

Physik des Warp-Antriebs:

Energie!

Lange war er bloß eine Spinnerei von Sciencefiction-Fans. Jetzt haben sich Forscher den Warp-Antrieb genauer angesehen. Und die Idee damit etwas näher an die Wirklichkeit gebracht.



© cokada / Getty Images / iStock (Ausschnitt)

Für [Erik Lentz](#) fing alles mit »Star Trek« an. Der Weltraum, unendliche Weiten – aber leider auch riesige Distanzen. Es sei denn, man sitzt auf der Brücke der USS Enterprise. Alle paar Folgen hebt Kapitän Jean-Luc Picard die Hand und sagt: »Warp 9, Energie!« Die Sterne werden zu Strichen, die Lichtjahre fliegen dahin. Und der Grundschüler Erik Lentz fragt sich, ob das auch in echt funktioniert.

»Irgendwann ist mir klar geworden, dass die Technologie dafür nicht existiert«, erinnert sich der 33-jährige US-Amerikaner heute. Lentz studierte Physik, schrieb eine Doktorarbeit über Dunkle Materie und war eigentlich viel zu beschäftigt, um sich Gedanken über Sciencefiction zu machen. Doch dann, zu Beginn der Corona-Pandemie, fand er sich als isolierter Postdoc in Göttingen wieder, mit viel Freizeit und den Flausen aus seiner Kindheit im Kopf.

300 Jahre zu früh geboren

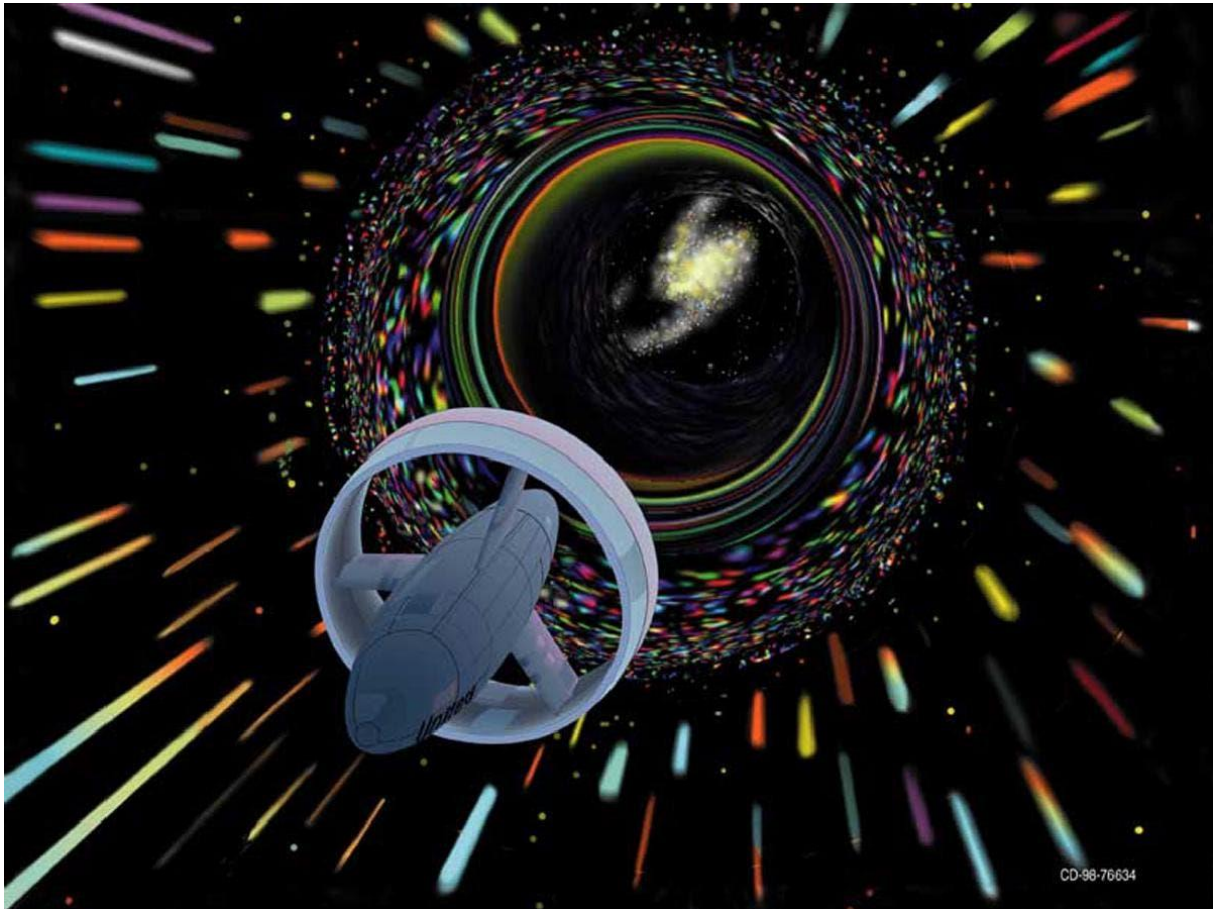
Erst las er die überschaubare Zahl wissenschaftlicher Aufsätze, die bis dato zum Warp-Antrieb erschienen waren. Dann machte er sich selbst Gedanken. Nach ein paar Wochen fand er etwas, das alle vor ihm übersehen hatten. Lentz brachte seine Idee zu Papier, besprach sie mit älteren Kollegen. Und veröffentlichte sie schließlich in [einer Fachzeitschrift](#), begleitet von [einer Pressemitteilung der Universität Göttingen](#).

Schnell wurde deutlich: Nicht nur Erik Lentz träumt vom Warp-Antrieb. Medien in aller Welt berichteten über seinen Vorschlag, ein Dutzend Redaktionen fragte für ein Interview an. Eine [Diskussion](#) im Onlineforum Reddit brachte es auf 2700 Kommentare und 33 000 Empfehlungen. Ein Internetnutzer schrieb: »Hat sonst noch jemand das Gefühl, dass wir 300 Jahre zu früh geboren wurden?«

Klar, heute ist das Universum viel zu groß für den Menschen. Bis zu unserem Nachbarstern Proxima Centauri braucht ein Lichtstrahl mehr als vier Jahre. Mit den besten verfügbaren Antrieben wäre man zehntausende Jahre unterwegs. Da kann man noch so sehr von Kolonien in anderen Sternsystemen träumen – diese Reise tritt niemand an.

Aber vielleicht geht es ja eines Tages schneller. Ideen gibt es viele, von per Laser beschleunigten Sonnensegeln bis hin zu nuklearen Antrieben. Doch selbst mit ihnen käme man in einem Menschenleben

nicht allzu weit. Nein, die Galaxie steht nur dem offen, der ähnlich schnell wie das Licht reist. Oder schneller.



© NASA / digital art by Les Bossinas (Cortez III Service Corp.), 1998 (Ausschnitt)

Reisen mit Überlichtgeschwindigkeit | So stellte sich ein Künstler der NASA Ende der 1990er Jahre die Reise mit einem Warp-Antrieb vor. Der Torus am Bauch des Raumschiffs sollte dazu dienen, ein Feld mit negativer Energie zu erzeugen. Aus heutiger Sicht wäre das nicht mehr nötig.

Eine Blase in Raum und Zeit

Und so machen sich fantasiebegabte Physiker seit Langem Gedanken über den ultimativen Antrieb. Über eine Blase in Raum und Zeit, in der ein Raumschiff von Sonne zu Sonne flitzen könnte, so wie die Enterprise. Es ist Forschung an der Grenze der Wissenschaft: nicht zwangsläufig falsch, aber gewürzt mit einer großen Prise Optimismus.

Dass sich heute überhaupt Wissenschaftler mit der Idee befassen, ist einem [Fachaufsatz](#) von Miguel Alcubierre aus dem Jahr 1994 zu verdanken. Der mexikanische Physiker schaute damals nicht nur leidenschaftlich gerne »Star Trek«. In seiner Doktorarbeit an der Cardiff University befasste Alcubierre sich auch mit der Relativitätstheorie. Auf den ersten Blick besagt sie, dass nichts schneller als das Licht reisen sollte. Doch mit etwas Kreativität lässt sich ein Schlupfloch finden.

Denn laut Albert Einsteins Jahrhundertwerk leben wir in einer vierdimensionalen »Raumzeit«, die nicht statisch ist, sondern von Massen verbeult wird wie eine Tischdecke. Alles, was sich über das Tischtuch bewegt (beziehungsweise *durch* die Raumzeit), kann nur bis zu dem vom Licht vorgegebenen Tempolimit beschleunigen. Das Tischtuch selbst lässt sich hingegen beliebig schnell verformen, wie das Universum in manchen Situationen selbst beweist.

Für Physiker besteht Albert Einsteins **Relativitätstheorie** aus zwei Teilen. Da ist zunächst die »spezielle« Relativitätstheorie aus dem Jahr 1905. Sie handelt von der gleichförmigen Bewegung von lichtschnellen Objekten. Zehn Jahre später verallgemeinerte Einstein diese Überlegungen für **beschleunigte Körper**. Gemäß »allgemeiner« Relativitätstheorie sind die drei uns vertrauten Raumdimensionen

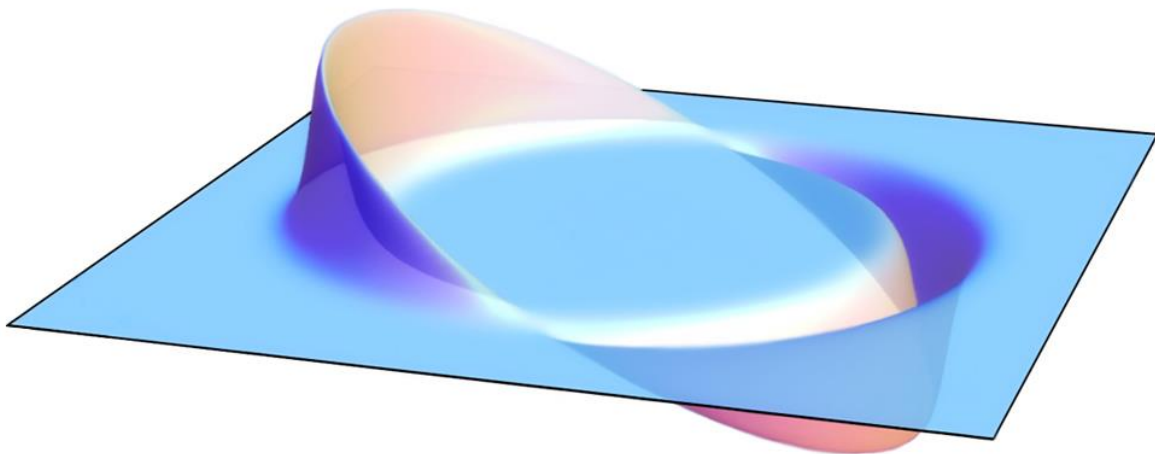
(oben-unten, links-rechts, vorne-hinten) untrennbar mit der Zeit verbunden. Jede Masse krümmt diese **Raumzeit**.

Beim Urknall beispielsweise breitete sich das frisch geschaffene Raum-Zeit-Gefüge vermutlich für ein paar Sekundenbruchteile viel schneller aus als jeder Lichtstrahl. Und noch heute treibt die Expansion extrem weit entfernte Galaxien mit Überlichtgeschwindigkeit davon, wodurch uns ihr Licht nicht mehr erreichen kann.

Nicht das Raumschiff bewegt sich, sondern das All

Miguel Alcubierre erkannte: Von hier ist es nur ein kleiner Schritt zum Warp-Antrieb. Denn wenn man die Raumzeit vor einem Raumschiff zusammenschieben und dahinter als Ausgleich strecken würde, könnte man mit Überlichtgeschwindigkeit sein Ziel ansteuern. Das Schiff bliebe dabei in einer Blase gefangen, in der die Besatzung nicht viel von der interstellaren Reise mitbekäme. Alcubierre [verglich](#) es mit einem Personentransportband am Flughafen: »Wenn hinter mir Boden aus dem Nichts entsteht und vor mir weggenommen wird, bewege ich mich vorwärts.«

Doch sobald man diesen Gedanken in der Sprache der allgemeinen Relativitätstheorie formuliert, tauchen große praktische Probleme auf. Um die Raumzeit derart radikal zu verformen, müsste man eine gigantische Masse auf einer Schale vereinen, deren Wand dünner ist als jeder Atomkern. Und um die Blase aufrechtzuerhalten, benötigt man laut Alcubierre nicht nur gewöhnliche Masse, deren Schwerkraft die Front zusammenzieht. Sondern auch eine Energieform mit negativem Vorzeichen, die eine Art Antischwerkraft ausstrahlt und so das All an den Rändern der Wölbung aufgehen lässt wie einen Hefeteig.



© AllenMcC / [Warpfeld gemäß der Alcubierre Metrik](#) / CC BY-SA 3.0 [CC BY-SA](#) (Ausschnitt)

Das Prinzip des Alcubierre-Antriebs | Das All würde an der Front einer Blase (rechts) komprimiert, was einem Eindellen der Raumzeit entspricht. Hinter der Blase (links) würde neuer Raum aus dem Nichts entstehen, was gleichbedeutend mit einem Strecken der Raumzeit ist.

Für die allermeisten Physiker hatte sich das Gedankenspiel damit erledigt. Denn laut Quantentheorie kann Energie – die laut Einsteins Formel $E = mc^2$ nichts anderes ist als entfesselte Masse – zwar durchaus einen negativen Wert annehmen. Allerdings scheint sie dies nur in seltenen Spezialfällen zu tun, und das auch nur tief im Mikrokosmos, etwa beim so genannten Casimir-Effekt. Die Mengen, um die es dabei geht, sind so winzig, dass jede technische Anwendung absurd erscheint.

Miguel Alcubierre, heute Physikprofessor in Mexiko, sah das freimütig ein: »Im Sinn einer potenziellen Technologie lässt die Idee sehr zu wünschen übrig«, [schrieb](#) er einmal. Er widmete seine Karriere daher lieber etablierten Phänomenen, Schwarzen Löchern zum Beispiel. Sein Warp-Antrieb-Konzept hingegen blieb ein großes Faszinosum, vor allem bei Trekkies. Und bei ein paar Gravitationsphysikern am Rand des Mainstreams, die an Alcubierres Idee herumdokterten und gelegentlich Abwandlungen davon veröffentlichten.

Der Fluch der negativen Energie

So gelang es immerhin, die benötigte Masse so weit zu verringern, dass unsere Sonne als Baumaterial ausreichen würde. Doch keine der Arbeiten schaffte es, ohne negative Energie auszukommen – bis sich Erik Lentz im Göttinger Lockdown der Sache annahm. In der erzwungenen Isolation fand der 33-Jährige eine Möglichkeit, eine Warp-Blase mit ausschließlich positiver Energie zu konstruieren – und könnte damit den Warp-Antrieb von seinem größten Stigma befreit haben.

Möglich macht es eine besondere Geometrie der Raumzeit, die Lentz in den Tiefen der allgemeinen Relativitätstheorie entdeckt hat. Genauer: in den einsteinschen Feldgleichungen. Mit ihnen kann man berechnen, wie eine bestimmte Materie- und Energieverteilung die Raumzeit verformt. Oder man dreht wie Alcubierre den Spieß um und ermittelt, was man an Masse und Energie benötigt, um die ersehnte Krümmung des Alls zu erhalten.

Da man es mit einem dynamischen, vierdimensionalen Gebilde zu tun hat, ist das Ganze sehr kompliziert: Schreibt man Einsteins Formeln in ihrer vollen Länge aus, entpuppen sie sich als Wust ineinander verschachtelter Differenzialgleichungen mit tausenden Termen. Je nachdem, welche Annahmen man zu einer bestimmten physikalischen Situation trifft, berücksichtigt man nur einen Teil von ihnen – eine schier endlose Spielwiese für Theoretiker.

Erik Lentz hat sich gezielt jene Annahmen angesehen, die in Alcubierres Arbeit zu Termen mit negativer Energie führten. Wie sein mexikanischer Kollege zerlegte er die Raumzeit zunächst in gestapelte Schichten. Und stellte fest: Alcubierre berücksichtigte nur vergleichsweise einfache, »lineare« Beziehungen zwischen den Komponenten eines Vektors, mit dem sich eine Lage in die nächste überführen lässt. Wählt man hier komplexere, »hyperbolische« Relationen, die oft schnell veränderliche Größen ausdrücken, erhält man eine andere Warp-Blase als die von Alcubierre. Sie benötigt zwar immer noch enorme Mengen an Masse und Energie – allerdings nur positive. »Ich war sehr überrascht, dass das vor mir niemand versucht hat«, erzählt Lentz.

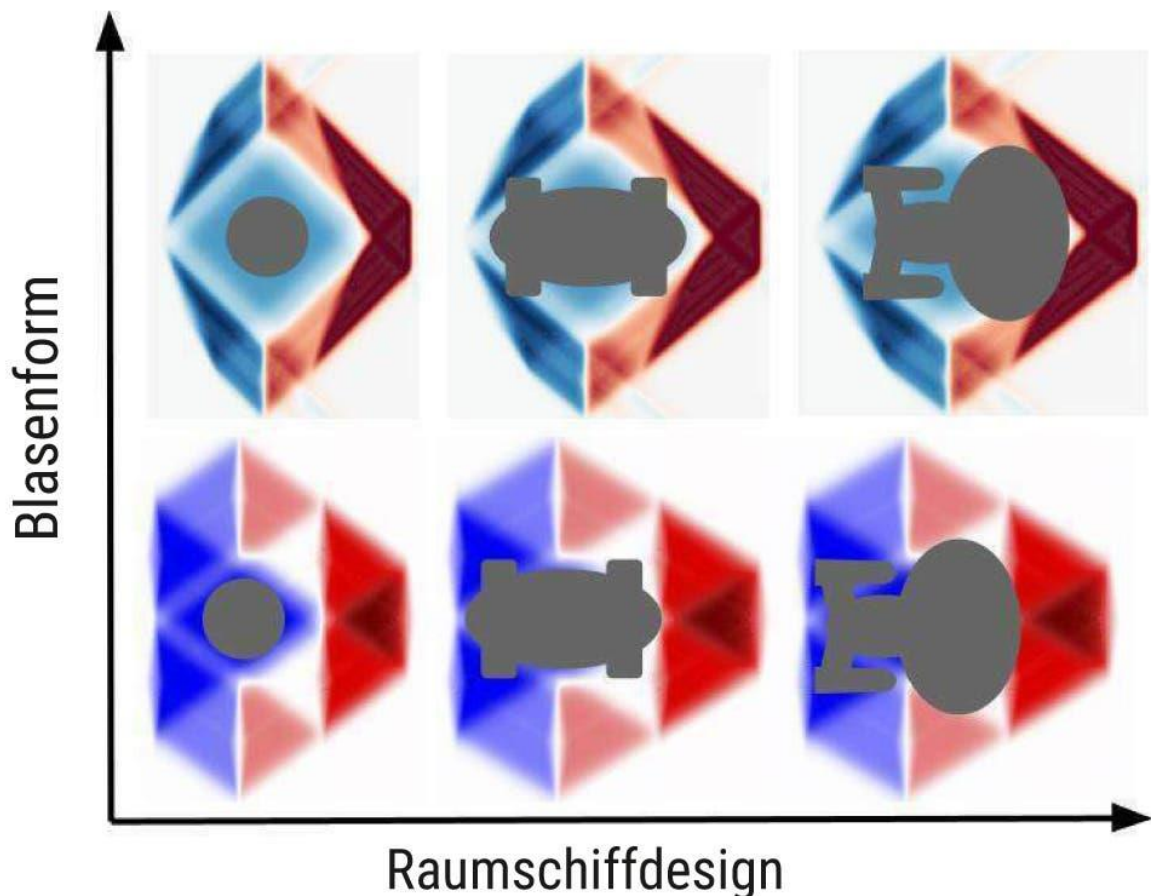
Ein Vogelschwarm aus komprimierter Raumzeit

Die von ihm erarbeitete Blase sähe anders aus als die aus dem Jahr 1994: Sie wäre von einem unruhigen Vogelschwarm aus rautenförmigen Regionen mit veränderter Raumzeit umgeben. Dazu müsste man eine komplizierte Schichtung aus Ringen und Scheiben in Stellung bringen, sagt Lentz. Diese bestünden dann allerdings nicht aus einem festen Material, sondern aus einer extrem dichten Flüssigkeit aus geladenen Teilchen, ähnlich wie sie im Inneren von Neutronensternen existiert.

Damit ist der Warp-Antrieb immer noch unendlich weit von einer technischen Anwendung entfernt. Aber da nun keinerlei exotische Materie mit negativer Energiedichte mehr nötig ist, bewegen sich die Gedankenspiele zumindest im Bereich der etablierten Physik. Miguel Alcubierre beschreibt Lentzs Paper gegenüber »Spektrum.de« daher als »sehr wichtige Entwicklung«. Auch sein Kollege Francisco Lobo von der Universität Lissabon, der [ein Fachbuch](#) zum Warp-Antrieb herausgegeben hat, kann keine offensichtlichen Fehler entdecken: »Sollten die Behauptungen belastbar sein, würde das interessante neue Forschung zur Physik von Warp-Antrieben ermöglichen.«

Lentz hat mit seiner Idee sogar Interesse bei Forschenden außerhalb der kleinen Gemeinschaft der Warp-Antrieb-Enthusiasten geweckt, etwa bei Lavinia Heisenberg, Kosmologie-Professorin an der ETH Zürich. Sie und ihr Student Shaun Fell fanden Lentzs Paper so spannend, dass sie darauf aufbauend eigene Warp-Blasen mit positiver Energie [entworfen haben](#), die sogar mit nur einem Hundertstel der Masse unserer Sonne auskämen.

»Im Grunde ist die Sache viel weniger mysteriös, als die meisten Leute vermuten«, findet auch [Alexey Bobrick](#), Astrophysiker an der Universität Lund. Gemeinsam mit dem New Yorker Finanzinvestor Gianni Martire stieß er bereits 2020 auf aussichtsreiche Lösungen der einsteinschen Feldgleichungen. [Demnach](#) braucht man für eine Warp-Blase bloß eine geschickt geformte Schale aus einem dichten Material, die die Raumzeit in ihrer unmittelbaren Umgebung krümmt – und inner- und außerhalb davon in ein vergleichsweise flaches Weltall mündet.



© Erik Lentz (Ausschnitt)

Erik Lentz's Raumzeitblase | Der US-Physiker hat eine neue Möglichkeit vorgeschlagen, eine Warp-Blase zu erzeugen: Rautenförmige Regionen aus sehr dichtem Plasma würden sich wie ein Vogelschwarm um ein Raumschiff anordnen – so zumindest die stark vereinfachte zweidimensionale Vorstellung. Die Temperatur der Rauten würde sich dabei laufend verändern, was die Warp-Blase stabil halten soll.

Wenn die Zeit langsamer vergeht

Das »vergleichsweise« scheint dabei der springende Punkt zu sein: Alcubierre und spätere Warp-Architekten gingen von einem abrupten Übergang zwischen der stark gekrümmten Raumzeit in der Wand der Blase und dem flachen Inneren und Äußeren aus. Damit stütze man das Gravitationsfeld jedoch auf unnatürliche Weise zurecht, finden Bobrick und Martire. Die Folge: Nur große Mengen negativer Energie können die Wölbung in Raum und Zeit stabilisieren.

Löst man sich hingegen von einer cartoonhaften Seifenblasenoptik, sind plötzlich auch Warp-Blasen auf Basis gewöhnlicher Materie denkbar. Ihr Gravitationsfeld würde nicht einfach verschwinden, wenn man sich von der Wand der Schale entfernt, sondern nach und nach abklingen. Die Raumzeit wäre also auch im Inneren noch gekrümmt. Reisende in einem Raumschiff, das sich genau in der Mitte der Blase befindet, würden dies wohl vor allem am Verstreichen der Zeit bemerken: Ihre Uhren gingen langsamer als im restlichen Weltall, laut Relativitätstheorie eine Begleiterscheinung von Gravitation.

Das mag noch im Sinn einer Reise zu einem weit entfernten Ziel sein. Nicht so andere Überlegungen, die Bobrick und Martire anstellen. So sei bisher keine Möglichkeit bekannt, eine Warp-Blase auch wirklich auf eine hohe Geschwindigkeit zu beschleunigen. Alle bisherigen Ideen zu dem Thema setzten einfach voraus, dass sich die Wölbung in der Raumzeit bereits mit hohem Tempo fortbewegt.

»Keiner der physikalisch denkbaren Warp-Antriebe kann auf Überlichtgeschwindigkeit beschleunigen«, sagt Bobrick. Denn dafür müsste man Materie mit Überlichtgeschwindigkeit ausstoßen – wozu sich keines der uns bekannten Teilchen eignet, da diese maximal mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs sein können. Und mehr noch: Aus dem Raumschiff selbst ließe sich die Blase gar nicht beeinflussen, zumal die Insassen wegen der extrem starken Raumkrümmung den Kontakt zur Außenwelt verlieren.

299 000 Kilometer pro Sekunde legt ein Lichtstrahl zurück. Laut Einsteins spezieller Relativitätstheorie handelt es sich um eine Naturkonstante: Die **Lichtgeschwindigkeit** ist die maximale Geschwindigkeit, die Teilchen erreichen können – und das auch nur, wenn sie keine Masse haben. Folglich kennt die heutige Physik keine Möglichkeit, Objekte auf eine Geschwindigkeit jenseits der Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. Bei genauerer Betrachtung gilt dies jedoch nur innerhalb der vierdimensionalen Raumzeit, aus der das Weltall besteht. Außerhalb davon scheinen auch größere Geschwindigkeiten möglich zu sein.

Auch Erik Lentz sieht beides als Problem an, glaubt aber an eine Lösung. Bobrick verweist derweil darauf, dass man auch mit einem Drittel oder der Hälfte der Lichtgeschwindigkeit zu den Sternen reisen könne – erst recht, wenn die Zeit für die Menschen in der Warp-Blase langsamer vergeht. Dass dadurch alle auf der Erde zurückgebliebenen Verwandten wohl noch vor der Rückkehr an Altersschwäche sterben würden – geschenkt. »Völlig verrückt ist die Sache jedenfalls nicht mehr«, findet der Astrophysiker aus Lund.

Andererseits ist längst nicht alles, was laut Relativitätstheorie möglich erscheint, auch real und technisch umsetzbar. So lassen sich mit Einsteins Feldgleichungen auch »weiße« Löcher (die Antithese zu ihren schwarzen Pendanten), Einstein-Rosen-Brücken (besser bekannt als Wurmlöcher) und andere exotische Veränderungen der Raumzeit beschreiben, die allerdings noch niemand gesehen hat. Womöglich, weil noch unbekannte Naturgesetze derartige Phänomene verhindern.

Von der Theorie zur Praxis

Mancher Forscher findet daher, dass man es nicht übertreiben sollte mit der Fantasterei. Der Raumantriebexperte Martin Tajmar von der Technischen Universität Dresden sieht beispielsweise keine praktische Bedeutung in den aktuellen Arbeiten zum Warp-Antrieb. Sie seien wegen der riesigen Massen, um die es geht, einfach zu weit von dem entfernt, was man auf der Erde testen könne.

Altgediente Warp-Antrieb-Forscher sehen ihre Arbeit daher auch weniger als Vorbereitung für konkrete Experimente, sondern als Möglichkeit, die Grenzen der Relativitätstheorie auszuloten. Dabei seien spekulative »Gedankenexperimente«, wie sie schon Einstein liebend gerne durchführte, zweifellos sinnvoll, argumentiert Francisco Lobo.

Erik Lentz wiederum arbeitet aktiv darauf hin, seine Idee näher an eine technische Anwendung zu bringen. Zwar hat er nach seinem Forschungsaufenthalt in Göttingen einen Job in einer IT-Firma angenommen. Doch in seiner Freizeit macht er sich weiter Gedanken dazu, wie man eine Wölbung in der Raumzeit auf Überlichtgeschwindigkeit beschleunigen könnte und wie sich die Energieanforderungen senken ließen.

Daneben plädiert er dafür, sich die Umgebung von Neutronensternen ganz genau anzusehen. Es könnte ja sein, dass die ultrakompakten Sternleichen manchmal jene Blasen ins All schleudern, die er in seinem Aufsatz beschreibt. »Solange man sich nicht von Wunschdenken in die Irre führen lässt, ist der Warp-Antrieb eine Forschungsrichtung wie jede andere auch«, findet er.

Jean-Luc Picard würde es vermutlich ähnlich sehen. »Dinge sind nur so lange unmöglich, bis sie es nicht mehr sind«, sinniert er in einer Folge von »Star Trek«. Aber das lässt sich auch leicht sagen, wenn man 300 Jahre in der Zukunft lebt.



Robert Gast

Der Autor ist Physiker und war Redakteur bei »Spektrum.de« und »Spektrum der Wissenschaft«.

[@Gastrobo folgen](#)