

Spielwiese

Ein irritierend rotierender Globus

CHRISTIAN UCKE | HANS JOACHIM SCHLICHTING

Ein auf einem feststehenden Dreibein befindlicher Globus dreht sich lautlos und scheinbar ohne äußere Energiezufuhr. Dahinter steckt eine ingeniöse Kombination von Hightech-Materialien und Geräten mit bekannten mechanischen und optischen Effekten, die sich erst nach und nach erschließt.

In einem Europäischen Patent [1] steht in einer für Patente typischen Diktion zu dem in Abbildung 1 sichtbaren Globus: „Eigenantriebene, mobile, im Wesentlichen stationäre Struktur, welche aufweist: einen sich drehenden Körper, der einen in sich abgeschlossenen Antriebsmechanismus umschließt, der von Energie angetrieben ist, die von elektromagnetischen Strahlungen herrührt, wobei der Mechanismus ein magnetisiertes, Gegendrehmoment produzierendes Element aufweist, das festgelegt ist durch und ausgerichtet ist entlang die/der Richtung eines umliegenden Energiefelds, welches das Erdmagnetfeld aufweist.“

Sieht man den sich drehenden Globus in der Realität, erschließt sich einem zumindest teilweise der erste Teil der Beschreibung. Dennoch ist es bei bloßer Betrachtung unverständlich, wie sich die Erdkugel auf dem fest stehenden Dreibein drehen kann. Nimmt man die Kugel in die Hand, hat man sofort ein erstes Aha-Erlebnis: Die Kugel mit der politischen Weltkarte dreht sich weiter, ohne spürbare Bewegung in der Hand. Dreht man dann die Kugel, bleibt der Nordpol immer oben. Offenbar befindet sich eine innere, frei bewegliche Kugel in einer äußeren, transparenten Kugel, die man fest umfassen und drehen kann.

Mit dieser ersten Schlussfolgerung beginnen wir im Folgenden eine Untersuchung eines Systems, in das wir nicht direkt hineinschauen können, ohne es zu zerstören. Wir müssen gewissermaßen nichtinvasiv vorgehen. Dadurch wird der Reiz der Untersuchung aber eher noch erhöht, weil wir – insbesondere optische – Methoden anwenden, die es erlauben, den inneren Aufbau des Globus zu erschließen. Alle Messungen und Größenangaben beziehen sich auf einen Globus mit einem Außendurchmesser von 11,43 cm. Den Link zu einem Video finden Sie am Ende des Artikels.

Lagerung der inneren Kugel

Es gibt schon lange ein kleines Spielzeug ohne viel Hightech. Der amerikanische Erfinder des Mova-Globus, William W. French, erklärt in einem Video [2] auch, dass er durch dieses Spielzeug eine Anregung für seinen Globus erhalten hat. In einer transparenten Plexiglasskugel befindet sich eine Flüssigkeit (Petroleum), und in dieser schwimmt eine zweite Kugel in Gestalt eines Auges, auch Schlitterauge oder Glide Eye Ball genannt (Abbildung 2). Faszinierend ist, dass das Auge immer nach oben schaut, wenn man das Spielzeug über eine Ebene rollen lässt. Da der Schwerpunkt der inneren Kugel unter ihrem Mittelpunkt liegt, schwimmt die Kugel immer mit derselben Seite nach oben. Die mittlere Dichte der inneren Kugel ist etwa gleich groß wie die Dichte der Flüssigkeit.

Allerdings berührt die innere Kugel die äußere Kugel immer an irgendeiner Stelle von innen. Es ist grundsätzlich nicht möglich, ein Objekt ohne weitere Hilfsmittel stabil innerhalb einer homogenen Flüssigkeit mit konstanter Temperatur schweben zu lassen, ohne dass es irgendwo aufliegt. Das bekannte Galileo-Thermometer ist ein Beispiel [3]. Kleinste Temperaturänderungen bewirken unterschiedliche Dichteänderungen von innerer Augenkugel und Flüssigkeit und damit ein Absinken oder Hochschwimmen. Allerdings ist die Gleitreibung aufgrund dieser Berührung so gering, dass die Beweglichkeit kaum eingeschränkt wird.

Es gibt jedoch eine Möglichkeit, ein stabiles Schweben eines Körpers zu erreichen. Man platziert ihn auf die Grenzschicht zwischen zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte, wobei die mittlere Dichte des Körpers gerade zwischen den Dichten beider Flüssigkeiten liegt. Die untere Flüssigkeit hat eine größere Dichte als die obere. Genau diese Möglichkeit ist beim Mova-Globus realisiert (Abbildung 3a).

Im unteren Teil der äußeren Kugel befindet sich eine transparente, dichtere Flüssigkeit, darüber eine weniger dichte, ebenfalls transparente Flüssigkeit. Gemäß dem Patent [4] handelt es sich um spezielle Fluorcarbon- und Hydrocarbon-Flüssigkeiten mit Dichten von 1,69 g/cm³ beziehungsweise 0,75 g/cm³. Die mittlere Dichte der Innenkugel liegt mit 0,81 g/cm³ dazwischen. Durch eine kleine Veränderung der mittleren Dichte der Innenkugel kann man er-

reichen, dass die Kugel etwas höher oder tiefer schwebt, aber nicht unten oder oben anstößt. Die nur schwach sichtbare Grenze zwischen beiden Flüssigkeiten ist im unteren Bereich der Kugeln zu erkennen.

Tatsächlich schwebt die Innenkugel nicht exakt zentrisch in der äußeren Kugel, wie sich leicht mit einer optischen Untersuchungsmethode verifizieren lässt. Für eine zentrische Lagerung wären eine extrem genaue Abstimmung der Dichten und zudem noch eine Temperaturstabilisierung erforderlich.

Optische Eigenschaften

Überraschend ist es, dass man die transparente, äußere Kugelschale praktisch nicht sieht. Man hat das Gefühl, die Weltkarte befände sich auf der Oberfläche der äußeren Kugel. Das macht einen wesentlichen Reiz des Globus aus.

Blickt man auf den Rand der äußeren Kugel, wird das vom Inneren der Kugel kommende Licht zum Auge des Betrachters hin gebrochen. Dem Auge erscheint unmittelbar die innere Kugel auf der Oberfläche der äußeren Kugel (Abbildung 3b). Mit einer Brechzahl von $n_2 = 1,49$ für Plexiglas ergibt sich für den Winkel $\gamma \approx 138^\circ$, das ist das 180° -Komplement zum Winkel für die Totalreflexion beim Plexiglas ($\theta_c = 42,2^\circ$).

Leuchtet man mit einem grünen Laser ungefähr senkrecht auf die Oberfläche, erscheint um den hellen Auftreffpunkt des Laserstrahls auf der inneren Kugel ein dunkler Kreis, umgeben von einem hellen Rand, dessen Helligkeit weiter nach außen schnell abnimmt (Abbildung 4). Dieser Effekt wurde als Teetassen-Lichtmustereffekt beschrieben [5, 6]. Der durch die Plexiglasschicht der äußeren Kugel und durch die Flüssigkeitsschicht auf die Oberfläche der inneren Kugel auftreffende Laserstrahl wird diffus in alle Richtungen reflektiert. Einige der Strahlen können aus dem Medium austreten, und man sieht den auftreffenden Strahl als – sehr hellen – Lichtpunkt. Überschreitet ein reflektierter Strahl jedoch den Grenzwinkel der Totalreflexion, bleibt das Licht innerhalb der Schicht – beim Mova-Globus innerhalb der Doppelschicht aus Plexiglas und Flüssigkeit – gefangen, und trifft wieder auf die innere Oberfläche auf. Es gibt also einen kreisförmigen Bereich um den Auftreffpunkt, in dem kein Licht auf die Oberfläche kommt. Dieser Bereich erscheint als dunkler Kreis.

Dadurch wird unmittelbar ein Vergleich der Dicke der Flüssigkeitsschicht des Mova-Globus an verschiedenen Stellen nahegelegt und damit eine Beurteilung, wie gut zentrisch die innere Kugel schwebt. Erscheint der Durchmesser nämlich größer, so verweist das auf eine größere Dicke der Flüssigkeitsschicht. Bei diesen Feststellungen haben wir die Dicke der äußeren Plexiglas-Kugel stillschweigend als konstant vorausgesetzt.

Darüber hinaus macht man auf diese Weise die unterschiedlichen Brechzahlen der zwei in der Kugel vorhandenen Flüssigkeiten sichtbar. Der Durchmesser des dunklen Kreises in der Umgebung des Südpols ist größer als in der Region unmittelbar oberhalb der dichteren Flüssigkeit. Das

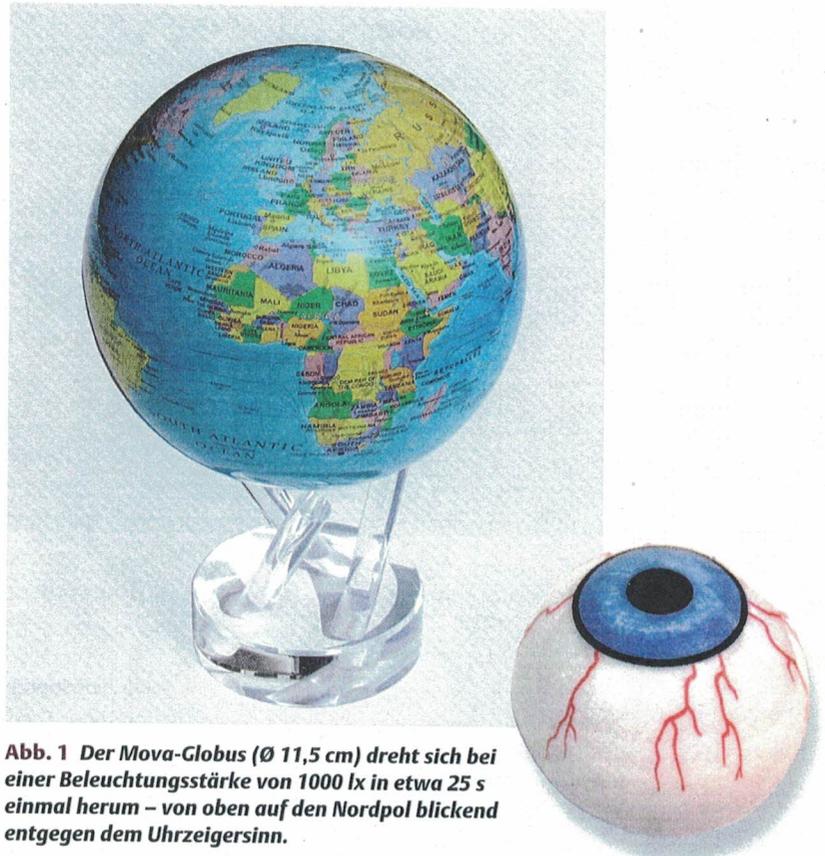


Abb. 1 Der Mova-Globus (Ø 11,5 cm) dreht sich bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 lx in etwa 25 s einmal herum – von oben auf den Nordpol blickend entgegen dem Uhrzeigersinn.

Abb. 2 Augenkugel (Ø 4 cm).

deutet auf eine kleinere Brechzahl der hier befindlichen Flüssigkeit hin [5].

Aufbau der inneren Kugel

Das eigentliche Geheimnis steckt auf und in der inneren Kugel. Da wir aus Kostengründen zunächst keinen Mova-Globus zerstören wollten, beziehen wir uns hier auf ein Video und das Patent des Erfinders [2, 4] sowie eine Röntgenaufnahme.

Die Oberfläche der inneren Kugel ist teildurchlässig gestaltet, so dass etwa 10 % des Lichts durchdringen kann (Abbildung 5). Das Innere der Kugel sieht man nicht, wenn man von außen auf die Oberfläche blickt, da das relativ dunkle Innere gegen die beleuchtete Oberfläche einen sehr starken Kontrast aufweist.

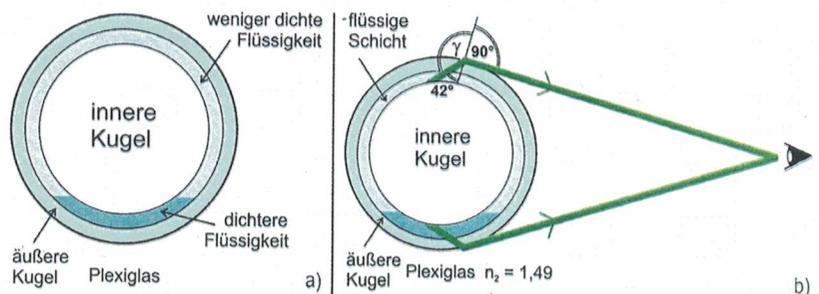


Abb. 3 a) Lagerung der Innenkugel beim Mova-Globus; b) Lichtbrechung am Rand der Kugel (beide Grafiken nicht maßstabsgerecht; die Winkel stimmen aber).

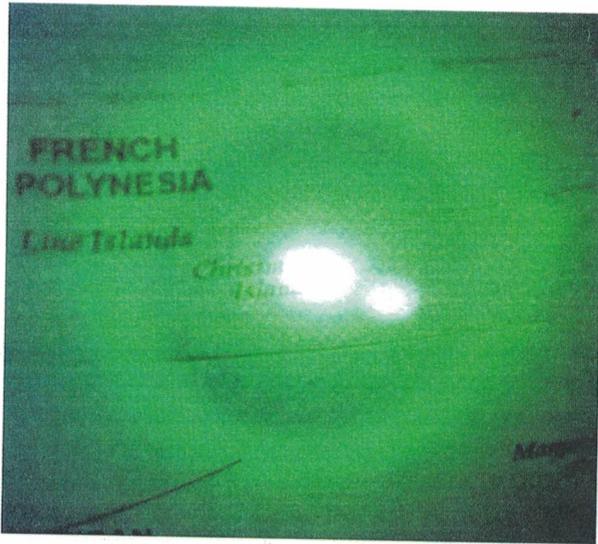


Abb. 4 Totalreflexion mit einem Laser. Der kleinere, helle Punkt ist der Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die äußere Plexiglaskugel.

Ein in der inneren Kugel im unteren Bereich befestigter Motor wird von Solarzellen angetrieben. Durch diese Lage unten liegt der Schwerpunkt der inneren Kugel unterhalb des Mittelpunkts. Würde die Achse des Motors nicht irgendwie festgehalten, würde sich bei Lichteinfall nur die Motorachse drehen. Hier ist jedoch an der Achse des Motors nahe am Nordpol ein länglicher Magnet horizontal befestigt, der sich am Erdmagnetfeld ausrichten und „festhalten“ kann. Das ist das „magnetisierte, Gegendrehmoment produzierende Element“ aus der Patentbeschreibung. Behält dieser Kompassmagnet seine Position bei, dreht sich die innere Kugel mit dem Motor. Wir haben es hier also mit einer

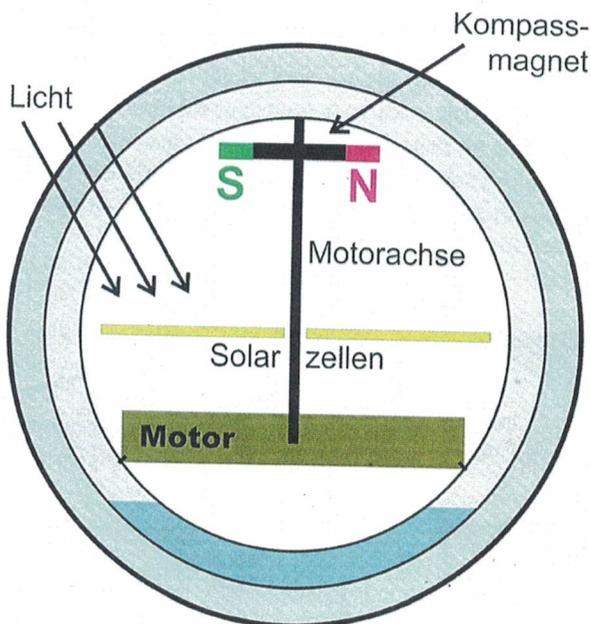


Abb. 5 Motor mit Solarzellen (nicht maßstabsgerecht).

ans Fantastische grenzenden Technik zu tun, mit Hilfe des Erdmagnetfeldes einen Gegenstand im Raum zu fixieren.

Der tatsächliche Aufbau eines Mova-Globus und insbesondere der inneren Kugel lässt sich aus einer Röntgenaufnahme erschließen (Abbildung 6). Die Schichtdicke der äußeren Plexiglaskugel ergibt sich zu 3 mm. Die Dicke der Flüssigkeitsschicht ist etwas ungleichmäßig und schwankt zwischen 3 und 5 mm. Im unteren Teil erkennt man deutlich die Schicht mit der dichteren Flüssigkeit.

Das schwarze Rechteck im oberen Teil ist der Kompassmagnet. Die Solarzellen liegen in der Mitte der inneren Kugel, wo sie eine maximale Größe erreichen können. Darunter liegt der Motor. Bei dieser Anordnung kommt es auf das optimale Zusammenspiel aller Komponenten an. Der Kompassmagnet kann keinem großen Drehmoment widerstehen, deswegen müssen der Anlauf- und Reibungswiderstand der inneren Kugel gegen die äußere Kugel so klein wie möglich sein. Das gewährleistet die Flüssigkeitsschicht der inneren Kugel. Der Motor benötigt laut Hersteller im Extremfall eine Leistung von lediglich einem Mikrowatt.

Da die Solarzellen waagrecht in der inneren Kugel liegen, reagiert der Mova-Globus besser auf Licht, das von oben kommt oder seitlich schräg einfällt. Er dreht sich dann schon bei einer Beleuchtungsstärke von etwa 100 lx und kann für eine Umdrehung an die 60 s brauchen. Bei bedecktem Himmel im Freien misst man ohne Weiteres Beleuchtungsstärken von 20 000 lx, der Globus vollführt dann in weniger als 20 s eine Umdrehung. Direkter Sonnenstrahlung soll man das Gerät allerdings nicht aussetzen.

Während die bisherigen Untersuchungen eine Kombination aus Black-Box-Methode und einer zerstörungsfreien Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen darstellen, erkunden wir im Folgenden das Innere des Globus direkt (Abbil-

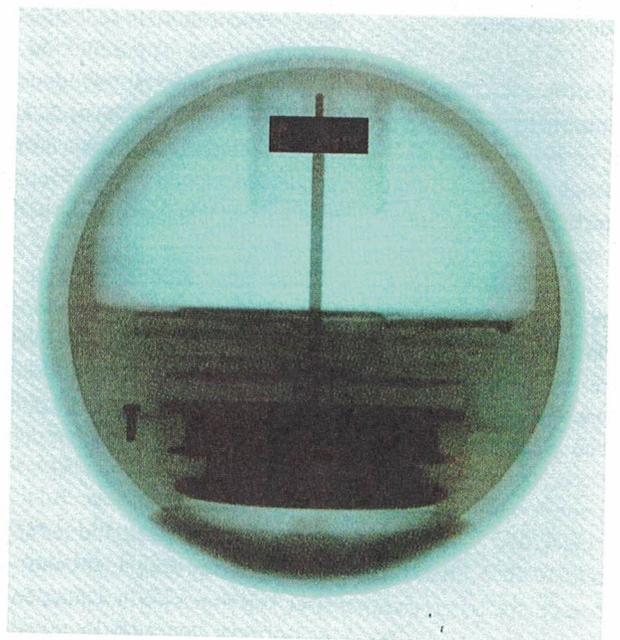


Abb. 6 Röntgenbild des Globus.

dung 7). Dazu haben wir die äußere Plexiglaskugel auf-
 gesetzt und abgenommen. Die Flüssigkeiten zwischen äußerer
 und innerer Kugel wurden vorher mit einer Spritze abge-
 saugt.

Die Oberfläche der inneren Kugel wurde auf einem
 Großkreis vorsichtig angeritzt, wobei sich eine mit der Karte
 bedruckte Folie ablösen lässt. Dadurch wird der Blick auf das
 Innere frei (Abbildung 7), wo man den zylindrischen Kom-
 passmagnet oben inklusive der zum Motor führenden Achse
 erkennt. Eine zylindrische Plexiglashülle schützt ihn und die
 Achse vor möglichen Transportschäden. Drei Solarzellen mit
 Zuleitungen zum Motor sind ebenfalls sichtbar. Die untere
 Hälfte der Kugel ist mit einer klaren und elektrisch nichtlei-
 tenden Flüssigkeit gefüllt, welche die Solarzellen gerade be-
 deckt. Damit lässt sich das Gewicht dieser Kugel sehr genau
 einstellen, so dass sie präzise zwischen den beiden in der
 äußeren Kugel befindlichen Flüssigkeiten schwebt. Den
 Rand dieser Flüssigkeit kann man an der inneren Kugelfläche
 ausmachen. Sie ist auch im Röntgenbild zu sehen. Der Motor
 befindet sich komplett eingekapselt unterhalb der Solarzelen.

Setzt man die so befreite, innere Kugel in ein wasserge-
 fülltes Behältnis, schwimmt sie darin und taucht etwa zu
 zwei Dritteln ein. Es ist ein hübscher Effekt, dass die Kugel
 - besonders mit wieder aufgesetzter, bedruckter Folie - bei
 geeigneter Beleuchtung im Wasser zu rotieren beginnt (sie-
 he Video). Dabei braucht es geraume Zeit, bis sich eine
 stabile Rotation einstellt. Die Solarzellen drehen den Motor
 sofort an, der Kompassmagnet wird zunächst mit ange-
 dreht, bis er sich stabil im Erdmagnetfeld ausrichtet.

Magnetische Experimente

Der Kompassmagnet liegt etwa 2 cm unterhalb des Nord-
 pols und verursacht direkt an der Oberfläche des Globus
 ein Magnetfeld von etwa 2 mT. Bis zu 10 mT ergeben sich
 einige Zentimeter weiter, wenn man gerade einem Pol des
 Kompassmagneten nahe kommt. Da sollte man besser nicht
 mit seinem Smartphone messen.

Legt man auf den Nordpol eine übliche, längliche fer-
 romagnetische Büroklammer (Abbildung 8), richtet sie sich
 sofort in der Richtung des Kompassmagneten aus. Dreht
 man die Büroklammer mit der Hand vorsichtig um 90° ent-
 gegen dem Uhrzeigersinn, bewegt man den Kompassmag-
 net darunter mit. Das geht sehr leicht, womit man gleich-
 zeitig zeigt, wie gering das Drehmoment ist, dem der Kom-
 passmagnet widerstehen kann und wie leichtgängig der
 Globus gelagert sein muss, um dennoch am Erdmagnetfeld
 fixiert werden zu können. Die innere Kugel kann man auf
 diese Weise etwas beschleunigen. Umgekehrt kann man
 die innere Kugel bis zum Stillstand abbremsen oder sogar
 die Drehrichtung kurzzeitig umkehren, wenn man die Bü-
 roklammer gefühlvoll im Uhrzeigersinn dreht.

Das Drehen der Büroklammer und damit des Kompass-
 magneten hat allerdings Folgen. Lässt man die verdrehte
 Büroklammer auf dem Nordpol liegen, versucht der Kom-
 passmagnet, sich an der Büroklammer und am Erdmagnet-

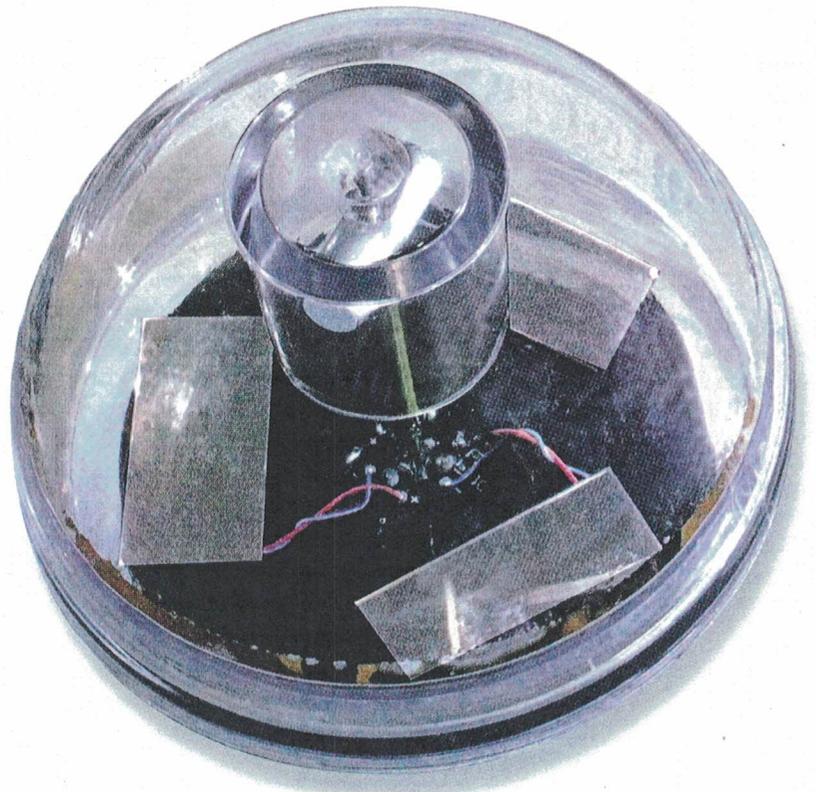


Abb. 7 Blick ins Innere der inneren Kugel des Globus.

field auszurichten. Da die Büroklammer jedoch sehr leicht
 ist und nur eine geringe Reibung auf der Plexiglasoberflä-
 che aufweist, dreht der Kompassmagnet die Büroklammer
 mit. Es gibt in der Folge ein Wechselspiel zwischen Aus-

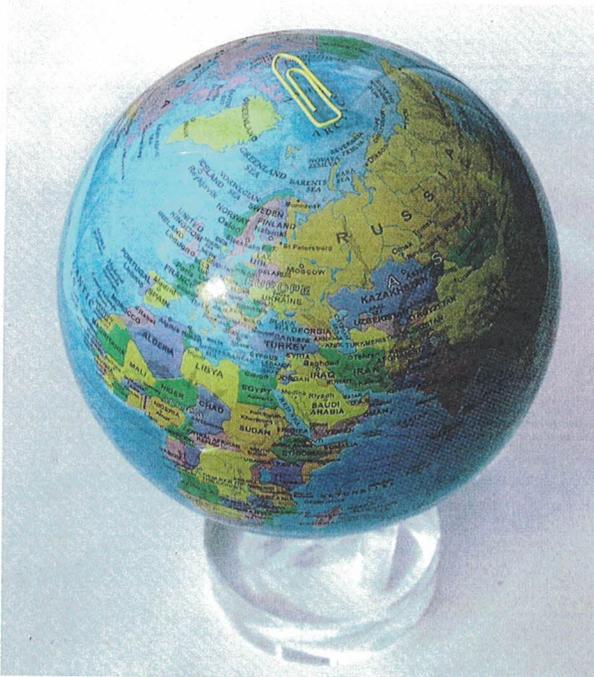


Abb. 8 Mit einer Büroklammer auf dem Nordpol lassen sich einige Experimente durchführen.

Zum Thema



Physikalische Spielereien.
H. J. Schlichting,
C. Ucke, 150 S.,
250 Abb., Wiley-
VCH, Weinheim
2016, geb. 29,90 €.
ISBN 978-3-527-
33893-1.

richtung des Kompassmagneten und der sich weiter drehenden Motorachse. Das führt erst nach einer gewissen Zeit zu einer gleichmäßig normalen Drehung. Ähnliches passiert, wenn man die Büroklammer nach dem Auflegen und Drehen wieder wegnimmt.

Transportiert man den Globus aus einer dunklen Umgebung in eine relativ helle Umgebung, muss sich der Kompassmagnet wie normalerweise bei jedem Ortswechsel auch neu ausrichten. Zur gleichen Zeit dreht der Motor aber relativ schnell los. Das kann dazu führen, dass er den Kompassmagneten mitdreht und der Globus sich zunächst nicht dreht oder eine ganze Weile braucht, bis er seine reguläre, gleichmäßige Drehung erreicht.

Zusammenfassung

Ein auf einem feststehenden Dreibein befindlicher Globus dreht sich lautlos und scheinbar ohne äußere Energiezufuhr. Im Inneren einer transparenten Plexiglashohlkugel befindet sich eine schwebend zwischen zwei Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte gelagerte zweite Kugel. Durch den Kartenaufdruck dieser Kugel kommt etwa 10 % des einfallenden Lichts hindurch und treibt über Solarzellen einen Motor an. Die Achse des Motors ist an einem Magneten befestigt, der sich am Erdmagnetfeld ausrichtet und dadurch im Raum fixiert wird.

Stichwörter

Mova-Globus, Kompassmagnet.

Literatur

- [1] Selbstdrehende sphärische Anzeigevorrichtung, Europäisches Patent EP 1224649 B1.
- [2] www.youtube.com/watch?v=OypjajrHslg
- [3] C. Ucke, H. J. Schlichting, Phys. Unserer Zeit **1994**, 25(1), 44.
- [4] Frictionless self-powered moving display, Patent Number: US 6,952,151 B2, Oct. 2005.
- [5] H. J. Schlichting, Phys. Unserer Zeit **2013**, 44(2), 98.
- [6] H. J. Schlichting, C. Ucke, Physikalische Spielereien, Wiley-VCH, Weinheim 2016, 123.

Zusatzmaterial

Das Video finden Sie unter „Supporting Information“ auf <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/piuz.201701469/supinfo>

Die Autoren



Die beiden Autoren sind Begründer der Rubrik Spielweise und schreiben seit mehr als 20 Jahren für Physik in unserer Zeit.

Anschriften

Dr. Christian Ucke, Rofanstraße 14B, 81825 München, christian.ucke@web.de

Prof. Dr. Hans Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster, Schlichting@uni-muenster.de.



ISBN: 978-3-527-33007-2.
November 2012
906S. mit 1200 Abb., davon 800 in Farbe
Gebunden € 79,-

DER CALLISTER JETZT AUCH AUF DEUTSCH KANN'S

W. D. CALLISTER
D. G. RETHWISCH

Übersetzungsherausgeber:
M. Scheffler

**Materialwissenschaften
und Werkstofftechnik**
Eine Einführung

Wiley-VCH • Tel. +49 (0) 62 01-606-400 • E-Mail: service@wiley-vch.de
Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: Dezember 2013

Der „Callister“ bietet für Hauptfachstudenten an Universitäten und Fachhochschulen den gesamten Stoff der Materialwissenschaften für den Bachelor und das beginnende Masterstudium.

Das Buch ist auch perfekt als Lehrbuch in Wahlpflichtvorlesungen für Nebenfachstudenten geeignet.

WILEY-VCH