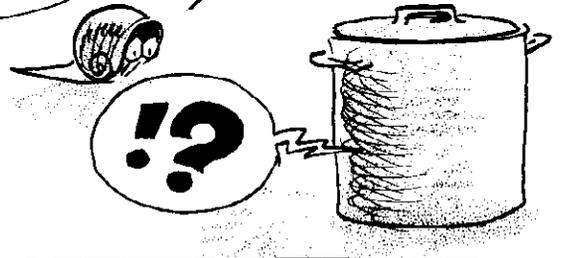
Der **Durchmesser** des Sterns hängt von der freigesetzten Energie ab. Unmittelbar nach seiner Geburt ist ein Stern sehr reich an Wasserstoff. Er brennt dann wie verrückt und bläst sich enorm auf.



Und dann beruhigt sich das Ganze. Der Stern erlebt dann eine lange, relativ ruhige Phase.

Er kocht langsam vor sich hin.

Eines Tages ist der Wasserstoff alle.

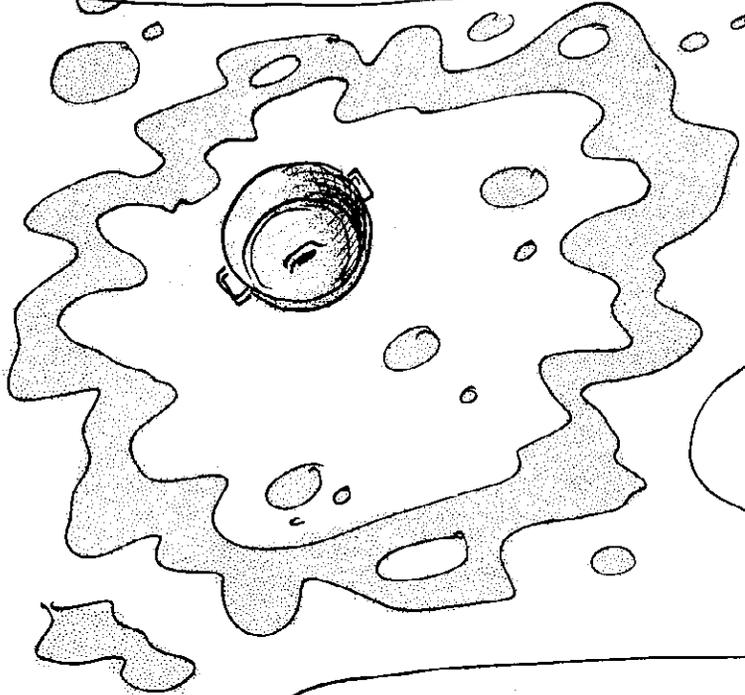


Der "Deckel" fällt runter, d.h. der Stern kontrahiert. Daher steigen Druck und Temperatur an.



Oft explodiert der Stern, denn Fusionsreaktionen, die das entstandene Helium und dann den Kohlenstoff und das Silizium verbrauchen, finden sehr plötzlich statt.

Der Stern wird zu einer Supernova.



Glücklicherweise geschehen in einer Galaxie diese Art Dinge nur etwa ein Mal pro Jahrhundert.

Der Deckel ist auf den Boden des Kochtopfs gefallen. Übrig bleibt nur ein ziemlich kümmerliches Objekt. Trauriges Ende...



Aber Léon: Ein Mal pro Jahrhundert ist SEHR schnell. Vergiß nicht, daß eine Galaxie 200 Millionen Jahren braucht, um sich um die eigene Achse zu drehen.

Verdammt, das ergibt zwei Millionen Supernovae pro... Umdrehung?

Supernovae schleudern ihre Überreste Hunderte von Lichtjahren weit weg. (*)

Da sie irgendwo und irgendwann explodieren, verursachen die Supernovae ein ziemliches Durcheinander im interstellaren Medium...

Und diese Supernovae, versorgen sie auch das interstellare Gas mit Energie?

Peng!

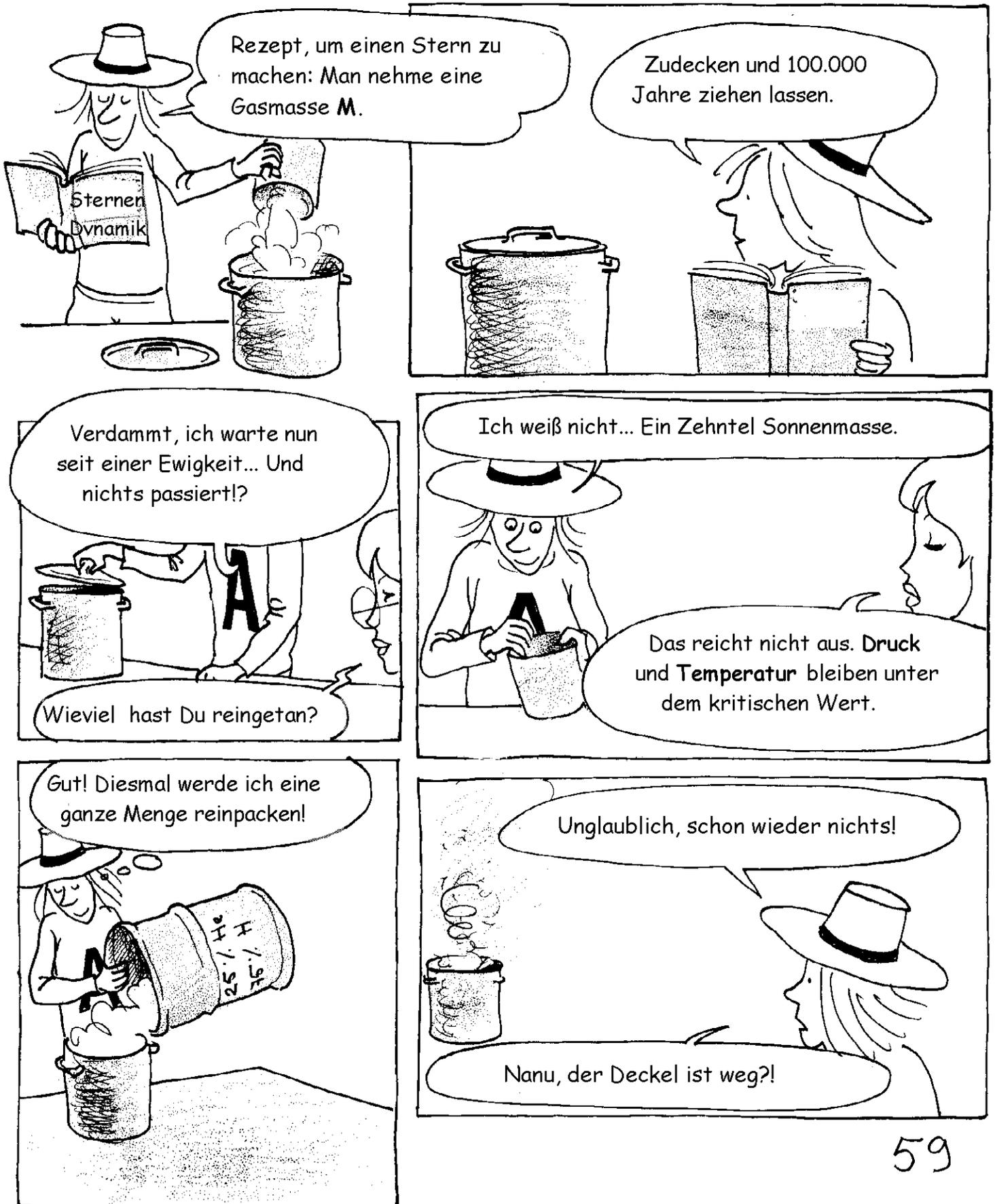
Wieder eine, die geknallt hat

Peng!

Gehen wir woanders hin, wo es ruhiger ist...

Der Durchmesser einer Galaxie beträgt hunderttausend Lichtjahre.

Sternentypen





Da hast Du gewonnen! Ein schwarzes Loch!

Ein typischer Stern hat eine halbe Sonnenmasse.

Ach ja, stimmt! So ist das mit diesem Raum, der nicht solide ist...



So! Nach der etwas heftigen Zündung erreicht nun der Stern seinen normalen Betriebszustand.

Blub!
Blub!
Blub!

Nanu, was ist das schon wieder?



Cepheiden

Blub!

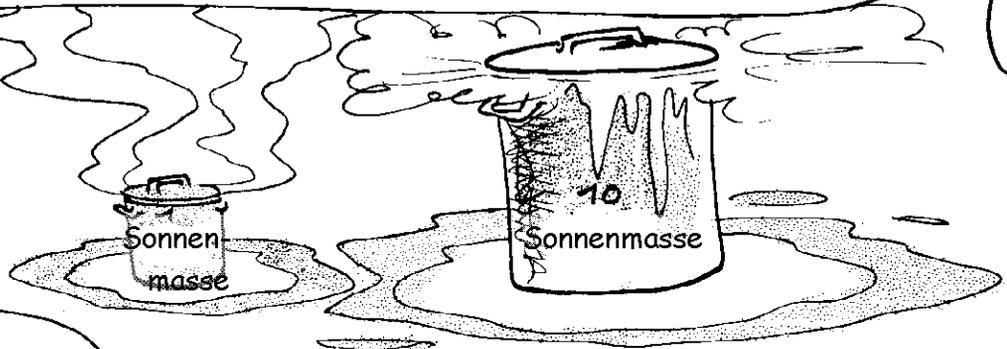
Blub!



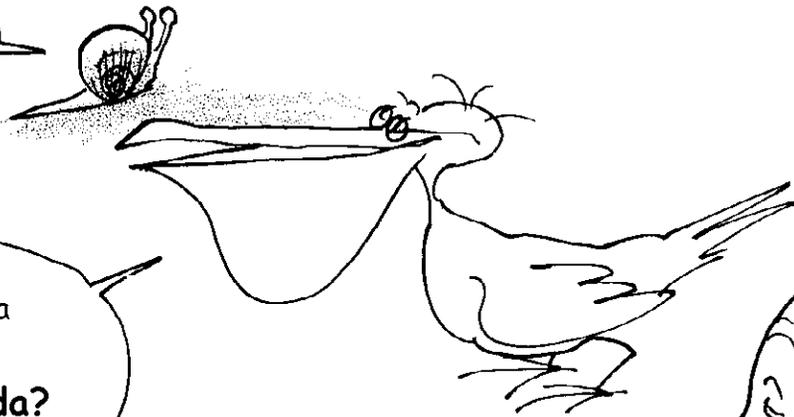
Du hast einen **Veränderlichen**, einen **variablen Stern** gemacht. Sein Durchmesser pulsiert, und bei jeder Pulsation sendet der Stern Strahlung.

Je größer die Masse eines **Cepheid-Sterns** ist, desto länger ist seine Periode. Mittels Parallaxe konnte man die Entfernung dieser Sterne eichen, und damit konnte man dann die Entfernung der Andromeda-Galaxie berechnen.

Je **massereicher** ein Stern ist, desto **schneller** entwickelt er sich. Ein sonnenähnlicher Stern kann Milliarden von Jahren ruhig vor sich hin brennen, während ein junger, massereicher Stern seinen Wasserstoff innerhalb einer einzigen Million Jahre verbraucht. Er stirbt dann mit einer Explosion.



Massereiche Sterne leben gefährlich...



Nun werde ich eine Frage à la Tiresias stellen:
Wozu sind die Sterne da?

Exzellente Frage!

Im Herzen der Sterne werden Atomkerne einem sehr hohen Druck unterworfen. Die **Fusion** vierer Wasserstoffkerne ergibt...



...Helium.

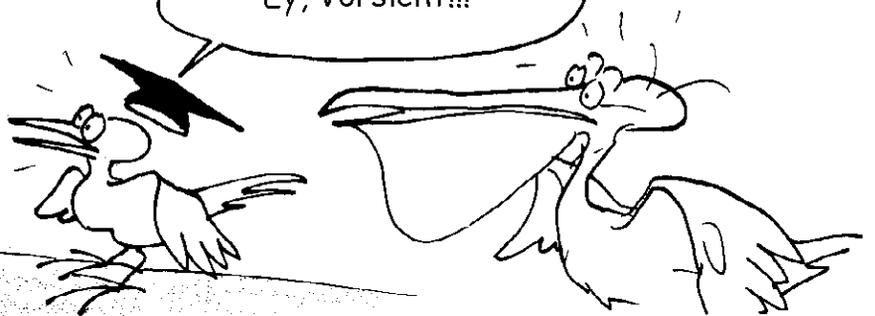
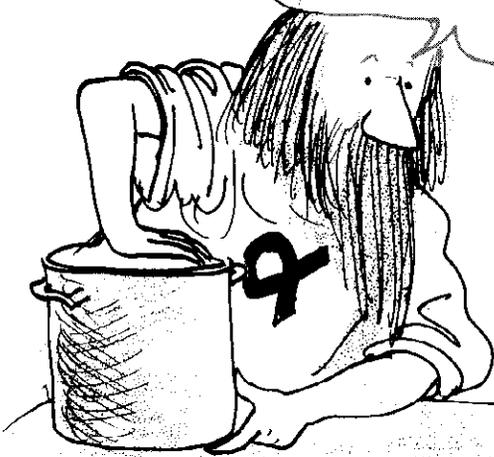


61

Die Sporen des Universums

Dieser Stern ist sehr nahe seinem instabilen Punkt.
Er hat seinen ganzen Wasserstoff verbraucht.
Macht mal Platz, ich werde ihn explodieren lassen.

Ey, Vorsicht!!!



Hübsch,
nicht wahr?

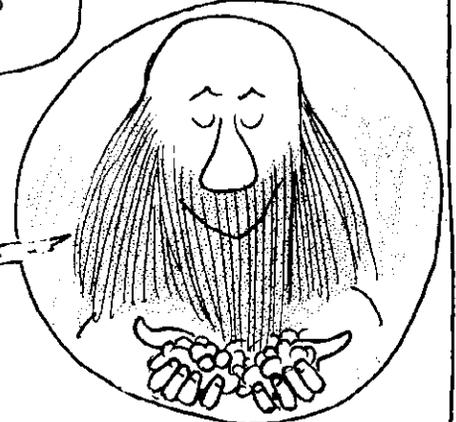
Himmel-
herrgott!



Voilà! Nun können wir
ernten: Sauerstoff,
Eisen, Silizium, alle
Atome der
Mendelejew-Tabelle.

Was macht man aber mit
dieser Nukleosynthese?

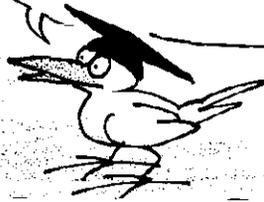
Damit macht
man Leben.



Schwere Atome agglomerieren und bilden mikroskopische **Staubkerne**...



...die als **natürliche Katalysatoren** fungieren werden, um die **ersten Moleküle** zu erzeugen.



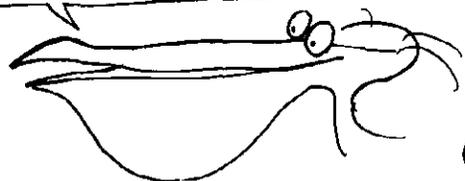
Wolken & Regen

Diese Materie, die die Sterne entweder langsam ausatmen oder bei ihrem Tod explosiv wegschleudern, reichert nun wieder die Masse an interstellarem Gas an.

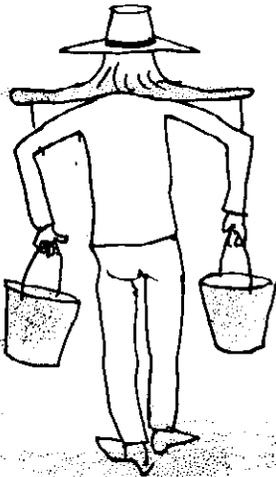
Summa summarum kann ein zufällig ausgewähltes Atom durchaus schon in mehreren Sternen gewohnt haben, besonders, wenn es ein schweres Atom ist.

Dieser Zyklus der Atome in den Sternen geht einher mit einer stetigen Anreicherung an **schweren Elementen**, z.B. an Metallen: Eisen, Nickel, Kupfer.

Und daher: je **jünger** die Sterne sind, desto reicher sind sie an **Metallen!**



Anselm, was machst Du?



Kommt mit...



Es ist Zeit, alles zusammenzufassen, was wir über Galaxien wissen.



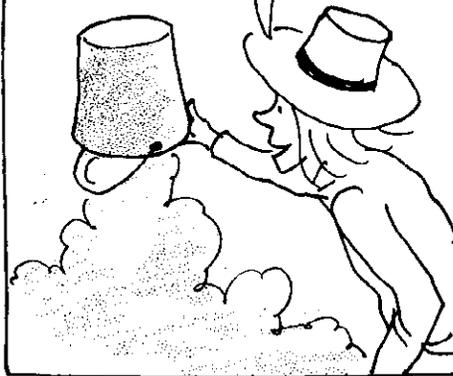
Hier habe ich die besten Beobachtungsdaten.



Zunächst Materie: zweihundert Milliarden Sterne.



Ein bisschen interstellares Gas



Das Ganze gut mischen...

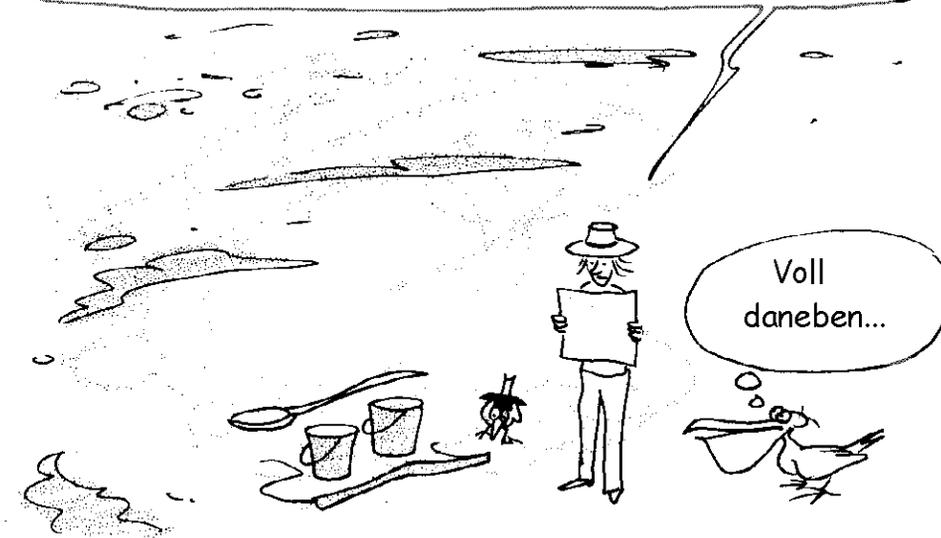


Aber... Was ist los?



Es fliegt alles weg!?

Sophie, ich kann es nicht fassen... Meine Galaxie ist gänzlich auseinandergeflogen. Dabei hatte ich doch die neuesten Beobachtungsdaten benutzt!



Voll daneben...

Die fehlende Masse

In dieser Darstellung ist die Zentrifugalkraft stärker als die Gravitationskraft. Die involvierte **Masse** ist 2 Mal zu klein.

Wenn man die Beobachtungsdaten heranholt, funktioniert das Modell nicht mehr. Das ist sehr ärgerlich

Anders gesagt:
VERLOREN: 200 MILLIARDEN STERNE.
GESUCHT WIRD JEGLICHE
INFORMATION ZUR ERGREIFUNG
DIESER FEHLENDEN MASSE.

Man zählt nur das auf, was man sieht.

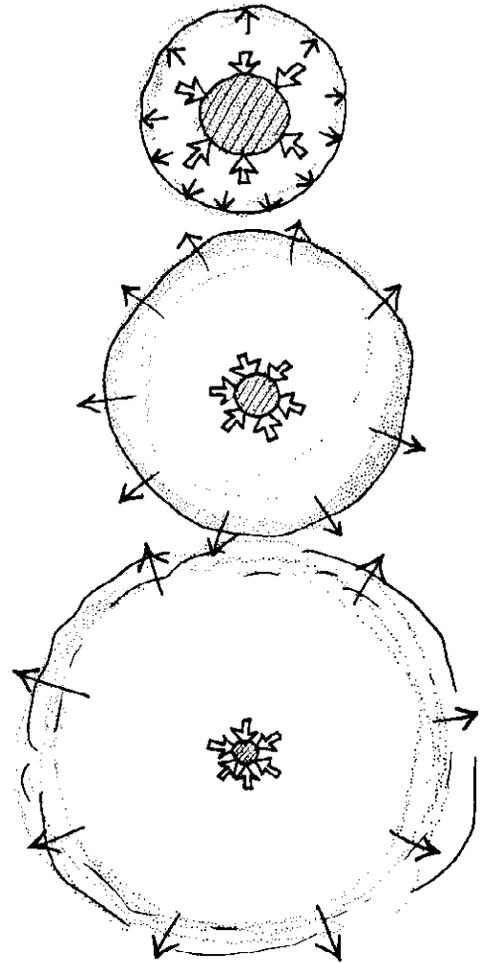
Am Ende seines Lebens, wenn er einen Teil seiner Masse wegschleudert, überdauert der Stern in Gestalt eines Residuum, das man einen **Weißen Zwerg** oder einen **Braunen Zwerg** nennt. Diese strahlen i.d.R. zu wenig, als daß man sie entdecken könnte.

Dies bedeutet also, daß man nicht in der Lage wäre, diese **unsichtbare Masse** wahrzunehmen, die die Asche der ersten Sterne bildet und die gleichzeitig mit der Galaxie entstanden wäre.

Wenn ein Stern als **Supernova** endet, explodiert die Außenschicht des Sterns. Der Rückstoß, der somit entsteht, kann den zentralen Kern derart komprimieren, daß dieser zum **schwarzen Loch** wird.



Schon wieder Objekte, die man nicht beobachten kann..



Gibt es noch diese ersten Sterne, die gleichzeitig mit der Galaxie geboren wurden, und die man dennoch beobachten könnte?

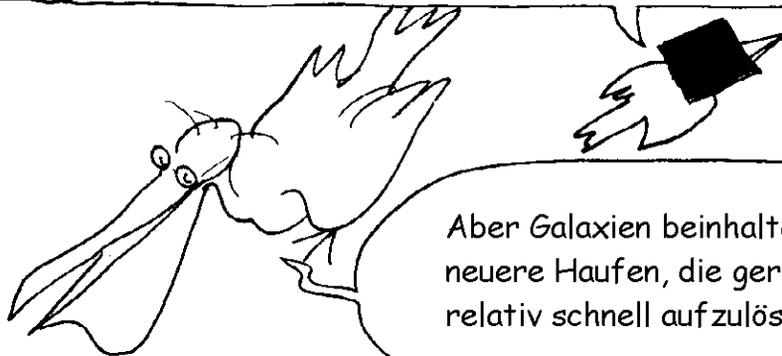
In der Tat existieren in den Galaxien sehr alte Sterne, die sich in **Kugelhaufen** versammeln. Sie brennen seit etwa fünfzehn Milliarden Jahren und existieren in allen Galaxien, welche ihrerseits alle gleichzeitig geboren wurden.

Was die anderen alten Sterne angeht, haben sie sich überall in der Galaxie verstreut, oder aber sind zu weißen oder zu braunen Zwergen oder zu schwarzen Löchern geworden.

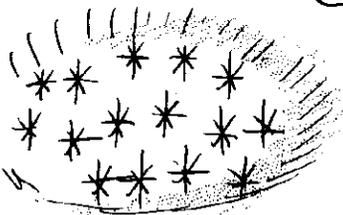


Sternhaufen

Ein Kugelhaufen ist ein Objekt, das etwa hunderttausend Sterne beinhaltet und das so alt wie die Galaxien ist. (*)



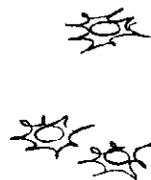
Aber Galaxien beinhalten auch kleine, neuere Haufen, die gerade dabei sind, sich relativ schnell aufzulösen.



Diese Mini-Haufen stellen Dellen dar, deren Ränder wenig ausgeprägt sind, und aus denen zufällig beschleunigte Sterne relativ leicht entfliehen können werden.

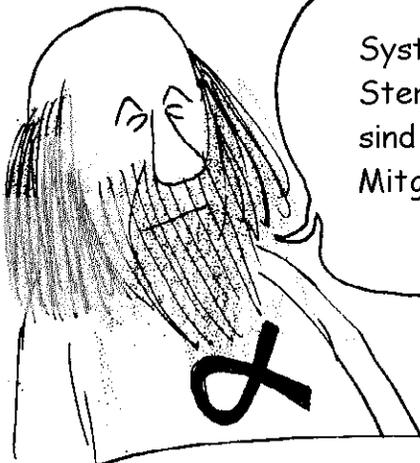


Wenn der Haufen auseinander geflogen ist, fliegen die Sterne zufällig durch die Galaxie, entweder als Einzelgänger oder in Paaren (Doppelsterne).



(*)

Die Verdampfungszeit eines kollisionnellen Haufens ist seiner Masse proportional.



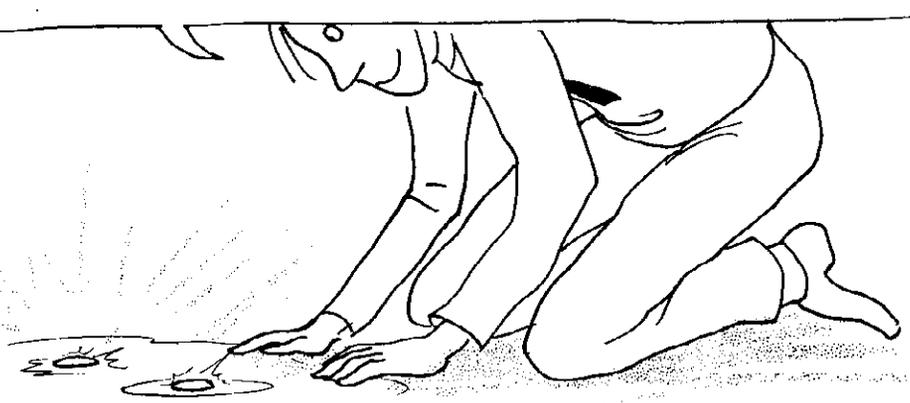
Systeme, die zwei Sterne beinhalten, sind **stabil**, egal, ob die Sterne ähnliche Massen haben oder nicht. Solche binäre Systeme sind in der *Galaxie* sehr gängig und zeugen von einer ehemaligen Mitgliedschaft in einem Sternhaufen.

Ich nehme an, daß *Galaxien* ihre Sterne ebenfalls langsam verlieren?

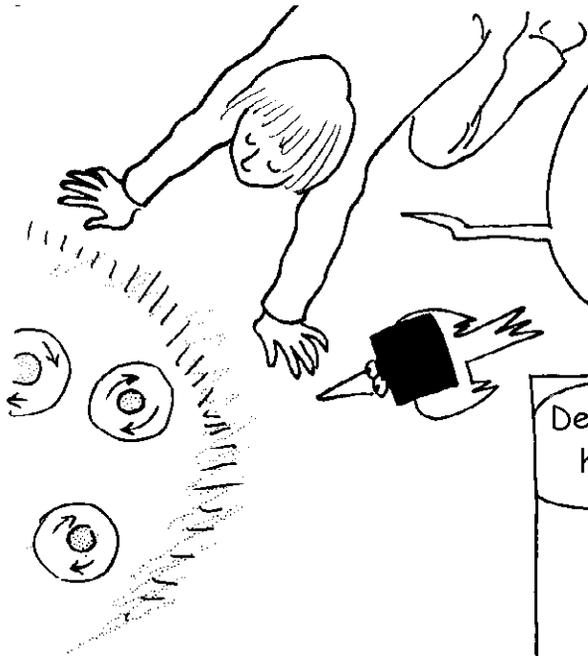
Um dies zu erreichen, müßten manche Sterne durch Kollisionen enorm große *Geschwindigkeiten* erreichen, die größer als die *Fluchtgeschwindigkeit* der *Galaxie* wären. Sterne sind aber durch die *Galaxie* verstreut und bilden ein **nicht-kollisionelles** Ensemble. Sie treffen praktisch nicht mehr aufeinander. Und daher verlieren *Galaxien* ihre Sterne nicht.

Irgendwie erleichtert es mich...

Ich beobachte nun diesen kleinen Sternhaufen, der gerade geboren wurde. Im Grunde genommen verhalten sich die jungen Sterne wie unsere jungen *Galaxien*. Sie sind heiß, von einem kleinen *Gas- und Staubhale* umgeben: sozusagen deren *Atmosphäre*...



Die Planeten



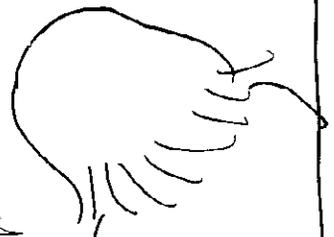
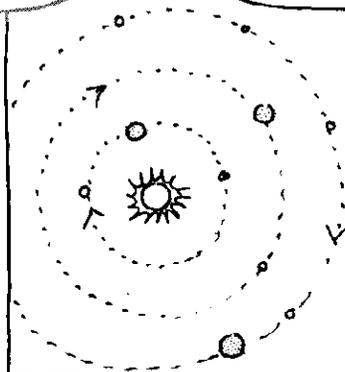
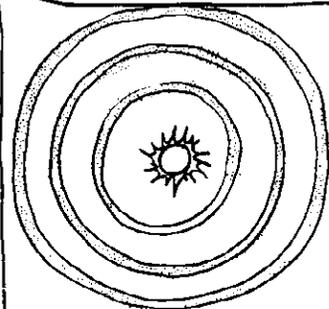
Unsere jungen Sterne fliegen in ihrem Mini-Haufen herum ähnlich wie Spiegeleier in einer großzügig geölten Bratpfanne. Kollisionen bringen deren kleine Halos zum Rotieren.

Der Haufen ist nun auseinander gefallen, und die Sterne haben sich beruhigt. Ich werde einem folgen.



Die Zentrifugalkraft hindert den Staub daran, auf den Stern zurück zu fallen. Staub sammelt sich in konzentrischen Kreisen.

Auf jedem Kreis, auf jeder Bahn bilden sich Planeten.

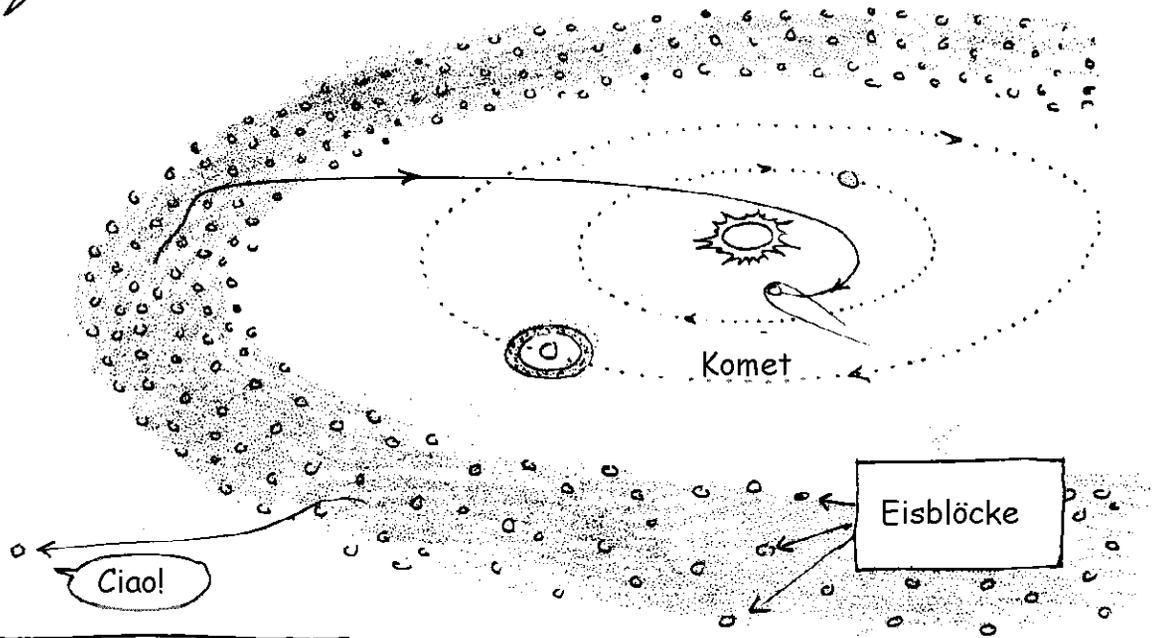


Auf einer gegebenen Bahn fängt der jeweils größere Planet die Kleineren ein, und diese werden zu seinen Trabanten.

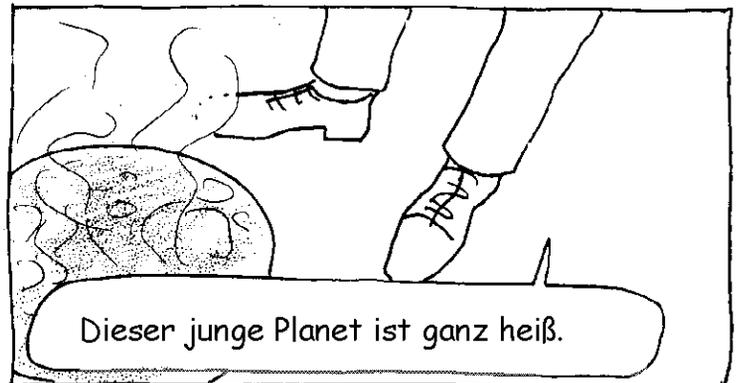


Et voilà. Der Kreis schließt sich.

Der Gasanteil dieser ursprünglichen Sternatmosphäre wird zu einer Art Halo aus schmutzigem Schnee kondensieren. Von Zeit zur Zeit geschehen Kollisionen zwischen Mitgliedern dieses Gürtels. Wenn eines dieser Mitglieder beschleunigt wird, verläßt es das Sonnensystem. Wenn es abgebremst wird, "fällt" es in Richtung Zentrum des Systems und wird zu einem Komet.



Wollen wir uns diese Planeten ein bißchen näher anschauen?



Dieser junge Planet ist ganz heiß.

Er verdaut gerade das **radioaktive Uran 235**, das er eingefangen hat, als er entstanden ist.



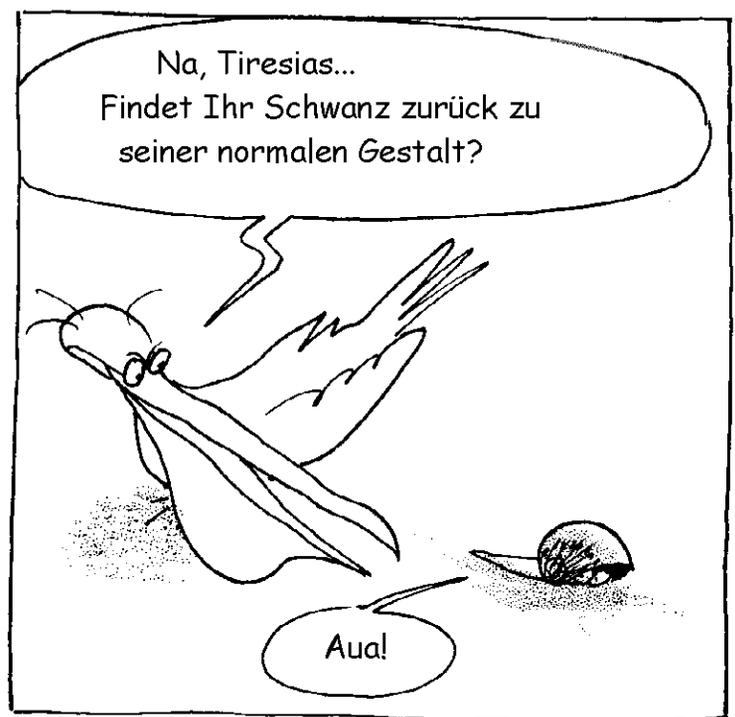
Was !? Als die Planeten
geboren wurden, waren es
NUKLEARE REAKTOREN !?

Warum **WAREN** ?
Sie sind es immer noch!
Warum denkst du, dass der
Erdkern geschmolzen ist?

Passt auf!

Sie wurde auch von den
vielen Meteoriten erwärmt, als
sie „Hausputz machte“.

Lasst uns das näher ansehen.



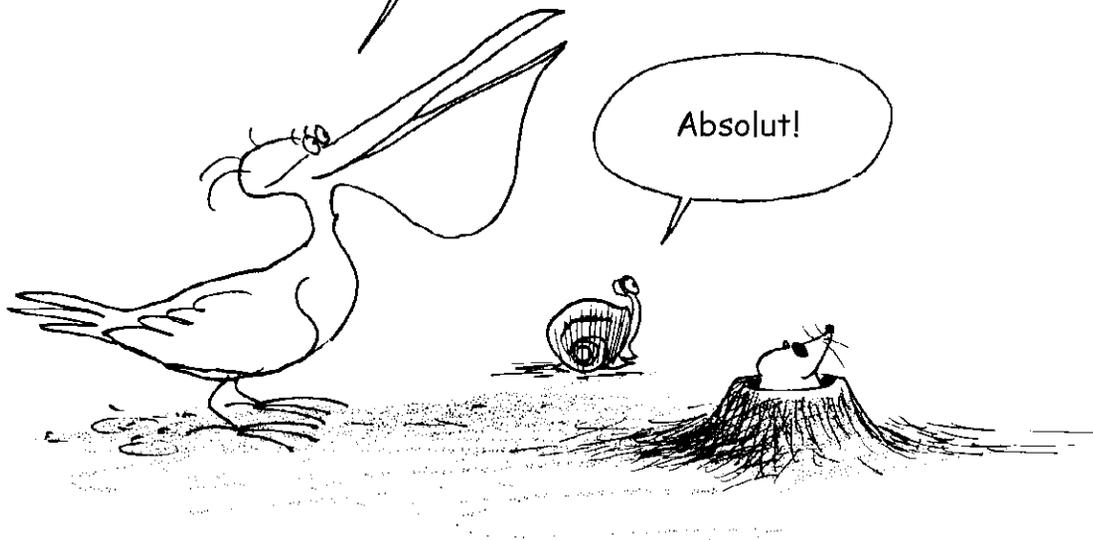
Und nun befinden wir uns auf einem **Planeten**. Nach und nach ebnet der sinnflutartige Regen die Narben, die die Meteoriten hinterlassen haben. Wir sind bei $t = 10$ Milliarden Jahre, und die Temperatur der kosmologischen Hintergrundstrahlung ist auf **4 Grad Kelvin** gefallen.

Bald werden wir eine neue *Geschichte* schreiben können: das **Biologikon**. Hier spricht Sophie live vom Kosmos.

FIN

Tiresias, sind Sie sicher, daß das hier
der Halleysche Komet ist?

Absolut!



Möglicherweise ist das Universum bloß ein großer
populärwissenschaftlicher Versuch, mit dem Gott
versucht, uns etwas verstehen zu lassen...

