

# Der Lauf der Zeit, der Gang der Uhr, der Stand der Technik

von Fedor Mitschke

*Zeitmessung ist eine elementare Aufgabe, die für alltägliche Abläufe ebenso Voraussetzung ist wie für astronomische Forschung. In diesem Artikel wird die historische Entwicklung der Uhren skizziert. Es war ein langer Weg, bis der Gang der Uhren – also die Rate, mit der die Anzeige fortschreitet – den Sollwert (exakt ein Sekundentick pro Sekunde, 60 pro Minute, 86 400 pro Tag, etc.) mit der heutigen fast unglaublichen Genauigkeit traf. Die Drehung der Erde um die eigene Achse und ihre Bewegung um die Sonne sind längst zu ungenau geworden.*

*Wir wissen es nicht.* Was die Zeit letztlich, eigentlich *ist*: Auf diese philosophische Frage gibt es keine verbindliche Antwort. Zum Beispiel erstaunt uns ihre auffällige Eigenschaft, stets nur in eine Richtung voranzuschreiten. Die meisten Naturgesetze, von den Newton'schen Gleichungen der Mechanik bis zu *Keplers* Gleichungen für die Planetenbahnen, würden auch erlauben, dass „der Film rückwärts abläuft“. Warum die Zeit immer nur vorangeht, dazu gibt es viele kluge Gedanken (siehe z. B. in [1]), aber kein letztes Wort.

## Zeitmessung

*Seien wir also pragmatisch:* Wir messen die Zeit. Was bedeutet das? Die Messung einer Strecke, beispielsweise der Breite eines Grundstücks, ermitteln wir durch Abschreiten in Meterschritten; wenn es genauer sein muss, nehmen wir vielleicht ein Bandmaß mit gleichmäßigen Marken. Zur Zeitmessung zählen wir entsprechend die Dauer eines Vorgangs mit unserem Puls ab (noch zur Zeit *Galileis* das übliche Verfahren) oder, wenn es genauer sein muss, mithilfe eines Apparats, der in möglichst gleichmäßigen Zeitabständen „tickt“. Astronomische Vorgänge liefern uns besonders offensichtliche Ticks mit charakteristischen Zeitabständen: Die Erdbahn um die

Sonne definiert das Jahr, die Erddrehung den Tag.

Mit einer Sonnenuhr kann man den Tag noch „interpolieren“, und so war im Mittelalter die Temporalstunde als ein Zwölftel des Zeitraums zwischen Sonnenaufgang und -untergang definiert. Solche Stunden sind also im Winter kürzer als im Sommer – und das sogar extrem, wenn man hoch im Norden ist. Für Zeitdauern im Minutenbereich und darunter sind astronomische Zeiteinteilungen nicht tauglich. Deswegen waren Menschen schon früh erfinderisch beim Erkennen weiterer Vorgänge, die einigermaßen regelmäßig ticken. Wassertropfen fallen ziemlich regelmäßig aus einer feinen Düse; darauf beruhen Wasseruhren. Sand rieselt gleichmäßig durch einen engen Kanal: daher die Sanduhr. Auf gleiche Weise hergestellte Kerzen brennen immer etwa gleich lange; auch damit kann man Zeit messen.

Irgendwann konnte die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit derartiger Zeitmessungen den Ansprüchen nicht mehr genügen. Seit der Bronzezeit hat sich die menschliche Gesellschaft immer mehr in eine arbeitsteilige Gesellschaft ausdifferenziert, und es bildeten sich verschiedene Berufe. Damit die Arbeitsteilung richtig funktioniert, müssen Waren und Informationen jeweils zur rechten Zeit von einem Ort zum anderen gelangen; das erfordert Logistik. Der blühende Fernhandel im Bereich

der Ostsee und weit darüber hinaus im Bereich der Hanse im Mittelalter ist ein gutes Beispiel: Be- und -entladezeiten in Häfen mussten kalkulierbar sein.

## Mechanische Uhren

Im frühen 14. Jahrhundert entstanden die ersten Räderuhren. Der Antrieb erfolgte zumeist durch ein Gewicht an einer Schnur, die von einer Rolle abließ. Durch einen sinnreichen Mechanismus wurde davon der eigentliche Zeitgeber betätigt, für den anfangs die sogenannte Spindel-Waag-Hemmung eingesetzt wurde. Dabei wird eine Art Waagbalken mit einem definierten Stups angestoßen und dreht sich bis zu einem Endpunkt; dort angekommen erfolgt ein gleicher Stups in der Gegenrichtung. Dann fängt der Vorgang von vorn an. Für die Ganggenauigkeit der Uhr war entscheidend, ob der Vorgang wirklich immer genau gleich lange dauerte. Ein großer Vorteil solch eines Uhrwerks ist, dass es anders als eine Kerzenuhr kontinuierlich laufen kann (wenn man mit dem Anheben des Gewichts geschickt ist). Außerdem kann das Räderwerk einen Zeiger treiben und somit die Zeit auf einem Ziffernblatt anzeigen. Dadurch wurde der Nachteil einer Gangungenauigkeit von einigen Minuten am Tag zunächst mehr als aufgewogen.

Wir dürfen aus unserer heutigen Perspektive auch nicht übersehen, dass sich hier mechanische Räderwerke anheischig machten, das kosmische Zeitmaß der Dinge – den Tag-Nacht-Wechsel – an Regelmäßigkeit zu übertrumpfen. Da müssen feste Gewissheiten erschüttert worden sein – ob diese Erfahrung dazu beigetragen hat, den ab jener Zeit aufkeimenden Bewusstseinswandel einzuleiten, den wir Renaissance nennen? Die von Uhrwerken gleichmäßiger eingeteilte Zeit führte auf die sogenann-

ten Äquinoktialstunden, die nach und nach die althergebrachten Temporalstunden ablösen.

Die nächste große Verbesserung der Ganggenauigkeit hat zwar ihren Ursprung in einer Falschmeldung, enthält aber einen richtigen Gedanken und hat sich daher universell durchgesetzt. *Galileo Galilei*, so die Legende, war anno 1583 von einer Predigt im Dom zu Pisa gelangweilt und vertrieb sich die Zeit mit der Beobachtung, dass der große Leuchter im Kirchenschiff, anfänglich vielleicht durch einen Luftzug in Bewegung geraten, allmählich mehr und mehr zur Ruhe kam. Dabei bestimmte er mithilfe seines Pulses die Schwingdauer. Er berichtete, dass sich während des Abklingens die Dauer der Schwingung überhaupt nicht ändert.

Häufig haben aufmerksame Beobachter die wissenschaftliche Erkenntnis vorangebracht: Hier aber zog eine falsche Beobachtung – oder vielleicht ein falscher Bericht über eine korrekte Beobachtung? – großen Erkenntnisgewinn und Nutzen nach sich. Es ist wahr, dass die Schwingdauer eines Pendels sich mit der Schwingweite nur geringfügig ändert. Dass sie sich aber *gar nicht* ändert, ist falsch ([2], [3]). *Galilei* muss das eigentlich bemerkt haben.

Immerhin schwingt ein Pendel allemal gleichmäßiger als ein Spindel-Waag-Mechanismus. Es ist die Reibung, der Feind jeder Präzisionsmechanik, die den Spindel-Waag-Mechanismus in unkalkulierbarer Weise verlangsamt, die aber auf die Schwingdauer eines Pendels nur minimalen Einfluss hat. Seit *Galileos* Beobachtung in Pisa lautet daher das Rezept für eine gute mechanische Uhr: Reguliere die Schwingweite eines Pendels so, dass sie einigermaßen konstant bleibt; dann sind Reibungsverluste kompensiert. Die Schwingdauer hängt dann nur noch von der Pendellänge ab.

Die ersten Uhren des 14. und 15. Jahrhunderts waren monumentale Konstruktionen, die in wohlhabenden Handelsstädten an prominenter Stelle, zumeist in der jeweiligen Hauptkirche, installiert wurden [4]. Neben der reinen Stundenangabe wurden auch zahlreiche kalendarische und astronomische Daten angezeigt. **Bild 1** zeigt exemplarisch die Uhr in der Marienkirche der Hansestadt Danzig (Gdańsk). Sie wurde 1470 von *Hans Düringer* aus Thorn (Toruń) erbaut; gleich im Anschluss baute er eine ähnliche Uhr in Ros-

- 1 Die astronomische Uhr in der Marienkirche in Gdańsk (Danzig). Sie wurde 1470 von *Hans Düringer* erbaut, verfiel aber schon bald und wurde erst in jüngster Zeit rekonstruiert.
- a) Die monumentale Uhr ist 14 m hoch.
- b) Detail der Kalenderanzeige (auf der 3. Umschlagseite)



tock. Leider wurde die Danziger Uhr schon ein Menschenalter später dem Verfall preisgegeben, und erst jüngst wurde aus den Überresten die heutige Rekonstruktion erstellt. Die Rostocker Uhr (**Bild 2, 3. Umschlagseite**) hingegen ist die ganze Zeit bis heute fast ohne Unterbrechung mit den Originalteilen in Betrieb gewesen (1710 wurde sie von einem Spindel-Waag-Mechanismus auf ein Pendel umgerüstet). Damit stellt die Rostocker Astronomische Uhr eines der authentischsten Zeugnisse früher Zeitmesskunst dar, die uns überliefert sind [5].

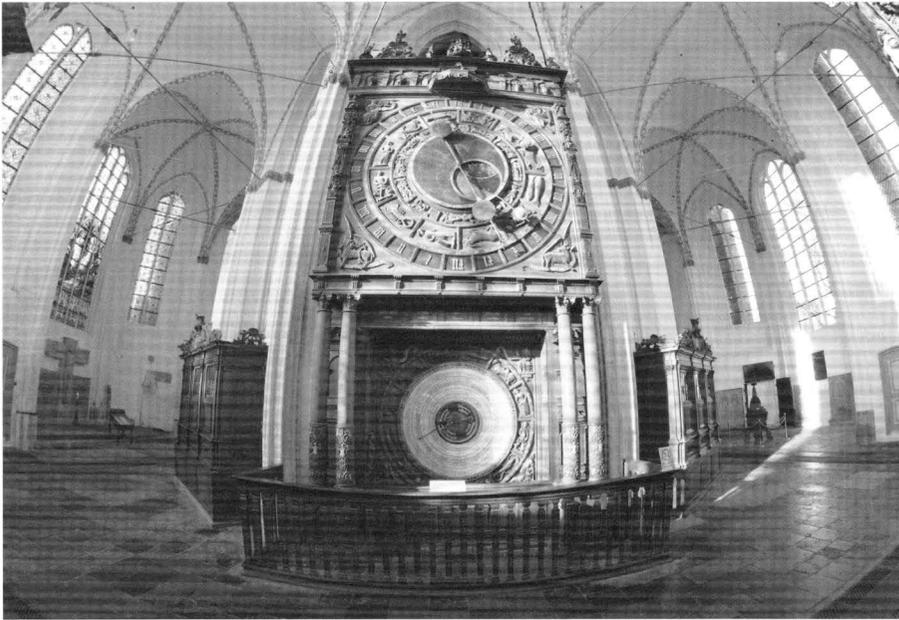
Weitere astronomische Großuhren aus dem 14. bis 16. Jahrhundert finden sich noch heute in Kirchen in Stralsund, Doberan, Münster, Lund, Stendal und Straßburg.

Pendeluhrer können auf schwankenden Schiffen nicht funktionieren; Navigation auf See verlangt aber genaue Zeit, denn sonst lässt sich die geographische Länge nicht ermitteln. Fälle von Schiffsuntergängen nach Kollision mit Felsen aufgrund fehlerhafter Po-

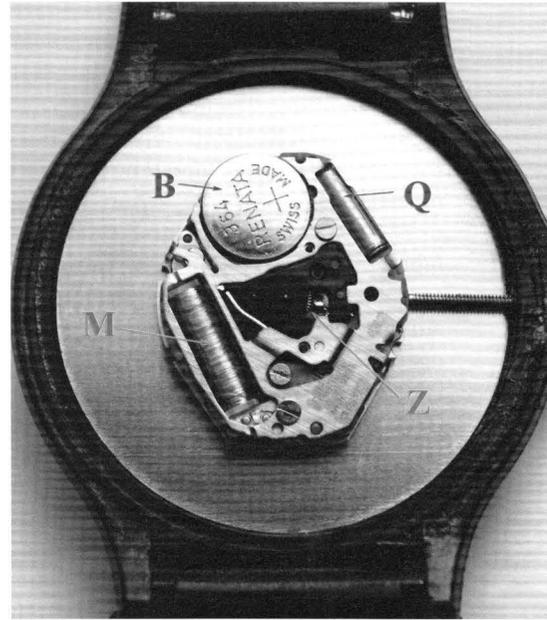
sitionsbestimmung zeigten die Dringlichkeit dieses Problems. Der Brite *John Harrison* hat sich um die Konstruktion von Uhren mit Drehpendeln verdient gemacht, die durch Lageschwankungen nicht in ihrem Gang gestört wurden [6]. Auch die Kompensation der Schwingdauer-Änderung durch Temperaturschwankungen geht auf ihn zurück. Mitte des 18. Jahrhunderts war, wie man heute sagen würde, das Design mechanischer Uhren weitgehend ausgereift.

## Elektronen und Atome

Im 20. Jahrhundert trat eine neue Technologie auf den Plan: die Elektronik. In den 1920-er Jahren entstanden die allerersten elektronischen Uhren. Sie bilden die Funktion mechanischer Uhren mit anderen Mitteln nach. Das Pendel wird durch einen Schwingquarz ersetzt, eigentlich eine Art miniaturisierte Stimmgabel, deren Schwingung denselben physikalischen Gesetzmä-



2 Die astronomische Uhr in der Marienkirche zu Rostock. 1472 ersetzte *Hans Düringer* eine nicht erhaltene Vorgängeruhr durch dieses Werk. Mitten in den Wirren des Dreißigjährigen Kriegs wurde sie 1641–1643 instandgesetzt und erweitert, und 1710 wurde ein Pendel nachgerüstet. Während des 2. Weltkriegs war sie zu ihrem Schutz eingemauert. Heute funktioniert sie noch immer mit fast allen Originalteilen (3. Umschlagseite).



3 Innenansicht einer Quarz-Armbanduhr mit Zeigern, nachdem der Deckel der Unterseite entfernt ist. *Q*: Quarz, *M*: Magnetspule, die die elektronischen Impulse in Bewegung übersetzt, *Z*: Zahnrad als Teil des Zeigerantriebs. *B*: Batterie. Die weiteren elektronischen und mechanischen Komponenten sind verdeckt.

bigkeiten folgt wie ein Pendel [7]. Die Schwingdauer eines solchen Quarzes liegt bei so kurzen Sekundenbruchteilen, dass Lageänderungen keinen Einfluss mehr haben. Der Energievorrat war bei herkömmlichen Uhren das Antriebsgewicht, bei portablen Uhren eine aufgezoogene Feder; in der Quarz-uhr übernimmt diese Rolle eine Batterie. Und ob eine Anzeige mit rotierenden Zeigern besser ist oder eine mit wechselnder Ziffernanzeige, das ist weitgehend Geschmackssache.

Hauptsächlich beeinträchtigen Temperaturschwankungen die Ganggenauigkeit, aber selbst eine preiswerte Quarz-Armbanduhr (**Bild 3**) geht heute um weniger als eine Sekunde pro Tag ungenau. Bei stationären Uhren kann man den Quarz in einen Thermostaten packen und erreicht eine Genauigkeit von einer Sekunde in zehn Jahren.

Wenn das nicht gut genug ist, heißt es „zurück zur Natur“. Nach den „konstruierten“ Taktgebern wie Pendeln und Schwingquarzen setzt man heute die natürlichen Eigenresonanzen bestimmter Atomsorten ein – auch wenn es etwas technischen Aufwand bedeutet, diese nutzbar zu machen. Diese atomaren Frequenzen können allenfalls durch elektrische oder magnetische Felder (Starkeffekt, Zeemaneffekt [3]) und im Rahmen der allgemeinen Relativi-

tätstheorie durch Schwerefelder noch geringfügig gestört werden; ansonsten haben alle Atome derselben Sorte weltweit exakt dieselbe Frequenz, und Uhren sind international vergleichbar. Tatsächlich ist die Genauigkeit inzwischen so hoch, dass man aus der Schwereabhängigkeit per Uhrenvergleich die Höhe der Uhr über NN dezimetergenau bestimmen kann ([8], [9]), denn bei einem Höhenunterschied von einem Meter im Schwerefeld der Erde ändert sich die Frequenz einer Uhr um ein Teil in  $10^{16}$  (entsprechend einer Sekunde in 300 Millionen Jahren).

Atomuhren sind einstweilen zu aufwendig, um von Jedermann betrieben zu werden; dies bleibt zumeist den nationalen Standard-Institutionen vorbehalten. In Deutschland hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt die Aufgabe, die gesetzliche Normalzeit darzustellen und jedem Bürger anzubieten.

### Wozu immer genauer?

Nun könnte man meinen, dass im Alltag der meisten Menschen Zeitbestimmungen auf die Sekunde, die Tausendstelsekunde, die Millionstel Sekunde entbehrlich seien. Es lohnt sich aber, genauer hinzuschauen.

Schon wer nur einen Stecker in die Steckdose steckt, nutzt Atomuhren. Die elektrische Energie aus der Wand stammt von einem europaweiten Verbund von Kraftwerken, die alle ihre Wechselspannung völlig synchron ins Leitungsnetz einspeisen müssen. Geriete eines aus dem Takt, würde es gegen die geballte Energie all der anderen Kraftwerke anarbeiten, was sofort zu einem Desaster führen würde. Daher müssen alle Kraftwerke auf einen gemeinsamen präzisen Takt synchronisiert sein. Ohne Präzisionsuhren kein Lichtnetz. Ähnliches gilt übrigens auch für das Telefonnetz.

Ein weiteres Beispiel: Navigationsgeräte empfangen stets zugleich mehrere Satelliten, deren Signale sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten – also etwa 3 Nanosekunden (Milliardstel Sekunden) pro Meter. Damit das Ganze funktioniert, müssen alle beteiligten Satelliten von der gleichen „Normalzeit“ ausgehen, offenbar mit Abweichungen von höchstens wenigen Nanosekunden. Mehr noch: Diese Genauigkeit muss über die Lebensdauer jedes dieser Satelliten beibehalten werden, denn falls einer im Gang abweichen würde, könnte ja kein Techniker eben mal hinfliegen, um ein Schraubchen einzuregulieren. Nur mit der Präzision von Atomuhren ist diese Aufgabe zu meistern.

Ohne Präzisionsuhren keine Navigation: Schon seit *Harrison*, und auch heute beim „Navi“.

Mit heutiger Genauigkeit der Zeitmessung sind Schwankungen der Erdrotation, also der Tageslänge, direkt messbar. Man wusste schon länger, dass es eine allmähliche Verlangsamung durch Gezeitenreibung gibt, aber die ersten Quarzuhren von *Scheibe* und *Adelsberger* an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt PTR (dem Vorläufer der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB) zeigten ab 1933 auch jahreszeitliche Effekte durch saisonale Massenverlagerungen [10]. Heute können wir sogar den Einfluss tektonischer Massenverlagerungen bei Erdbeben usw. erfassen [11]. Ob eines Tages mithilfe weiter verfeinerter Messungen Erdbebenvorhersagen möglich werden?

Heute befassen sich Physiker mit einer scheinbar paradoxen Frage: Lässt sich eigentlich nachweisen, dass die Naturkonstanten wirklich konstant sind? Wenn sich beispielsweise die Lichtgeschwindigkeit im Lauf der Lebensdauer des Universums verändern würde, hätte dies weitreichende Konsequenzen für unser Verständnis der Natur [12]. Da wir aber nicht während der ganzen Jahrmilliarden zuschauen und messen können, müssen wir in der kürzeren Zeit, die wir nur haben, mit umso größerer Präzision arbeiten. Entsprechende Untersuchungen konzentrieren sich auf die Feinstrukturkonstante, die für die Licht-Materie-Wechselwirkung eine zentrale Rolle spielt. Als dimensionslose Zahl ist sie besser überprüfbar als einheitenbehaftete Größen. Bestimmte theoretische Modelle sagen eine zeitliche Veränderung vorher; die Messgenauigkeit erreicht jetzt nahezu die Schwelle, ab der man entscheiden kann, ob das stimmt. Sind die Naturkonstanten wirklich die ehernen Pfeiler im Weltgefüge? Wir werden es vielleicht bald erfahren.

*Wir können heute vieles, aber wissen auch vieles nicht.* Wir wissen nicht einmal, ob die Zeit eigentlich kontinuierlich fließt oder doch in kleinen Sprüngen hüpfert (so wie ein Foto erst bei nahem Hinsehen erkennen lässt, dass es aus einzelnen Pixel-Klötzchen besteht). Falls die Zeit in Sprüngen abläuft, so ist die Sprungweite wahrscheinlich die sogenannte Planck-Zeit, die sich als eine Kombination von Naturkonstanten (dem Planck'schen Wirkungsquantum, der Gravitationskonstante und der

Lichtgeschwindigkeit) schreiben lässt. Ihr Wert ist mit etwa  $10^{-44}$  Sekunden allerdings dermaßen unvorstellbar klein, dass einstweilen keine Möglichkeit der Überprüfung auch nur absehbar ist.

*Only time can tell.*

#### Literatur

- [1] Stephen W. Hawking: *A brief history of time*. Bantam 1988. Ins Deutsche übersetzt als: *Eine kurze Geschichte der Zeit*. Rowohlt (1991)
- [2] P. A. Tipler: *Physik*. Spektrum (6. Auflage 2009)
- [3] Ch. Gerthsen: *Gerthsen Physik*. D. Meschede (Hrsg.). Springer (24. Auflage 2010)
- [4] M. Schukowski: *Wunderuhren. Astronomische Uhren in den Kirchen der Hansezeit*. Thomas-Helms-Verlag Schwerin (2006)
- [5] M. Schukowski, U. Jahnke, W. Fehlberg (Hrsg.): *Mittelalterliche astronomische Großuhren*. Akademische Verlagsanstalt Leipzig; Acta Historica Astronomiae; 49 (2014)
- [6] J. Betts: *John Harrison (1693–1776) and Lt. Cdr. Rupert T. Gould R.N. (1890–1948)*. Frei verfügbar auf den Internetseiten des Royal Museum Greenwich / National Maritime Museum: [www.rmg.co.uk](http://www.rmg.co.uk)
- [7] W. G. Cady: *Piezo-Electric Resonator*. United States Patent Office 1 450 246 (1923). Siehe <http://www.google.com/patents/US1450246>
- [8] *Physik: Atomuhren messen Höhenunterschiede zentimetergenau*. Spiegel online 19.9.2013
- [9] C. W. Chou, D. B. Hume, T. Rosenband, D. J. Wineland: *Optical Clocks and Relativity*. *Science* 329, 1630 (2010)
- [10] A. Scheibe, U. Adelsberger: *Die Gangleistungen der PTR-Quarzuhren und die jährliche Schwankung der astronomischen Tageslänge*. Zeitschrift für Physik 127, 416 (1950)
- [11] Axel Bojanowski: *NASA-Berechnungen: Chile-Beben hat Erdachse verschoben*. Spiegel online 2.3.2010
- [12] T. Chiba: *The Constancy of the Constants of Nature: Updates*. *Progress of Theoretical Physics* 126, 993 (2011)

Hinweis: Die PTB bietet auf ihrer Internetseite [www.ptb.de](http://www.ptb.de) allerlei Informationsmaterialien zum Thema an, siehe auch den Beitrag in diesem Heft, S. 24–26.

Alle Abbildungen stammen vom Verfasser.

#### Prof. Dr. Fedor Mitschke

Institut für Physik der Universität Rostock  
Universitätsplatz  
18055 Rostock  
E-Mail: [fedor.mitschke@uni-rostock.de](mailto:fedor.mitschke@uni-rostock.de)

## ASTRONOMIE+RAUMFAHRT im Unterricht

Hervorgegangen aus der Fachzeitschrift „*Astronomie in der Schule*“, gegründet von Helmut Bernhard, wird herausgegeben von Friedrich Verlag in Velber in Zusammenarbeit mit Klett

#### REDAKTION

Friedrich Verlag GmbH  
Prof. Dr. Oliver Schwarz (v.i.S.d.P.)  
Universität Siegen, Fachbereich Physik  
Arbeitsgruppe Astronomie-Didaktik  
Adolf-Reichwein-Str. 2, 57068 Siegen  
Telefon (02 71) 7 40 41 68  
E-Mail: [schwarz@physik.uni-siegen.de](mailto:schwarz@physik.uni-siegen.de)  
E-Mail: [redaktion.astro@friedrich-verlag.de](mailto:redaktion.astro@friedrich-verlag.de)

Dr. Jürgen Hamel  
Hessenburger Str. 5, 18314 Bartelshagen  
Telefon (03 82 27) 59 98 00  
E-Mail: [JuergenHamel@t-online.de](mailto:JuergenHamel@t-online.de)  
[www.astronomie-und-raumfahrt.de](http://www.astronomie-und-raumfahrt.de)

#### HERAUSGEBER- UND REDAKTIONSBEIRAT

Prof. Dr. Johannes V. Feitzinger,  
Dr. Michael Geffert, Dipl.-Päd. Peter Kriesel,  
Dr. Klaus Lindner, Prof. Dr. Karl-Heinz Lotze,  
Martin Reble, Bernd Schrader,  
Prof. Dr. Wolfram Winnberg

#### REDAKTIONSASSISTENZ

Katrin Franke, Telefon (0511) 40004-228  
E-Mail: [franke@friedrich-verlag.de](mailto:franke@friedrich-verlag.de)

#### VERLAG

Friedrich Verlag GmbH,  
Im Brande 17, 30917 Seelze,  
[www.friedrich-verlag.de](http://www.friedrich-verlag.de)

#### GESCHÄFTSFÜHRUNG

Michael Conradt, Robert Erber

#### PROGRAMMLEITUNG

Kai Müller-Weuthen

#### ANZEIGENMARKETING

Daniela Fischer  
Adresse siehe Verlag  
Telefon (05 11) 4 00 04-184  
Telefax (05 11) 4 00 04-975  
E-Mail: [fischer@friedrich-verlag.de](mailto:fischer@friedrich-verlag.de)

#### VERANTWORTLICH FÜR DEN ANZEIGENTEIL

Martin Huisman (v. i. S. d. P.),  
Adresse siehe Verlag

Anzeigenpreisliste gültig ab 1.1.2014

#### LESERSERVICE

Telefon: 0511 – 4 00 04-152  
Telefax: 0511 – 4 00 04-170  
E-Mail: [leserservice@friedrich-verlag.de](mailto:leserservice@friedrich-verlag.de)

#### REALISATION

Stefan Zielasko

#### DRUCK

Zimmermann Druck+Verlag GmbH,  
Widukindplatz 2, 58802 Balve

Das Jahresabonnement von ASTRONOMIE + RAUMFAHRT im Unterricht kostet 60,00€ und besteht aus 6 Ausgaben. Der Einzelheftbezugspreis für Abonnenten beträgt 13,50€ (17,50€ für Nicht-Abonnenten). Wir liefern gegen Rechnung. Alle Preise zzgl. Versandkosten. Studierende und Referendare erhalten bei Vorlage ihrer aktuellen Bescheinigung 30% Rabatt auf alle Abonnements. Die Mindestbestelldauer des Abonnements beträgt ein Jahr. Es verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn nicht sechs Wochen vor Ablauf des Berechnungszeitraums schriftlich gekündigt wird. Bei Umzug bitte Nachricht an den Verlag mit alter und neuer Anschrift sowie Kundennummer (siehe Rechnung).

ASTRONOMIE+RAUMFAHRT im Unterricht ist zu beziehen durch den Buch- und Zeitschriftenhandel oder direkt vom Verlag. Auslieferung in der Schweiz durch Balmer Bücherdienst AG, Kobiboden 12, CH-8840 Einsiedeln. Weiteres Ausland auf Anfrage.

Bei Nichtlieferung infolge höherer Gewalt oder infolge Störungen des Arbeitsfriedens bestehen keine Ansprüche an den Verlag.

© Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Auch unverlangt eingesandte Manuskripte werden sorgfältig geprüft. Unverlangt eingesandte Bücher werden nicht zurückgeschickt. Die als Arbeitsblatt oder Material gekennzeichneten Unterrichtsmittel dürfen bis zur Klassenstärke vervielfältigt werden.

Best. Nr.: 536146; ISSN 1437-8641

#### BELAGEN

Interstellare Materie (Folie)