

Zur Diskussion

Phänomen Gezeitenkräfte

Während gravitative Wechselwirkungen zwischen ideellen Punktmassen im Weltraum noch einigermaßen verständlich erscheinen, wird es beim Übergang zu ausgedehnten Körpern kompliziert. Die dann induzierten Bewegungen innerhalb der Körper und deren Verformungen geschehen aufgrund von Gezeitenkräften. Das Wesen dieser Kräfte ist seit Newton im Grunde verstanden. Da es sich aber um differentielle Kräfte, kleine Störungen des Schwerefeldes des jeweiligen Himmelskörpers, verursacht durch einen anderen, handelt, stellt sich die Frage, wie man das Phänomen Gezeitenkräfte am anschaulichsten erklärt. Leider haben sich in vielen populärwissenschaftlichen Schriften Erklärungsmuster etabliert, die Zentrifugalkräfte in unzulässiger Weise mit Gezeiten in Verbindung bringen. Einen Teilaspekt dieses Erklärungsmusters greift Dr. Günter Jens auf, indem er auf die problembehaftete Wahl ungeeigneter Bezugssysteme hinweist.

Ergänzen kann man an dieser Stelle, dass es Literaturstellen gibt, die Gezeiten astrophysikalisch richtig erklären. Wie so oft in der Physik, ist dafür ein gehöriges Maß an Abstraktionsvermögen bei Lehrenden und Lernenden nötig und, wenn man die Gezeitenkräfte ausrechnen will, natürlich Mathematik.

Dr. Sylvin Müller-Navarra

Gezeiten bildende „Komponente Fliehbeschleunigung“ – überall gleich und gleichgerichtet

Mathematischer und experimenteller Beitrag zum Beweis des Gegenteils

Tide forming „component centrifugal acceleration“ – equal and aligned throughout

Mathematic and experimental paper to prove the contrary

Ergebnisse aus Untersuchungen des lunarperiodischen Verhaltens von Wanderfischen (JENS 1952/53, 1954, 1973, 2015) veranlassten den Autor, vorherrschende Erklärungsmuster zur Gezeitenbildung kritisch zu hinterfragen. Die Auseinandersetzung insbesondere mit der etablierten Darstellung der an der Gezeitenbildung beteiligten Zentrifugalkräfte des Erde-Mond-Systems führte zu nachstehend zusammengefassten kritischen Überlegungen. Beobachtungen an einem mechanischen Modell der rotationslosen Revolution machen sie sinnfällig.

Results from investigations of the lunar periodic behaviour of migratory fish have motivated the author to challenge prevailing explanatory models on tidal formation. Notably the examination of the established representation of the centrifugal forces of the earth-moon-system involved in tidal formation, has induced the critical deliberations summarised below. This is manifested by observations made using a mechanic model of rotationless revolution.

1 Herrschende Erklärungsmuster

Seit Jahrzehnten scheint die Aussage unumstritten, die Gezeiten bildende „Komponente Fliehbeschleunigung“ sei überall gleich und gleichgerichtet (THORADE 1941, DEFANT 1953, SAGER 1959). Gemeint ist die Fliehbeschleunigung des Erde-Mond-Systems (EMS): An allen Punkten P_x der Erde herrsche im Falle einer „rotationsfreien“ Revolution die gleiche Fliehbeschleunigung wie im Erdmittelpunkt M. Dies wird begründet mit der Vorstellung, jeder Punkt P_x führe während einer Revolution der Erde die gleiche „Putzlappenkreis“-Bewegung – im weiteren als „Partialkreis“ bezeichnet – um einen eigenen Mittelpunkt aus, wie der Erdmittelpunkt M um den EMS-Mittelpunkt S. Allein die dabei entstehende Fliehkraft wirke der auf der Erde unterschiedlich stark ansetzenden Schwerkraft des Mondes entgegen. Ungeachtet platzgreifender anderer astrophysikalisch begründeter Theorien findet sich diese These zunehmend in Artikeln und Animationen, die man im Internet aufrufen kann, wenn es um die Beschreibung der Gezeiten geht:

Im Beitrag „Gezeiten“ (ANONYMUS mfb 2015) heißt es zu zwei bewegten Abbildungen: „Die nicht rotierend gedachte Erde kreist um ihren mit dem Mond gemeinsamen Schwerpunkt (Baryzentrum): Alle Orte auf ihr sind der gleichen Zentrifugalkraft ... unterworfen.“ „Beim Kreisen des Himmelskörpers ... um das Baryzentrum entsteht in jedem seiner Punkte eine Zentrifugalkraft von gleichem Betrag.“

Eine einschlägige Animation „Gezeiten“ (BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU 2014) ist wohl gelöscht und durch eine Seite „Gezeiten – Entstehung und Phänomene“ ersetzt worden (BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU 2015): „Während eines Mondumlaufs durchlaufen alle Punkte eine Kreisbahn mit identischem Durchmesser. Die aus dieser Bewegung resultierenden Fliehkräfte sind an allen Punkten gleich groß und gleich orientiert.“

FROER (2014) hat zu seiner Animation eingeräumt (pers. Mitteilung), der These in dem Bemühen um pädagogische Vereinfachung gefolgt zu sein.

Demgegenüber bleibt in den Erläuterungen zu den Gezeitentafeln des BUNDESAMTES FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE für 2016 (2015) ein Kausalzusammenhang zwischen Gezeiten und Fliehkräften ganz außer Betracht.

SIMANEK (2015) weist auf die Möglichkeit unterschiedlicher Betrachtungsweisen, so die klassisch-mechanische oder die initial-systematische hin. Die hier vorliegende Arbeit stützt sich allein auf die mechanische und ihre einfache experimentelle Überprüfbarkeit. Das mechanische Experiment ist zudem geeignet, Vorstellungen von reizphysiologischen Wirkungen wechselnder Akzelerationen auf Organismen zu entwickeln.

2 Gegenvorstellungen

RECKNAGEL (1958) fordert, dass vor einer Aussage über Fliehkräfte zu erklären sei, ob es sich beim Beobachter einer Rotation um einen bewegten oder um einen ruhenden Beobachter handle. Die oben genannten Autoren lassen eine solche Erklärung durchweg vermissen. Ebenso wenig begründen sie die Abkehr von der realen gebundenen Rotation und die Bevorzugung des Partialkreises, ungeachtet dessen, dass dieser aus einer fiktiven rotationslosen Revolution, der Teilkreisbewegung eines imaginären Zweikreissystems, hervorgeht.

Die Aussage, die Fliehbeschleunigung sei überall gleich, ist die des bewegten, in die Rotation des EMS einbezogenen Beobachters. Diesem ist es nicht möglich, die Summe aller Bewegungen bzw. die Resultierende aller Zentrifugalbeschleunigungen, deren Zusammenfassung RECKNAGEL (1958) fordert, zu registrieren. Ihre Gesamtheit hingegen ist es, die, etwa bei kausalanalytischen Überlegungen zur Gezeitenbildung oder auch zu vermuteten physiologischen Reiz-Reizantwort-Phänomenen, allein brauchbar ist. Sie setzt den ruhenden Beobachter außerhalb des Bezugssystems, hier des Erde-Mond-Systems, voraus.

Das Erde-Mond-System mit einer rotationslosen Revolution der Erde ist allerdings vorstellbar und als Modell darstellbar. Überlegung und Modell erschließen dem ruhenden Beobachter die Abhängigkeit der Partial-Rotation von der Systemrotation und führen die Vorstellung von einer Einheitsfliehkraft ad absurdum.

3 Rotationslose Revolution im EMS

In Abbildung 1 stellt P_0 den zunächst mondfernsten Punkt auf dem Großkreis der Erde in der Rotationsebene des EMS dar. Der zugehörige Partialkreis hat den Mittelpunkt M_{P0} . Im Verlauf einer Revolution erreicht P_0 die nicht mehr mondfernste Position P_1 , M_{E0} der Erdmittelpunkt, wandert nach M_{E1} . Diese Partialkreis-Bewegung aller Punkte, die vorgeblich eine einheitliche Fliehbeschleunigung hervorbringt, erfolgt nicht „aus sich heraus“; sie geht kausal aus der Rotation des EMS um den Systemmittelpunkt S hervor, wie die im gleichen Sinne erfolgende Bewegung des Mondes von L_0 nach L_1 verdeutlicht.

Erkennt man im Sinne RECKNAGELs (1958) im Partialkreis-Radius der rotationslosen Revolution einen der beiden Teile des Zweikreissystems, in dem die Partialkreis-Bewegung in Abhängigkeit von der Systemrotation entsteht, so leuchtet ein, dass der Partialkreis-Radius $SM_E = M_P P$ lediglich einer von zwei Vektoren ist, deren Resultierende r_a erst der tatsächlichen in S zentrierten Fliehbeschleunigung in P_x entspricht.

Bei Anwendung des Cosinus-Satzes gilt

$$r_a^2 = r_{rot}^2 + r_{rev}^2 - 2 r_{rot} r_{rev} \cos(180 - \varphi) \tag{1}$$

4 Mechanisches Experiment – Schwungmaschine und Berechnung der Fliehbeschleunigungen

POSKE (1929) erwähnt mehrfach die in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts gebräuchlichen sogenannten Schwungmaschinen für Fliehkraft-Experimente. Ein zylindrisches Gefäß und eine Kugel hätten schon damals zur Standard-

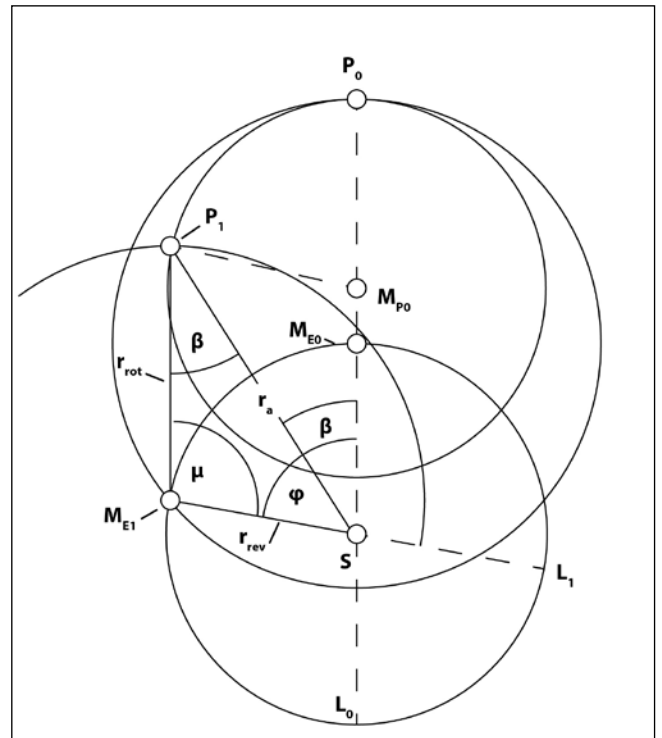


Abbildung 1

Während der mondfernste Punkt P_0 in der gebundenen Rotation auf der Erde bei einer Systemrotation (ohne Eigenrotation) mondfernster Punkt bleibt, verlässt er in der hier dargestellten rotationslosen Revolution diese Position (Zweikreisbewegung) und nähert sich als P_1 auf seinem Partialkreis dem System-Mittelpunkt S. Dabei vermindern sich r_a und die zugehörige Fliehbeschleunigung. In der systemgerechten Betrachtung gibt es außer auf dem Kreis, den der Erdmittelpunkt um S beschreibt, auf keinem Partialkreis eine konstante Fliehbeschleunigung, noch viel weniger beim Vergleich verschiedener Partialkreise miteinander (vgl. auch unten die Berechnung der Fliehbeschleunigungen der Schwungmaschine). M_p : Partialkreis-Mittelpunkt; M_e : Erd-Mittelpunkt.

ausrüstung der für den Physikunterricht angefertigten Geräte gehört, um eine gebundene Rotation darzustellen. Der Gedanke an eine „rotationslose Rotation“ scheint am Anfang des vorigen Jahrhunderts gekeimt zu sein. Bereits DARWIN (1911) befasst sich mit dieser überzeugend irreführenden Idee und verwendet den Terminus „Revolution ohne Rotation“, wobei er die tägliche Eigenrotation der Erde mit der monatlichen, der in das EMS gebundenen Rotation der Erde mehrfach verwechselt.

Heutzutage lässt sich nicht nur die gebundene, sondern durch Einbau eines auskuppelbaren Getriebes auch die „rotationsfreie“ Revolution mit wenigen Mitteln an einem Modell des Erde-Mond-Systems ad oculos demonstrieren. Es bedarf hierzu eines kontrolliert rotierenden Antriebs (Abb. 2) – elektrischer Plattenspieler rechtsdrehend – mit Plattenteller (1) unter der Basis-Scheibe (2), einiger Teile aus einem Metallbaukasten und eines durchsichtigen zylindrischen Gefäßes (5).

Die Basis-Scheibe stellt das rotierende EMS mit Mittelpunkt S dar. Der Kragen der exzentrisch aufgesetzten zylindrischen oder anders geformter Schalen entspricht dem Großkreis der Erde in der Rotationsebene des EMS. Wenn Scheibe 2 rotiert, kreist der Mittelpunkt ME der Schale (Abb. 2) dank dreier Zahnräder zwi-

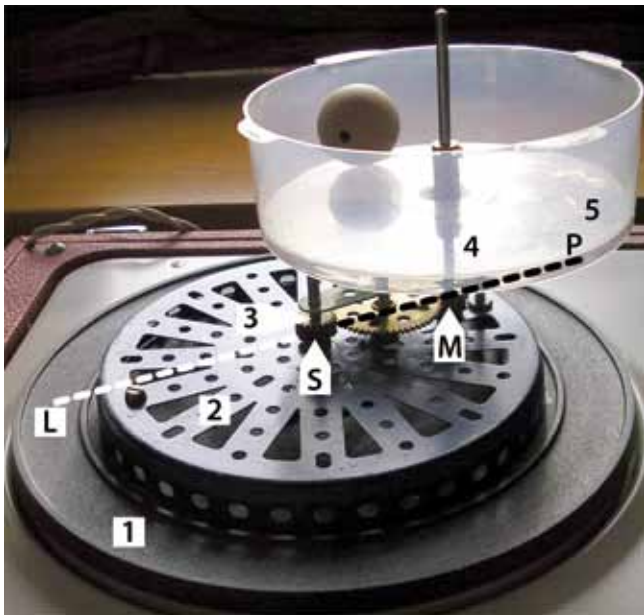


Abbildung 2
 Modell zur Demonstration einer „rotationslosen“ Rotation und deren Zentrifugalbeschleunigungen; Trägerscheibe (1), Systemscheibe (2) mit stehender Achse (3) im Systemmittelpunkt S, Achse (4) der bleibend zenitorientiert um S rotierenden Großkreis-Scheibe (5) mit Mittelpunkt M. L: Richtung Mond (Nadir) ; P: mondfernster Punkt (Zenit). L, S, M und P liegen auf einer Geraden.

schen Scheibe 2 und Gefäß mit der Winkelgeschwindigkeit des Systems um S. Der Plattenspieler läuft mit $33 \frac{1}{3}$ Umdrehungen pro Minute = 0,555 U/s bzw. einer Winkelgeschwindigkeit von $\omega = 3,49 [2\pi/s]$. Die Maße (Abb. 2) sind: SM = 50 mm (Achsenabstand); MP = 60 mm (Gefäßhalbmesser); $SP_{max} = 110$ mm.

Danach ergeben sich die in Tabelle 1 aufgelisteten Fliehbeschleunigungen.

Im weiteren werden für 12 Punkte – je 30° voneinander entfernt auf dem Mantel des Zylindergefäßes kranzartig angeordnet – die fliehbeschleunigungsbestimmenden Radien r_a gemäß Abbildung 3 und Formel (2) ermittelt, und zwar als Zeitreihen für jeden der 12 Partialkreise an je 24 Punkten.

Die Resultierende r_a in mm ergibt sich aus

$$r_a^2 = 50^2 + 60^2 - 2 * 50 * 60 * \cos(\gamma + \epsilon) \quad (2)$$

Dazu zeigt Abbildung 4 die wechselnden Radien von sieben der zwölf Partialkreise. Die zwischen $\varphi = 180^\circ$ bis 360° angelegten Kreise stimmen mit den entsprechenden von $\varphi = 0^\circ$ bis 180° überein und sind wegen der Übersichtlichkeit in Abbildung 4

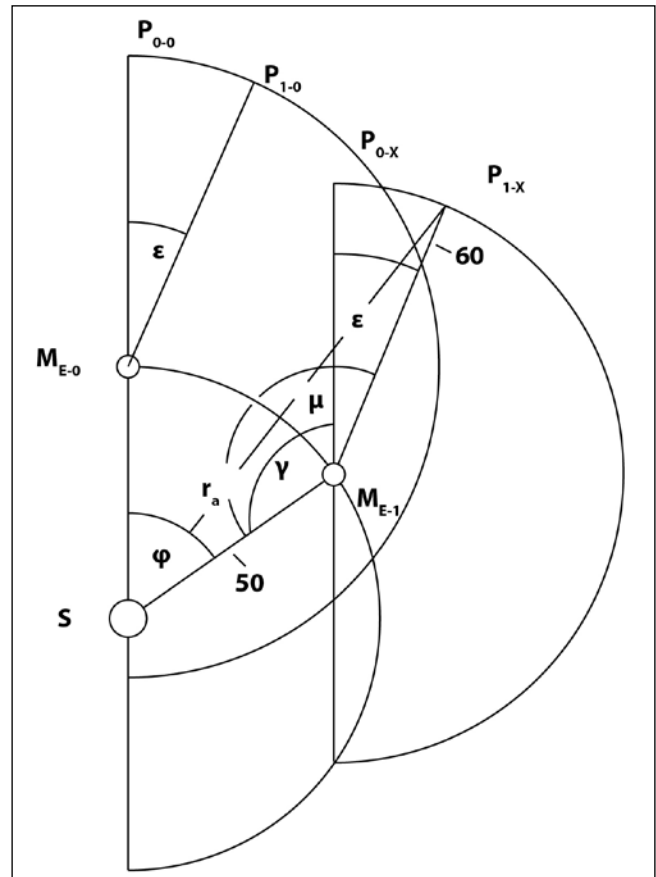


Abbildung 3
 Der Mittelpunkt des Zylinderbodens kreist (im Modell im Uhrzeigersinn) mit $r = 50$ (!) mm von M_{E-0} nach M_{E-1} . Die gleiche – verschobene – Bewegung führen P_{0-0} nach P_{0-x} und P_{1-0} nach P_{1-x} aus. $\varphi =$ Rotationswinkel um S; $\gamma =$ Supplementum zu φ ; $\epsilon =$ fester Standort in Grad von jedem P_x auf der Zylinderwand; $\mu = \gamma + \epsilon$; Zahl = Radius in mm; $r_a =$ fliehbeschleunigungsbestimmende Resultierende.

weggelassen worden. Alle führen, jeder für sich, rotationslose Revolutionen um S bzw. zu S aus. Die Kreisbewegungen weisen weder jeder für sich noch im Vergleich miteinander gleiche oder gar konstante Radien und damit weder gleiche noch übereinstimmende Fliehbeschleunigungen auf. Auch wird deutlich, dass es des ruhenden Beobachters bedarf, um festzustellen, dass die rotationslosen Revolutionen ohne die Systemrotation um S nicht stattfinden würden.

Jeder Punkt erreicht in seinem Partialkreis binnen einer halben Rotation einmal das maximale r_a von 110 mm. Das erfolgt immer dann, wenn $\epsilon = \varphi$ ist, wobei die Radien der Zweikreis-Bewegung eine Gerade bilden (Abb. 3).

Tabelle 1 Fliehbeschleunigungen		
r [mm]	$\omega^2 [2\pi^2/s^2]$	$a = \omega^2 * r [mm/s^2]$
50	12,15	607
60	12,15	729
110	12,15	1.337

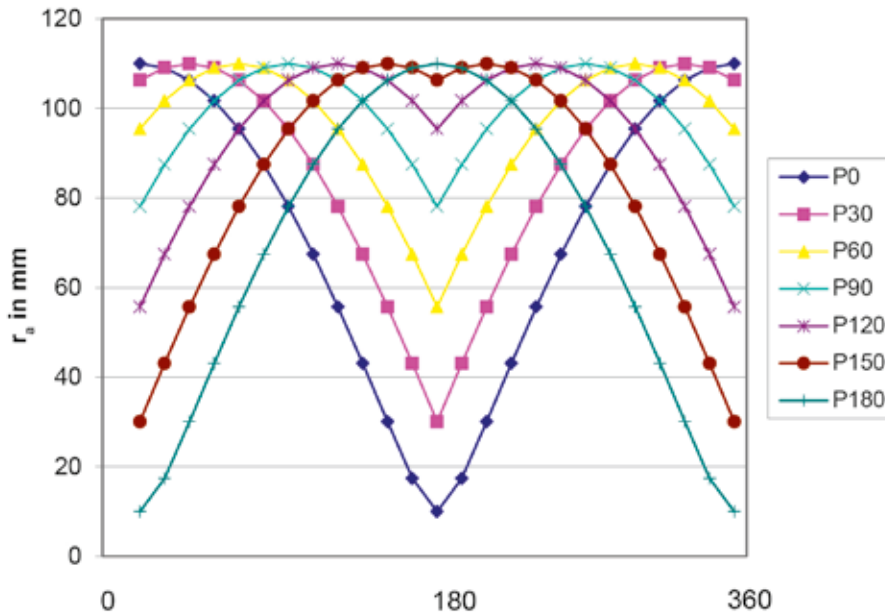


Abbildung 4
Radien der ersten sieben von zwölf der auf dem Zylindermantel in 30°-Abständen voneinander rotierenden Punkte. Die durch r_a repräsentierten Fliehbeschleunigungen erreichen ihr Maximum mit 1.337 mm/s^2 in der Reihenfolge ihrer Anordnung auf dem Zylindermantel und zwar je zweimal während einer Rotation.

Das bedeutet, dass sich jeder Punkt des Zylindermantels im Verlauf einer Revolution in einer Zeitreihe zu- und abnehmender Fliehbeschleunigungen zwischen 607 und 1.337 mm/s^2 bewegt. Die Entstehung dieser Zeitreihen wird sogleich vorstellbar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der kreisende aber nicht rotierende Großkreis der Erde (oder des Zylindergefäßes) eine Revolution um den Systemmittelpunkt S ausführt und dass sich dabei ständig jeder Punkt des Großkreises dem Systemmittelpunkt S krummlinig nähert oder krummlinig von S entfernt.

5 Mechanisches Experiment – Kugel

Bei Einstellung des Geräts auf „gebundene Rotation“ behält jeder Punkt des Zylinderbodens während der Rotation seinen Abstand vom Systemmittelpunkt S bei. Die Kugel „sucht“ sich nach dem Einsetzen den am weitesten von S entfernten „Platz“ und verharrt dort unbeweglich im um S exzentrisch kreisenden Zylinder. Es ist der Punkt des Zylinderbodens, der mit $r_{a \text{ max}} = 110 \text{ mm}$ am weitesten von S entfernt liegt.

Bei Einstellung auf „rotationslose Revolution“ scheint die Kugel während der ersten Umdrehungen „umherzuirren“, um dann gleichmäßig mit der Winkelgeschwindigkeit des Systems am Innenrand der Zylinderwand zu kreisen, als würde sie wie von der Zeigerspitze einer Uhr um deren stehendes Zifferblatt herumgeführt. Auch hier „sucht“ die Kugel den größtmöglichen Abstand vom Systemzentrum S mit der größten Fliehbeschleunigung. Da der Zylinderboden ungebunden und also rotationslos ist, umwandert das Maximum der Fliehbeschleunigung von ca. 1.340 mm/s^2 während einer Systemrotation mit deren Winkelgeschwindigkeit einmal den Zylinderboden. Es „führt“ die Kugel mit sich.

Damit dürfte die „Kausal-Dominanz“ der Systemrotation gegenüber der Sekundärrotation „Revolution“ bewiesen sein.

Der Deutung bedarf eine Unterbrechung der Gleichmäßigkeit des Kugelumschlags, die jedesmal auftritt, wenn das Beschleunigungsmaximum = Kugelstandort in der Verlängerung SM liegt. Die Kugel neigt dazu, hier zu verharren, um kurz darauf wie abgeschossen ihre Bewegung wieder aufzunehmen.

6 Mechanisches Experiment – Wasser

Die Wasseroberfläche stellt sich in der gebundenen Rotation (nach Abschaltung des Getriebes) schräg in das Gefäß, mit dem tiefsten Punkt in Richtung S (Ebbe), mit dem höchsten in Richtung LM über M hinaus (Flut). Der Wasserkörper ruht rotationslos im Zylinder. Der Flutgipfel stellt sich dort ein, wo auch die Kugel das Fliehbeschleunigungs-Maximum anzeigte. In der „rotationslosen“ Revolution scheint sich der Wasserkörper im Zylinder zu drehen. Die Oberfläche stellt sich schräg und der kreisende Flut-Gipfel täuscht eine Rotation des Wasserkörpers vor. Versuche mit flachen „Pfützen“ in schwach gewölbten Schalen zeigen, dass der Wasserkörper nicht kreist und nur von einer Welle durchlaufen wird. Im Wasser treibende Partikel werden von der Welle jeweils nur ein wenig weitergestoßen, ohne der Rotation des Wellenkamms zu folgen.

Die Position des Wellenkamms ist offenbar von Form und Füllhöhe des Versuchsgefäßes abhängig. In jedem Fall jedoch rotiert der Wellenkamm mit der Winkelgeschwindigkeit des Systems und in jeweils definiertem Winkel zu $r_{a \text{ max}}$

Die Position des Wellenkamms ist offenbar von Form und Füllhöhe des Versuchsgefäßes abhängig. In jedem Fall jedoch rotiert der Wellenkamm mit der Winkelgeschwindigkeit des Systems und in jeweils definiertem Winkel zu $r_{a \text{ max}}$

Zusammenfassung

Der in der älteren Literatur seit etwa 1900 und aktuell in den Medien vorherrschenden Aussage, die auf der Erde herrschende Fliehbeschleunigung sei an allen Orten gleich und gleichge-

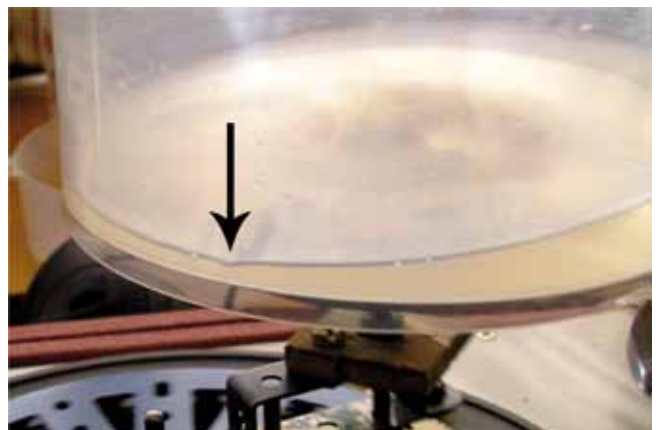


Abbildung 5
Rotierender Kamm der im Modellgefäß im Uhrzeigersinn umlaufenden Welle.

richtet, wird widersprochen. Sie fußt auf der Position eines im Erde-Mond-System (EMS) mitbewegten Beobachters. Nur ein außerhalb des EMS ruhender Beobachter erfasst die Gesamtheit kausal relevanter Bewegungen.

Die Aussage ist darüber hinaus angreifbar, weil sie sich auf die Fiktion einer rotationslosen Revolution der Erde stützt. Diese Fiktion macht aus der wahrscheinlicheren Einkreisbewegung der an das EMS gebundenen Rotation der Erde eine Zweikreisbewegung. Die an verschiedenen Orten der Erde herrschenden Fliehbeschleunigungen werden dadurch keineswegs vereinheitlicht. In der gebundenen Rotation sind die Fliehbeschleunigungen auf einer Erde ohne Eigenrotation unterschiedlich, jedoch ortsspezifisch konstant. Im System mit einer rotationslosen Revolution geht auch die ortsspezifische Konstanz der Fliehbeschleunigung verloren.

Das Gedankenexperiment, die Erde ihre Revolution um das Baryzentrum rotationslos ausführen zu lassen, führt, wie das mechanische Experiment zeigt, nicht zu einer Einheits-Fliehbeschleunigung, sondern zu komplizierteren Verhältnissen als sie bei der rotierenden Revolution der Erde (gleich der gebundenen Rotation) herrschen.

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer.nat. G. Jens
56154 Udenhausen/Hunsrück
jens.udenhausen@t-online.de

Literaturverzeichnis

ANONYMUS mfb (2014): Gezeitenkraft, Wikipedia
BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (BSH) (2015): Gezeitentafeln für 2016
BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (2014): Gezeiten, Entstehung und Phänomene; Video auf YouTube 19.9.2014

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (2015): Gezeiten – Entstehung und Phänomene; www.baw.de
DARWIN, G.H. (1911): Ebbe und Flut. – Verlag Teubner, Leipzig und Berlin
DEFANT, A. (1953): Ebbe und Flut des Meeres, der Atmosphäre und der Erd feste. – Springer-Verlag, Berlin
FROER, V. (2014): Animation unter <http://129.143.230.62/gezeiten>
JENS, G. (1952/53): Über den lunaren Rhythmus der Blankaalwanderung. – Archiv für Fischereiwissenschaft 4, 94–110
JENS, G. (1954): Untersuchungen über rhythmische Erscheinungen beim Heringsfang in der Nordsee. – Archiv für Fischereiwissenschaft 5, 113–119
JENS, G. (1973): Der Einfluß des Mondes. – Grzimeks Tierleben, Sonderband Ökologie, 61–70
JENS, G. (2015): Aal und Mond, Ursache des lunarperiodischen Wanderverhaltens des Aals ergründet? – Fischer & Teichwirt 1, 6–7
POSKE, F. (1929): Die Zentrifugalkraft. – Springer Verlag, Stuttgart
RECKNAGEL, A. (1958): Physik, Mechanik. – VEB Verlag Technik, Berlin
SAGER, G. (1959): Ebbe und Flut. – Institut für Meereskunde, Warnemünde. – VEB Hermann Haack
SIMANEK, D.E.(2015): Tidal Misconceptions; www.lhup.edu
THORADE, H. (1941): Ebbe und Flut. – Springer-Verlag, Berlin