

Bernhard Gleich,
Philips Technologie
GmbH Hamburg

Sascha Trippe, PhD,
Assistant Professor,
Seoul National Uni-
versity, South Korea

**Prof. Dr. Ulrich
Mosel,** JLU Giessen

strom 15 ct/kWh angegeben. Diese Rechnung spiegelt die realen Eigenschaften von bekannten Akkumulatoren nicht wider. Akkumulatoren haben nicht nur eine beschränkte Anzahl von (effektiven) Vollladezyklen, sondern auch eine beschränkte zeitliche Lebensdauer von etwa 10 Jahren. Selbst wenn jeden Tag ein Vollzyklus gefahren werden würde, sind dies in 10 Jahren nur 3652 Vollzyklen. Die Annahme von einem Vollzyklus pro Tag ist natürlich auch nicht realistisch. Man kommt mit Szenarien für eine Vollversorgung Deutschlands aus Wind und Photovoltaik auf 10 bis 40 (effektive) Vollzyklen pro Jahr. Der freie Parameter ist der Anteil der erzeugbaren, aber nicht genutzten Energiemenge. Damit kommt man mit den 250 Euro/kWh Akkumulator zu Speicherkosten zwischen 50 und 250 Euro/kWh. Diese Rechnung ist konsistent mit den Abschätzungen in der Doktorarbeit von Matthias Popp, in der für ein nationales Szenario 14 Tagesladungen (Tagesverbräuche) an Speicherbedarf angegeben wird, also etwa 20 TWh.¹⁾ Für den angegebenen Akkumulatorpreis sind das 5 Billionen Euro, oder – bei 10 Jahren Lebensdauer des Speichers – 500 Milliarden Euro pro Jahr. Umgerechnet auf die Kilowattstunde ergibt dies etwa 1 Euro Speicherkosten.

Diese Rechnung ist natürlich nicht vollständig, da weitere Kosten wie Netzertüchtigung, Gebäudekosten, Kühlung/Klimatisierung, Stromrichter, Zinsen, Wirkungsgradverluste und Wartung fehlen. Wenn man einen Speicherpreis von 5 ct/kWh als erträglich erachtet, scheint es notwendig zu sein, die Speichersystemkosten auf 12 Euro/kWh zu drücken, also auf ein Vierzigstel der aktuellen Akkumulatorkosten (500 Euro/kWh). Die Erhöhung der Lebensdauer hilft bei der Kostenreduzierung. Durch Zinseffekte ist die Auswirkung allerdings relativ begrenzt. Zinsen sind übrigens auch auf die Umweltwirkung zu „zahlen“, da eine frühere CO₂-Emission wahrscheinlich gravierendere Auswirkungen hat als eine spätere.

Bernhard Gleich

■ Dunkle Materie? Gibt es nicht!

Zu: „Dunkle Materie bleibt im Dunklen“ von Rafael Lang, März 2014, S. 18

Der bemerkenswerte Eröffnungssatz „Aufgrund einer Vielzahl von astrophysikalischen Beobachtungen [...] wissen wir heute, dass Dunkle Materie existiert“ ist leider charakteristisch für ein weit verbreitetes Missverständnis: Die Astrophysik behauptet nichts dergleichen. Ausgehend von der Annahme, dass auf astronomischen Skalen das Newtonsche Gravitationsgesetz gilt, finden astronomische Beobachtungen von Galaxien und Galaxienhaufen eine systematische Diskrepanz zwischen beobachtbarer Masse (Sterne und interstellare Materie) und dynamischer Masse (abgeschätzt aus der Stärke von Gravitationsfeldern). Dafür gibt es (mindestens) zwei mögliche Erklärungen: (1) Etwa 85 % der dynamischen Masse in Galaxien und Galaxienhaufen ist „unsichtbar“ für elektromagnetische Strahlung – „Dunkle Materie“ eben; oder (2) das Newtonsche Gravitationsgesetz muss modifiziert werden.

Seit etwa zehn Jahren deuten mehr und mehr astronomische Beobachtungen darauf hin [1, 2], dass des Rätsels Lösung in einem modifizierten Gravitationsgesetz zu suchen ist: Das Verhältnis von dynamischer und beobachteter Masse von Galaxien ist eine Funktion der Gravitationsfeldstärke; die vierte Potenz der Geschwindigkeit (und nicht die zweite wie in Newtons Gesetz) von Sternen in Galaxien ist proportional zur beobachteten Galaxienmasse (Tully-Fischer- und Faber-Jackson-Beziehungen); das Verhältnis der Masse von Scheibengalaxien zu ihrer Fläche ist proportional zum Quadrat der Gravitationsfeldstärke (und nicht linear proportional wie in Newtons Gesetz) usw. Alle Beobachtungen sind in sehr guter Übereinstimmung mit einem modifizierten Gravitationsgesetz, das 1983 von Mordehai Milgrom vorge schlagen wurde [3] und unter dem Namen „modifizierte Newtonsche Dynamik“ (MOND) bekannt ist.

Teilchenphysiker sollten natürlich nicht aufhören, nach unbe-

kannten Teilchen und Kandidaten für Dunkle Materie zu suchen, aber sie sollten auch im Hinterkopf behalten, dass es diese Dunkle Materie wahrscheinlich nicht gibt.

Sascha Trippe

- [1] B. Famaey und S. S. McGaugh, *Living Rev. Relativ.* **15**, 10 (2012)
- [2] S. Trippe, *Z. Naturforsch. A* **69**, 173 (2014)
- [3] M. Milgrom, *Astrophys. J.* **270**, 365 (1983)

Erwiderung von R. Lang:

In der Tat lassen sich die Beobachtungen auf galaktischen Größenordnungen durch MOND elegant erklären. Sowohl bei Galaxienhaufen als auch über kosmologische Distanzen hat MOND allerdings deutliche Schwierigkeiten. Dass diese alternative Sichtweise zurzeit nicht dieselbe Verbreitung findet wie die der Dunklen Materie, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese rein empirische Modifikation der ansonsten so eleganten Einsteinschen Theorie unbegründet bleibt, während zusätzliche Teilchen aufgrund einiger Ungeheimheiten im sehr erfolgreichen Standardmodell der Teilchenphysik sowieso zu erwarten sind. Für mich stellt sich daher die spannende Frage, wieso sich die Dunkle Materie auf galaktischen Skalen so verhält wie durch MOND beschrieben.

■ Sicherung des Waffenarsenals

Zu: „Trägheitsfusion – Durchbruch oder Werbegag“ von Markus Roth, April 2014, S. 18

Da der „Durchbruch“ bei der Trägheitsfusion es sogar in die Zeitungsseiten geschafft hatte, ist es sicherlich nützlich, hier eine physikalisch sachliche Darstellung des Standes dieser Entwicklungen zu lesen.

Trotzdem fehlt in dem Artikel ein ganz wichtiger Punkt, den der Autor (im 2. Absatz) nur kurz anreißt, wo er schreibt, dass die Trägheitsfusion auch „... der Sicherung des nuklearen Arsenal (Stockpile Stewardship)“ dient. Das ist reichlich verniedlichend ausgedrückt.

Die Arbeiten am NIF zielen ganz wesentlich auch darauf ab, eine

1) M. Popp, Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien, Springer, Heidelberg (2010)

2) Der Brief ist unter www.fas.org/betheltr.htm zu finden.

3) C. Macilwain, *Nature* **387**, 439 (1997)

4) www.princeton.edu/sgs/publications/sgs/pdf/7_2Jones.pdf

5) www.ucsus.org/assets/documents/nwgs/stockpile-stewardship-management-plan-summary-fy2011.pdf

4. Generation von Kernwaffen, sog. „pure fusion weapons“ zu entwickeln. Bisherige Wasserstoffbomben benötigen alle einen Spaltzünder, um die Fusion zu starten. Die „pure fusion weapons“ haben aus militärischer Sicht den Vorteil, mit weniger radioaktivem Fallout verbunden zu sein; gleichzeitig wäre ihre Verbreitung weniger leicht zu kontrollieren als bei Spaltbomben. Deshalb wird schon seit langem an den einschlägigen Waffenlabors an neuartigen Zündverfahren gearbeitet; dazu zählen chemische Explosionszünder, elektromagnetische Kompressionen und auch die Inertialfusion. All dies ist seit langem bekannt. Der Physik-Nobelpreisträger Hans Bethe hat in einem Brief 1997 an den Präsidenten der USA, Clinton, bereits auf diese Gefahren hingewiesen und ihn aufgefordert, solche Forschung zu stoppen.²⁾

Auch der Artikel „Research ‚could still result in nuclear arms‘, warn experts“³⁾ geht darauf ein, ebenso wie der Artikel von Frank von Hippel in *Science & Global Security*.⁴⁾

Dass diese Bedenken zu Arbeiten an der Trägheitsfusion bis heute nicht überholt sind, wird im Haushaltsentwurf 2011 der National Nuclear Security Administration deutlich, wo explizit als ein Teil der „weapons activities“ gelistet wird: Inertial Confinement Fusion Ignition and High Yield Campaign.⁵⁾

Ulrich Mosel

Erwiderung von M. Roth:

Der Fokus des Brennpunkts lag auf den jüngsten Erfolgen in der Fusionsforschung. Wie in dem Bericht erwähnt, ist ein Auftrag der National Ignition Facility die Forschung im Bereich des Stockpile Stewardship, der Sicherung des US Nuklearwaffenarsenals. Diese Forschung unterliegt verständlicherweise der Geheimhaltung, und ich werde mich nicht zu deren Zielen oder Präferenzen äußern, da ich hierüber keine Informationen habe.

Hans Bethe hat in seinem Brief, in dem er die Forschung zu Stockpile Stewardship nachdrücklich befürwortet, bereits vermerkt, dass reine Fusionswaffen Spekulation

sind und deren Realisierung höchst unwahrscheinlich ist. Im gleichen Jahr hat das Department of Energy zugegeben, eine Zeit auf dem Gebiet gearbeitet zu haben, die Forschung mittlerweile aber beendet zu haben.

Die Schwierigkeiten, mit einer Fußballfeld großen Laseranlage eine Fusion der Stärke von 100 MJ zu zünden, zeigt, wie sehr solche Ideen ins Reich der Phantasie gehören. So sehr es auch jedem zusteht, die Aussagen von Regierungen in

Zweifel zu ziehen, so sehr kann sich jeder Physiker selbst ein Bild davon machen, wie unwahrscheinlich die notwendigen Bedingungen zur Zündung einer Fusion mit chemischen oder elektromagnetischen Mitteln sind. Gleiches gilt auch für die im gleichen Atemzug oft genannten Antimateriebomben oder -strahlen.