

# Die Jagd auf die kosmische Konstante

**Neuartige Antriebe könnten uns das Tor zu den Sternen öffnen. Dieser Text befaßt sich mit Konzepten und Ideen sowie deren theoretische Machbarkeit bzw. Finanzierbarkeit.**

---

## Inhalt

- [Vorwort](#)
  - [Die Hauptprobleme bei langen unbemannten Weltraumreisen](#)
  - [Mögliche Art ein größeres Raumschiff zu bauen](#)
  - [Sonnensegel](#)
  - [Laserantrieb](#)
  - [Chemisch](#)
  - [Ionenantrieb](#)
  - [Geschwindigkeitsvergleich einiger Antriebe mit der Lichtgeschwindigkeit](#)
  - [Antimaterie](#)
  - [Raumstationenspringen](#)
  - [Atombomben](#)
  - [Geschosse](#)
  - [Kometenexpress](#)
  - [Kernfusionsantrieb](#)
  - [Kernspaltung](#)
  - [Elektromagnetische Wellen](#)
  - [Gravitation](#)
  - [Schwarze Löcher und Wurmlöcher](#)
  - [Warpantrieb](#)
  - [Schlußwort](#)
- 

## Vorwort

Die Zeit hat bisher gezeigt daß in den vierzig Jahren in denen Raumfahrt betrieben wurde bisher noch keine wirklich großen technischen Sprünge gemacht wurden. Die Prognosen die nach der ersten Mondlandung 1969 gemacht wurden haben sich bisher noch nicht erfüllt. Das größte Problem das bisher bemannte Missionen zu den Planeten und unbemannte Sondenflüge in ausreichend großer Zahl und vielleicht sogar bis in interstellaren Raum verhindert hat sind die immensen Kosten die kein Staat der Welt tragen kann oder will, da diese Projekte in der Regel keinen wirtschaftlichen Gewinn mit sich bringen. Seit einigen Jahren wird aber wieder vermehrt an neuen Konzepten gearbeitet, die effizienter und weitaus billiger sind aber auch bessere Forschungsmöglichkeiten durch Erhöhung der Geschwindigkeiten der Raumfahrzeuge bringen, nebst der Tatsache, daß die Kosteneinsparungen überhaupt erst eine größere Zahl derartiger Missionen ermöglicht. Der erste wichtige Schritt ist die Erprobung des Ionenantriebs während einer Forschungsmission zu verschiedenen Kometen und Asteroiden. Er ist weitaus schneller und verbraucht weitaus weniger Treibstoff als seine chemischen Vorgänger und vor allem hat er dadurch auch massive Kostenvorteile gegenüber diesen.

Diese Zusammenfassung einiger, mehr oder weniger realistischer Konzepte für die zukünftige Raumfahrt und der Vergleich mit der jetzigen soll einen Überblick geben über Möglichkeiten den Weltraum in stark vergrößertem Maße zu erforschen.

Die angegebenen Geschwindigkeiten sind zumeist nur Schätzungen, da diese Informationen aus verschiedenen, sich oftmals widersprechenden Quellen stammen. Zudem vernachlässige ich die Tatsache, daß man für eine Expedition natürlich am Ende der Reise das Raumschiff abbremsen müsste, wofür ebenfalls wieder eine entsprechende Menge Energie benötigt würde.

Der Text ist sicherlich nicht perfekt, denn ich bin kein Experte auf dem Gebiet, aber vielleicht inspiriert er, oder erfreut schlicht das Herz des raumfahrtbegeisterten Laien oder auch Experten, der seiner Verärgerung über etwaige Fehler gern Luft machen möge, damit diese ausgemerzt werden können.

## Die Hauptprobleme bei langen unbemannten Weltraumreisen

Das größte Problem überhaupt ist natürlich einen möglichst schnellen Antrieb zu finden, damit noch mit möglichst neuester Technik und zu Lebzeiten der am Projekt beteiligten Forscher Ergebnisse gewonnen werden können. Eine Reise die mit den heutigen technischen Mitteln zum Beispiel zum nächsten Stern (Alpha Centauri) gehen sollte wäre nicht unter 100 Jahren Missionsdauer zu haben, außer man bedient sich der stark umstrittenen Kernkraft als Antrieb, was kaum durchsetzbar wäre da es in der Tat ein zu großes Risiko darstellen würde. Man könnte vielleicht auch einen Laser als Antrieb benutzen, wobei hier wiederum die Kosten in den 100 Milliarden Dollar Bereich kämen was kein Staat geschweige denn eine Firma finanzieren könnte noch wollte.

Das zweite eher lösbare Problem ist die Energieversorgung. Da Raumsonden mit der heutigen Antriebstechnik über sehr große Zeiträume funktionieren müssen um überhaupt zum Ziel zu kommen braucht man eine Energiequelle welche Jahrzehnte und länger ausreichend elektrische Energie liefern kann.

Aufgrund der Sonnenferne solcher Missionen kann man dabei keine Solarzellen benutzen, obwohl diese jahrzehntelang bei Lichteinstrahlung Strom liefern könnten.

Daher bediente man sich bis jetzt mit der Energiegewinnung aus dem Zerfall von radioaktiven Elementen. Diese Form der Energiegewinnung kann je nach Menge und Zerfallsrate der verwendeten Isotope etliche Jahre eine Sonde mit Energie versorgen. Doch diese Technologie ist wie oben bereits erwähnt immer umstrittener und wird sich den Protesten der Menschen wohl irgendwann beugen müssen, da die Politiker unter denen eine solche Mission gestartet wird ihre Wahlchancen nicht unbedingt verschlechtern möchten, obgleich entsprechende Aggregate sehr stabil und sicher gebaut werden können, so daß das Risiko einer Freisetzung bei einem Absturz gering wäre.

Denkbar wäre auch eine Kombination beider Verfahren, also große Solarpanelen mit einer sonnenunabhängigen Energiequelle, welche auch immer es dann irgendwann sein wird bzw. welche durchsetzbar sein wird. Der mögliche Verlauf einer solchen "Kombimission" wird im Abschnitt [Ionenantrieb](#) beschrieben.

Des weiteren gibt es extreme Anforderungen an verwendete Werkstoffe. Insbesondere durch die Temperaturen und vor allem wegen dem kosmischen Staub. Winzige Staubkörner können ein sich schnell bewegendes Raumfahrzeug schwer beschädigen. Schutz dagegen können auch die besten Werkstoffe wahrscheinlich nur ungenügend bieten. Es gibt Pläne solchen Raumfahrzeugen einen Schutzschild aus ionisiertem Gas mitzugeben der durch ein elektromagnetisches Feld gehalten wird. In dieser Miniatmosphäre würden die Staubkörner verglühen und somit unschädlich. Der Schild muß dafür aber einige Meter stark sein um Wirkung zu zeigen, was dazu führt, daß mehr Energie benötigt wird. Und gegen schwere "Brocken" von etwa 10g kann auch dieser Schild nicht schützen. Teilchen von mehr als 10g sind jedoch ziemlich selten.

Wahrscheinlich wäre es eh praktischer auf Masse zu setzen, also die Wände entsprechend stark auszulegen, bzw. Schutzschilde in Flugrichtung anzubringen, was natürlich die Startkosten steigen lassen würde, aber technisch einfacher und ausfallsicherer wäre, nebst der Einsparung von viel Energie.

## Mögliche Art ein größeres Raumschiff zu bauen

Eine weitere Möglichkeit, die für viele der hier genannten Antriebstechniken in Frage kommt, besteht darin einen kleinen Asteroiden auszuhöhlen und mit Treibstoff und allem nötigen für eine, vielleicht sogar bemannte, Mission zu bestücken. Dadurch müsste man nicht Unmengen an Werkstoffen in den Orbit bringen. Die Ausbeutung von Erzen direkt auf den Asteroiden ist hingegen schwierig und aufwendig, sofern diese dort nicht gediegen, also elementar, vorliegen.

Natürlich wäre auch das Aushöhlen eines Asteroiden nicht gerade mit wenig Aufwand zu schaffen, auch wenn man es vermutlich mit gezielten Sprengungen anpacken würde. Den Abraum zu beseitigen wäre ja nicht weiter schwierig. Zudem müsste der Antrieb auch größer und stärker sein, da er eine größere Masse beschleunigen müsste. Dafür kann der nutzbare Bereich während des Fluges eventuell verändert und erweitert werden bzw. das Asteroidenraumschiff schon halbfertig losfliegen, wenn Antrieb und Versorgung der Mannschaft gesichert sind. Zudem wäre die Konstruktion langlebiger, stabiler und kaum anfällig für interstellaren(-planetaren) Staub. Die größeren Ausmaße würden zudem bessere Möglichkeiten zur Kommunikation (größere Antennen) bieten. Insgesamt wäre die Versorgung mit allem Möglichen einfacher, da die Oberfläche genug Platz für alle möglichen Anlagen (Solaranlagen, Meßinstrumente uvm.) bietet.

## Sonnensegel

Die Sonne sendet stündlich viele Milliarden hochenergetische Teilchen aus. Ebenso werden gigantische Energiebeträge in Form von Strahlung ausgesandt. Diese Teilchen haben enorme Geschwindigkeiten von mehreren 10 000 km/s. Die Strahlung bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit (ca. 299 999 km/s). Wenn diese Partikel und Strahlen auf ein Hindernis treffen wie es sie in einem Planetensystem zu Millionen gibt, so wird dieses Hindernis von der Sonne weggedrückt. Dieser Vorgang ist bei den Planeten allerdings so schwach, daß er kaum nachweisbar ist, da diese Himmelskörper eine viel zu große Masse und im Verhältnis zu kleine bestrahlte Fläche vorweisen.

Würde man aber nun eine Art Segel aus einem belastbaren Material mit einer Fläche von mehreren hundert Quadratmetern nehmen und daran eine kleine sehr leichte Sonde befestigen so würde dieses Gespann eine Beschleunigung auf einige Prozent der Lichtgeschwindigkeit erfahren.

**Problem:** Der Sonnenwind hat nur eine begrenzte Reichweite. Bereits ab der Jupiterbahn wird er stark abgeschwächt und um die Bahn des Plutos ist er auf eine kaum nennenswerte Stärke abgeschwächt. Des weiteren sind Gesteinsbrocken ein kaum überwindbares Hindernis einer solchen Sonde. Bereits ein kleines Körnchen von 1 mm Durchmesser würde ein Loch in das Segel reißen. Da solche "Körnchen" sehr häufig vorkommen wäre das Segel innerhalb kurzer Zeit stark beschädigt. Selbst wenn diese Staubteilchen abzuwehren wären, bleibt eine begrenzte Mauer. Zwischen dem Mars und dem Jupiter befindet sich der Asteroidengürtel welcher selbst für kleine Sonden z. B. die Voyagersonden eine nicht unerhebliche Gefahr darstellt.

## Laserantrieb

Er gehört zu den teuersten und aufwendigsten Antrieben wenn er im größeren Maßstab (Sonnensystem oder Interstellar) angewendet werden soll. Soll jedoch ein kleiner Satellit in die Erdumlaufbahn gebracht werden, so wird dieses vielleicht eines Tages billiger als ein Raketenstart sein. Der Laser drückt die Sonde vorwärts, ähnlich wie beim Sonnensegel. In der Erdatmosphäre basiert der Vortrieb auf der explosionsartigen Ausdehnung eines Gases (der Atmosphärenluft), wie beim chemischen Antrieb auch. Mit dem Laser werden kurze Pulse zur Sonde geschickt, die die

Luft unter der Sonde so stark erhitzen, daß diese sich explosionsartig ausdehnt, ähnlich wie bei einem Blitz. Der Boden der Sonde wäre demnach nach innen gewölbt, so daß die Druckwelle konzentriert nach unten abfließen kann und somit die Sonde beschleunigt.



**Problem:** Das zu beschleunigende Objekt muß eine äußerst geringe Masse haben. Außerdem werden Hochenergielaser gebraucht, welche enorme Energiemengen verbrauchen. Ein Laser, der einen kleinen Satelliten in einen Erdorbit schicken soll, wird ein eigenes Kraftwerk benötigen. Würde man eine Reise zu einem der Planeten oder gar einem nahen Stern planen, so bräuchte man gigantische Laseranlagen, um den Energieverlust durch die Auffächerung (Je weiter ein Laserstrahl reicht, desto mehr wird der Strahl gestreut) zu kompensieren. Bei einer Reise zum nächsten Stern müsste man fast den ganzen Planeten mit Kraftwerken zapfeln um genügend Energie aufbringen zu können. Man könnte auch riesige Photovoltaikanlagen in Sonnennähe installieren oder Ressourcen von Asteroiden ausbeuten. Solch ein Aufwand ist aber sicherlich

unbezahlbar, vor allem wo solch eine Mission keinem wirtschaftlichen Zweck dienen würde. Man wird in näherer Zukunft wahrscheinlich nur leichte kleine Satelliten mit dieser Technologie in den Erdorbit schicken.

## Chemisch

Beim chemischen Antrieb wird die Schubkraft durch das Verbrennen von Kraftstoffen erreicht. Dabei muß immer ein Oxidator (Sauerstoff) mitgeführt werden, da im Weltraum keine Gase in nennenswerter Menge vorkommen (wenige Moleküle Wasserstoff u.a. auf einen Kubikkilometer). Man nutzt in der Regel Wasserstoff und Sauerstoff als Treibstoff. Sie werden in flüssiger Form mitgenommen und in einer speziellen Düse verbrannt. Der Vortrieb erfolgt durch den Rückstoß der beschleunigten Masse. Als Abfallprodukt entsteht nur Wasser ( $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Natürlich gibt es noch andere Treibstoffe mit anderen Eigenschaften, wobei hierbei eigentlich nur die Ausströmgeschwindigkeit des entstehenden Gases bedeutsam ist, denn die Endgeschwindigkeit (wenn im leeren Raum in nur eine Richtung beschleunigt wird) hängt von der Ausströmgeschwindigkeit des Gases und der Treibstoffmenge ab.

**Problem:** Fast der gesamte Raum der Rakete muß mit Treibstoff gefüllt werden. Außerdem braucht man große (schwere!) Treibstoffpumpen. Zudem ist das Risiko hoch, daß eine kleine Störung (undichte Leitung, etc.) zu einer großen Katastrophe führt, wegen der großen Menge explosiven Treibstoffs.

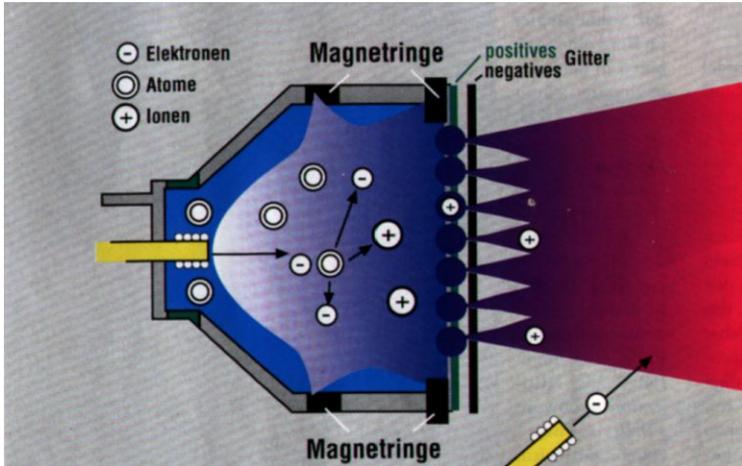
Auch muß jedes Mal eine neue Rakete gebaut werden, was die Kosten stark in die Höhe treibt. Die erreichten Endgeschwindigkeiten sind für Missionen, die die Bahn des Planeten Mars überschreiten zu gering, um in kurzer Zeit zu Ergebnissen zu kommen bzw. gar Menschen auf eine Reise zu schicken. Der große Verbrauch von Treibstoff in kurzer Zeit würde größere Missionen nur erlauben, wenn die Rakete im Erdorbit zusammengebaut und auch dort erst betankt würde.

Mit dieser Technik könnte man der Rakete besonders große Ausmaße geben. Auch besonders große Mengen Treibstoff mitzuführen wäre nun möglich. Außerdem müsste man nicht noch die Erdanziehungskraft überwinden. Diese drei Faktoren würden dazu führen die Technik des chemischen Antriebs stärker auszureizen, das hieße, daß man die maximal mögliche Endgeschwindigkeit dieser Technik erreichen würde.

Trotz allem würde diese Geschwindigkeit wohl nicht ausreichen um das Sonnensystem in einer annehmbaren Zeit zu verlassen.

## Ionenantrieb

Bei der Technik des Ionenantriebs werden die elektromagnetischen Eigenschaften von ionisierten Atomen genutzt. Dabei werden bevorzugt Stoffe wie Caesium, Quecksilber und Xenon benutzt. Der



verwendete Stoff wird in einen plasmatischen Zustand versetzt. Dann werden Elektronen in dieses Plasma geschossen, wodurch andere Elektronen aus den Atomhüllen des Stoffes herausgeschlagen werden. Dadurch wird das Plasma positiv ionisiert. Dieses positiv geladene Plasma kann nun elektromagnetisch beschleunigt (abgestoßen) werden.

Dieser Antrieb gibt dem Raumschiff nur geringen Schub und beschleunigt nur langsam, denn es wird keine große

Masse ausgestoßen, sondern nur eine geringe Masse, dafür jedoch um einiges schneller.

An der Formel für die Endgeschwindigkeit (ohne äußere Kräfte, bei Anfangsgeschwindigkeit = 0):

$$v_e = v_{aus} \cdot \ln \left( \frac{m_a}{m_e} \right)$$

$v_e$  = Endgeschwindigkeit

$v_{aus}$  = Ausströmgeschwindigkeit der Ionen, oder des Gases

$m_a$  = Anfangsmasse (Treibstoff + Nutzlast)

$m_e$  = Endmasse/Nutzlast

sieht man sehr deutlich die Bedeutung der Ausströmgeschwindigkeit. Je höher die Ausströmgeschwindigkeit der Ionen bzw. des Gases, desto höher die Endgeschwindigkeit des Raumschiffs. Ebenso wird ersichtlich: Je größer der Treibstoffanteil an der Gesamtmasse des Raumschiffs, desto größer ist die Endgeschwindigkeit. Man benötigt also viel Treibstoff und eine hohe Ausströmgeschwindigkeit für eine hohe Endgeschwindigkeit.

Dieser Antrieb funktioniert jedoch nur in der Schwerelosigkeit des Weltraums, da der Schub zu gering ist, um die Erdanziehungskraft zu überwinden. Dafür verbraucht dieser Antrieb extrem wenig Treibstoff verglichen mit den Unmengen bei einem chemischen Antrieb. Ionentriebwerke sind somit u.a. hervorragend für die langfristige Korrektur von Satellitenbahnen zu verwenden.

Auch für Raumsonden die mehrere Zielobjekte (Planeten, Asteroiden, Kometen) anfliegen sollen, wäre diese Form des Antriebs ideal. Der Ionenantrieb ist dem chemischen etwa 3,5 Monate unterlegen also langsamer, dann aber überliegt er dem chemischen Antrieb um Längen. Mit chemischem Antrieb erreicht man beispielsweise in einem Jahr den Mars, mit dem Ionenantrieb ist man nach einem Jahr schon ein paar Hunderttausend Kilometer hinter der Jupiterbahn (Durchschnittliche Entfernung ca. 770 000 000 km).

Der Ionenantrieb ist also für alle Expeditionen, die über den Mars hinausgehen die schnellere Alternative. Bei einem Flug zum Mond wäre sie aber wegen ihrer langsamen Beschleunigung aus zeitlicher Sicht nicht sonderlich sinnvoll und chemischen Triebwerken unterlegen.

Problem: Es wird ebenfalls eine Energiequelle benötigt, die lange Zeit Strom liefert. Dabei kämen nur zwei, mir bekannte Systeme, in Frage:

1. Solarzellen, welche nur eine begrenzte Energieausbeute bringen und vor allem nur bis in eine gewisse Sonnenentfernung wirken. Je weiter die Sonde oder das Raumschiff sich von der Sonne entfernen würde desto weniger Energie wird geliefert. Das hat noch zur Folge, daß der Antrieb und damit die Beschleunigung schwächer wird, bis die Energieversorgung schließlich ab einer bestimmten Sonnenentfernung zusammenbricht. Dem könnte man bis zu einer gewissen Sonnenentfernung mit besonders großen Photovoltaikanlagen abhelfen.

Diese müssten aber schon in Saturnentfernung eine Größe von insgesamt zwei Fußballfeldern haben. Diese Größe würde der Sonde ein größeres Gewicht und größere Ausmaße geben, was die Start- und Materialkosten in die Höhe treiben würde. Außerdem wären Zusammenstöße mit kleinen Staubteilchen bei anwachsender Größe immer wahrscheinlicher.

2. Man gibt der Sonde ein kleines Kernkraftwerk mit auf den Weg, wie man es z.B. bei den Voyagersonden getan hat. Dieses Kraftwerk würde unabhängig von seiner Entfernung zur Sonne Energie erzeugen.

Doch auch dieses System liefert nicht ewig Energie, da sich die radioaktiven Substanzen mit der Zeit verbrauchen und nicht mehr zur Energieerzeugung nutzbar sind. Die bisherige überprüfbare Funktionsdauer ist durch die Voyagersonden bekannt, welche (unerwarteter Weise) immer noch Daten liefern. Die kleinen Reaktoren der beiden Sonden funktionieren nun mehr seit über 22 Jahren. Doch nun neigt sich die Energieabgabe immer mehr dem Ende zu. Neueren Hochrechnungen zufolge sollen sie noch ein weiteres gutes Jahrzehnt Energie liefern.

Eine Kombination käme in Frage, wenn man die Sonde zum Beispiel zum nächsten Stern Alpha Centauri schicken würde, was etliche Jahrzehnte dauern würde.

Man würde die Sonde die ersten zwei - vier Jahrzehnte durch das Kernkraftwerk und mit der von den Solarzellen in Sonnennähe gewonnenen Energie beschleunigen und die Meßinstrumente in Funktion behalten. Dann würde die Sonde auf niedrigstem Energieniveau, oder ganz ohne Energieversorgung, mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter dem nächsten Stern entgegenreisen. Bei ihrer Ankunft würde die Sonde durch die solare Energie reaktiviert, wobei dafür nur die auf der Außenhaut der Sonde vorhandenen Solarzellen ausreichen müssten.

Dann wird ein Programm gestartet, welches die großen Solarpaddel ausfährt die bisher zusammengeklappt zum Schutz gegen Staub die Reise überdauert haben. Danach könnte die Sonde anfangen, Daten zu sammeln und gen Erde zu senden.

## Geschwindigkeitsvergleich einiger Antriebe mit der Lichtgeschwindigkeit

Name	V in km/s	Zeit bis zum Jupiter *	Zeit in Jahren bis Alpha Centauri
Ionenantrieb Deep Space 1	69	131 Tage	19 565
Sonnensegel	400	23 Tage	3375
Laser	50 000	260 Min.	27
Atombomben	10 000	22 Std.	135
Chemisch	15	1,6 Jahre	20 000
Lichtgeschwindigkeit	300 000	43 Min.	4,5

\* Jupiter ist im Mittel 778 Millionen Kilometer von der Erde entfernt.

Die Beschleunigung wurde nicht mit einberechnet, wodurch die Zeiten für Alpha Centauri natürlich genauer sind als die für Jupiter. Da es sich bei den Endgeschwindigkeiten nur um ungenaue Schätzwerte handelt und die Beschleunigung zudem variabel ist, dient diese Tabelle nur dem groben Vergleich zwischen ausgewählten Antriebsformen.

## Antimaterie

Diese Art der Energiefreisetzung würde auf der Zerstrahlung von Antimaterie mit Materie beruhen. Beim Zusammentreffen von einem Antimaterieteilchen mit einem Materieteilchen vernichten sich diese gegenseitig. Dabei wird die gesamte Masse in reine Energie umgewandelt. Auf keine andere Weise kann aus gleicher Masse so viel Energie freigesetzt werden. Die technische Version die diese Energie zum Antrieb eines Raumschiffes nutzen würde, könnte in etwa so aussehen:

Man bräuchte zwei Behälter in denen voneinander getrennt Materie und Antimaterie gelagert werden können. Dabei muß natürlich der Kontakt zwischen Antimaterie und Materie verhindert werden. Aus diesen Behältern würde mit einer Art Ringbeschleuniger eine gewisse Menge beider Stoffe entnommen die am hinteren Teil des Raumschiffes aufeinandertreffen und zu Energie zerstrahlen.

Diese Energie wird nach hinten umgelenkt und dient somit zur Beschleunigung des Raumschiffes. Hierbei wären extrem hohe Geschwindigkeiten erreichbar. Die benötigte Menge beider Stoffe würde im Rahmen bleiben, da schon die Zerstrahlung von 1g Materie mit Antimaterie die Energie von drei Atombomben des Hiroshima-Typs freisetzen würde.

**Problem:** Die Herstellung von Antimaterie ist extrem schwierig und aufwendig, zumal bis jetzt nur einige Atome hergestellt werden konnten. Die Herstellung von Mengen, die man beispielsweise für einen Flug zum Mars benötigen würde (etwa einen Fingerhut voll), würde in etwa einen Zeitraum von mehr als 50 Jahren in Anspruch nehmen.

Ein weiteres Problem liegt in der Lagerung der Antimaterie, da sie wie gesagt zu Energie zerstrahlt, wenn sie mit Materie in Kontakt kommt. Man müsste sie in speziellen Kraftfeldern, von jeglicher Materie getrennt, lagern an denen schon einige Wissenschaftler arbeiten.

Es gibt Vorschläge die eine Lagerung mit Hilfe von Laserstrahlsystemen oder auch durch elektromagnetische Felder vorsehen, da auch Antimaterieteilchen eine Ladung haben (ein Antiproton ist negativ, ein Positron positiv geladen).

Es ist auch nicht völlig ausgeschlossen, daß es im Weltraum Bereiche gibt in denen, irgendwie von der normalen Materie getrennt, Antimaterie vorkommt, so daß diese womöglich "abgebaut" werden kann. Zugegebenermaßen ein extrem unwahrscheinliches Szenario.

## Raumstationenspringen

Diese Art des Beschleunigens von Raumschiffen sieht den Bau von riesigen seilförmigen Raumstationen vor, die sich mit hoher Geschwindigkeit um ihre eigene Achse drehen. Dabei dockt ein mit konventionellem chemischem Antrieb in den Orbit gebrachtes Raumschiff an einem der Enden an, wodurch es beschleunigt wird und dockt im passenden Moment wieder ab.

Nun bewegt es sich auf eine weiter entfernte Station zu, bei der dasselbe geschieht. Auf diese Weise springt das Raumschiff von einer Station zur anderen, bis es sein Ziel erreicht. Das Material für die Raumstationen könnte direkt im All aus Asteroiden gewonnen werden.

**Problem:** Dieses System ist äußerst kostspielig, da allein der Bau der Stationen immense Kosten verursachen würde und auch der Unterhalt dieser teuer sein würde.

Außerdem wäre dieses System nur eingeschränkt tauglich, da der Materialtransport von den Asteroiden immer länger dauern würde, wäre dieses System nur im Sonnensystem anzuwenden. Eine besondere Zeitersparnis ist auch nicht zu erwarten, da die Geschwindigkeiten dieses Systems auf einen niedrigen Faktor begrenzt wären und auch der Bau der Stationen größere Zeiträume in Anspruch nehmen würde.

Dieses System hat nur in der planetaren Raumfahrt eine Zukunft, die aber wohl niemand finanzieren kann bzw. will. Für die interstellare Raumfahrt ist dieses Konzept nicht brauchbar aufgrund der zu geringen Geschwindigkeit und vor allem wegen dem Materialverbrauch und der Betriebskosten der Stationen. Wenn man aber das System modifiziert, indem man nur einen riesigen Strang baut und in

Rotation bringt, wären auch interstellare Reisen theoretisch möglich. Dabei muß die Länge des Strangs wahrhaftig gigantische Ausmaße haben. Die erreichbare Geschwindigkeit hängt im wesentlichen nur von der Stranglänge ab. Je größer nämlich die Entfernung zum Drehpunkt desto größer muß die Geschwindigkeit sein.

Bei einer Gesamtstranglänge von etwa 100 000 km wäre theoretisch fast Lichtgeschwindigkeit an den Enden zu erwarten. Die großen Probleme:

1. Das Material mit dem ein solcher Strang zu fertigen wäre, müsste unglaublich starken Fliehkräften widerstehen können, ohne zu zerreißen. Ein solches Material für solche Ausmaße gibt es nicht und wird es wohl auch nicht so bald geben. Der Strang würde unter der Fliehkraft einfach zerreißen.

2. Die Drehbeschleunigung wäre bei solchen Ausmaßen kaum zu bewältigen, da auch hier enorme Energiemengen erforderlich wären die nicht verfügbar sind. Auch hier ist die Lichtgeschwindigkeit eine unüberwindbare Barriere, da man für eine solche Geschwindigkeit unendliche Energie brauchen würde. Bis zu einem gewissen Ausmaß wäre es technisch trotz allem möglich sehr große Geschwindigkeiten zu erreichen, aber wohl auch unbezahlbar.

## Atombomben

Man könnte ein Raumschiff auch durch gezielt zur Explosion gebrachte Nuklearsprengsätze beschleunigen. Hierbei wird der Explosionsdruck der Bombe für die Beschleunigung genutzt. Dabei wird in einer bestimmten Entfernung zum Raumschiff an seinem Heck eine Explosion erzeugt, die das Raumschiff beschleunigt, kurz darauf erneut eine weitere usw. Nach den Berechnungen von Freeman Dyson, der Forschungen zu dieser Antriebsform unter dem Projektnamen "Orion" vorantrieb, wäre eine Geschwindigkeit von etwa 10 000 km/s möglich. Das entspricht etwa 3% der Lichtgeschwindigkeit, wobei dafür 10 Tage hintereinander alle 3 Sekunden eine Wasserstoffbombe der Sprengkraft einer Megatonne TNT zu zünden wäre (also 288 000 Bomben). Für interstellare Reisen wohl doch noch etwas zu langsam, obwohl für einen Trip zu unserem Nachbarstern Alpha Centauri würde diese Geschwindigkeit reichen, um nach etwa 135 Jahren dort anzukommen.

**Problem:** Ein Problem wäre die starke radioaktive Strahlung die bei jeder Explosion freigesetzt werden würde. Diese muß von der Raumschiffbesatzung aufwendig abgeschirmt werden, was das Gewicht und damit die Kosten vergrößern würde. Des weiteren müssten die benötigten Atomsprengrsätze produziert werden und in den Orbit gebracht werden. Die Produktion von Atomwaffen ist zudem sehr aufwendig und teuer. Die Zustimmung zum Bau von über 288 000 Wasserstoffbomben wird kein Volk der Erde geben, niemand wird es bezahlen können, noch wollen.

Das größte Problem wird der Transport der Bomben ins All sein, der bei einer technischen Panne zu einer radioaktiven Verseuchung der Erdatmosphäre führen könnte. Auch wenn ein extrem sicherer Behälter benutzt werden würde, würde es größere Proteste der Weltbevölkerung geben.

Dieses Problem wäre zu lösen indem man das benötigte radioaktive Material (Plutonium 239 oder Uran 235) außerhalb der Erde abbauen würde. Hierbei käme der Mond in Frage auf dem diese Metalle höchstwahrscheinlich vorhanden sind. Das Raumschiff müsste in einem Erdorbit zusammengesetzt werden.

## Geschosse

Geschosse wie Gewehrkugeln oder ähnliches waren der erste Denkansatz als vor etlichen Jahrzehnten die Idee des Raumfluges aufkam (man denke nur an Jules Vernes fantastische Geschichte "Von der Erde zum Mond"). Der Aufwand der nötig wäre eine Kanone zu bauen, die ein Projektil in einen Erdorbit bringen könnte, wäre gewaltig, da mindestens eine Geschwindigkeit von

etwa 11km/s erreicht werden müsste. Es gibt Prototypen und Pläne eine derartige Kanone zu bauen. Bisherige Prototypen sind noch viel zu schwach um ein Geschoss auch nur in die Nähe eines Orbits zu bringen. Trotz allem wäre es in naher Zukunft möglich zumindest kleine Satelliten in den erdnahen Weltraum zu bringen und dies zu sehr geringen Kosten. Für weiterreichende Missionen wäre die Konstruktion einer großen "Kanone" im Erdorbit theoretisch möglich. Die zu erwartenden Endgeschwindigkeiten werden aber wahrscheinlich gering sein. Denkbar wäre es kleine Sonden mit gewaltigen Massebeschleunigern mit Hilfe starker elektromagnetischer Felder auf hohe Geschwindigkeiten zu bringen.

**Problem:** Ein solches Projekt wäre wahrscheinlich kaum zu finanzieren und der Nutzen zweifelhaft, da eine Rakete, die im Orbit zusammengebaut werden könnte, wahrscheinlich günstiger, effektiver und flexibler wäre. Zudem wären die Geschosse nicht steuerbar außer man baut zusätzlich konventionelle Triebwerke ein und/oder nutzt die Schwerkraft von Himmelskörpern zur Bahnbeeinflussung. Von der Erde aus gestartete Geschosse wären in gewissen Bereichen eine billigere Alternative zu den teuren Raketenstarts. Eine Kombination von einem konventionellen Triebwerk (chemisch, elektrisch in der Atmosphäre auch luftatmend) wäre auch denkbar, da Treibstoffmengen eingespart würden, wenn das Objekt erst durch den Abschuss beschleunigt wird und dann erst wenig später das Triebwerk zünden würde. Dabei müssten die verwendeten Bauteile sehr robust sein, da die Beschleunigung extrem stark wäre (man muß ja in wenigen Sekunden Fluchtgeschwindigkeit erreichen). Es würde sich also empfehlen eine möglichst langandauernde Beschleunigung zu ermöglichen, was nur durch einen sehr langen Lauf möglich ist.

Auch die Beschleunigung einer Rakete auf einer Schiene wäre denkbar, um Treibstoffmengen einzusparen. Die Rakete könnte dabei auf einen Wagen befestigt werden, der z.B. durch elektromagnetische Kräfte (wie z.B. der Transrapid) beschleunigt wird. Diese Beschleunigung wird ruckartig an die Rakete abgegeben wenn diese abgekoppelt wird und ihr Triebwerk starten kann. Elektromagnetische Beschleunigung wäre eine Möglichkeit, würde aber sehr viel Energie verbrauchen und gigantische Ausmaße der Kanone erfordern, ergo kaum finanzierbar.

## Kometenexpress

Es besteht ferner die Möglichkeit eine Sonde (oder gar ein kleines Raumschiff) zu einem periodischem Kometen fliegen zu lassen, auf diesem zu landen und sich durch dessen Eigenbewegung in immer größere Sonnenferne bringen zu lassen.

Dabei kommen kurzperiodische Kometen für kurze Ausflüge zu den Gasriesen und danach eventuell Rückkehr zur Erde (mit der Möglichkeit Proben vom Kometen oder einem anderen Objekt gesammelt zu haben) oder langperiodische Kometen für Ausflüge in die Oortsche Wolke oder weiter.

Die benötigte Zeit wäre dabei zwar auch recht lang, aber das Raumobjekt spart Energie und Treibstoff für eine mögliche spätere Abkoppelung wobei sie den Schwung des Kometen zusätzlich nutzen könnte.

**Problem:** Die Anforderungen an das Material dürften hoch sein und die Steuerung muß sehr genau sein, um eine Koppelung mit einem Kometen überhaupt zu ermöglichen.

Zudem sind Kometen häufig instabil, was möglicherweise zu einer Zerstörung von Kometen und Sonde führen könnte.

Die Reisezeit wäre recht lang, aber sehr interessant und Treibstoff kann gespart werden. Womöglich findet man auch Wege durch das Kometenmaterial selbst, Energie zu gewinnen. Eine sicherlich spannende Langzeitmission.

## Kernfusionsantrieb

Ein Antrieb, der seine Energie durch die Kernfusion gewinnt, wäre in vielen Variationen möglich.

1. Die erste Möglichkeit wäre kleine Kugeln aus Wasserstoffisotopen am hinteren Teil des Raumschiffes zur Fusion zu bringen. Die entstehende Energie wird explosionsartig frei und liefert einen geringen Schub der sich aber durch eine große Anzahl solcher "Pellets" auf ausreichend große Werte summiert. Die nötige Energie, die für eine Fusion aufgebracht werden müsste, könnten z.B. Laser liefern.

2. Die zweite Möglichkeit wäre der Vortrieb durch das Ausströmen von heißem Plasma, das bei einer stetigen Kernfusion entsteht. Durch die extremen Temperaturen dieses Plasmas (erst bei Temperaturen von über 100 Millionen Grad Celsius setzt die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium ein) wären die Ausströmgeschwindigkeiten ebenfalls von besonderer Größe und somit der Vortrieb ebenfalls. Das Plasma würde in einem speziellen Reaktor gebildet und dann ausgestoßen. Dabei muß es die ganze Zeit von Magnetfeldern eingeschlossen sein, da jegliches Material bei diesen Temperaturen augenblicklich verdampfen würde.

3. Die dritte Möglichkeit wäre ein Raumschiff indirekt durch Kernfusion zu beschleunigen. Dabei wird durch das Plasma ein anderer Stoff erhitzt, welcher dann ausgestoßen wird. Um möglichst hohe Temperaturen zu erreichen, würde dieser Stoff unter hohem Druck durch das Plasma erwärmt. Diese Methode wäre wahrscheinlich einfacher und sicherer als das Plasma selber ausströmen zu lassen, aber auch weniger effektiv.

4. Außerdem könnte man die Kernfusion natürlich für größere Raumschiffe als verhältnismäßig saubere und kaum erschöpfbare Energiequelle nutzen. Dabei wird wie beim dritten Verfahren ein Stoff (wahrscheinlich Wasser) genutzt, um die Energie zu übertragen bzw. die Energie des entstehenden Gases (oder Dampfes) zum Antrieb einer Turbine und wiederum eines Generators zu nutzen. Damit könnte Energie für alle Geräte an Bord und eventuell auch für elektrische Antriebe genutzt werden. Die Vorteile eines Kernfusionskraftwerkes gegenüber einem Kernspaltungskraftwerk sind groß. Die Kernfusion ist weitaus ungefährlicher, da keine langlebigen hochradioaktiven Stoffe verwendet noch erzeugt werden. Der einzige Abfall ist Helium und aktivierte Wände des Reaktors durch Neutronenstrahlung, wobei das durch die Wahl der Ausgangsstoffe zu vermeiden wäre. Wasserstoff ist das häufigste Element des Universums ganz im Gegensatz zu Schwermetallen wie Uran 235 und Plutonium 239. Zudem ist die Kernfusion besser kontrollierbar als die Kernspaltung.

Der benötigte Wasserstoff ist in kleinen Mengen überall im All vorhanden. Einzig das Einfangen von jenem ist aufwendig und nur mit hohem technischem Aufwand möglich, da die Mengen im Vakuum des Weltraums unvorstellbar klein sind. Eine Idee hierzu beschreibt eine trichterförmige Konstruktion am Vorderteil des Raumschiffs welche durch einen starken elektrischen Strom ein starkes und weitreichendes Magnetfeld aufbaut. Damit wäre es möglich ausreichend viele Wasserstoffatome einzufangen und zur Fusion zu verwenden.

Problem: Die Technik der Kernfusion liegt noch in weiter Ferne und wird nach Angaben führender Wissenschaftler dieses Bereiches frühestens in 40-50 Jahren nutzbar sein, da die zur Fusion benötigte Aktivierungsenergie die durch die Fusion entstehende Energie noch bei weitem übersteigt. Auch das Verfahren mit einem großen elektrischen Feld Wasserstoff einzufangen ist kaum durchführbar, da dieses zu seiner Erzeugung ebenfalls sehr große Energiemengen benötigen würde. Durch einen Faraday-Käfig dürfte eine Abschirmung der empfindlichen Elektronik gegen das elektrische Feld gegeben sein. Zudem werden riesige Mengen Wasserstoff gebraucht. Für einen Flug von etwa 100 Lichtjahren würde mehr Wasserstoff benötigt werden als der Sonne zur Verfügung steht.

Trotz allem ist dieses Verfahren eine Option für die Zukunft, da die genannten Probleme nicht unüberwindbar sein dürften und die Energieausbeute und damit die erreichbare Geschwindigkeit ausgesprochen groß wären. Geschwindigkeiten von bis zu 40% (120 000 km/s) der Lichtgeschwindigkeit werden für möglich gehalten.

## Kernspaltung

Da die Kernfusion noch in fernerer Zukunft liegt, könnte man sich für die heutige Zeit einen Antrieb vorstellen, der seine Energie durch die Kernspaltung gewinnt. Dazu gibt es auch schon etliche Konzepte z.B. NERVA. Die Idee, ein Raumschiff mit Hilfe der Kernenergie anzutreiben, ist schon so alt wie die Kernspaltungstechnik selbst.

Die Vorteile dieser Technik sind unter anderem der große Zeitraum über den Energie bereitgestellt werden kann und daß diese Technik verhältnismäßig gut zu beherrschen ist. Einige wenige Beispiele, wie im einzelnen ein solcher Antrieb aussehen könnte, sind im Kapitel [Kernfusion](#) gegeben.

**Problem:** Da sich Strahlung allgemein nur durch massive und dicke Wände aus Beton und Blei abschirmen lässt, müsste ein bemanntes Raumschiff recht große Ausmaße haben, und dadurch auch ein sehr hohes Gewicht. Für unbemannte Missionen ist der Einsatz aber möglich und wird vom Prinzip her für die Energieversorgung bereits seit langem genutzt. Dabei wird wie gesagt kein Reaktor im traditionellen Sinn benutzt, sondern die Zerfallswärme bestimmter radioaktiver Isotope wird durch technische Tricks in elektrische Energie umgewandelt. Neben den Problemen der technischen Umsetzung gibt es noch das Problem des Transportes dieser hochgiftigen Substanzen. Keine Rakete ist 100% sicher und so gibt es immer wieder Fehlstarts, die mit der Explosion der Rakete einhergehen. Wenn nun eine Rakete mit eben dieser radioaktiven Substanz explodiert oder aus dem Orbit wieder auf die Erde zurückfällt und verglüht besteht die Gefahr das trotz der guten Umschließung dieser Substanzen radioaktive Stoffe frei werden und einen Teil der Atmosphäre, und damit etliche Lebewesen vergiftet werden.

Auch der Widerstand der Bevölkerung gegen solche Missionen hat sich seit dem Start der Cassini-Huygens-Mission stark verstärkt, so daß solche Starts möglicherweise schon allein aus diesem Grund nicht mehr möglich sind. Um dieser Problematik zu entgehen, könnte man diese Substanzen außerhalb der Erde abbauen, was natürlich viele neue Probleme mit sich bringt. Mögliche Abbaugelände sind alle Gesteinsplaneten und Monde, sowie der Asteroidengürtel.

Der Aufwand und die Kosten werden aber wohl dazu führen, daß diese Antriebsmöglichkeit keine große Zukunft haben wird.

## Elektromagnetische Wellen

Es gibt bereits Pläne Flugzeuge und Raumschiffe mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen anzutreiben z.B. mit Mikrowellen oder einfachem Licht.

Dabei wird von einem Satelliten oder für Weltraumflüge von einer Station irgendwo im Sonnensystem ein starker Strahl auf ein scheibenförmiges Objekt geworfen. Dieses konzentriert mit Hilfe von Spiegeln den Strahl an die gewünschte Stelle. Dadurch entstehen an diesem Brennpunkt bei ausreichender Intensität der Strahlung sehr hohe Temperaturen, die die Luft (auf der Erde) in einen plasmatischen Zustand bringt. Dieses Plasma wird durch starke Magnetfelder in die gewünschte Richtung gelenkt und beschleunigt somit das Objekt. In der Atmosphäre sollen Geschwindigkeiten von über Mach 25 (25-fache Schallgeschwindigkeit), im Weltraum wie beim Laserantrieb der auf einer ähnlichen Grundlage arbeitet mehrere 1000 km/s möglich sein.

**Problem:** Die Auswirkungen von konzentrierter elektromagnetischer Strahlung auf die Atmosphäre sind noch nicht erforscht. Sie könnten Probleme bereiten und die Atmosphäre schädigen. Würde es sich herausstellen, daß diese Technik keine Probleme bereitet, wäre sie eine gute Alternative zu allen bisherigen Fluggeräten. Sie verspricht große Manövrierbarkeit und extreme Geschwindigkeiten sind erreichbar, ohne daß auch nur ein Tropfen Kraftstoff verbrannt werden müsste. Das wäre wiederum ein großer Gewinn für den atmosphärischen Umweltschutz, so daß man eventuell beide Techniken in Punkto Beeinflussung der Atmosphäre gegeneinander aufrechnen könnte.

Für Weltraummissionen stellt sich die Frage:

“Wie kann ich einen elektromagnetischen Strahl über Milliarden Kilometer ausreichend bündeln, damit die beim Raumschiff ankommende Energie für den Vortrieb noch ausreicht?”

Klar ist in jedem Fall, daß solch ein Strahl sehr große Mengen Energie verbrauchen würde auch wenn man ihn in seinem Verlauf durch eine Linse in etlichen Millionen Kilometern Entfernung erneut bündeln würde. Das führt zu der Frage: “Wie erzeugt man auf bezahlbare Art solche Energiemengen?” Berechnungen von Experten zeigen, daß ein Flug zum nächsten Stern auf diese Weise einen Stromverbrauch zufolge hätte, der dem Jahresstromverbrauch der gesamten Erde entspricht.

Die wahrscheinlich beste Lösung wäre die Errichtung von gigantischen Solaranlagen in einem Sonnenorbit. Aber hierbei würden Kosten im Milliarden Dollarbereich entstehen, die niemand bezahlen könnte oder wollte.

Trotz allem ist diese Technik noch die, die den größten Erfolg verspricht, da sie wahrscheinlich weder gefährlich für die Erdbewohner ist, noch im Bereich der Utopie bzw. sehr fernen Zukunft liegt (wie der Antimaterieantrieb). Zudem ermöglicht die Technik der elektromagnetischen Wellen die höchsten Geschwindigkeiten unter den machbaren Konzepten. Vielleicht wird dieses Konzept bereits in einigen Jahrzehnten für den Antrieb einer kleinen interstellaren Raumsonde verwirklicht.

## Gravitation

Aber auch die Gravitation wird zur Beschleunigung benutzt. Dabei steuert ein Raumschiff auf einen Planeten zu, so daß es in sein Schwerfeld gerät und beschleunigt wird. An einem bestimmten Punkt wird es wieder aus dem Schwerfeld gelenkt, sonst würde es mit dem Planeten kollidieren. Die so gewonnene zusätzliche Geschwindigkeit wird dafür verwendet, schnell zum nächsten Planeten zu kommen und das Verfahren zu wiederholen. Dieses Verfahren wurde bei eigentlich allen Raumsonden, die in oder über den Bereich des Jupiters hinaus kamen, verwendet. Ein Paradebeispiel hierfür sind die Voyagersonden. Voyager 2 konnte alle bekannten Gasriesen des Sonnensystems nur durch die günstige Positionierung dieser zueinander erreichen.

## Schwarze Löcher und Wurm Löcher

Noch ins Reich der Phantasie gehören Ideen von Reisen durch Schwarze Löcher oder Wurm Löcher. Die tatsächliche Verwirklichung ist nach heutigem Stand unseres Wissens unmöglich.

Von Schwarzen Löchern werden enorme Mengen Materie angesaugt und vernichtet bzw. zu unendlicher Dichte komprimiert. Die Materie hat keine Ausdehnung mehr, man könnte sagen sie befindet sich in der nullten Dimension. Aber sie beeinflusst durch ihre Gravitationskraft weiterhin die Umgebung. Der direkteste Wirkungsbereich eines Schwarzen Lochs wird Schwarzschild genannt. Er vergrößert sich bei Zunahme von Masse. Einmal in diesen Bereich gelangt, gibt es selbst für das Licht kein entkommen mehr, daher der Name “Schwarzes” Loch. Es gibt Vermutungen daß diese Materie an einer anderen Stelle im Universum wieder freigesetzt wird, in so genannten Weißen Löchern. Wenn man nun ein solches Schwarzes Loch- Weißen Loch System finden würde und irgendwie erreichen könnte, so wären Reisen über etliche Lichtjahre theoretisch möglich. Man hält sogar Zeitreisen für möglich, da Entfernungen schneller zu überwinden sind, als es das Licht im normalen Raum kann.

Wurm Löcher sind theoretisch denkbare Tunnel zwischen verschiedenen Bereichen des Raums, welche es ermöglichen sollen, etliche Lichtjahre in nur Sekunden zurückzulegen. Das Universum ist vergleichbar mit der Oberfläche einer Kugel. Bewegt man sich für eine sehr lange Strecke immer geradeaus, so kommt man irgendwann an seinen Startpunkt zurück. Ein Wurmloch ist, wie der Name schon sagt, ein Loch durch die Kugel hindurch, also eine Abkürzung. Wie beim Schwarzen

Loch sind auch Zeitreisen theoretisch möglich. Man könnte sagen, daß man sich in der vierten Dimension bewegt, laut Einstein: Die Zeit. Für die vierte Dimension gibt es keine Vorstellungsmöglichkeiten, man kann sie höchstens modellhaft veranschaulichen (aber immer noch nur dreidimensional).

**Problem:** Die Ideen scheitern bisher daran daß noch kein Wurmloch entdeckt, geschweige denn geschaffen wurde, da bestimmte physikalische Gegebenheiten die Existenz von Wurmlöchern so gut wie unmöglich machen.

Auch eine Reise durch ein Schwarzes Loch ist kaum zu machen, da, wie bereits gesagt, nichts und niemand eine Annäherung an ein Solches überstehen könnte und es zudem in unserer näheren Umgebung (glücklicherweise) keine schwarzen Löcher zu geben scheint. Somit ist ein solches nicht zu erreichen, ohne daß man Techniken hätte, die eine solche Reise dann schon wieder überflüssig machen würden. Man müsste eine Methode erfinden, um ein solches technisch herzustellen.

## Warpantrieb

Das Prinzip des Warpantriebs (von engl. warp = Krümmung) funktioniert folgendermaßen. Nach Einstein kann die Lichtgeschwindigkeit nicht überschritten werden, aber nur bei dieser Geschwindigkeit ist interstellare Raumfahrt möglich. Dabei tritt das Zwillingsparadoxon auf: Die Raumschiffzeit vergeht umso langsamer, je höher die Geschwindigkeit desselben ist. Erreicht man schließlich die Lichtgeschwindigkeit kommt die Raumschiffzeit relativ zur Erdzeit zum Stillstand. Um das Zwillingsparadoxon zu vermeiden, muß der Raum manipuliert werden. Man müsste den Raum vor dem Raumschiff zusammenziehen und entsprechend hinter dem Raumschiff wieder ausdehnen. So würde sich das Raumschiff selbst keinen Meter bewegen, sondern der Raum bewegt sich um das Raumschiff herum. Man könnte wahrhaftig wie in den Star Trek Filmen die Galaxie bereisen. Zur Raumkrümmung benötigt man "positive Energie" zur Dehnung "negative Energie", was auch immer sich die Theoretiker darunter vorstellen.

**Problem:** Die Energiemengen sind unglaublich groß. Für einen kleinen Trip des hypothetischen Raumschiffs mit Warpantrieb würde nach bisherigem Wissen mehr Energie verbraucht als die gesamte freisetzbare Energie, die in der Masse des sichtbaren Universums steckt. Es bleibt abzuwarten, ob die Physiker irgendwann einen Trick finden diesen Energieverbrauch auf einen Wert herunterzusetzen, der mit den kosmischen Gesetzen vertretbar ist.

## Schlußwort

Letztendlich wird es noch sehr lange dauern, bis wir uns Gedanken über den Flug zu anderen Welten und einen möglichen Kontakt zu anderen Lebewesen, welcher Art auch immer sie sein mögen, zu machen brauchen. Aber die Entwicklung wird weitergehen. Wahrscheinlich werden weder ich noch Sie Zeit ihres Lebens Zeugen einer interstellaren Reise sein. Trotz allem sehe ich durchaus Sinn darin dieses Ziel anzustreben, bis wir es irgendwann erreichen und somit eine neue Ära einläuten werden, deren Tragweite nie dagewesene Ausmaße haben wird. Sicherlich sprechen die jetzigen wissenschaftlichen Erkenntnisse noch gegen einen absehbaren Erfolg der Bemühungen, aber auch diese Erkenntnisse wandeln sich im Laufe der Zeit, werden ergänzt oder stellen sich als falsch bzw. nur eingeschränkt wahr heraus. Das Hauptproblem war und ist die Frage nach der Energieversorgung, welches nicht nur in der Raumfahrt eine große Rolle spielt, sondern in sehr vielen Bereichen der Technik. Die Raumfahrt ist mit allen Bereichen der Technik und auch mit den meisten Naturwissenschaften verwoben, so braucht man nicht nur die ultimative Energiequelle für einen Antrieb. Da ist vielmehr ein Verfahren nötig, um die Funktionstüchtigkeit eines jeden Gerätes über sehr lange Zeit zu gewährleisten. Zum Beispiel, die Sonden zur Erkundung unseres nächsten Nachbarplaneten Mars haben eine lächerlich kurze Lebensdauer und einen sehr beschränkten

Aktionsradius.

Meine Hoffnungen, zumindest eine starke Energiequelle für einen schnellen Antrieb zu finden, liegen im Bereich der Kernphysik bzw. der Quantenmechanik, die uns immer wieder überraschende und faszinierende bzw. kaum fassbare Erkenntnisse liefert. Mit der Erforschung der subatomaren Bestandteile der Materie ist die Möglichkeit zur Entwicklung von Energiequellen, die wir uns bisher nicht vorstellen können, gegeben. Ich bin überzeugt, daß wir einige Erfolge im nächsten Jahrhundert zu verzeichnen haben werden. Die Energiegewinnung durch Kernspaltung wird wahrscheinlich, schon allein wegen des Problems der Entsorgung des radioaktiven Abfalls, nicht die Energiequelle der Zukunft sein. Die bestehenden Kraftwerke sollten zwar noch einige Zeit laufen, weil ein sofortiger Ausstieg nicht machbar ist und wir auf diese Energiequelle vorerst noch angewiesen sind. Wobei es auch bei der Entsorgung neue Ideen geben könnte, die das Problem lösen könnten. Ebenso wenig wird die Energieerzeugung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe die Zukunft sein, aber auch nicht Wind- oder Wasserenergie. Auch die Solarenergie ist derzeit keine große Option und es ist eher Glaubenssache, daß sie einst die Energiequelle der Zukunft sein wird. Wie dem auch sei, die Energieausbeute müsste noch dramatisch gesteigert werden, was noch lange dauern dürfte und auch dann ist die Energiegewinnung durch Solarenergie nicht überall machbar oder von Vorteil. Deshalb muß weiter erforscht werden, wie man sich die gewaltigen Kräfte der Atome auf eine sinnvolle Art zunutze machen kann, das heißt aber auch, daß man die Forschung, vor allem die Grundlagenforschung in diesen Gebieten nicht ausbluten lassen darf (zudem kommt diese Forschung so gut wie allen naturwissenschaftlichen Bereichen und auch sehr der Medizin und Diagnostik zugute). Die Wirtschaft muß und wird, wenn sie vorausschauend agiert diese Forschung mitfinanzieren um neue Produkte zu entwickeln die bisher noch nicht vorstellbar sind. Auch müssen weiterhin fähige Leute die bestmögliche Ausbildung erhalten. Dann steht uns eine aufregende Zukunft bevor.

© 1999-2005 Andi <[E-Mail senden](#)>

Revision 2.0 · 24. November 2004

Updates und weitere Artikel sind zu finden unter  
[www.6thfloor.de/sciencenet](http://www.6thfloor.de/sciencenet)