

Der Satellit geht um !

Ein Drama in mehreren Akten

kompiliert aus Beiträgen & Leserbriefen in der
CQ DL und meiner eigenen Korrespondenz

von

Ulrich Bangert, DF6JB

Wichtiger Hinweis zur Lektüre: Mein WORD Briefkopf übernimmt beim Editieren immer das aktuelle Datum. Deswegen erscheint in meinen Briefen dasjenige Datum, an dem ich diese Briefe für diese Sammlung neu ausgedruckt habe. Tatsächlich erfolgte die Korrespondenz in der chronologischen Reihenfolge, wie sie sich hier als Seitenfolge darstellt.

1. Akt

Bobzin vs. die Physik

1. Teil

Wieso bleiben Satelliten eigentlich oben?

Hans-Jürgen Bobzin, DL3OC

Fernmeldesatelliten werden bekanntlich nicht nur für die allgemeine Telekommunikation gebraucht, sondern auch für die

Funk-Navigation und den Amateurfunk. Dieser Beitrag soll erklären, welche Kräfte und Funktionen am Werk sind, damit Satelliten überhaupt im Orbit bleiben.

Um pedantische „Fliegenbeinzähler“ unter den Lesern gleich zu beruhigen: Alle genannten Zahlen und Daten sind nicht wissenschaftlich exakt, sondern abgerundet, da es nur um die prinzipiellen Zusammenhänge geht.

Jedes „Hochbringen“ eines Satelliten ist ein Kampf gegen die Schwerkraft (auch Massenanziehung oder Gravitation genannt). Ein nach „oben“ geschleudertes Gegenstand fällt unweigerlich zurück. Je größer die Geschwindigkeit ist, um so mehr Zeit vergeht bis zur Rückkehr. Übersteigt die Geschwindigkeit auf der Erde jedoch 11,2 km/s, verschwindet jeder Körper auf Nimmerwiedersehen im Weltraum. Die Schwerkraft reicht dann nicht mehr aus, um ihn zurückzuholen. Diese 11,2 km/s nennt man deshalb auch Fluchtgeschwindigkeit.

Masse und Gewicht

Ursache der Schwerkraft ist die Masse der Erde. Im Grunde genommen sind Masse und Gewicht zwei Erscheinungsformen ein und derselben Sache. Legt man einen kleinen Sandsack mit der Masse 1 kg auf eine Waage, so zeigt die das **Gewicht** von 1 kg an. Wirft man den gleichen Sandsack aber einem Mitmenschen an den Kopf, so ist für dessen Gehirnerschütterung die **Masse** von 1 kg verantwortlich. Wer sich unter der Masse der Erde nichts vorstellen kann, dem helfe die zwar absurde aber anschauliche Vorstellung, man würde die Erde auf eine gigantische Waage legen. Was würde die anzeigen? Hier das Ergebnis:
 $5,98 \times 10^{24}$ kg.

In gewohnter Schreibweise:

5980 000 000 000 000 000 000 000 kg
Dieser Masse entspricht die Schwerkraft, welche wir alle als Gewicht spüren, und die jeden Satelliten unweigerlich zur Erde zurückholen würde, wenn es nicht eine Gegenkraft gäbe, die das verhindert: Die Fliehkraft (auch Zentrifugalkraft genannt)!

Jeder Satellit **muß** sein Zentralgestirn umkreisen, weil dadurch die Fliehkraft entsteht, welche die Schwerkraft aufhebt! Damit wäre eigentlich die Titelfrage beantwortet, und wir könnten diesen Bericht beenden. Aber ganz so einfach ist es nicht. Die Schwerkraft ist nämlich nicht konstant, sondern verringert sich mit dem Quadrat der Entfernung. Bewerten wir die Schwerkraft auf der Erdoberfläche mit 1 g (von Gravitation), dann haben wir bei doppelter Entfernung 1/4 g, bei dreifacher 1/9 g, bei vierfacher 1/16 g und so fort. Grundsätzlich kann ein Satellit die Erde in jeder Entfernung umkreisen. Aber dazu gehört immer die ganz bestimmte Umlaufgeschwindigkeit.

Bahnradius und Umlaufgeschwindigkeit gehören untrennbar zusammen!

An dieser Stelle muß auf ein Kuriosum hingewiesen werden: Obwohl jeder Kubikmeter Erde unter unseren Füßen zur Schwerkraft beiträgt, verhält sie sich, als ob wir auf der Oberfläche einer massefreien Hohlkugel leben würden, in deren Mittelpunkt die gesamte Erdmasse auf kleinstem Raum konzentriert ist (wie

ein kleiner Neutronenstern, hi!). Dies zeigt **Bild 1**.

Aus Sicht der Schwerkraft leben wir also rund 6000 km von der Erdmasse entfernt. Somit ist es folgerichtig, wenn wir z. B. in weiteren 6000 km über Grund (!) nur 1/4 der Oberflächenschwerkraft vorfinden (**Bild 2**).

Eine Sonderform sind die geostationären Satelliten. Geostationär heißt: Der Satellit steht immer über dem gleichen geografischen Punkt der Erde. Da die sich aber in 24 Stunden einmal um sich selbst dreht, muß auch der Satellit die Erde in genau der gleichen Zeit einmal umkreisen. Die Umlaufgeschwindigkeit ist also festgelegt (ca. 3 km/s). Damit liegt auch der Bahnradius fest. Er beträgt 42 000 km (36 000 km über Grund). Nur in dieser Höhe sind die geostationären Umlaufbedingungen erfüllt! Daß ein geostationärer Satellit über dem Äquator kreisen muß, versteht sich am Rande.

Abschließend ein paar Worte über den ältesten Satelliten, den wir kennen, unseren guten, alten Mond, für den natürlich die gleichen physikalischen Gesetze gelten. Er steht in einer mittleren Entfernung von 384 000 km. Die Schwerkraft dort beträgt somit nur noch 1/4096 g. Entsprechend winzig ist die erforderliche Fliehkraft. Der alte Faulpelz kann sich also Zeit lassen und benötigt daher für eine Erdumkreisung rund 27 Tage.

H.-J. Bobzin, DL3OC
Saseler Straße 130
22145 Hamburg

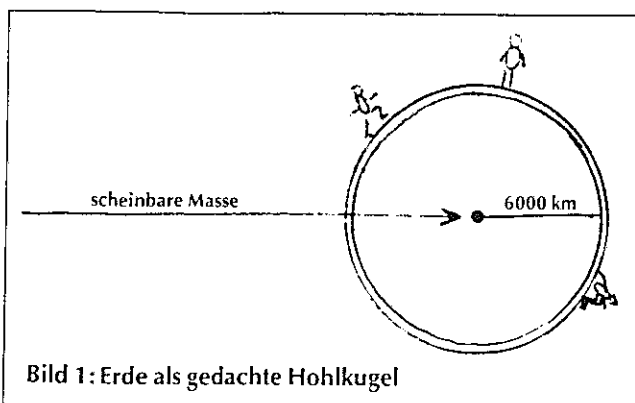


Bild 1: Erde als gedachte Hohlkugel

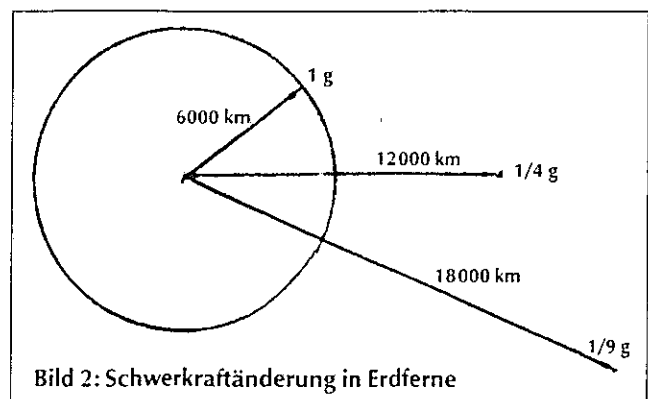


Bild 2: Schwerkraftänderung in Erdferne

2. Akt

Bobzin vs. die Physik

2. Teil

VBFO für 1,7...1,9 MHz ausgelegt werden. Diese niedrigen Frequenzen erleichtern ungemein die Aufgabe, einen frequenzstabilen VBFO aufzubauen.

Wir nehmen eine maximale Kapazität von 200 pF für den Vorkreis an. Von der für die Praxis aufbereitete Formel für die Resonanzfrequenz ausgehend, nämlich

$$f = \frac{159}{\sqrt{LC}} \quad \text{MHz, } \mu\text{H, pF}$$

erhalten wir

$$L = \frac{25300}{C^2} \quad \mu\text{H, pF, MHz}$$

Berechnen L für 3,5 MHz (C = 200 pF)

Vorkreis-L = 10,3 μH

Berechnen L für 1,75 MHz (C = 385 pF)

VBFO-L = 21,5 μH

Ringkerne bzw. die damit hergestellten Spulen brauchen keine Abschirmbecher.

Werden Eisenpulver-Toroide T50-2 ($A_L = 49$) verwendet, was hiermit empfohlen wird – können die Windungszahlen wie folgt berechnet werden:

$$\text{Windungszahl} = 100 \cdot \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

Vorkreis: 46 Windungen

VBFO: 66 Windungen;

Anzapfung: 16. Wdg. v. k. E.

Anzapfungen und Koppelwicklungen ansonsten: 10...20 % der Windungszahl.

Man verwende im VBFO- und HF-Teil des Rx Styroflex-Kondensatoren.

pro Quadratmeter Erdoberfläche im Idealfall einen Strahlungsdruck von etwa einem Millipond erzeugt, beweist, daß Masse im Spiel ist.

Man kann also sagen: Energie und Masse sind zwei Erscheinungsformen ein und derselben Sache. Wie die berühmte Einstein-Formel $E = mc^2$ zeigt, ist die Relation von Energie und Masse extrem. $E = mc^2$ (in Worten: Energie [in Joule] gleich Masse [in Kilogramm] mal dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit [in Meter pro Sekunde]). Eine winzige Masse entspricht somit ungeheuren Energiemengen. Dies fand seine schreckliche Bestätigung in der Atombombe. Umgekehrt entsprechen gewaltige Energiemengen nur sehr wenig Masse.

Damit sind wir beim Kernpunkt unserer Frage. Betrachten wir einfach den Raum in Sonnennähe: Die Strahlungsenergie, welche von der Sonne auf die Tageshälfte der Erde gelangt, ist 1,7 mal 10^{17} W. In gewohnter Schreibweise:

170 000 000 000 000 000 W.

Das Licht benötigt für den Weg zur Erde 498 Sekunden oder 8,3 Minuten. Eine Wattsekunde aber ist die Definition für das Energiemaß 1J. Zwischen Sonne und Erde sind also in jedem Augenblick 847×10^{17} Joule „unterwegs“.

In Abwandlung der Einstein-Gleichung, $m = E/c^2$, entspricht das einer Masse von 940 kg, also fast einer Tonne. Verteilt auf die Entfernung Erde–Sonne, rund 150 Mio. km, ist das nicht viel. Dennoch läßt es Zweifel aufkommen an der landläufigen Meinung, der Weltraum sei leer! Stellen wir uns eine Hohlkugel vor mit dem Radius der Entfernung Sonne–Erde, in deren Mittelpunkt die Sonne steht. Die gesamte von der Sonne abgestrahlte Energie ist $3,8 \text{ mal } 10^{26}$ W. Die Hohlkugel würde dann $18,92 \text{ mal } 10^{28}$ J enthalten. Das entspräche einem Masseäquivalent von 210 mal 10^{10} kg oder auch 2,1 Milliarden Tonnen.

Natürlich ist die auf die Erde entfallende Strahlungsleistung ferner Sterne winzig im Vergleich zur Sonne. Aber sie summiert sich über die gewaltigen Entfernungen. So ist beispielsweise die Andromeda-Galaxie (die einzige, die bereits mit jedem Feldstecher zu sehen ist), 2,3 Mio. Lichtjahre von uns entfernt. Sicher könnte man aus ihrer Helligkeit die Strahlungsleistung abschätzen. Da ihr Licht bis zu uns 2,3 Mio. Jahre benötigt – das sind $72,53 \text{ mal } 10^{12}$ s oder 72 530 000 000 000 Sekunden – läßt sich ahnen, welche gewaltigen Energien und damit Massen durch das Universum geistern.

Ist das Universum also wirklich leer? Wohl kaum!

Hans-Jürgen Bobzin, DL3OC

EME – ist das Universum wirklich leer?

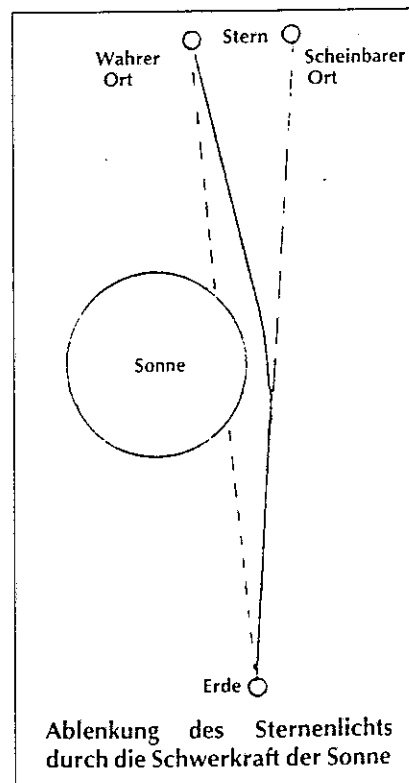
Mancher Amateur, der erfolgreich Erde-Mond-Erde-Funk betreibt, wird fasziniert über den Weg seiner Funkwellen nachgedacht haben, von der heimischen Antennenschüssel durch die Luft-hülle hinaus in die Leere des Weltraums. Dann nach Reflexion an der Mondoberfläche den umgekehrten Weg zurück. Wenn wir von fester, flüssiger oder gasförmiger Materie ausgehen, gibt es die Leere sicher. Zwischen den einzelnen Sternen klaffen unvorstellbare „freie“ Räume. So ist z. B. der nächste Nachbar unseres Sonnensystems vier Lichtjahre entfernt. Es ist der Stern Alpha Centauri (nur von der südlichen Halbkugel der Erde aus sichtbar). Näher dran ist nichts! Stellen wir uns vor, wir befänden uns irgendwo im Weltraum. In welche Richtung wir nun auch blicken, wir werden überall Sterne sehen. Wir sehen sie, weil von ihnen Licht ausgeht. Was ist Licht? Es sind die gleichen elektromagnetischen Schwingungen, die gerade wir Funkamateure verwenden. Nur daß sie unendlich viel hochfrequenter sind und eine entsprechend winzige Wellenlänge haben. Wir können also feststellen, daß das Universum von riesigen Lichtströmen durchzogen ist, die von überall her kommen und überall hin gehen. Zur Erzeugung von Hochfrequenz ist immer Energie erforderlich. Das gleiche gilt auch für Licht.

Genauer gesagt, Licht ist Energie. Jede Solarzelle beweist uns das. Das Universum ist also auch von gewaltigen Energieströmen durchzogen.

Es war der geniale Albert Einstein, der die Äquivalenz zwischen Energie und Masse entdeckte. Der Beweis dafür, daß

Licht auch Masse besitzt, ist erst wenige Jahrzehnte alt. Anlässlich einer totalen Sonnenfinsternis machte man nämlich die sensationelle Entdeckung, daß Lichtstrahlen, die nahe an unserem Zentralgestirn vorbeilaufen, durch dessen Schwerkraft aus ihrer geraden Bahn abgelenkt und gekrümmt werden. Daher werden am Sonnenrand Sterne sichtbar, die in Wahrheit hinter der Sonne stehen (Bild).

Auch die Tatsache, daß das Sonnenlicht



3. Akt

Die Leserschaft hat das Wort

Anderes Universum?

(CQ DL 11/95, S. 817)

Mit großem Interesse habe ich den Beitrag „EME – ist das Universum wirklich leer?“ gelesen. Leider sind dem Autor gleich zwei Fehler der gleichen Art unterlaufen. In Watt kann nur die Strahlungsleistung und nicht die Strahlungsenergie gemessen werden.

Guido Janz, DL8UAW

Beachtenswert: Nach dem Autor strahlt mein 100-W-Amateursender eine Masse von $1,1 \cdot 10^{-15} \text{ kg} = 1,1 \text{ Pikogramm}$ in der Sekunde in die Luft. Um eine Masse von 1 kg in die Umwelt zu blasen, müßte ich 28 Millionen Jahre lang ununterbrochen senden...

Rudi Kohl, DJ2EY

Für ein Teilchen mit der Ruhemasse m_0 ergibt sich die Energie zu $E = mc^2 = m_0c^2 / \sqrt{1-v^2/c^2}$. Hierbei ist E die Gesamtenergie, bestehend aus der Ruheenergie m_0c^2 und dem Anteil der kinetischen Energie. Allgemein gesprochen wird jedem Teilchen der Masse m ein Impuls $p = mv = m_0v / \sqrt{1-v^2/c^2}$ und die Energie $E = mc^2$ zugesprochen, wobei E und p mittels $p = (v/c^2)E$ bzw. durch $E = c(m_0^2c^2 + p^2)^{1/2}$ miteinander verknüpft sind.

Für Teilchen mit der Ruhemasse $m_0 = 0$, wie z. B. die angesprochenen Photonen (Licht oder allgemein elektromagnetische Wellen lassen sich ja im Teilchen-Welle-Dualismus als masselose Teilchen ansehen), geht dann obige Beziehung zwanglos in $E = cp$ über, was wiederum zwangsläufig $v = c$ erfordert, d. h., Teilchen mit der Ruhemasse Null bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit, und umgekehrt besitzen Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit die Ruhemasse Null.

Also: Strahlung, elektromagnetische Wellen oder Photonen besitzen zwar einen Impuls, der sich ja auch als Strahlungsdruck äußert, und haben eine gewisse Energie, sind aber a priori masselos. Es ist also unsinnig zu sagen, es befänden sich irgendwelche 940 kg Photonen oder sonstige Masse zwischen Sonne und Erde. Lediglich die Strahlungsenergie, könnte diese in Materie umgewandelt werden (z. B. durch Paarzeugung), entspräche Materie der Masse m.

Die Ablenkung von Licht durch ein Gravitationsfeld läßt sich leider überhaupt nicht so naiv erklären, als wenn die Gravitationskraft vermöge $F = \Gamma mm'/r^2$ auf die Masse m eines Photons wirkte. Hierbei handelt es sich lediglich um eine Anwendung des verallgemeinerten Äquivalenzprinzips von Einstein, das besagt,

daß Gravitationskräfte und Trägheitskräfte aus physikalischer Sicht vollständig äquivalent sind, womit gemeint ist, daß durch kein physikalisches Experiment zwischen diesen beiden Erscheinungsformen unterschieden werden kann.

Die Gravitation beeinflußt lediglich die Geometrie des Raumes. Eine Masse, z. B. ein Stern, krümmt den Raum lokal, und da das Licht sich auf sogenannten Geodäten ausbreitet, erscheint es von einem außenstehenden Beobachter abgelenkt.

Axel Kunde, DG1ECO

Gewichtige Masse?

(CQ DL 10/95, S. 735)

Im Beitrag „Wieso bleiben Satelliten eigentlich oben?“ von DL3OC werden leider die Begriffe Masse und Gewicht in einer Weise vermischt, die auch ohne Fliegenbeinzählerei zur Richtigstellung herausfordern.

Masse und Gewicht sind eben nicht zwei Erscheinungsformen ein und derselben Sache, denn z. B. ist eine Masse im Weltraum praktisch ohne jedes Gewicht, solange andere Massen weit genug weg sind. Die typische Eigenschaft der Masse ist ihre Trägheit, d. h., man muß zu ihrer Beschleunigung Kraft aufbringen. So bedarf es zur Beschleunigung einer Masse von 1 kg auf 1 m/s^2 der Kraft von 1 N. Die Gravitationsfeldstärke der Erde beträgt etwa $9,81 \text{ N/kg}$. Das bedeutet, 1 kg wird von der Erde mit einer Kraft von $9,81 \text{ N} = 1 \text{ kp}$ angezogen. Im übrigen steigt die „träge“ Masse an, wenn sie in relativistische Geschwindigkeiten hinein beschleunigt wird. Bei Lichtgeschwindigkeit wird sie unendlich.

Bleibt noch zu bemerken, daß für den Sandsack-an-den-Kopf-Versuch weniger nur die Masse als vielmehr einmal der Impuls $\text{Masse} \cdot \text{Geschwindigkeit}$ und zum anderen die Bewegungsenergie $m/2 \cdot v^2$, die in Schädelverformung, Wärme und Kopiwelh umgesetzt wird, wesentlich sind.

Dr. Eugen Unger, DL2LV

OV Dortmund kassiert ab

Die Geschäftemacherei scheint leider auch im Amateurrund weiter um sich zu greifen. Jüngstes Beispiel ist das Abkassieren der Aussteller auf dem Funkflohmarkt im Dezember durch den OV Dortmund, O05.

Begleitpersonen der Tischmieter sollen in diesem Jahr erstmals mehr als den doppelten Eintrittspreis der übrigen Besucher zahlen (15 statt 7 DM). Die Be-

gründung, die Aussteller brächten zu viele Besucher mit, ist so hohl wie offenbar die Kasse des OV...

Dr. med. Andreas Esser, DL6KAP
Dazu der Vorstand des OV Dortmund, O05:

Trotz gestiegener Kosten sind die Eintritts- und Tischpreise seit Jahren unverändert. Weiterhin ist pro Tisch ein Ausstellerausweis kostenlos (drei Tische wären also drei Ausstellerausweise). Bei den zusätzlichen Ausstellerausweisen haben wir den Preis erhöht, um die zunehmende Zahl von Verkaufsgeschäften vor der offiziellen Eröffnung auf ein Minimum zu beschränken.

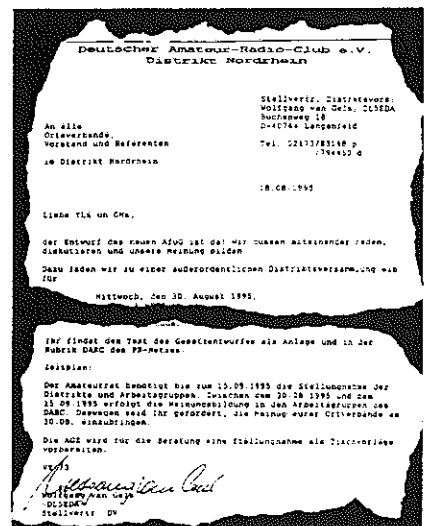
Der Dortmund Amateurrundmarkt erfolgt auf rein ehrenamtlicher Basis, wobei eventuelle Erlöse zum Erhalt und Betrieb von allgemein zugänglichen Amateurrundfunkstationen dienen.

Doch noch einmal

(CQ DL 11/95, S. 800)

In meinem Leserbrief (10/95, S. 733) hatte ich weder DC5JQ noch den betroffenen Distrikt genannt... Wie dem beigelegten Brief vom 18.8.1995 zu entnehmen ist, war Abgabetermin für die Meinung der Ortsverbände der 30.8.: vom 7.9. ist weder dort noch später die Rede. Laut DC5JQ war meine Stellungnahme am 9.9.95 bei ihm. Dies war für die Distriktstellungnahme zu spät, da diese auf den 7.9. datiert wurde. Warum mußte die schon eine Woche vor dem offiziellen Einsendeschluß des DARC (15.9.95) abgeschickt werden?

Kürzlich hatte ich Gelegenheit, mit OM Schorn zu sprechen und erfuhr, daß meine Stellungnahme doch bearbeitet wurde. Hätte mir DC5JQ dies gleich gesagt, wäre die ganze Aufregung vermieden worden. Trotz dieser kleinen Mißstimmung hoffe ich zukünftig auf gute Zusammenarbeit. **73, YL Liane, DL2KDM**



4. Akt

...aber *ein* Mann sieht rot

Ich bitte die CQ DL Redaktion um Abdruck des folgenden Textes

Warum Satelliten wirklich oben bleiben

Gelegentlich kann man in Beiträgen zur cq-DL ausgemachten technischen Quark lesen. Mein persönliches Highlight in dieser Hinsicht war vor einigen Jahren der Techniktipp, BNC-Stecker unter Zuhilfenahme von Margarine zu montieren. Aber sei's drum: Wer arbeitet, macht Fehler und das sei schließlich auch der cq-DL-Redaktion zugestanden. Nebenbei bemerkt hat solch ungewollte Satire auch ihre positiven Seiten und der "Margarine-Tipp" hat damals sicherlich mehr Leute zu einem herzhaften Lachen angeregt als die heutige Rubrik "Glossiert". Da ist man gerne bereit, über einen solchen Unfug hinweg zu sehen.

Bedrohlich ist es aber, wenn in der cq-DL Beiträge zu finden sind, welche *physikalische Zusammenhänge* auf den Kopf stellen wollen, wie es in "Wieso bleiben Satelliten oben" von Hans-Jürgen Bobzin in der Oktoberausgabe geschieht.

Zur Sache: OM Bobzin meint (und leider ist dies eine ganz gängige falsche Vorstellung von den Abläufen in der Natur), ein Satellit bliebe auf seiner Umlaufbahn, weil "die Fliehkraft entsteht, welche die Schwerkraft aufhebt" (Originalzitat Bobzin).

Das ist so falsch, wie es falscher nicht sein kann. Es gibt keine Fliehkraft oder Zentrifugalkraft! Punkt. In dem aus der Erde und dem Satelliten gebildeten physikalischen System wirkt nur *eine einzige Kraft* und zwar die Gravitationskraft der Erde. Dies ist eine sogenannte *Zentripetalkraft*, will sagen: nach innen auf das Erdzentrum gerichtet. Weitere Kräfte, die nach außen wirken oder gar die Gravitationskraft "aufheben", gibt es in diesem System nicht.

Das erste Newton'sche Axiom sagt aus: Ein kräftefreier Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig. [1] Würde, wie Bobzin meint, eine "Fliehkraft" die Gravitation der Erde aufheben, so hätte dies zur Folge, daß die Summe aller am Satellit angreifenden Kräfte "0" wäre. Ein Körper, bei dem sich alle angreifenden Kräfte gerade kompensieren, ist nun genau das, was mit der Definition "kräftefreier Körper" gemeint ist. Bewegt sich der Satellit denn in der Praxis geradlinig? Keineswegs, wie wir alle wissen: Er bewegt sich, wie wir von den Kepler'schen Gesetzen oder aus unserer eigenen OSCAR-Erfahrung her kennen, auf einer elliptischen Bahn, welche im einfachsten Fall in eine Kreisbahn entartet. Würden auf den Satelliten wirklich keine Kräfte wirken (entspricht: Kräftesumme=0), so würde er sich hingegen tatsächlich geradlinig und gleichförmig weiterbewegen. Da der Satellit sich in der Realität auf einer *gekrümmten* Bahn bewegt, sagt die Physik: Es muß eine Kraft geben, welche den Satelliten ständig von seiner ureigenst geradlinigen Bahn seitlich beschleunigt, und genau diese eine wirkende Kraft im Falle des umlaufenden Satelliten ist die Gravitation der Erde.

Was wäre, wenn wir die Gravitation der Erde von einem zum nächsten Moment ausknipsen würden? Gemäß Bobzin bleibt dann ja nur noch die nach *außen* gerichtete Zentrifugalkraft übrig. Man sollte daher erwarten, daß die Bahn des Satelliten nach dem Ausknipsen der Schwerkraft eine *radial* nach außen gerichtete Komponente enthält. Tatsächlich fliegt der Satellit aber nach dem Ausknipsen der Schwerkraft exakt *tangential* weiter. Dies ist der Beweis dafür, daß auf den Satelliten keine radial nach außen gerichteten Kräfte (Zentrifugal- oder Fliehkräfte) wirken.

Die Grundfrage muß daher nicht lauten "Wieso bleiben Satelliten eigentlich oben". Das ist nämlich gar nicht Außergewöhnliches: Ohne Schwerkraft würde er einfach tangential geradlinig wegfliegen. Sie muß viel mehr lauten "Warum fliegt der Satellit nicht geradlinig weg son-

dem bleibt auf einer Kreisbahn". Er tut das genau und nur deswegen, weil die einzig wirkende Kraft, die Gravitation der Erde, ihn ständig in Richtung Erdzentrum beschleunigt. Es ist eine beliebte Prüfungsfrage für Physikstudenten im ersten Semester, welche Arbeit dabei von der Gravitationskraft geleistet wird. Zum Beschleunigen eines Körpers braucht man doch Energie (=Arbeit), oder? Wie sich bei genauerer Betrachtung herausstellt, wird bei der Rotationsbewegung von der Zentripetalkraft keine Arbeit geleistet, weil die Vektoren von Kraft und Wegelement ds immer senkrecht aufeinander stehen und daher das vektorielle Wegintegral über $f \cdot ds$ immer "0" ist.

Ehrlicherweise muß man anmerken, daß das Ausknipsen der Schwerkraft zu den "Big experiments in physics" gehört, welches bis dato noch nicht durchgeführt wurde. Es kann jedoch von jedermann in kleinem Maßstab nachvollzogen werden: Wenn man einen Körper an einem Bindfaden befestigt und um sich wirbelt, so bewegt sich der Körper auch auf einer (angenäherten) Kreisbahn. Die Kraft, welche ihn auf dieser Kreisbahn zwingt, wird in diesem Fall durch den Bindfaden vermittelt. Lassen wir nun den Bindfaden schlagartig los, so beobachten wir die *tangentiale* Weiterbewegung des Körpers. Es lassen sich noch beliebige weitere Beispiele für dieses Verhalten in unserem Alltag finden. Man betrachte z.B. wie die Bahnen glühender Metallteilchen aussehen, wenn man mit einer "Flex" Metall bearbeitet: Alles *tangentiale* Bahnen, nichts *radiales* dabei.

Zum Abschluß möchte ich kurz auf die Frage eingehen: Wenn es bei rotierenden Systemen keine Zentrifugalkraft gibt, warum zum Teufel gibt es dann überhaupt den Begriff (das Wort) *Zentrifugalkraft*? Warum hat man es nicht schon längst aus dem Sprachgebrauch gestrichen? Und überhaupt: Erfahren wir denn nicht tagtäglich selber die Wirkung der Zentrifugalkraft, etwa wenn wir mit dem Auto eine Kurve fahren? Werden wir dann nicht tatsächlich nach *außen* gedrängt? Und merken wir dies nicht noch extremer, wenn wir uns auf dem Kirmesplatz in eines dieser Stahlmonster begeben, welche uns im Kreis schleudern? Das Kettenkarussell ist ja noch das harmloseste darunter.

Nun, die Antwort auf diese Fragen ist: Wenn ich mich als Mensch *selber* in einem rotierenden System befinde, etwa auf der Sitzbank einer "Raupe" auf der Kirmes, so befindet sich ja diese Sitzbank in *Ruhe* relativ zu meinem eigenen Körper. Von diesem scheinbar in Ruhe befindlichen Körper (tatsächlich bewegt er sich ja) vermag man sich nun nicht so ohne weiteres vorzustellen, daß er eine Kraft auf mich bewirkt. Was er aber in der Praxis tut: Mein Körper möchte gerne seinen Bewegungszustand beibehalten, sprich: sich geradlinig weiterbewegen. Die Bank unter mir bewegt sich jedoch konstruktionsbedingt auf einer Kreisbahn. Damit mein Körper auch auf eine Kreisbahn gerät, muß die Bank nun über die Vermittlung meines Hinterns, der auf der Bank sitzt, eine auf das Zentrum der Drehbewegung gerichtete Kraft auf meinen Körper ausüben. Diese Kraft wird tatsächlich über die Haftreibung vermittelt, die mein Hintern auf der Bank erzielt. Obwohl ich also das Gefühl habe, ich würde von einer fiktiven Zentrifugalkraft nach außen geschleudert, ist es in Wirklichkeit so, daß mir die Raupe sozusagen ständig die Bank unter meinem Hintern nach innen wegzieht.

Weil dieser persönliche Eindruck des "nach-außen-getrieben-werdens" uns so immens real erscheint, hat man für diese Erfahrungsform den Begriff der Zentrifugalkraft geprägt und benutzt ihn auch heute noch. Wichtig ist es jedoch, daß man sich merkt: Zentrifugalkräfte sind *Scheinkräfte*, die wir zu erleben meinen, wenn wir uns selber im rotierenden System befinden. Real gibt es diese Kräfte nicht und erst recht haben sie nichts der Bewegung von Satelliten zu tun.

Selbst der geneigtste Leser wird nun einwenden wollen, daß ich ziemlich viel "Buhei" um diese Sache gemacht habe und die Tatsache, daß so etwas in der cq-DL veröffentlicht wurde, sogar als bedrohlich bezeichnet habe. Nun, es ist wirklich bedrohlich. Die Kinematik rotierender Systeme ist so ziemlich das Einfachste in der Physik. Und wenn sich bereits da Fehlvorstellungen ausbilden, wie soll es dann werden, wenn die Sache wirklich ein wenig komplizierter wird. Wie würden Sie einem jungen OM Amateurfunktechnik beibringen wollen, wenn er augenscheinlich das Ohm'sche Gesetz nicht richtig verstanden hat?

Generationen von Physiklehrern könnten Ihnen ein Trauerlied davon singen, wie schwierig es ist, solche einmal sich festgesetzten Fehlvorstellungen zu korrigieren. Und da denke ich, wir als Funkamateure, die wir in allen unseren Argumentationen den Ausbildungsbereich immer wie eine Krone vor uns her tragen, sollten dazu beitragen, daß solche Fehlvorstellungen gar nicht erst entstehen. Beiträge wie der Bobzin'sche tragen dazu bei, unser Ansehen zu schädigen. Wer physikalischen Unsinn verzapft, der darf sich nicht wundern, wenn er bald selber nicht mehr ernst genommen wird.

[1] Gerthsen, Kneser, Vogel : Physik, Springer-Verlag, ISBN 3-540-06336-6

Ulrich Bangert, DF6JB
Ortholzer Weg 1
D-27243 Gross Ippener

5. Akt

Eine Dame bekundet Interesse



Redaktion CQ DL

DARC, Postfach 11 55, 34216 Baunatal

Deutsches Amateurfunk-
Zentrum
Postfach 11 55
Lindenallee 6
34216 Baunatal
Telefon (0 56 03) 93 33 0
Telefax (0 56 03) 93 33-20

Herrn
Ulrich Bangert
Ortholzer Weg 1

27243 Groß Ippener

4. Oktober 1995

. Ra/dr

19. Oktober 1995

Sehr geehrter Herr Bangert,
vielen Dank für Ihr Fax vom 4.10.1995

"wieso bleiben Satelliten eigentlich oben?".

Wir möchten Sie bitten, uns den Text auf Diskette als ASCII
Datei zu übersenden.

Vielen Dank im voraus!

Mit freundlichem Gruß

Redaktion CQ DL

i. A. *B. Dreisbach*

Brigitte Dreisbach

6. Akt

Bobzin vs. Bangert

Herrn Ulrich Bangert
Ortholzerweg 1
27245 Groß Ippener

Hamburg 24.10.95

Lieber OM Bangert.

die Redaktion CQ-DL war so freundlich, mir eine Kopie Ihres kritischen Schreibens zu meinem Beitrag WARUM BLEIBEN SATELLITEN EIGENTLICH OBEN zu übersenden.

Ich bitte um Verständnis, wenn ich hiermit keine endlose briefliche Diskussion ankurbeln möchte.

Ihr Schreiben mußte ich mehrere Male durchlesen um zu finden, was Sie nun eigentlich beanstandet haben. Dies umsomehr, als ich einen Wust physikalischer Überlegungen vorfand.

Sie störte offenbar der Begriff Fliehkraft bzw. Zentrifugalkraft.

Mir war natürlich klar, daß irgendwo in Ihren Überlegungen ein Denkfehler stecken mußte.

Ich fand ihn dann bereits auf Seite 1 in den Absätzen 5 und 6. - In Absatz 5 bemühen Sie das Newtonsche Axiom.

Wenn sich Gravitation und Fliehkraft aufheben, haben wir jedoch keinen kräftefreien Körper im newtonschen Sinne.

Dennoch sind alle Kräfte Null. Dies beweist ja auch das schwerelose Schweben der Astronauten in ihren Kabinen, obwohl sie sich immer noch im Schwerfeld der Erde befinden

Zu Absatz 6. Zitat: 'Gemäß Bobzin bleibt dann ja nur noch die nach außen gerichtete Zentrifugalkraft übrig.' - Falsch! Im Moment, wo die Schwerkraft ausgeschaltet würde, wäre auch die Zentrifugalkraft verschwunden (da ja auch die Kreisbewegung aufhört) und der Körper fliegt logischerweise tangential davon.

Genau an dieser Stelle liegt Ihr Denkfehler. Bitte denken Sie mal darüber nach!

Abschließend nehmen Sie mir bitte nicht übel, wenn ich Ihre harsche Kritik für recht überzogen halte.

Worte wie: Schädigung des Ansehens des CQ-DL; oder, solche Berichte sind 'bedrohlich'; oder der Bobzinsche Bericht ist so falsch, wie er nur sein kann usw. sind doch wohl recht unangebracht. Dies umsomehr, als Sie selber eindeutig einem Logikfehler. aufgesessen sind.

Sie könne mir glauben, ich recherchiere und überprüfe unendlich oft, ehe ich einen Artikel schreibe.

Mit freundlichem Gruß

und vy 73.



H-J Bobzin (DL 3 OC)
Saselstraße 130
22145 Hamburg

7. Akt

Ein Volontär tut,
was ein Volontär tun muß...



Redaktion CQ DL

DARC, Postfach 11 55, 34216 Baunatal

Herrn
Ulrich Bangert, DF6JB
Ortholzer Weg 1

27243 Groß Ippener

Deutsches Amateurfunk-
Zentrum
Postfach 11 55
Lindenallee 6
34216 Baunatal
Telefon (0 56 03) 93 33 0
Telefax (0 56 03) 93 33-20

25.10.95

Ihr Leserbrief: Warum Satelliten oben bleiben

Sehr geehrter OM Bangert,

der Autor des von Ihnen kritisierten Beitrages, OM Bobzin, DL3OC, hat uns wissen lassen, daß er Ihnen direkt auf Ihre Anmerkungen geantwortet hat. Aus der Kopie seiner Antwort entnehmen wir, daß sich die Veröffentlichung dieses Vorgangs offenbar inhaltlich erledigt hat.

Eine nochmalige intensive Auseinandersetzung über mehrere Seiten halten wir zudem für nicht wünschenswert, da wir doch den inhaltlichen Schwerpunkt nicht zu sehr in Richtung "Physik-Zeitschrift" verschieben wollen.

Wenn sich jedoch Ihre Zweifel hinsichtlich des Beitrages nicht zerstreut haben, möchten wir Sie bitten, uns diese in kurzer, sachlicher Form als Leserbrief zukommen zu lassen.

vy 73,

Michael Link, DL2EBX
Redaktionsvolontär CQ DL

P.S.: Die Redaktion CQ DL nimmt nicht für sich in Anspruch, in allen Bereichen des Amateurfunks/ der Technik allumfassend kompetent zu sein. Wir können schließlich nicht alles wissen...

8. Akt

...und bekommt gehörig
was ab

Ulrich Bangert
DF6JB @ DBOCL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
16.01.1996

D.A.R.C. e.V.
Redaktion CQ DL
z.Hd. Herrn Michael Link
Postfach 1155

34216 Baunatal

Betreff: Ihr Schreiben vom 25.10.95 bezüglich meines Leserbriefes zum "Satellitenartikel"

Sehr geehrter Herr Link,

vielen Dank für Ihren netten Brief. Tempora mutantur, die Zeiten ändern sich gewaltig, kann ich da nur sagen.

Vor einigen Jahren wurde mir von einem Mitarbeiter Ihrer Redaktion wörtlich gesagt, jeder in der CQ DL erscheinende Artikel werde einer genauen Prüfung hinsichtlich seines Inhaltes unterzogen. Wegen der Rahmenbedingungen, unter denen diese Aussage gemacht wurde, mußte man das damals für eine Schutzbehauptung halten und ein entsprechend schaler Nachgeschmack blieb zurück.

Demgegenüber muß man Ihnen, lieber Michael Link, nun wirklich dazu gratulieren, die *ultima ratio* journalistischer Selbstdefinition gefunden zu haben. Wenn man Ihr Postskriptum liest, so heißt das im Klartext: Wir machen zwar eine Zeitschrift, haben aber eigentlich keine Ahnung von ihrem Inhalt. Einen hübscheren selbstaufgestellten Freibrief für Dilettantismus jeglicher Art muß man wohl lange suchen. Damit stoßen Sie wirklich für die CQ DL neue Dimensionen der Berichterstattung auf, die bislang sogar der Bildzeitung verschlossen bleiben: Da wird zwar auch ein wenig dazugelogen und ein wenig weggeschummelt, aber um ein gewisses Verständnis der Dinge, über die sie schreiben, kommen wahrscheinlich selbst die Angestellten *dieses* Blattes nicht herum. So weit mein Kommentar zu Ihrer prinzipiellen Einstellung.

Wie Sie aufgrund des Bobzin'schen Antwortbriefes an mich zu der Überzeugung gelangen konnten, damit sei die Sache dann wohl erledigt, bleibt mir trotzdem ein Rätsel. Selbst wenn man Ihnen zugute hält, von der diskutierten Sache nun absolut keine Ahnung zu haben, ist es doch so, daß ein normalbegabter Mensch auch an der *Diktion* eines Briefes ein wenig erkennen kann, wes' Geistes Kind der Autor ist. Und da hätten bei Ihnen eigentlich alle Alarmklingeln losgehen sollen. Daß dieser Vorgang sich inhaltlich noch nicht erledigt hat, wollen Sie bitte meinem Antwortbrief an OM Bobzin entnehmen.

Als Mitarbeiter der Redaktion dürfen Sie sich jedoch trotzdem in diesem Moment entspannt zurücklehnen. Nachdem mir nun bekannt ist, wie die Redaktion über die von ihr gemachte

Zeitschrift denkt, habe ich mir wahrscheinlich ein falsches Bild von der Art und Weise gemacht, wie Amateurfunk professionell präsentiert werden sollte. Wie Bobzin zeigt, kann man mit wenigen Worten viel Quatsch verzapfen, aber um diesen Unsinn wieder richtig zu biegen, muß man leider ein wenig weiter ausholen. Aus diesem Grund möchte ich Ihr freundliches Angebot, einen Leserbrief in "kurzer, sachlicher Form" zu verfassen, dankend ablehnen.

Um es noch einmal klarzustellen: Hier geht es nicht darum, daß sich zwei Querulanten gegenseitig bekriegen sondern darum, daß unsere Clubzeitschrift frei von größtem Unsinn bleibt. Aber wie sich zeigt, liegt das außerhalb Ihres Verantwortungsbereiches. Natürlich soll die CQ DL sich nicht in Richtung einer "Physikzeitschrift" verschieben, aber wenn Sie meinen, damit sei nun jeder Quatsch abgedeckt, frei nach dem Motto: Je kürzer, desto mehr Unsinn darf drinstehen, dann sage ich dem Amateurfunk in Deutschland eine traurige Zukunft voraus. Aber wenn Sie sich darum keine Sorgen machen, warum ich dann?

Also: Vergessen Sie's. Legen Sie den Vorgang zu den Akten, unternehmen Sie nicht weiter. Ich bitte allerdings um Verständnis dafür; wenn ich den Vorgang an anderer Stelle einschließlich Ihres Briefes publizieren möchte. Unter den Funkamateuren in Deutschland gibt es durchaus hinreichend viele mit entsprechender Ausbildung, denen man dieses Possenspiel nicht vorenthalten sollte.

Eine gewisse traurige Berühmtheit wird die CQ DL sicherlich in der Physiklehrerausbildung an der Uni Bochum gewinnen. Nachdem ich den Briefwechsel meinem ehemaligen Kollegen Herrn Dr. Krämer zugänglich gemacht habe, schreibt dieser mir wörtlich zurück:

" Ich habe (Ihre Korrespondenz) mit großem Vergnügen gelesen und werde sie - falls Sie einverstanden sind - als Literatur für den Demo-Praktikumsversuch "Zentripetal und Zentrifugalkraft" einsetzen. Ihre kritischen Einlassungen sind großartig, bezogen auf den Hobby-Physiker (?) Bobzin, aber wie die bekannten Perlen! Ich befürchte, er kapiert's nicht. Aber wichtig für die Zeitschrift ist es auf jeden Fall."

Ich denke, ein weiterer Kommentar erübrigt sich!

Mit freundlichen Grüßen

(Ulrich Bangert)

Anlage: Kopie der Bobzin'schen Antwort an mich
 Mein Antwortschreiben darauf
 DIN 1305 bezüglich der Benutzung des Wortes "Gewicht"

9. Akt

Bangert vs. Bobzin

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
16.01.1996

Herrn
H.-J. Bobzin
Sasel-Str. 130
22145 Hamburg

Sehr geehrter Om Bobzin,

heute erreichte mich Ihr Schreiben vom 24.10.1995, in dem Sie auf meine Kritik an Ihrem Artikel "Warum bleiben Satelliten eigentlich oben" antworten. Auch ich möchte alles andere als eine endlose briefliche Diskussion. Eine Diskussion darüber kann es auch gar nicht geben, weil physikalische Gesetze nicht aus demokratischen Entscheidungsprozessen resultieren sondern eben einfach so sind, wie sie sind. Einige abschließende Bemerkungen von meiner Seite scheinen mir allerdings doch angebracht.

Nachdem ich mein Physikstudium erfolgreich beendet hatte, habe ich vier Jahre lang bei Prof. Dr. Borman als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Fachdidaktik der Physik an der Ruhr-Universität-Bochum in der Physiklehrerausbildung gearbeitet. Sie dürfen daher davon ausgehen, daß sich meine Kritik nicht wie bei Ihnen auf der Recherche für einen Zeitschriftenartikel sondern auf einer soliden Ausbildung gründet. Da Sie äußern, daß Sie "unendlich oft" für einen Artikel recherchieren, möchte ich mir spaßeshalber die Frage erlauben: Abzählbar unendlich oft oder überabzählbar unendlich oft?

Doch zur Sache: Hier geht es keineswegs um einen logischen Fehler meinerseits sondern um eine falsche Sicht der Dinge Ihrerseits. Würden Sie bitte so freundlich sein, zu erläutern, warum es sich aus Ihrer Sicht bei einem Satelliten (von dem Sie im gleichen Satz behaupten, daß sich alle an ihm angreifenden Kräfte aufheben) *nicht* um einen kräftefreien Körper im Newton'schen Sinne handelt???? Um was denn dann??? Wenn es sich *nicht* um einen kräftefreien Körper handelt, dann doch wohl ganz offensichtlich um einen Körper, auf den Kräfte wirken, welche sich gerade *nicht* kompensieren, wo also die vektorielle Kraftsumme *ungleich* null ist! Das ist doch genau der Punkt, wo Ihr Mißverständnis liegt! Entweder es handelt sich um einen kräftefreien Körper (wie Sie es sich vorstellen, weil ja angeblich die "Fliehkraft" die Schwerkraft kompensiert), dann geraten Sie nun in das Dilemma, erklären zu müssen, warum dieser kräftefreie Körper auf einer Kreisbahn fliegt und nicht geradeaus. (Gutes Zureden??) Oder aber es handelt sich um einen nicht kräftefreien Körper, wie ich es behauptet habe, indem ich sagte, daß nur eine einzige Kraft wirksam ist, nämlich die Gravitation. Da "nicht kräftefrei" die logische Invertierung von "kräftefrei" ist, kann es ja nur eine der beiden Möglichkeiten sein, zumindest wenn man nicht ein *fuzzylogisches* Gehirn hat.

Wenn Sie nun zu der (richtigen) Auffassung gekommen sind, daß es sich bei dem Satelliten um einen nicht kräftefreien Körper handelt, so schreiben Sie doch die angreifenden Kräfte einmal auf. Aber vorsichtig: Wenn Ihre "Fliehkraft" und die Gravitation auf den Satelliten gleiche

Werte und entgegengesetzte Richtung haben sollten, sich also genau kompensieren, so haben wir wieder einen kräftefreien Körper vor uns, also ein Ding, das nicht auf einer Kreisbahn bleibt. Die Definition "kräftefrei" besagt nämlich keineswegs, daß nun überhaupt keine Kräfte wirken, sondern sie besagt, daß sich die Summe alle angreifenden Kräfte nach Betrag und Richtung gerade aufheben.

Außerdem habe ich das Newton'sche Axiom (genauer: das erste, es gibt derer noch mehr, wie Sie sicherlich wissen) nicht "bemüht", wie Sie anmerken. Es ist vielmehr so, daß die Newton'schen Axiome die Grundlage aller physikalischen Erkenntnis über die nichtrelativistische Bewegung von Körpern sind. Ich möchte daher rückfragen, welche physikalischen Gesetze Sie denn "bemühen" wollen, um Ihren Standpunkt zu untermauern? Oder wollen Sie gar so weit gehen, zu behaupten, Satelliten würden nicht den Newton'schen Axiomen gehorchen???

Ihr Beispiel von den "schwerelosen" Astronauten in ihren Kabinen geht leider auch völlig daneben. Hinsichtlich der physikalischen Zusammenhänge gibt keinen existentiellen Unterschied zwischen einem Satelliten und einem Astronauten in seiner Kabine!

Mit dem Begriff der "Schwerelosigkeit" wird leider genauso viel Schindluder getrieben wie mit der "Fliehkraft". Schwerelos im physikalischen Sinne ist ein Körper genau dann, wenn er sich soweit von allen anderen ihn umgebenden Körpern weg befindet, daß die Gravitationsfelder der anderen Massen vernachlässigt werden können. Das ist innerhalb unseres Sonnensystems und erst recht innerhalb des Gravitationsfeldes der Erde sicherlich nicht der Fall.

Insofern ist ein Astronaut in seiner Kabine -genauso wie ein Satellit- alles andere als schwerelos. Er wird von der "Schwere" also der Gravitation ja gerade auf seiner Umlaufbahn gehalten. Richtig ist: Würde man den Astronauten seines Gedächtnisses berauben, die Fenster seiner Kabine vernageln und ihm jegliche physikalische Meßmittel entziehen, so wäre der Zustand, in dem er sich in seiner Kabine befindet für ihn in der Tat zunächst einmal schwierig vom Zustand der Schwerelosigkeit zu unterscheiden. (Langfristig schon, weil die Kabine ein ausgedehntes räumliches Gebilde ist, in dem -eine stabile Fluglage relativ zur Erde vorausgesetzt- an den erdnahen Punkten andere Gravitationsverhältnisse herrschen als an erdfernen Punkten.) Aber glauben Sie mir: Die Natur schert sich relativ wenig darum, was der Junge in der Kabine über seinen Zustand weiß.

Für die Natur ist der Astronaut ein Körper wie jeder andere auch, der sich im Gravitationsfeld der Erde bewegt. Der Astronaut *schwebt* mitnichten "schwerelos" in seiner Kabine. Er *bewegt* sich vielmehr mit einer Wahnsinnsgeschwindigkeit (einige km/s) und es ist *allein* der Schwerkraft zu verdanken, daß er nicht in "den unendlichen Weiten des Raumes" verschwindet sondern auf einer Kreisbahn um die Erde gehalten wird. Wenn ich nun um den Astronauten herum ein räumliches Gebilde (seine Kabine) baue, so gelten für dieses Gebilde natürlich die gleichen Gesetzmäßigkeiten auch, ich kann in der Tat Astronaut und Kabine als zwei voneinander vollkommen unabhängige Systeme betrachten. (Die Gravitation dieser Systeme untereinander ist wegen der geringen Massen tatsächlich vernachlässigbar.) Nun, wenn sich diese beiden Systeme mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen, dann "ruhen" sie eben *zueinander*. Und wenn ich nun als Beobachter mit in die Kabine (=das bewegte System) komme und vergesse, daß ich mich damit in Wirklichkeit mit einer hohen Geschwindigkeit bewege, so sehe ich um mich herum die Kabine und -weil das System Astronaut relativ zum System Kabine ruht- einen Astronauten, welcher scheinbar kräftefrei irgendwo in der Kabine "in der Luft hängt". Daher kommt der *Eindruck* der Schwerelosigkeit zustande. Wenn ich nun auch noch eine Fernsehübertragung zur Erde mache, so staunen Millionen von Menschen über die "Schwerelosigkeit" und warum? Weil sich die Fernsehkamera nun auch im bewegten System befindet und damit

relativ zu ihrer Umgebung ruht. Gehe ich aus dem bewegten System raus und setze mich z.B. auf den Mond, so sehe ich hingegen keinen "ruhig schwebenden" Astronauten mehr sondern ein Gebilde, welches sich mit einer Geschwindigkeit von mehr als 10 km/s (!!) um die Erde herum flitzt (bei einer typischen Space-Shuttle-Umlaufbahn)! Die Vorstellung des "ruhig schwebenden" Astronauten wird einem da sehr schnell abgehen. Die Natur macht sich jedoch - zumindest außerhalb der Quantenphysik- überhaupt nichts daraus, von wo ich aus ihr zugucke, sie verhält sich immer gleich.

Nun habe ich in meiner ersten Stellungnahme nur einen *einzig*en Fehler in Ihrem Artikel behandelt, weil ich den für den schlimmsten halte. Damit ist jedoch nicht gesagt, daß Ihr Artikel ansonsten fehlerfrei wäre. So bemühen Sie sich ernsthaft darum, dem Leser den Unterschied zwischen Gewicht und Masse zu erklären ohne zu wissen, daß der Begriff "Gewicht" wegen der damit verbundenen falschen Vorstellungen gar nicht mehr verwendet werden sollte (siehe dazu die entsprechenden DIN-Normen). Da haben Sie womöglich unendlich oft aber leider auch unendlich falsch recherchiert! Was Sie eigentlich erklären wollten, ist die Unterscheidung zwischen schwerer und träger Masse und Gewichtskräften, die zwischen schweren Massen auftreten. "Masse" ist eine Körpereigenschaft und ihre Einheit ist das kg. Gewichtskräfte sind hingegen *Kräfte* und Ihre Einheit ist das Newton. Wenn Sie also fälschlicherweise von "Gewicht" sprechen und die Gewichtskraft damit meinen sollten, so haben Sie mit "kg" auch noch die falsche Einheit erwischt.

Ich nehme es Ihnen absolut nicht übel, wenn Sie meine Kritik an Ihrem Artikel für überzogen halten. Meine sehr kritischen abschließenden Kommentare in meiner ersten Stellungnahme möchte ich jedoch nicht *streichen* sondern nun eher *unterstreichen*. Der Grund dafür liegt darin begründet, daß Sie sich von Ihren falschen Vorstellungen immer noch nicht befreit haben und, sofern Sie die Autorenlust wieder packt, die Gefahr besteht, daß Sie diesen Unsinn an anderer Stelle wiederholen.

Solange das ein Biertischgespräch ist, kann ich wohl kaum etwas dagegen machen. Sie müssen jedoch davon ausgehen, daß ich mit allen Mitteln versuchen werde, die Zeitschrift eines Clubs, der sich seines Ausbildungsbereiches und seines technisch-wissenschaftlichen Anspruchs rühmt, frei von solchem Unsinn zu halten.

Mit freundlichen Grüßen

(Ulrich Bangert, DF6JB)

10. Akt

Wird's dem Volontör
zu schwör,
so meldet sich der
Redakteur

Redaktion CQ DL

DARC, Postfach 11 55, 34216 Baunatal

OM
Ulrich Bangert, DF6JB
Ortholzer Weg 1

27243 Groß Ippener

Deutsches Amateurfunk-
Zentrum
Postfach 11 55
Lindenallee 6
34216 Baunatal
Telefon (0 56 03) 93 33 0
Telefax (0 56 03) 93 33-20

20.11.95

Ihr Schreiben vom 31.10.95

Sehr geehrter Herr Professor Bangert,

ich bedanke mich für die Möglichkeit, den Schluß Ihres Schreibens an den Autor kennenzulernen: "..., daß ich mit allen Mitteln versuchen werde, die Zeitschrift eines Clubs... frei von solchem Unsinn zu halten".

Machen wir Nägel mit Köpfen, ich nehme Sie beim Wort und schlage Ihnen vor, Ihnen künftig alle Beiträge, die Ihr Spezialgebiet tangieren, vor der Bearbeitung/Veröffentlichung an Sie zum Begutachten, im Idealfall zum Bearbeiten, zu schicken. Vielleicht können Sie auch Studenten für eine ehrenamtliche Assistenz gewinnen. Und es bleibt noch eine Möglichkeit: Schreiben Sie selbst für die Clubzeitschrift...

Wobei ich mir denn doch eine Anmerkung gestatte: Es reicht als Autor/Bearbeiter nicht, die Richtigkeit zu garantieren; es muß auch vom Leser verstanden werden können - aber das wissen Sie als Pädagoge ja viel besser.

Apropos Pädagoge. Das Schreiben von Michael Link an Sie (25.10.95) weist den Schreiber korrekt als Redaktionsvolontär aus. Das ist also ein Auszubildender. Ob da bei all Ihrem Unmut nicht ein anderer Brief angebracht gewesen wäre?

Gern höre ich wieder von Ihnen bezüglich meines Vorschlags und verbleibe

mit freundlichen Grüßen



Harry Radke
Redaktion CQ DL

P.S.
Redaktion CQ DL =

1 festangestellter Volontär
1 Sechs-Stunden-Sekretärin
2 Freie Mitarbeiter
(1 nur von zu Hause, 1 im 14tägigen Wechsel von zu Hause/in der Redaktion)

Redaktioneller Mindestumfang pro Monat im Schnitt 72 Druckseiten. Leider auch mal mit Unsinn... Und selbst Wissenschaftler sollen hin und wieder mal Unsinn schreiben...

11. Akt

Bangert vs. Redakteur

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
16.01.1996

Redaktion CQ-DL
z.Hd. Herrn Harry Radke
Postfach 1155
Lindenallee 6

34216 Baunatal

Betreff: Ihr Schreiben vom 20.11.95

Sehr geehrter Herr K. u. K. Hofrat Radke,

nachdem sich nun schon fast 75% der CQ-DL Redaktion (zumindest nach Ihrer Rechnung) mit dem Fall Bangert/Bobzin befassen und ich Ihren Brief auch in anderer Hinsicht bemerkenswert finde, sehe ich mich nun doch noch einmal gezwungen, mich an den Rechner zu setzen, obwohl ich innerlich mit diesem Thema eigentlich schon abgeschlossen hatte.

Die ersten beiden Absätze Ihres Briefes sind taktisch nicht schlecht: Den vermeintlichen Nörgler in die Pflicht zu nehmen und ihm schließlich sogar die Mitarbeit anzubieten, das hat sicher in den meisten Fällen gereicht, um auch hartnäckige Genossen ruhig zu stellen, oder?

Leider geht Ihr Schuß nach hinten los. Als erstes würde ich Ihnen empfehlen, mal den Jahrgang '91 der CQ-DL durchzublättern. Dort werden Sie (ich glaube in 8/91) einen Beitrag von mir und meinem verstorbenen Freund Walter, DJ1MC, finden, der immerhin so gut war, daß er zu Nachfolgeartikeln in der deutschen sowie englischen Ausgabe der Zeitschrift "ELEKTOR" und zu einem wörtlich übersetzten Nachdruck in der italienischen "RADIO RIVISTA" führte. (Hat das AMSAT-Journal schon bei Ihnen angefragt, ob es die Bobzin'schen Ergüsse nachdrucken darf?)

Ich darf Ihnen versichern, daß ich es als Pädagoge wirklich besser weiß, daß Dinge nicht nur geschrieben sondern auch verstanden werden müssen. Sicherlich hat man auch in der CQ-DL Redaktion an diese Weisheit gedacht, als man in den letzten Ausgaben Beiträge zur EMV-Problematik hatte, welche vor komplizierter Mathematik nur so strotzten? Das hat doch sicher auch jedes Clubmitglied verstanden, oder? Für mich selber nehme ich in Anspruch, nicht nur fähig sondern auch willens zu sein, auf dem von Ihnen angedachten Niveau zu schreiben. Ein Beispiel dafür wollen Sie bitte Anlage 1 entnehmen, welches für eine Veröffentlichung in "DER FUNKAMATEUR" gedacht ist. Verzeihung, daß ich Sie nicht gefragt habe, aber die CQ-DL würde ja so etwas sicher nicht drucken wollen; man will ja schließlich keine Physikzeitschrift werden.

Nun ist es so, daß ich tatsächlich aber gar kein geborener Schreiberling sondern ein Mann der Technik bin. Was ich in dieser Hinsicht in den letzten Jahren getrieben habe, nebst dem Kom-

mentar der internationalen Amateurfunkpresse, können Sie aus Anlage 2 ersehen. Ich denke, daß ich auf *diesem* Gebiet dem Amateurfunk mehr zu geben habe als durch reine Schreibung. Technische Entwicklungen nehmen aber viel Zeit in Anspruch und dies ist denn auch einer der Gründe dafür, daß ich Ihr freundliche Angebot zur redaktionellen Mitarbeit ablehnen möchte.

Wenn Sie sich Anlage 2 einmal unvoreingenommen ansehen, so werden Sie feststellen, daß ein CQ-DL Beitrag zu dem Gerät fehlt. Dazu möchte ich Ihnen eine kleine Geschichte erzählen.

Als ich gegen Ende 91 mit der Entwicklung dieses Gerätes fertig war, hatte ich bis zu diesem Zeitpunkt einige tausend DM und ein Jahr Freizeit in dieses Projekt investiert. Sie können sich gar nicht vorstellen, wie dankbar ich zu diesem Zeitpunkt für einen Beitrag in der CQ-DL gewesen wäre, um das Projekt der Öffentlichkeit zu präsentieren. Also schickte ich die Bedienungsanleitung des Gerätes (Anlage 2) an die CQ-DL Redaktion mit der Bitte, mir doch mitzuteilen, ob man an einem Artikel über dieses Gerät interessiert sei und mir gegebenenfalls zu sagen, wieviele Seiten, Bilder und Graphiken man denn wünsche. Ich versprach, nach diesen Vorgaben den Beitrag zu verfassen.

In den nächsten beiden Monaten tat sich: Nichts. Den dritten Monat verbrachte ich damit, telefonisch jemand mit Verantwortung in der CQ-DL zu erreichen. Jemand mit Verantwortung war aber bei meinen zahlreichen Anrufen a) entweder nicht im Hause oder b) gerade zu Tisch. Das wäre ja auch gar nicht schlimm gewesen, wenn man meiner Bitte um Rückruf *irgendwann* einmal nachgekommen wäre.

Nach den drei Monaten hatte ich die Schnauze voll, wie man so sagt. Ich bat die Redaktion, mir die Bedienungsanleitung zurückzuschicken. Nun erhielt ich auf einmal die bemerkenswerte Auskunft, die "ausführliche technische Recherche zu meinem Beitrag" sei nun abgeschlossen und man wolle sofort den Beitrag. Aber da wollte ich nicht mehr. Heute muß ich sagen, daß ich ausgeprochen stolz darauf bin, daß von EasyFax fast zweitausend (2000) Bausätze aufgebaut worden sind, ohne den geringsten redaktionellen oder Werbehinweis auf das Gerät in der CQ-DL. Ich denke, daß ich bei meinem nächsten Projekt, einem universellen DSP-Controller, genauso verfahren werde.

Andererseits hatte ich natürlich gehofft, die "ausführliche technische Recherche" würde auch auf andere Beiträge ihre Anwendung finden, damit wir vernünftige Dinge in der CQ-DL lesen können. War aber wohl doch 'ne Schutzbehauptung. Sie können sich sicherlich vorstellen, daß ich nach diesen "positiven" Erfahrungen auch keine sonderliche Lust mehr verspüre, in der CQ-DL aktiv zu werden.

Den letzten Absatz Ihrer Ausführungen nehme ich Ihnen übel! Ich kann doch nur *demjenigen* antworten, der *mich* anspricht, unabhängig davon, ob es sich um den Bundesgeschäftsführer, Michael Link oder die Klofrau des D.A.R.C. handelt. Hier verdrehen Sie wirklich Ursache und Wirkung. Wenn der D.A.R.C. mit einigen 10000 Mitgliedern und jährlichen Millionenumsätzen meint, sein wichtigstes Organ der Öffentlichkeitsarbeit sei durch *einen festangestellten Lehrling* (Volontär, AZUBI, oder wie immer Sie es nennen wollen) hinreichend repräsentiert, so darf man sich doch absolut nicht wundern, wenn *dem* ab und an mal die Fetzen um die Ohren fliegen! Bei allem Wohlwollen: Wenn die personelle Situation in der Redaktion wirklich dermaßen bescheiden ist, wie Sie mir berichten, dann besteht sicher ein Handlungsbedarf an dieser Stelle. Aber ist das meine Schuld?

Daß ich darüber hinaus schon fast so etwas wie Mitleid mit der Redaktion empfinde mögen Sie bitte daran erkennen wollen, daß ich Heft 11/95 gänzlich unkommentiert ließ, obwohl

- a) wieder ein Bobzin drin war mit vielen Fehlern
- b) Om Link bei seiner Messeberichterstattung aus Hannover unter Beweis stellt, daß man selbst bei einem so unverfänglichen Thema so manches technische Fettnäpfchen entdecken kann, in das man dann mit voller Begeisterung hinein tritt. Vielleicht könnten Sie Om Link mal Seite 9 ff aus Anlage 3 an's Herz legen, damit er lernt, daß Funkgeräte, welche im Flugfunkband selbsttätig auf AM-Demodulation umschalten, alles andere als geeignet sind für Fans des Wettersatellitenempfangs.

Eigentlich war es meine Absicht gewesen, ihm zu seiner kritischen Selbsteinschätzung als "Kommunikationsindianer" einige Seiten weiter zu gratulieren und ihm zumindest, was diese Einschätzung angeht, meine vollste Zustimmung zu versichern. Aber was soll's? Wird dadurch die CQ-DL besser? Vermutlich nicht. Und deswegen soll dies dann auch der letzte Kommentar zur Arbeit der Redaktion sein.

Mit freundlichen Grüßen

(Ulrich Bangert, DF6JB)

12. Akt

Zwei Männer lenken ein

Hier müßte nun eigentlich die wörtliche Wiedergabe eines längeren Telefongesprächs erfolgen, das ich mit Harry Radke gegen Ende '95 führte. Davon gibt es leider keine Mitschrift, außerdem haben wir über Gott und die Welt geplaudert.

Die beiden wichtigen Ergebnisse dieses Gesprächs sind

a) wir sind nicht die Feinde, für die wir uns gehalten haben

und

b) Harry will meinen überarbeiteten Beitrag in der CQ DL 1/96 abdrucken

Dadurch ergibt sich des Drama's 13. Akt

13. Akt

Der Reparaturversuch

Warum Satelliten wirklich oben bleiben

Ulrich Bangert, DF6JB

Viele Menschen meinen, Physik sei „was schwieriges“, besonders, wenn es um Dinge wie Satelliten geht. Der Beitrag will zei-

gen, daß die Bewegung eines Satelliten um die Erde ein einfacher Vorgang ist, und er will gleichzeitig mit einigen falschen Vorstellungen aufräumen, wie sie leider immer wieder publiziert werden, zuletzt in [1].

Beginnen wollen wir mit einem einfachen Experiment: Ich begeben mich mit einer alten Kanone und reichlich Schießpulver und Kugeln auf einen hohen Berg. Dort stelle ich die Kanone so auf, daß ihr Lauf exakt horizontal ausgerichtet ist. Die Kanone kann ich mit unterschiedlichen Mengen an Schießpulver laden. Wenn ich nun mit diesen unterschiedlichen Pulverladungen tatsächlich feuere, so beobachte ich unterschiedliche Flugbahnen der Geschosse. Je mehr Schießpulver ich benutzt habe, desto weiter fliegt das Geschöß. Es ist sogar der Fall denkbar, daß ich so viel Schießpulver benutzt und damit dem Geschöß eine so hohe Mündungsgeschwindigkeit verliehen habe, daß es das Gravitationsfeld der Erde für immer verläßt.

Nun ist es so, daß die tatsächlichen Flugbahnen des Geschosses durchaus nicht ganz trivial zu berechnen sind, besonders, wenn man die Luftreibung berücksichtigt. Die Luftreibung wollen wir bei allen weiteren Überlegungen bewußt vernachlässigen, weil wir später ja von Satelliten reden werden, welche sich in so großer Höhe bewegen, daß die Atmosphäre tatsächlich keinen Einfluß auf ihre Bewegung hat. Aber auch so ist die Sache mathematisch noch schwierig genug. Tatsächlich brauchen wir uns mit der allgemeinen Bewegungsgleichung des Geschosses auch gar nicht zu beschäftigen, weil wir keine Ballistiker sind und erst recht niemand mit dem Geschöß treffen wollen. Uns interessiert vielmehr, ob es zwischen den beiden Grenzfällen

- Verschwinden des Geschosses im Weltraum;
- Auftreffen auf die Erdoberfläche nach irgendeiner Zeit t

nicht noch einen besonderen Fall gibt, etwa denjenigen, bei dem das Geschöß in eine stabile Umlaufbahn um die Erde eintritt. Wie sich gleich zeigen wird, ist genau dieser Fall von der mathematischen Behandlung her besonders einfach.

Betrachten wir dazu die **Zeichnung**. Das Geschöß soll die Mündungsgeschwindigkeit v haben und zum Zeitpunkt $t = 0$ den

Lauf verlassen. Gäbe es nun keine Schwerkraft, so würde das Geschöß sich tangential weiterbewegen und hätte eine kleine Zeit Δt später den Punkt P1 erreicht. In der Zeit Δt hätte es sich um die Strecke $v \cdot \Delta t$ bewegt. Wie man sieht, ist die tangentielle Bewegung des Geschosses um $v \cdot \Delta t$ aber auch verbunden mit einer Abstandsänderung zum Erdmittelpunkt. Befand sich das Geschöß beim Austritt aus der Mündung im Abstand r vom Erdmittelpunkt, so hat es im Punkt P1 den Abstand r' . Weil es sich um ein rechtwinkliges Dreieck handelt, ist r' einfach nach dem Satz des Pythagoras zu berechnen. Es gilt:

$$r' = \sqrt{r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2}$$

Nach der Zeit Δt hätte sich das Geschöß also um den Betrag

$$\Delta r_1 = r' - r = \sqrt{r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2} - r$$

vom Erdmittelpunkt wegbewegt.

Bislang haben wir die Schwerkraft vernachlässigt. Tatsächlich hat aber die Schwerkraft während der Zeit Δt auf das Geschöß eingewirkt (wodurch es nicht wirklich zum Punkt P1 gelangt). Hinsichtlich der senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung angreifenden Schwerkraft führt das Geschöß eine sogenannte gleichmäßig beschleunigte Bewegung in Richtung auf das Erdzentrum aus. Auf-

grund der Schwerkraft hat sich das Geschöß in der Zeit Δt um

$$\Delta r_2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \Delta t^2$$

zum Erdzentrum **hin** bewegt, wobei g die Gravitationsbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ ist. (Genau genommen müssen wir für g nicht die Gravitationsbeschleunigung auf der **Erdoberfläche** einsetzen, sondern diejenige, die im Abstand r vom Erdmittelpunkt herrscht. Wir werden das gleich präzisieren).

Eine stabile Kreisbahn um die Erde erhalten wir genau dann, wenn sich die Tendenz des Geschosses, sich wegen seiner tangentialen Bewegung vom Erdmittelpunkt zu entfernen und seine Fallbewegung aufgrund der Schwerkraft genau kompensieren, wenn also im Zeitintervall Δt gilt

$$\Delta r_1 = \Delta r_2$$

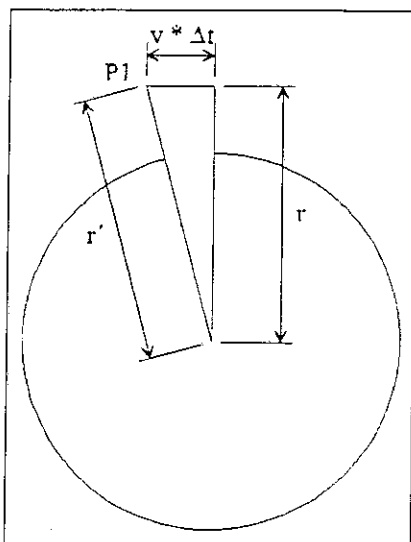
also

$$\sqrt{r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2} - r = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \Delta t^2$$

Der Gedankengang dabei ist der: Wenn sich Δr_1 und Δr_2 im Zeitintervall Δt gerade aufgehoben haben, so befindet sich das Geschöß zwar am Ende von Δt an einer anderen Stelle seiner Bahn, aber sein Abstand r vom Erdmittelpunkt ist genauso groß wie zum Zeitpunkt $t = 0$, und es besitzt auch immer noch die Geschwindigkeit v . Infolgedessen kann ich die gleiche geometrische Überlegung, die ich zunächst für das Zeitintervall Δt angestellt habe, ganz analog auch für das nächste Zeitintervall von Δt bis $2 \cdot \Delta t$ anstellen, und so weiter und so fort. Mit anderen Worten: Wenn sich r im Zeitintervall Δt nicht verändert, so verändert es sich **nie**, und genau das ist die Definition einer stabilen Kreisbahn.

Mit einigen Umformungen wird aus diesem Ansatz:

$$\begin{aligned} \sqrt{r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2} &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot \Delta t^2 + r \\ r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2 &= \frac{1}{4} \cdot g^2 \cdot \Delta t^4 + g \cdot \Delta t^2 \cdot r + r^2 \\ v^2 \cdot \Delta t^2 &= \frac{1}{4} \cdot g^2 \cdot \Delta t^4 + g \cdot \Delta t^2 \cdot r \\ v^2 &= \frac{1}{4} \cdot g^2 \cdot \Delta t^2 + g \cdot r \end{aligned}$$



Nun laufen die Prozesse in der Natur aber nicht in kleine Zeitstücke Δt quantelt (also sprunghaft), sondern kontinuierlich in der Zeit ab (zumindest außerhalb der Quantenphysik). Um dieses kontinuierliches Verhalten besser zu beschreiben, müssen wir unser Zeitintervall Δt nun immer kleiner werden lassen und schließlich sogar den Grenzübergang für $\Delta t = 0$ durchführen. Dadurch vereinfacht sich die Gleichung zu

$$v^2 = \frac{1}{4} \cdot g^2 \cdot 0 + g \cdot r = g \cdot r$$

oder

$$v = \sqrt{g \cdot r}$$

Nun müssen wir für g noch den richtigen Wert im Abstand r vom Erdmittelpunkt berechnen. Nach der Grundgleichung der Mechanik ist

$$g = \frac{F}{m_s}$$

wobei F die von der Gravitation ausge-

übte Kraft auf einen Körper der Masse m_s ist. Wir haben die Masse mit dem Index „S“ versehen, um zu kennzeichnen, daß es sich um die Masse des Satelliten handelt. Im Gravitationsgesetz spielt eben noch eine zweite Masse eine Rolle, nämlich m_E , die Masse der Erde. Das Gravitationsgesetz lautet

$$F = \gamma \cdot \frac{m_E \cdot m_s}{r^2}$$

Das γ dieser Gleichung ist die universelle Gravitationskonstante. Dann ist

$$g = \gamma \cdot \frac{m_E \cdot m_s}{r^2 \cdot m_s} = \gamma \cdot \frac{m_E}{r^2}$$

und letztendlich

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{m_E}{r}}$$

Soll ein Körper eine stabile Umlaufbahn mit dem Radius r um die Erde haben, so muß er die oben berechnete Bahngeschwindigkeit v besitzen. Die Gleichung gilt für alle r , die groß genug sind,

um die Reibungskraft der Atmosphäre vernachlässigen zu können.

Fazit: Wir haben aufgrund elementarer geometrischer Überlegungen und der Anwendung des Gravitationsgesetzes eine einfache Bedingung gefunden, die ein Körper erfüllen muß, um in eine stabile kreisförmige Umlaufbahn um die Erde einzutreten. Die **einzige** Kraft, die hierbei eine Rolle spielt, war die Schwerkraft.

Die leider immer wieder zu findende Formulierung, daß für Körper auf einer Kreisbahn die sogenannte Zentrifugalkraft auftritt und die Wirkung der Schwerkraft kompensiere, ist unsäglich falsch! Ein Körper, bei dem sich die angreifenden Kräfte kompensieren, ist definitionsgemäß ein kräftefreier Körper, und der bewegt sich gemäß dem ersten Newtonschen Axiom **geradlinig gleichförmig**.

Literatur
[1] CQDL 10/95, S. 735

Elektrische Kräfte und Pflanzenwachstum

OM Günter Weingarten, DL9RY, aus Villmar entdeckte im Weilburger Tageblatt vom 6. Februar 1926 den als Faksimile nachfolgend wiedergegebenen Beitrag. Kein (EMV-) Kommentar!

Die Elektrokultur.

Die Bemühungen, die elektrischen Kräfte der Atmosphäre zur Steigerung des Pflanzenwachstums nutzbringend anzuwenden, reichen bis an das Ende des 19. Jahrhunderts zurück. In neuer Zeit hat man sich mit diesem Problem besonders eingehend in den Jahren 1909—1913 beschäftigt. Bei diesen Versuchen hat sich gezeigt, daß eine gewisse Bedeutung nicht abzusprechen ist.

Laboratoriumsversuche haben ergeben, daß bei verschiedenen Pflanzenarten tatsächlich eine günstige Beeinflussung des Wachstumsverlaufes möglich war. Eine für die Praxis verwertbare Lösung hat man jedoch nicht erzielt und keine der verschiedensten Konstruktionsarten hat Eingang in die Landwirtschaft gefunden. Die Hoffnungen, die vergeblich geübt worden, daß man durch elektrische Behandlung Schwermetalle in der landwirtschaftlichen Produktion leicht überwinden könne, wurden in kurzem wieder aufgegeben. Die Forscher, die sich mit der Elektrokultur beschäftigt befanden, merkten sehrzeit selbst vor übertriebenen Erwartungen.

Nun hat der Berliner Ingenieur G. Fröhlich nach dem von dem französischen Gelehrten ausgearbeiteten Verfahren einen Apparat zur Einfütterung entwickelt, der aus einem kleinen Gehäuse besteht, welches eine 25 Zentimeter lange, nach unten einwärts gebogene Spitze zur Ausstrahlung des Hochspannungsstromes, außerdem achtzehn 12—20 Zentimeter lange Drahtantennen zum Auffangen der atmosphärischen Elektrizität trägt. Durch verschiedene weitere Konstruktionsmaßnahmen sollen auch die Kräfte der Sonne, des Windes, des Regens, sowie Kälte und Frost zur Erzeugung und Gewinnung von Elektrizität ausgenutzt werden. Der Elektrokulturapparat wird mit der Spitze nach Süden auf einen ca. 7 Meter langen, 50 Millimeter starken Pfahl aufsteckt und von dem Apparat aus ein verdrehter Draht an dem Pfahl entlang in die Erde herab, und in dieser in 20—40 Zentimeter Tiefe in Süd-Nord-Richtung fortgeführt. Die Wirkung soll sich in der angegebenen Richtung auf 1000 Meter Länge, in der Breite auf 3 Meter erstrecken. Wie 3 Meter ist also auf der Erde die des zu behandelnden Feldstückes ein neuer Apparat aufzustellen.

Bei Anwendung dieses Apparates sollen die Pflanzen je haftl wachsen, daß die Ernte 2 bis 3 Wochen früher stattfinden kann mit einer Ertragssteigerung bis zum Fünftel. Dabei werden Schädlinge, wie Mehltau, Flecken, Mehltau, vermieden und schädliche Nebenwirkungen vermieden. Dazu schreibt noch Charafotow: Es ist wenig zu glauben, daß es die Erde ist, die das Wachstum der Pflanzen bewirkt. Alles, was sichtbar aus dem Erdreich in den Organismus der Pflanze eintritt, stammt aus der atmosphärischen Luft. Es ist nichts anderes als Elektrizität. Auf Grund dieser Behauptung wird die gesamte Düngewirtschaft im Saubere und Veger abgelehnt, und es kann man nur sagen, daß man es hier mit einer sehr leichten Verfeinerung der elementarsten Grundzüge der Pflanzenphysiologie zu tun hat.

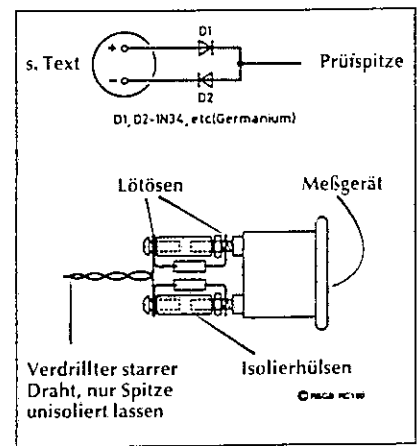
Solchen raffinemäßigsten Anpreisungen gegenüber, die die Pflanzenphysiologie vollständig vermissen, hat nun neben anderen auch die Bayerische Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz mit drei Apparaten nach Fröhliche Versuche gemacht, über deren Ergebnisse Regierungsrat G. Weigert in den „Prakt. Blättern für Pflanzenbau und Pflanzenschutz“, denen wir auch das Folgende entnehmen, berichtet. Die Versuche wurden mit Kartoffeln und Kleintrot auf dem Versuchsgut Weidling und mit Erbsenwirkung im Muttergarten Holzappel durchgeföhrt. Trotz des schon fortgeschrittenen Wachstums waren auffallende Unterschiede zwischen den elektrifizierten Pflanzungen und den unbehandelten bis jetzt nicht erkennbar. Am auf den Einfluß der Düngung in den Kreis der Versuchsbeobachtung herbeizugreifen, wurden die Versuche ohne Düngung, teilweise mit Volldüngung angelegt. Die ungedüngten Kulturen zeigten im Vergleich zu den gedüngten einen ganz erheblichen schlechteren Stand, und zwar in gleicher Weise auf der Seite mit Elektrokultur wie auf der ohne diese. Bereits vor Bestimmung der Erntemenge ging somit aus den Versuchen einwandfrei hervor, daß die Elektrokultur die Düngung nicht zu ersetzen vermochte und daß der Einfluß der Luftelektrizität in keiner Weise hervorritt, sowohl bei den in einem kräftigen Wachstumsstadium befindlichen Pflanzungen, als auch bei den in einem schwachen Wachstumsstadium befindlichen ungedüngten Versuchsgruppen. Es ist also noch, daß die aufgestellten Apparate schon nach der verhältnismäßig kurzen Benützungsdauer einen positiven Nachlass zeigen.

Außerdem hat sich der Reichsanwalt des deutschen Gartenbauwesens in Berlin eingehend mit der Angelegenheit beschäftigt und die Versuchsanstellung der Firma G. Fröhliche durch eine Sachverständigenkommission beauftragt lassen. Diefelbe kam zu nachfolgendem Schlußergebnis:

1. Die von der Firma Fröhliche beschriebenen Einrichtungen zur Erzeugung von 40—50 Tausend liegen nicht vor.
2. Es konnte keinerlei Einfluß der Apparate auf den Entwicklungsengang festgestellt werden.
3. Die Versuche sind durch einseitige Bodenbefeuchtung und durch zeitliche Unterschiede in der Bodenfeuchtigkeit, sowie durch die verschiedenen Stufen der ausgetriebenen Gerlinge und durch verschiedene Art der Pflanzenanordnung beeinflusst.
4. Von der Firma Fröhliche sind keine Ergebnisse anderer Versuche mitgeteilt worden, die nachweisbar einen Erfolg der Kulturverfahren erkennen lassen.
5. Die Firma Fröhliche kann die Wirkungsweise ihrer Apparate nicht begründen, erklären sie nicht nur aus angeblich wissenschaftlich nicht festgestellten, nur der bekannten Tatsachen, über die sich auszusprechen die Firma ablehnt.

Einfacher Hochfretzdetektor

Flohmarktware ist alles, was es braucht, um ein kleines Prüfgerätchen zusammenzubauen, ohne das Emerson Hoyt, WX7E, seit 50 Jahren nicht mehr auskommt. Zwei Germaniumdioden, ein Gleichstrommeßinstrument (vorzugsweise 100 μA), eine Länge isolierten Drahtes und etwas zur mechanischen Stütze z. B. 4-mm-Hülsen, damit sind alle nötigen Dinge aufgezeichnet. Ein parallel zum Meßwerk geschalteter Überbrückungswiderstand, als Poti mit Rändelrad vielleicht, würde den Luxus hinzufügen, das Gerätchen sogar variabel empfindlich zu machen. Bitte beachten: Das Gerät ist nicht frequenzselektiv. Es ist also nicht sinnvoll, damit in einer laufenden Mikrowelle einen Oszillator zu überprüfen, aber wer macht das schon. nach RadCom 7/94



14. Akt

Die Intelligenza greift
in die Diskussion ein

TECH FORUM / LES ?

Fax-Mittellung an Fax-Message to	DARC	
Name Name		
Abteilung Department	Redaktion CQ DL	
Ort Location	34216 Baunatal	
Telefon Telephone	(0 56 03) 93 33 -0	
Fax Fax	(0 56 03) 93 33 20	
Seitenanzahl Number of Pages	4	incl. dieser Seite Incl. this Page

Fax-Mittellung von Fax-Message from	DL4MGB	
Name Name	Dr.rer.nat. Günter Kußers	
Abteilung Department	Sudetenstraße 90	
Ort Location	Grafing bei München	
Telefon Telephone	(08092) - 3 11 48	
Fax Fax	(089) - 31146	
Datum Date	7.01.96	

Beitrag zur CQ DL

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich knüpfe an an die beiden Beiträge zum Thema „Warum Satelliten oben bleiben“, aus CQ DL 1/96 und CQ DL 10/95. Mit meinem Beitrag

„Warum Satelliten oben bleiben - Ergänzende Bemerkungen“

möchte ich einen Beitrag zur Klärung von Interpretationsschwierigkeiten und zur Erweiterung des Verständnisses zu diesem Thema leisten.

Über eine Veröffentlichung in der CQ DL würde ich mich freuen. - Falls es Ihre Arbeit erleichtert, könnte ich Ihnen den kompletten Text auf einer WORD - Diskette zukommen lassen.

Mit freundlichen Grüßen

Günter Kußers

Warum Satelliten oben bleiben - Ergänzende Bemerkungen

Gunter Kühs BLINER

Die Gesetze, nach denen Satelliten die Erde umkreisen, lassen sich jedem guten Physikbuch entnehmen. Der folgende Beitrag will helfen, vorhandene Interpretationsschwierigkeiten zu beheben und das Verständnis zu erweitern

Bereits vor 400 Jahren hatte Johannes Kepler die Bewegung der natürlichen Satelliten, der Planeten der Sonne, beschrieben. Er ist jedoch über eine qualitative Beschreibung der Planetenbewegung nicht hinausgekommen, die er in drei Gesetzen formuliert hat. Der erste Satz lautet: "Jeder Planet umkreist die Sonne in der Bahn einer Ellipse, und die Sonne steht in einem Brennpunkt der Ellipse." Erst 100 Jahre später hat Isaac Newton die Naturgesetze gefunden, die zur quantitativen Beschreibung der Planetenbewegung notwendig sind. Es sind dies das Trägheitsgesetz, das Gravitationsgesetz und das Gegenwirkungsgesetz. Letzteres ist uns aus dem täglichen Leben gut bekannt. Es besagt etwas vereinfacht ausgedrückt, daß zu jeder Kraft immer eine entgegengesetzt gerichtete gleich große Kraft bestehen muß. Es ist uns ganz selbstverständlich, daß wir beim Heben eines schweren Gegenstands einen Zug in den Armen und einen entsprechend großen Druck in den Beinen fühlen. Trotzdem ist dieses Gesetz nicht trivial, wie ein Beitrag zum Thema Satelliten [1] zeigt. Hier wird festgestellt, daß die *einzige* Kraft, die bei der Betrachtung der Satellitenbewegung eine Rolle spielt, die Schwerkraft sei. Wäre dem so, müßte der Satellit unter der Wirkung der Schwerkraft herabfallen. Daß er es nicht tut, liegt offenbar an dem Gegenwirkungsgesetz, d.h. daran, daß es eine gleich große, der Schwerkraft entgegengerichtete Kraft geben muß. Wie der Verfasser des ersten Satellitenbeitrags [2] bemerkt, handelt es sich dabei um die Zentrifugalkraft. In [1] wird die Zentrifugalbeschleunigung b_z hergeleitet und zu

$$(1) \quad b_z = + v^2/r$$

angegeben, wobei v die Bahngeschwindigkeit des Satelliten und r dessen Abstand vom Erdmittelpunkt ist. Die Beziehung gilt auch für elliptische Satellitenbahnen, wie man sie z.B. auch beim OSCAR 13 findet. Genau genommen ist b_z eine gerichtete (vektorielle) Größe, die in Richtung des Satelliten, d.h. vom Erdmittelpunkt weg gerichtet ist, was man durch positives Vorzeichen zum Ausdruck bringt (Die Vorzeichenwahl ist beliebig, muß aber konsequent durchgehalten werden).

Nachdem auch Kepler bereits bekannt war, daß sich zwei Körper wechselseitig anziehen, hat Newton den quantitativen Zusammenhang zwischen der Gravitationsbeschleunigung b_g , der Masse der Erde m und dem Abstand r des Körpers vom Erdmittelpunkt gefunden und zu

$$(2) \quad b_g = - \gamma \frac{m}{r^2}$$

angegoben, mit

$$(3) \quad \gamma = 6,68 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$$

der Gravitationskonstanten. Das negative Vorzeichen von b_g zeigt an, daß die Gravitationsbeschleunigung der Zentrifugalbeschleunigung entgegengerichtet ist (vgl. Bild 1). In einem abgeschlossenen System, wie es hier vorliegt, in dem außer der Gravitations- und der Zentrifugalbeschleunigung keine weiteren Beschleunigungen wirken, muß nach dem Gegenwirkungsgesetz die Summe der Beschleunigungen verschwinden:

$$(4) \quad b_z + b_g = 0$$

oder einfacher ausgedrückt müssen sich Zentrifugalkraft und Anziehungskraft die Waage halten. Der Verfasser des Beitrags [1] hat dem dadurch Rechnung getragen, daß er die *Beträge* für beide Beschleunigungen (Gl. 1 und Gl. 2) gleichsetzte, ohne freilich zu erklären, warum er dies tut. Löst

man nach dem Gleichsetzen nach der Bahngeschwindigkeit auf, so erhält man die schon aus [1] bekannte Beziehung für die Bahngeschwindigkeit

$$(5) \quad v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{m}{r}}$$

Da γ und m Konstanten sind, ergibt sich eine inverse Abhängigkeit der Bahngeschwindigkeit v vom Radius r der Satellitenbahn. Sie gilt übrigens auch für elliptische Umlaufbahnen. Wer mit Satelliten arbeitet, die eine elliptische Umlaufbahn besitzen, weiß aus Erfahrung, daß er optimale Empfangsfeldstärke erwarten kann, wenn sich der Satellit im Epigäum, also im geringsten Abstand zur Erde befindet. Leider ist dann aber auch die Bahngeschwindigkeit am größten und die Zeit, die man mit dem Satelliten arbeiten kann, am kürzesten.

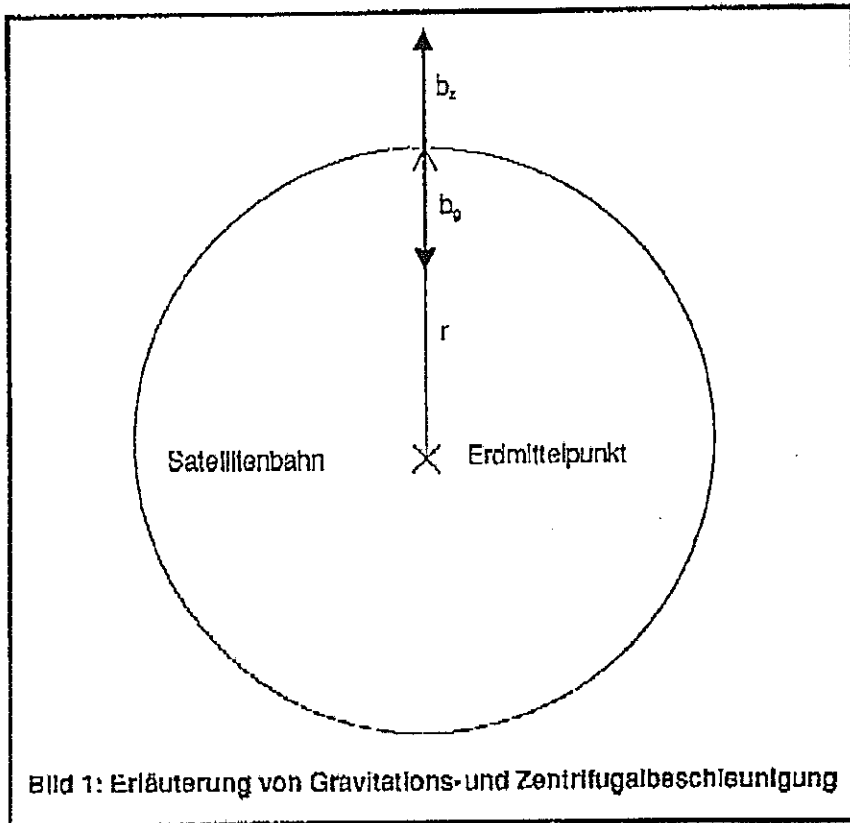
Wo liegt nun der gedankliche Irrtum, den der Verfasser von [1] begeht, wenn aus der Tatsache, daß die Zentrifugalkraft die Wirkung der Schwerkraft kompensiert, der Schluß gezogen wird, daß es sich um einen kräftefreien Körper handeln müßte? Das Problem liegt nach dem vorstehend gesagten offenbar darin, daß es heißen muß:

Ein Körper ist nur dann als kräftefrei zu betrachten,
wenn die Summe aller eingeprägten Kräfte Null ist.

Würde man in die Beurteilung, ob ein Körper kräftefrei ist, die Reaktionskräfte mit einschließen, gäbe es in der ganzen Natur und Technik nur kräftefreie Körper und nur geradlinige gleichförmige Bewegungen.

Literatur

- [1] CQ DL 1/86, S. 37
[2] CQ DI 10/95, S. 735



15. Akt

Eine hoffentlich ebenso
intelligente Antwort

Ulrich Bangert
DF6JB @ DBOCL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
22.01.1996

Herrn
Dr. rer. nat. Günter Kuers
DL4MBG
Sudeten-Str. 90

85567 Grafing bei München

Fax: 08902 31146

Betreff: Ihre Leserschrift zum meinem Beitrag "Warum Satelliten wirklich oben
bleiben" in der CQDL 1/96

Sehr geehrter Herr Dr. Kuers,

da ich als Autor des o.g. Beitrages auch als der "Verursacher" Ihres Leserbriefes gelten muß, hat mir die Redaktion der CQDL Ihr Schreiben zur Kenntnis gebracht. Ich freue mich wirklich herzlich darüber, daß ich mit meinem Beitrag so eine interessante Grundsatzdiskussion angekurbelt habe! Ihr Brief ist bei weitem nicht der einzige, hebt sich aber sowohl in seiner klaren Diktion als auch was den Ausbildungsstand seines Autors angeht, angenehm positiv von den anderen ab. Einem gebildeten Menschen stehe ich besonders gerne Rede und Antwort und deswegen ist Ihr Brief der erste, den ich hiermit beantworten möchte.

Lassen Sie mich zunächst kurz auf die Hintergründe meines Beitrages eingehen: Bei dem durch die Redaktion der CQDL vorgegebenen kleinen Rahmen, in dem ich das Thema behandeln durfte, und durch die provozierende Äußerung, daß es keine Zentrifugalkraft gäbe, konnte bei dem einen oder anderen Leser leicht der Eindruck entstehen, daß hier "klein Fritzchen" erklärt, wie er die Satellitenbewegung versteht und nebenbei das ganze Gebäude der Schulphysik zum Einsturz bringt.

Nun, ganz so ist die Sachlage nicht: Bevor ich als Elektronikentwickler in die Industrie ging, habe ich nach Abschluß meines Physikstudiums einige Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fachdidaktik der Physik an der Ruhr-Universität-Bochum gearbeitet. Dies ist ein spezieller Lehrstuhl, an dem angehende Physiklehrer ausgebildet werden und wie es ihn in dieser Form nur an wenigen Universitäten in Deutschland gibt. Die Zielsetzung dieses Lehrstuhles ist es einerseits das fachliche Wissen der Physik zu vermitteln, andererseits die angehenden Lehrer auch darin anzuleiten, wie dieses Wissen optimal an Schüler zu vermitteln ist. Sie können sich sicherlich vorstellen, daß meine vorgesetzten Kollegen, Herr Prof. Dr. Bormann und Herr Dr. Krämer, und ich immer sehr großen Wert darauf gelegt haben, daß gerade Physiklehrer sich an denjenigen Stellen, die wirklich wichtige physikalische Grunderkenntnisse

betreffen, absolut klar und unmißverständlich ausdrücken müssen, weil jeder Quatsch, den ein Physiklehrer im Unterricht absondert, sich von der Verbreitung her mit der Zahl der Schüler in seiner Klasse multipliziert.

Obwohl die Studenten, welche unsere Veranstaltungen besucht haben, im fünften bis achten Fachsemester waren und damit ihr Grundstudium abgeschlossen hatten, stellte sich immer wieder heraus, daß selbst Menschen, die es aufgrund ihrer bisherigen Ausbildung gerade hätten wissen müssen, ihre Probleme mit einigen fundamentalen physikalischen Zusammenhängen hatten. Eine der häufig anzutreffenden "misconceptions" war die Vorstellung, daß bei Kreisbewegungen eine "Zentrifugalkraft" auftrete, welche im Gleichgewicht mit der Zentripetalkraft stehe. (Ich gehe gleich noch einmal ausführlich darauf ein, warum das *nicht* so ist.) Nehmen Sie bitte die Häufigkeit, mit der diese Vorstellung auftritt, als Indiz dafür, wie tiefverwurzelt dieser Irrglaube durchgängig in allen Bevölkerungsschichten tatsächlich ist.

Nun entsteht eine solche falsche Vorstellung natürlich nicht völlig grundlos und ich gebe Ihnen insofern recht, daß solche Äußerungen in vielen vielen (zu vielen!) Büchern zu finden sind, vermutlich auch in einigen von denen, die Sie (in dem Fall zu Unrecht) als "gutes" Physikbuch bezeichnen würden. Das ist gerade das fatale an der Angelegenheit, was den Teufelskreis ergibt: Solange es nicht ausreichend viele Menschen gibt, welche die Zusammenhänge *richtig* gelernt haben, werden die Leute, die es *falsch* gelernt haben, erwachsen, schreiben selber Bücher und repetieren unreflektiert den Unsinn, den sie einmal gelernt haben. Und so weiter und so fort. Deshalb müssen Sie Verständnis dafür haben, daß bei mir immer alle roten Lampen angehen, wenn ich die Sache mit dem Kräftegleichgewicht bei Kreisbewegungen in dieser oder ähnlicher Form höre oder lese. Da sich in den letzten CQDL Ausgaben des Jahres 95 ein Hobbyphysiker austoben durfte, dessen Namen ich nicht wiederholen will, der auch wieder dieses unsägliche "Kräftegleichgewicht" postulierte, sah ich mich genötigt, den Beitrag für die Ausgabe 1/96 zu schreiben, auf den Sie sich beziehen.

Wahrscheinlich hat mein Brief bis hierher schon wieder soviel provokante Formulierungen für Sie enthalten, daß Ihnen die Haare zu Berge stehen, aber ich möchte Sie doch um folgendes bitten: Ich habe Ihre Zuschrift so ernst genommen, daß ich mich ausführlich damit beschäftigte. Tun Sie dies bitte nun auch mit meinem Brief: Verfolgen Sie bitte meine Überlegungen mit, denken Sie bitte noch einmal unvoreingenommen über die Sache nach und machen *dann* erst Ihre Schlußfolgerungen!

Eigentlich ist es wirklich einfach: Um Satelliten auf einer Kreisbahn zu halten, ist eine *nach innen wirkende* Kraft notwendig. Darüber sind wir uns sicher einig. Die Größe dieser Kraft ist dem Betrag nach $m \cdot v^2 / r$. Die Bewegung des Satelliten um die Erde ist zwar ein Vorgang in drei Raumdimensionen, aber ich denke, wir sind uns weiterhin einig, daß wir das Problem hinsichtlich der wirkenden Kräfte und Beschleunigungen eindimensional betrachten dürfen, da wir nur die zwei entgegengesetzt gerichtete Richtungen unterscheiden müssen, nämlich "nach innen gerichtet" und "nach außen gerichtet", die ich mit den Einheitsvektoren \vec{e} und $(-\vec{e})$ kennzeichnen will, wobei, wie Sie richtig sagen, die Zuordnung beliebig ist, solange man sie einhält. Ich wähle "nach innen" als die positive Richtung des Einheitsvektors.

Um es ganz unmißverständlich auszudrücken, daß die Kraft, welche notwendig ist, um den Satelliten auf einer Kreisbahn zu halten, *nach innen* wirkt, schreibe ich sie in der Betrag/Richtungsschreibweise, also

$$|m v^2 / r| \vec{e}$$

Nun weiß ich, daß es tatsächlich eine nach innen wirkende Kraft gibt, nämlich die Gravitationskraft. Deren Betrag ist $\gamma m m_E / r^2$. Um auch wieder unmißverständlich klarzumachen, daß die Gravitation nach innen wirkt, schreibe ich sie als

$$|\gamma m m_E / r^2| \vec{e}$$

Indem ich diesen beiden Terme gleichsetze, erhalte ich eine Bestimmungsgleichung, welche mir eine Aussage darüber macht, wie einer der freien Parameter v oder r in Abhängigkeit vom jeweils anderen beschaffen sein muß, damit die Gravitationskraft genau die für die Kreisbahn des Satelliten notwendige Größe hat.

$$|m v^2 / r| \vec{e} = |\gamma m m_E / r^2| \vec{e}$$

Da die Richtungen der beiden Vektoren *gleich* sind (und zwar nach wie vor nach *innen*), ist die Gleichung erfüllt, wenn auch ihre Beträge gleich sind, wenn also gilt:

$$|m v^2 / r| = |\gamma m m_E / r^2|$$

beziehungsweise, weil zwischen den Betragszeichen eh' nur positive Größen stehen, wenn gilt

$$m v^2 / r = \gamma m m_E / r^2$$

Das ist das wohlbekannte Ergebnis, welches dann nach v oder r aufgelöst werden kann.

Nun sehen wir uns im Vergleich dazu an, was Sie gerechnet haben. Während ich über Kräfte *auf den Satelliten* geredet habe, wollen Sie von einem globalen physikalischen Satz ausgehen, nämlich demjenigen, daß in einem "abgeschlossenen System, wie es hier vorliegt" die Summe *aller Beschleunigungen* verschwindet. Nun sagen Sie: Es gibt eine Zentrifugalbeschleunigung b_z , die nach außen wirkt und eine Gravitationsbeschleunigung b_G , welche nach innen wirkt, rechnen die Summe aus und haben unmittelbar auch hier das physikalisch richtige Ergebnis auf dem Papier stehen.

Es ist ja im Grunde so, daß wir von exakt gegensätzlichen Aussagen ausgingen. Sie behaupteten die Kräftefreiheit am Satelliten, ich das Gegenteil. Nun gibt es einen Satz der Logik, welcher besagt, daß von zwei gegensätzlichen Aussagen nur eine richtig sein kann. Daß ausgerechnet zwei gegensätzliche Aussagen zum gleichen (richtigen) Ergebnis führen, hätte Sie eigentlich unheimlich stutzig machen müssen.

Da es keinen Satz der Logik gibt, welcher besagt "Von zwei gegensätzlichen Aussagen ist immer die Kuer'sche richtig", hätte dies nun eigentlich Anlaß für Sie sein müssen, gezielt nach Fehlern in *meiner* aber auch in *Ihrer* Ableitung zu suchen. In meinem Gedankengang scheinen Sie sehr wohl nach Fehlern gesucht zu haben, kommen dabei aber über ein

"... Der Verfasser des Beitrages [1] hat dem dadurch Rechnung getragen, daß er die *Beträge* für beide Beschleunigungen gleichsetzte, ohne freilich zu erklären, warum er dies tut."

nicht hinaus. Diesen Satz nehme ich Ihnen wirklich übel, weil er weit unter Ihrem geistigen Niveau liegt und wohl einzig und allein aus der Geisteshaltung resultierte, daß nicht sein kann, was nicht sein darf.

Wenn Sie meinen Betrag noch einmal aufmerksam lesen, so werden Sie feststellen, daß ich ausschließlich *eine nach innen gerichtete* Bewegung aufgrund der Schwerkraft und eine *nach außen gerichtete Bewegung aufgrund geometrischer Überlegungen* als Voraussetzungen benutzt habe. *Die Richtungen und damit alle Vorzeichen waren also absolut klar und eindeutig.*

Infolgedessen durfte ich sagen, daß diese Bewegungen sich zu 0 ergänzen, wenn ihre Beträge gleich sind, und das habe ich dann auch in meiner Rechnung benutzt. Nehmen Sie bitte zur Kenntnis, daß sich ein Term wie v^2 / r (zusammen mit seinem Vorzeichen!), den Sie nun Zentrifugalbeschleunigung nennen wollen, in ganz zwangloser Weise aus der weiteren Rechnung ergeben hat. Ich war deshalb *nie in einem Erklärungsnotstand hinsichtlich seines Vorzeichens*. Es sei denn, Sie würden in der Rechnung selber nun einen Vorzeichenfehler finden, was ich mir kaum vorstellen kann.

Hätten Sie Ihren eigenen Ansatz etwas genauer geprüft, so hätte Ihnen folgendes auffallen müssen: Sie gehen von einem richtigen physikalischen Gesetz aus, nämlich daß in einem abgeschlossenen System die Summe *aller* Beschleunigungen verschwindet. Der Schwerpunkt liegt hier auf dem Wort "alle" *und* auf dem Wort "abgeschlossen". Wenn man wirklich "alle" meint, so muß man auch wirklich *alle* hinschreiben. Im System Erde-Satellit wirken gibt es nämlich noch eine Beschleunigung mehr, welche Sie uns in Ihrer Rechnung schlicht unterschlagen und zwar diejenige, mit welcher der Satellit die Erde beschleunigt. Nennen wir diese b_s , so hätte Ihre Summe aus allen Beschleunigungen

$$\begin{array}{cccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ b_z + b_G + b_s = 0 \end{array}$$

lauten müssen. b_G ist die Gravitationsbeschleunigung, welche die Erde auf den Satelliten bewirkt und b_s die dazu gehörende Gegenbeschleunigung. Weil wir von b_G und b_s nun genau wissen, daß die eine Beschleunigung die Reaktionsbeschleunigung der anderen ist, addieren sie sich vektoriell zu 0 und wir haben mit geradezu schwindelerregender Schnelligkeit den Ausdruck

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \\ b_z = 0 \end{array}$$

auf dem Papier stehen. Über den können wir wohl kaum noch diskutieren! Wenn Sie dies nicht sofort einsehen wollen, so überlegen Sie sich doch einmal, warum die Summe aller Beschleunigungen in einem System verschwindet, in dem Satellit und Erde zueinander ruhen. Doch gerade deshalb, weil eben

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ b_G + b_s = 0 \end{array}$$

gilt! Da es eine prinzipielle Eigenschaft von Reaktionsbeschleunigungen ist, an unterschiedlichen Körpern anzusetzen, wollen Sie bitte zur Kenntnis nehmen, daß Erde und Satellit *zusammen* ein abgeschlossenes System bilden. Sie werden sich also in der weiteren Diskussion nicht auf den Standpunkt zurückziehen können, den Satelliten *alleine* als geschlossenes System betrachten zu dürfen! Für den ruhenden Fall gibt es im System des Satelliten nur die Beschleunigung b_G und damit ist es kein geschlossenes System. Nur weil der Satellit sich bewegt, hört b_s aber doch nicht auf zu existieren! Ebenso wird der Satellit nicht allein dadurch, daß er sich bewegt, auf einmal spontan zu einem abgeschlossenen System! Indem Sie uns die Beschleunigung b_s unterschlugen, haben Sie durch

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ b_z + b_G = 0 \end{array}$$

implizit b_z als Gegenbeschleunigung zu b_G dargestellt. Auch das hätte Sie stutzig werden lassen müssen, weil b_z und b_G am *gleichen Körper nämlich am Satelliten ansetzen*, wohingegen es, wie bereits gesagt, eine prinzipielle Eigenschaft von Gegenbeschleunigungen ist, an unterschiedlichen Körpern anzusetzen.

Um dem ganzen etwas von dem Touch einer "hochwissenschaftlichen Diskussion" zu nehmen: Es entspricht etwa dem Standard von Schülern der gymnasialen Mittelstufe, in physikalischen Systemen nach Kräften zu suchen und diese zu summieren. Stellt man dabei fest, daß zu *einer* der aufsummierten Kräfte keine (an einem anderen Körper ansetzende) Gegenkraft auffindbar ist, so hat man entweder kein abgeschlossenes System vorliegen oder (wenn dies tatsächlich gegeben sein sollte) man hat die Kraft als eine Scheinkraft enttarnt. Scheinkräfte zeichnen sich dadurch aus, daß man zu ihnen keine an einem anderen Körper ansetzende Gegenkraft findet.

Wenn Sie $b_z + b_G = 0$ hinschreiben, so hätten Sie nach einer *an einem anderen Körper ansetzenden Gegenbeschleunigung* zu b_G suchen müssen. Wenn Sie dazu keine angeben können, so ist entweder bereits b_G eine Scheinbeschleunigung oder Sie sprechen über ein nichtabgeschlossenes System. Um es nochmal zu wiederholen: Die Rechnung $b_z + b_G = 0$ ist auch nicht die richtige Rechnung für ein "abgeschlossenes System, das nur aus dem Satellit alleine besteht".

Rekapitulieren wir: Ihr erster Fehler bestand darin, eine reale "Zentrifugalkraft" zu postulieren. Diesen Fehler machten Sie dadurch wett, daß Sie einen zweiten Fehler begingen und uns in der Summe aller im abgeschlossenen System wirkenden Beschleunigungen eine unterschlugen. Diese beiden physikalischen Fehler hoben sich nun rein formal mathematisch auf, so daß Sie zu einem physikalisch richtigen Ergebnis gelangten. Dieses interpretierten Sie nun aber wieder falsch, weil Sie der Meinung waren, sie hätten es aus der Annahme einer nach außen gerichteten Zentrifugalkraft erhalten. Ich denke, unter diesen Umständen dürfen wir beide recht froh darüber sein, daß Sie dem Schulalter entwachsen sind. Ansonsten hätt's schlechte Noten geholt.

Die besseren Physikbücher äußern sich ausführlich zu dem Begriff der Scheinkraft. Als Scheinkraft wird dort zumeist eine Kraft bezeichnet, welche je nach Wahl des Bezugssystems des Beobachters vorhanden oder nicht vorhanden sein kann. Das ist zwar schon eine Stufe schlauer als Ihre Behauptung "Selbstverständlich gibt es eine Zentrifugalkraft, mit der man rechnen muß", mir aber eigentlich noch nicht differenziert genug. Üblicherweise sagt man ja, daß die Wahl des Bezugssystems beliebig ist und deswegen suggeriert die Aussage, daß Scheinkräfte von der Wahl des Bezugssystems abhängig sind, daß ich nach Belieben die Zentrifugalkraft "erzeugen" oder "abschalten" kann. Lassen Sie uns daher durch ein Gedankenexperiment nachvollziehen, was da mit der "Wahl des Bezugssystems" wirklich gemeint ist.

Stellen Sie sich vor, Ihnen gehört ein Satellit, mit dem Sie anstellen dürfen, was Sie wollen. Nun bauen Sie auf der Umlaufbahn eine fensterlose Halle um den Satelliten. Wenn deren Massenverteilung halbwegs symmetrisch ist und der Schwerpunkt der Halle mit dem Schwerpunkt des Satelliten zusammenfällt, so wird sich das System "Halle" genauso bewegen wie das System "Satellit", sprich: Die beiden Systeme ruhen zueinander. Nun geben Sie mir mit einer Keule ein's über den Schädel, verfrachten mich in ein Space-Shuttle und bringen mich, bevor ich aufwache, in diese Halle. Wenn ich nun aufwache, welche Erkenntnisse kann ich dann über mich und meine Umgebung gewinnen?

- 1) Ich kann sagen, daß ich mich *nicht* auf der Erde befinde, weil ich die Gravitation nicht spüre. Bevor Sie wieder auf die Idee mit dem Kräftegleichgewicht verfallen: Ich spüre die Gravitation deswegen nicht, weil sie genau die Größe hat, um mich auf meiner Bahn zu halten aber nicht groß genug ist, mich näher an die Erde heranzuziehen, und nicht wegen

irgendeines "Kraftgleichgewichtes". In der Halle weiß ich natürlich nicht, daß ich mich auf einer Umlaufbahn befinde, also sage ich nur: Ich spüre keine Gravitation.

- 2) Ob die Halle und damit alles, was in ihr drin ist, ein gegenüber irgendeinem Fixpunkt mit konstanter Geschwindigkeit bewegtes System ist, kann ich nicht feststellen.
- 3) Ob ich mich in einem rotierenden System befinde, wie es ja tatsächlich der Fall ist, kann ich ebenfalls nicht sagen.
- 4) Was ich hingegen sagen kann: Ich sehe einen Satelliten, welcher seinen Bewegungszustand nicht verändert. Deswegen konstatiere ich aufgrund des ersten Newton'schen Axioms, daß es sich bei dem Satelliten um einen kräftefreien Körper handelt.

Der letzte Punkt ist derjenige, der viele Autoren sagen läßt: Von außen gesehen ist der Satellit kein kräftefreier Körper, weil er ständig durch die Schwerkraft nach innen beschleunigt wird, befinde ich mich aber im System des Satelliten, so sehe ich in der Tat einen kräftefreien Körper und deshalb gibt es im System des Satelliten eine Zentrifugalkraft, die der Schwerkraft entgegengesetzt ist. Ich bin mit diesem Gedankengang und dieser Formulierung nur bedingt einverstanden.

Zwar beobachte ich einen kräftefreien Körper. Da ich aber in diesem Bezugssystem von einer Schwerkraft nichts weiß (siehe 1), würde ich absolut nicht auf die Idee kommen, die Kräftefreiheit käme als Summe entgegengesetzter Kräfte zustande sondern würde vielmehr meinen, daß in diesem Fall nun *wirklich überhaupt keine Kräfte* wirken, daß also nicht nur die Summe aller Kräfte verschwindet sondern sogar jede einzelne für sich. So wie mir nur der aller kleinste Hinweis auf meine wahre Situation bekannt wird, z.B. indem ich ein Loch in die Halle säge und nach draußen gucke, wird mir hingegen unmittelbar bewußt werden, daß das System in dem ich mich befinde, ein rotierendes um einen Planeten ist.

In dem Moment, wo ich dies weiß, sehe ich aber auch unmittelbar ein, daß es für die Beschreibung des Verhaltens des Satelliten absolut unvernünftig wäre, im rotierenden System des Satelliten zu bleiben. Deswegen werde ich bei allen weiteren Überlegungen gedanklich schon wieder im System "Erde" sein, auch wenn ich mich körperlich noch in der Halle befinde. Mit anderen Worten: Mir wäre klar, daß das Bezugssystem des Satelliten ein äußerst spezielles ist, das sich zur Beschreibung der physikalischen Vorgänge nun wenig eignet.

Es eignet sich eigentlich überhaupt nur zur Beschreibung *speziell dieses einen* Satelliten. Und in diesem Sinne ist die Wahl des Bezugssystems zwar prinzipiell freigestellt, als Physiker werde ich mich jedoch immer darum bemühen, ein möglichst geeignetes Bezugssystem zu benutzen. Das ist in diesem Fall das System "Erde", weil ich in diesem Bezugssystem die Bewegungen aller Satelliten einfach erklären kann. Und im System Erde tritt keine Zentrifugalbeschleunigung auf.

Ich will damit sagen: Ich kann gedanklich eigentlich nicht in zwei Bezugssystemen gleichzeitig sein. Entweder befinde ich mich im rotierenden System, dann weiß ich nichts von einer Schwerkraft, die im Gleichgewicht zu etwas anderem stehen könnte. Oder aber ich bin im System Erde, dann weiß ich, daß nur die Schwerkraft auf den Satelliten wirkt.

Die allgemeine große Verwirrung in Zusammenhang mit Kreisbewegungen resultiert daraus, daß der Term, der die für die Kreisbewegung notwendige Zentripetalbeschleunigung beschreibt, dem Betrage nach identisch ist mit dem, was falsche Propheten als "Zentrifugalbe-

schleunigung" *bezeichnen*, aber die unterschiedlichen Richtungen dieser Beschleunigungen wollen wir doch nicht gänzlich außer acht lassen?

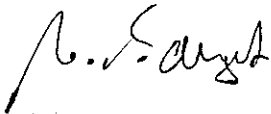
Die Zentrifugalkraft ist keine reale Kraft sondern eine Scheinkraft. Was ist denn nun eigentlich so falsch daran, wenn ich sage: Wenn etwas nicht real ist, so existiert es nicht? Bitte beachten Sie auch noch einmal, daß ich in meinem Beitrag zur CQ DL ganz ohne die Annahme einer "Zentrifugalkraft" auskam. Gäbe es eine solche, so hätte ich sie doch sicherlich in meiner Berechnung der radialen Bewegung mit berücksichtigen müssen, um zum richtigen Ergebnis zu gelangen, oder?

Da Sie Ihren Brief an die CQDL-Redaktion so formuliert haben, daß Sie eine Veröffentlichung ausdrücklich wünschten, setzte ich stillschweigend Ihr Einverständnis voraus, daß ich unsere Korrespondenz meinen ehemaligen Kollegen an der Uni Bochum zugänglich machen darf. Man hat mir von dort bereits ein mächtiges Interesse daran signalisiert, weil sie sich als praktisches Anschauungsmaterial in der Diskussion um solche "misconceptions" in den dortigen Lehrveranstaltungen natürlich prächtig eignet. Außerdem: so mancher Sechstsemestler wäre wohl froh, wenn er sehen könnte, daß auch ein Dr. rer. nat. nicht unbedingt gegen die Falle gefeit war, in die er selber gerade getappt ist.

Daß Ihr Brief zunächst mal in meine Finger geraten ist, hat aber auch eine ausgesprochen schadensbegrenzende Wirkung. Sehen Sie: Im schlimmsten Fall amüsieren sich nun ein paar junge (zudem preussische...) Studenten über Sie. Der von Ihnen vorgetragene Gedankengang in einer Auflage von 40000 hätte vermutlich wesentlich mehr an Ihrer akademischen Reputation gekratzt, weil er außer mir sicherlich auch noch andere Kritiker auf den Plan gerufen hätte, welche Sie dann in aller Öffentlichkeit demontiert hätten.

Trotz aller vermeintlichen Schelte: Über jeden neuen Diskussionsbeitrag von Ihrer Seite werde ich mich freuen.

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

16. Akt

Auch ein Leserbrief

LES ((der zweite !!!))

Werner Föhse (DF 8 BJ)
Stoevesandtstr. 37
28309 Bremen

DARC e.V.

Postfach 1155

D 34 216 Baunatal

4. Jan 1996

4. Jan 1996

4. Jan 1996

Bremen, den 2. Jan. 1996

Sehr geehrte Damen und Herren

Betr. : Stellungnahme zum Aufsatz „Warum Satelliten wirklich oben bleiben“
von Ulrich Bangert, DF6JB
CQ DL 1/96 S. 36-37

Am Schluß des Aufsatzes heißt es: „Die leider immer wieder zu findende Formulierung, daß für Körper auf einer Kreisbahn die sogenannte Zentrifugalkraft auftritt und die Wirkung der Schwerkraft kompensiert, ist unsäglich falsch!“

Die angegebenen Formeln widersprechen dieser Aussage zu Recht.

Nach den Gleichungen auf Seite 37 ist $V^2/r = g$, hierin ist g die Gravitationsbeschleunigung in der Entfernung r vom Mittelpunkt des Planeten. Nun ist aber V^2/r nichts anderes als die Zentrifugalbeschleunigung, welche auch durch $\omega^2 \cdot r$ ausgedrückt werden kann.

W.Föhse, DF8BJ

V4 73 W. Föhse

17. Akt

...und seine Erwiderung

Ulrich Bangert
DF6JB @ DBOCL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
21.01.1996

Herrn
Werner Föhse
Stoevesand-Str. 37

28309 Bremen

Sehr geehrter Herr Föhse,

da ich als Autor des o.g. Beitrages auch als der "Verursacher" Ihres Leserbriefes gelten muß, hat mir die Redaktion der CQDL Ihr Schreiben zur Kenntnis gebracht. Ich freue mich wirklich herzlich darüber, daß ich mit meinem Beitrag so eine interessante Grundsatzdiskussion angekurbelt habe! Ich habe mehrere Leserbriefe zu diesem Beitrag erhalten, die ich auch gerne alle beantworten will. Bitte haben Sie aber Verständnis dafür, daß ich mich in gewissen Dingen nicht in jedem Brief wiederholen will. Ich habe deswegen alle eingetroffenen Briefe sowie meine Antwortschreiben dazu fotokopiert und gebe sie gesammelt zu Ihren Händen. Ich möchte Sie daher bitten, die gesamte Korrespondenz zu lesen, ganz besonders den ausführlichen Brief, den ich an Dr. Kuers geschrieben habe.

Sie bemängeln an meinem Beitrag einen scheinbar enthaltenen Widerspruch in dem Sinne, daß ich *einerseits* behaupte, es gäbe keine Zentrifugalkraft, Sie aber *andererseits* in meiner Rechnung den Term v^2 / r entdecken, den Sie entweder aus Ihrer Ausbildung oder aus Büchern kennen, wo (da gebe ich Ihnen recht) dieser Term oft als "Zentrifugalbeschleunigung" beschrieben wird.

Dies ist jedoch kein Widerspruch. Der Term v^2 / r an sich ist ja durchaus nicht falsch und hat sich in ganz zwangloser Art und Weise aus meiner Rechnung ergeben. Nur ist es so: Derjenige, der behauptet, es gäbe eine Zentrifugalbeschleunigung oder Zentrifugalkraft, der muß nun auch genau sagen, welche *Richtung* diese Beschleunigung oder Kraft hat. In meiner Betrachtung beschreibt nämlich v^2 / r eine *nach innen gerichtete physikalische Größe*.

Obwohl Sie darüber in Ihrem Brief explizit keine Angaben machen, gehe ich davon aus, daß Sie wie die anderen Verfechter von Zentrifugal- Beschleunigungen und Kräften sagen würden, diese Beschleunigungen und Kräfte seien nach *außen* gerichtet, also vom Erdzentrum *weg*. Und mit einer *nach außen wirkenden Kraft oder Beschleunigung* hat der Term v^2 / r nun wirklich nichts zu tun.

Da Kräfte und Beschleunigungen in der Physik durch Vektoren dargestellt werden, darf man bei Kraftbetrachtungen die *Richtungen* der Vektoren natürlich *nicht* außer acht lassen.

Wenn Sie also sagen, es gibt eine Zentrifugalbeschleunigung, deren *Betrag*

$$v^2 / r$$

ist und die nach außen zeigt, und andererseits sagen, es gibt eine Gravitationsbeschleunigung, deren *Betrag*

$$\gamma * m / r^2$$

ist und die nach innen zeigt, dann muß der Ansatz zur Berechnung von v *nicht*

$$v^2 / r = \gamma * m / r^2 \quad [1]$$

lauten. Warum darf er *nicht* so lauten? Weil er die entgegengesetzte Richtung der beiden Beschleunigungen nicht berücksichtigt! Er müßte vielmehr lauten

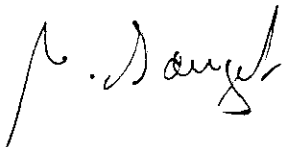
$$v^2 / r = - \gamma * m / r^2$$

Wenn Sie diese Gleichung nach v auflösen, so werden Sie feststellen, daß Sie nicht das erwartete Ergebnis für v erhalten sondern ein negatives Vorzeichen unter dem Wurzelzeichen erhalten. Mit anderen Worten: Sie erhalten eine imaginäre Geschwindigkeit und das sollte Sie stutzig machen.

Es muß etwas an dem Ansatz, daß am Satelliten zwei Kräfte angreifen, die dem Betrage nach gleich groß sind aber entgegengesetzte Richtung haben, falsch sein. Die nach innen gerichtete Gravitation greift mit Sicherheit am Satelliten an. Der Ansatz führt deswegen dazu, daß man sagen muß: Es greift keine nach außen gerichtete Kraft am Satelliten an. Weil Ihrer Auffassung nach die Zentrifugalkraft und Beschleunigung nach außen gerichtet sind, sage ich nun mit recht: Es gibt keine Zentrifugalkraft.

Wie man die physikalisch vollkommen korrekte Gleichung [1] zu interpretieren hat, entnehmen Sie bitte meinem ausführlicheren Brief an Dr. Kuers.

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

18. Akt

Noch ein harter Bursche

TECHFO Down! gewartet !!! :)

DARC e.V.
Postfach 1155
34216 Baunatal

Redaktion
"Leser schreiben"

Stefan Steger
DL7MAJ
Gulbranssonstr. 20
81477 München
Mitgl.: 1529718 C18

EINGEGANGEN
3. Jan. 1996
Erl.....

München, den 2.1.96

CQ/DL 1/96 Seite 36 "Warum Satelliten wirklich oben bleiben"

Dem Autor dieses Artikels ist es teilweise gelungen, einen kompliziert erscheinenden Sachverhalt recht anschaulich darzustellen.

Leider ist seine Aussage zur Fliehkraft jedoch selbst "unsäglich falsch" und kann aus mehreren Gründen nicht unwidersprochen bleiben:

1. Der Autor weist richtig nach daß es möglich ist eine Kreisbahn eines Satelliten ohne Ansatz über die Fliehkraft zu erklären.

Er schließt daraus, daß die "einzige Kraft die Schwerkraft" sei.

Eine solche Logik ist falsch, da bei vielen mathematischen und physikalischen Beweisen nicht alle Gesetze angewandt werden -sie gelten aber trotzdem.

2. Auf **jeden Körper**, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, wirkt eine Fliehkraft. Dieses physikalische Gesetz gilt auch für Satelliten.

3. Der Autor formuliert die richtige Annahme, daß sich der Satellit ("Geschoß") in einer Zeit Δt um einen Betrag Δr_1 von der Erde entfernen würde, wenn es nicht die Schwerkraft gäbe. Das ist jedoch nichts anderes als eine Fliehkraft.

4. Wird der Ansatz Fliehkraft = Gravitationskraft gemacht, ergibt sich wesentlich schneller die Formel für die Bahngeschwindigkeit:

$$m_S \times \frac{v^2}{r} = \gamma \times \frac{m_E \times m_S}{r^2} \quad \text{Daraus folgt direkt: } v = \sqrt{\gamma \times \frac{m_E}{r}}$$

5. Die Aussage des Autors, daß die Bewegung für den Fall der unter 3. angenommen Kompensation "geradlinig und gleichförmig" sein muß, ist ja für jeden **einzelnen Punkt** der Kreisbahn - betrachtet in einem kleinen Zeitraum Δt - richtig, der Satellit bewegt sich immer tangential zur Erdoberfläche.

Würde der Satellit jedoch geradeaus weiterfliegen, wie der Autor argumentiert, so wäre ja seine Fliehkraft gleich Null und es bliebe nur die Gravitation übrig, die den Satelliten wieder auf eine Kreisbahn zwingt.

Es muß also für jedes neue Δt die Wirkung der Gravitation (so wie es der Autor macht) und die der Fliehkraft neu berechnet werden.

6. Die Annahme der Existenz einer Fliehkraft ist zwingend notwendig und bewirkt zusammen mit der Gravitation und der Energieerhaltung (kinetische - potentielle Energie) eine stabile Satellitenbahn (Kreis oder Ellipse).

DL7MAJ@DB0PV



19. Akt

Doch die Antwort kommt
mit viel Slice zurück

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
19.01.1996

Herrn
Stefan Steeger
Gulbransson-Str. 20
81477 München

Sehr geehrter Herr Steeger,

da ich als Autor des o.g. Beitrages auch als der "Verursacher" Ihres Leserbriefes gelten muß, hat mir die Redaktion der CQDL Ihr Schreiben zur Kenntnis gebracht. Ich freue mich wirklich herzlich darüber, daß ich mit meinem Beitrag so eine interessante Grundsatzdiskussion angekurbelt habe! Ich habe mehrere Leserbriefe zu diesem Beitrag erhalten, die ich auch gerne alle beantworten will. Bitte haben Sie aber Verständnis dafür, daß ich mich in gewissen Dingen nicht in jedem Brief wiederholen will. Ich habe deswegen alle eingetroffenen Briefe sowie meine Antwortschreiben dazu fotokopiert und gebe sie gesammelt zu Ihren Händen.

Wenn Sie also eine Antwort auf eines der von Ihnen angesprochenen Probleme vermissen, so möchte ich Sie höflich bitten, den Rest der Korrespondenz auch noch einzusehen, weil ich womöglich die gesuchte Antwort schon an anderer Stelle gegeben habe.

Lassen Sie mich nun stichpunktartig auf Ihr Schreiben eingehen:

- 1) >Eine solche Logik ist falsch, da bei vielen mathematischen und physikalischen
>Beweisen nicht alle Gesetze angewandt werden - sie gelten aber trotzdem.

Der Nebensatz ist richtig, Ihre Folgerung daraus aber nicht. Was Sie sagen wollen ist z.B. folgendes: Habe ich

a) einen metallisch glänzenden Satelliten

und

b) einen schwarz lackierten Satelliten,

so wird das von den beiden Satelliten reflektierte Sonnenlicht sicherlich eine ganz andere spektrale Verteilung haben, was sich in relativ komplizierten physikalischen Formeln dafür niederschlägt. Sicherlich wird die Innentemperatur des schwarzen Satelliten größer sein als die des metallischen und wieder gibt es Formeln, die dieses Verhalten genau beschreiben. All dies sind physikalische Gesetze, die ich aber in meiner Betrachtung nicht beachtet habe - sie gelten aber trotzdem. Absolut richtig. Warum habe ich sie nicht beachtet, obwohl sie gültig sind? Offensichtlich, weil sie nach Einschätzung des gesunden Menschenverstandes mit der Bewegung des Satelliten um die Erde wenig bis gar nichts zu tun haben.

Für die Berechnung der Bewegung des Satelliten um die Erde herum ist es hingegen zwingend notwendig, daß man alle an dem Satelliten angreifenden Kräfte in seiner Rechnung berücksichtigt. Würde man eine Kraft, welche auf den Satelliten wirkt, in seiner Rechnung vergessen, könnte dann jemals das Ergebnis der Rechnung richtig sein?

Bitte überprüfen Sie Ihre Meinung in dieser Hinsicht noch einmal. Wenn Kräfte die Ursache von Beschleunigungen von Körpern sind, muß dann nicht jede Kraftbetrachtung, die eine oder mehrere Kräfte außer acht läßt, zwangsläufig ein falsches Ergebnis liefern? Nun attestieren Sie mir doch aber unter 4), daß ich das richtige Ergebnis errechnet habe. Gäbe es eine Zentrifugal- oder Fliehkraft, so hätte ich sie doch in meiner Berechnung berücksichtigen müssen, um das richtige Ergebnis zu erhalten, oder?

Oder um es noch einmal andersherum zu formulieren: Wenn ich ein Ergebnis erhalten habe und ich würde nun zusätzlich nachträglich die Fliehkraft berücksichtigen, so sähe das Ergebnis doch *anders* aus. Da Sie aber sagen, daß mein Ergebnis richtig ist, kann ich daraus schließen, daß ich bereits alle für den Satelliten relevanten Kräfte in meiner Rechnung berücksichtigt habe. Wenn das aber der Fall ist, so wirkt auf den Satelliten keine Fliehkraft.

2) Diese falsche Aussage wird durch ständige Wiederholung nicht richtiger. Anders als bei den Gesetzen, die unseren gegenseitigen Umgang miteinander regeln, kommen physikalische Gesetze nicht aufgrund demokratischer Meinungsbildungsprozesse zustande, sondern sind einfach so wie sie sind. In diesem Fall sind die physikalischen Gesetze anders als Sie konstatieren.

3) >Das ist jedoch nichts anderes als die Fliehkraft.

Wie Sie schon festgestellt haben, bin ich kein großer Verfechter des "Fliehkraft"-Gedankens. Der Ehrlichkeit halber muß ich Sie jedoch mit der Tatsache konfrontieren, daß die Anhänger der Fliehkraft eigentlich immer so argumentieren, daß die Fliehkraft der Gravitation entgegengesetzt sei. "Entgegengesetzt" bedeutet: Vom Erdmittelpunkt radial nach außen gerichtet. Das hat nun mit der Tendenz den Satelliten, sich *tangential* zu entfernen, überhaupt nichts zu tun. Tangential wirken ja nun überhaupt keine Kräfte! An dieser Stelle könnten Sie sogar noch einen ernsthaften Streit mit Ihren der Fliehkraft anhängenden Kollegen vom Zaun brechen!

4) Beim Verfassen dieses Abschnittes kann ich Sie förmlich gedanklich vor mir sehen: Man "weiß" ja den Wert der Fliehkraft (und wenn nicht, so guckt man unter der entsprechenden Rubrik in einem "Fachbuch" nach und *findet da sogar etwas*). Gleichermaßen verfährt man mit dem Gravitationsgesetz, setzt die Terme gleich und schwuppdiwupp, eh man sich versehen hat, steht da die richtige Lösung. Aber halt: Es ist doch so, daß Sie behaupteten, Schwerkraft und Fliehkraft heben sich auf. Anders ausgedrückt: Sie sagen: Die Summe aus Schwerkraft und Fliehkraft ergibt 0! Das müssen Sie dann aber auch hinschreiben:

$$F_S + F_F = 0$$

Daraus wird aber dann

$$F_S = - F_F$$

und das ist gaaanz was anderes, als was Sie ansetzten. Verfolgen Sie diesen Ansatz einmal weiter und Sie werden schnell sehen, was ich meine. Nun entspricht das, was Sie tatsächlich in Ihrem Brief hingeschrieben haben, zwar *nicht* Ihrem eigentlichen Ansatz, *ist aber gerade deshalb physikalisch richtig*. Die gleiche Formel haben Sie bei mir doch auch gefunden und da

war nie von einer Fliehkraft die Rede. Wie man diese Formel richtig zu lesen hat, entnehmen Sie bitte meinem Brief an Herrn Dr. Kuers.

- 5) >Die Aussage des Autors, daß die Bewegung für den Fall der unter 3. angenommenen
>Kompensation "geradlinig und gleichförmig" sein muß, ist ja für jeden einzelnen
>Punkt der Kreisbahn - betrachtet in einem kleinen Zeitintervall Δt - richtig, der Satellit
>bewegt sich ja immer tangential zur Erdoberfläche.

Das ist wohl richtig, daß sich der Satellit tangential zur Erdoberfläche bewegt. Selbst für den Fall einer gegen 0 gehenden Beobachtungszeit Δt ist seine Bahn aber eine *gekrümmte*. Um den Nachweis zu führen, braucht man Kenntnisse aus der Differentialgeometrie und deshalb schenke ich ihn mir. Sie hätten wenig davon, ich viel (nämlich Arbeit). Vielleicht sehen Sie es besser ein, daß dies kein Argument ist, wenn Sie das erste Newton'sche Axiom darauf hin untersuchen, welchen *Zeitbezug* es enthält, nämlich gar keinen. Da steht nix von: Ich darf einem Körper nur eine kleine Zeit Δt ansehen, um das Axiom anzuwenden. Vielmehr ist es so: Stelle ich *irgendwann* (zu einem beliebigen Zeitpunkt) eine Änderung des Bewegungszustandes oder der Flugrichtung eines Körpers fest, so darf ich sicher sein, daß eine von 0 abweichende Kraftsumme auf den Körper die Ursache dafür war. Und der Satellit ändert, so leid es mir tut, nun gerade *ständig* seine Flugrichtung, gerade weil er sich *tangential* bewegt.

- >Würde der Satellit jedoch geradeaus weiterfliegen, wie der Autor argumentiert, so
> wäre ja seine Fliehkraft gleich Null und es bliebe nur die Gravitation übrig, die den
>Satelliten wieder auf eine Kreisbahn zwingt.

Das ist zwar alles ein wenig "halbgar" und nicht zu Ende gedacht, aber immerhin sind Sie mit diesem Gedankengang näher an der Wahrheit als Sie denken.

6) Das ist leider genauso falsch wie bei 2)

Immerhin entnehme ich Ihrem Schreiben, daß Sie ein Freund von Energiebetrachtungen sind. Großartig! Lassen Sie uns also mal eine kleine Energierechnung anstellen, wirklich nur ganz einfach. Vielleicht ist Ihnen bekannt, daß die sog. Fluchtgeschwindigkeit der Erde ca. 11.2 km/s beträgt.

Dahinter verbirgt sich folgender Gedankengang: Um einen Körper im Gravitationsfeld der Erde zu heben, muß ich Energie aufwenden. Wenn ich mich in der Nähe der Erdoberfläche befinde, wo die Gravitationsbeschleunigung g herrscht, so wird die Energie, die ich aufwenden muß, um einen Körper der Masse m um die Höhe h anzuheben, durch

$$E = m * g * h$$

beschrieben, richtig? Darin ist der Term $m * g$ die Kraft, welche die Gravitation auf die Masse m bewirkt, und damit hat die Gleichung die Form

$$\text{Energie} = \text{Kraft} \times \text{Weg},$$

wie wir so schön in der Schule lernen.

Diese Rechnung ist, wie bereits gesagt, nur nahe der Erdoberfläche gültig. Wenn ich berechnen will, welche Energie notwendig ist, um die Masse m um eine beliebige Höhe h von der Erdoberfläche zu heben, muß man zu der allgemeineren Form dieser Gleichung übergehen, welche lautet

$$E = \int_{r_E}^{r_E + h} \gamma * m * m_E / r^2 dr$$

Darin ist r_E der Erdradius und m_E die Erdmasse. In dieser Gleichung ist die nach außen hin abnehmende Schwerkraft berücksichtigt und sie gilt daher für jede Höhe h . Insbesondere darf in diese Gleichung auch $h = \infty$ einsetzen, um zu errechnen, wieviel Energie notwendig ist, die Masse m ganz aus dem Gravitationsfeld der Erde zu entfernen. Dann lautet die Gleichung

$$E = \int_{r_E}^{r_E + \infty} \gamma * m * m_E / r^2 dr$$

Man muß das Integral ausrechnen und findet als Lösung

$$E = \gamma * m * m_E / r_E$$

Worüber wir bisher sprachen, war die sog. potentielle Energie. Soll ein Körper das Gravitationsfeld der Erde für immer verlassen (ohne daß wir ihn zwischendurch mal "anschieben" müssen), so muß er an der Erdoberfläche die oben berechnete potentielle Energie in Form von sog. kinetischer Energie innehaben. Die kinetische Energie eines Körpers der Masse m , der die Geschwindigkeit v hat, beträgt

$$E_K = 1/2 * m * v^2$$

Wenn ich die Rechnung nun tatsächlich durchführe und $E_P = E_K$ rechne, so erhalte ich

$$E_P = E_K$$

$$\gamma * m * m_E / r_E = 1/2 * m * v^2$$

Daraus kann ich die Geschwindigkeit v ermitteln, die der Körper an der Erdoberfläche haben muß, damit er das Gravitationsfeld der Erde verlassen kann. Wie man sieht, kürzt sich die Masse m auf beiden Seiten der Gleichung weg, ein wichtiges Ergebnis, weil es bedeutet, daß die Fluchtgeschwindigkeit für alle Körper unabhängig von ihrer Masse gleich ist. Schließlich erhält man durch weitere Rechnung

$$v = \sqrt{2 * \gamma * m_E / r_E}$$

Durch Einsetzen der hinreichend genauen Werte

$$\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11}, m_E = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ und } r_E = 6370 \cdot 10^3 \text{ (alles in SI Einheiten)}$$

gelangen Sie dann sehr genau auf den Wert 11.2 km/s. Oh, ein kleiner Tip noch: Lufttreibungskräfte sind in dieser Rechnung nicht berücksichtigt! Wenn Sie die Luftreibung bei

unserem Experiment stört, fragen wir bei Neil Armstrong an und wiederholen es auf dem Mond!

Nun will ich einmal ausrechnen, welche Geschwindigkeit ein Körper haben muß, um in eine stabile Kreisbahn um die Erde unmittelbar über der Erdoberfläche eingehen zu können. Dazu muß ich ausrechnen

$$v = \sqrt{\gamma * m_e / r_e}$$

und erhalte für v (mit den gleichen Werten wie oben gerechnet) einen Wert von 7.91 km/s. Das ist zwar ganz schön schnell, liegt aber immerhin deutlich unter der Fluchtgeschwindigkeit von 11.2 km/s. Deswegen bringe ich nun einen Satelliten in eine solche Umlaufbahn unmittelbar über der Erdoberfläche.

Nachdem ich dem Treiben des Satelliten eine Weile genußvoll zugeschaut habe und mich jedesmal geduckt habe, wenn er über mich flog, komme ich nun auf die Idee, dem Satelliten einen winzigen Kick mit dem Fuß zu geben (nach oben, also ohne seine Bahngeschwindigkeit zu verändern), wenn er gerade wieder über mir ist. Aber wirklich nur einen winzigen Kick, mit ganz wenig Energie! Nun, wie wenig Energie ich auch immer aufwende, auf die Bahn des Satelliten wird es sicher einen Einfluß haben müssen. Aufgrund meines Kicks wird der Radius r seiner Bahn um ein winziges Stück Δr größer werden. Vielleicht ist Δr nur 1/1000 mm! Wesentlich für die weitere Betrachtung ist nur, daß der Bahnradius sich überhaupt vergrößert hat.

Betrachten wir nun, was unsere "Zentrifugalkraft" und die Gravitationskraft anstellen. Die angeblich nach außen gerichtete Zentrifugalkraft hat den Betrag

$$m * v^2 / r$$

Da ich den Radius der Bahn um Δr vergrößert habe, hat die "Zentrifugalkraft" für den Bahnradius $r + \Delta r$ den Betrag

$$m * v^2 / (r + \Delta r)$$

d.h., weil der Nenner *ein wenig größer* geworden ist, ist die "Zentrifugalkraft" *ein wenig kleiner* geworden. Für die Gravitationskraft nehme ich nun das Gravitationsgesetz und erhalte im Abstand r vom Erdmittelpunkt den Wert

$$\gamma * m * m_E / r^2$$

und im Abstand $r + \Delta r$ den Wert

$$\gamma * m * m_E / (r + \Delta r)^2$$

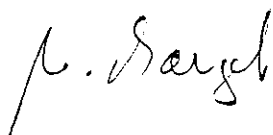
d.h. auch die Schwerkraft wird kleiner beim Radius $r + \Delta r$. Das hatten wir fast schon so erwartet, nicht wahr? Was wir hingegen eigentlich nicht so richtig erwartet hatten: Weil die Abhängigkeit der Schwerkraft vom Kehrwert des Radius eine *quadratische* und diejenige der "Zentrifugalkraft" vom Kehrwert des Radius eine *lineare* ist, sind zwar beide Kräfte kleiner geworden, die Schwerkraft hat sich jedoch wegen der quadratischen Abhängigkeit um *einen größeren Betrag geändert*, sie ist sozusagen "mehr kleiner" geworden als die "Zentrifugalkraft".

Nun, wir wissen alle, was das für Konsequenzen hat: Diese nach außen gerichtete Kraft wird den Satelliten nach außen beschleunigen. Dadurch wird sich der Radius der Bahn noch mehr vergrößern, das Mißverhältnis zwischen "Zentrifugalkraft" und Schwerkraft wird noch größer, was zu einer noch größeren Beschleunigung nach außen führt und so weiter und so fort! Da der Vorgang sich zunehmend selbst verstärkt, wird die "Zentrifugalkraft" größer und größer und der Satellit verläßt irgendwann das Gravitationsfeld der Erde.

Ich hoffe, Sie übersehen die ganze Tragweite unserer Entdeckung: Ab sofort ist es nicht mehr notwendig, einem Körper die Fluchtgeschwindigkeit von 11.2 km/s zu verleihen, damit er das Gravitationsfeld der Erde verlassen kann! Wir müssen ihm nur eine Geschwindigkeit von ca. 7.91 km/s verleihen, damit er in eine erdnahe Umlaufbahn eintreten kann. Danach bedarf es nur noch eines Mannes, sagen wir vom Schlage eines Franz Beckenbauers, der mit einem gekonnten Kick dafür sorgt, daß der Satellit sich in einer Spiralbahn "hochschaufelt". Hinsichtlich der beiden Geschwindigkeiten sieht der Unterschied nicht so groß aus, da aber die kinetische Energie quadratisch von der Geschwindigkeit abhängt, beträgt die Energieeinsparung bei diesem Verfahren genau 50 % (Man hätte das auch analytisch zeigen können)! Das sollten wir uns gemeinsam patentieren lassen und für Millionenbeträge an die krisengebeutelte Raumfahrtindustrie verkaufen! Es wird zwar i.a. keinen Sinn geben, einen Satelliten ins Weltall verschwinden zu lassen, den wollen wir schließlich in einer Umlaufbahn! Für den Transport von Raumschiffen von der Erde zu anderen Planeten hin hätten wir aber in der Tat eine bahnbrechende Erfindung gemacht!

Sie dürfen mir glauben: Wenn's das so gäbe, dann wären Bangert & Steeger die reichsten Menschen auf der Erde und nicht dieser Bill Gates. Da wir es nun mal nicht sind und meines Wissens auch noch niemand anders ein Patent auf dieses Verfahren hat, muß man vielleicht folgern, daß etwas an unserer Überlegungen falsch war! Bitte suchen Sie ein wenig nach logischen oder mathematischen Fehlern. Wenn Sie keine finden, dann bleibt wohl nur noch die Voraussetzung als Fehlerquelle möglich, es gäbe eine nach außen gerichtete "Zentrifugalkraft".

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

20. Akt

Der beste Brief überhaupt

Siegfried Zeller Mayer (SWL)
Im Kirschenwäldchen 62
60437 Frankfurt/M.

Mathias Gitler (DG2FAK)
Hanauer Pfad 17
61137 Schöneck

10.01.96

An: DARC e.V. - Redaktion CQ DL

Betr.: Beitrag "Warum Satelliten wirklich oben bleiben" (CQ DL 01/96, S. 36)

Sehr geehrte Damen und Herren,
hiemit bitten wir Sie in der Rubrik "Dialog" die Kritik zum o.g. Beitrag abzdrukken :

Wir möchten Herrn Ulrich Bangert, DF6JB, auf einen Fehler in seiner Überlegung " Warum Satelliten wirklich oben bleiben " hinweisen.

Die im Ansatz verwendete Formel $\Delta r_2 = \frac{1}{2} \times g \times \Delta t^2$ ist für die Beschreibung der Wirkung der Schwerkraft auf einen Satelliten ungeeignet. Mit dieser Formel für die Fallstrecke sind die realistischen Verhältnisse unzutreffend beschrieben. Diese Formel beschreibt nur den freien Fall mit der Ausgangsgeschwindigkeit $v_0 = 0 \frac{m}{s}$. Tatsächlich aber, ist die Zeit $\Delta t = t - t_0$ nicht konstant, aufgrund der Zunahme von t. Da diese Zeitdifferenz quadratisch in die Formel eingeht, darf man die Fallstrecke nicht als gleichbleibend betrachten. Die Fallgeschwindigkeit bleibt ebenfalls nicht konstant, sondern nimmt linear zu.

Betrachtet man das Problem unter diesem Aspekt, so kommt man zu der Folgerung, daß ein Satellit seine Bahngeschwindigkeit v ständig erhöhen müßte, um der Verringerung seines Abstandes vom Erdmittelpunkt entgegenzuwirken. Dies ist aber bekanntlich nicht der Fall.

Siegfried Zeller Mayer (SWL)
Mathias Gitler (DG2FAK)

21. Akt

entsprechend höflich die
Antwort

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
19.01.1996

Herrn
Siegfried Zellermayer
Im Kirchenwäldchen 62
60437 Frankfurt am Main

und

Herrn
Mathias Gitler
Hanauer Pfad 17
61137 Schöneck

Sehr geehrter Herr Zellermayer,
sehr geehrter Herr Gitler,

da ich als Autor des o.g. Beitrages auch als der "Verursacher" Ihres Leserbriefes gelten muß, hat mir die Redaktion der CQDL Ihr Schreiben zur Kenntnis gebracht. Ich freue mich wirklich herzlich darüber, daß ich mit meinem Beitrag so eine interessante Grundsatzdiskussion angekurbelt habe! Ich habe mehrere Leserbriefe zu diesem Beitrag erhalten, die ich auch gerne alle beantworten will. Bitte haben Sie aber Verständnis dafür, daß ich mich in gewissen Dingen nicht in jedem Brief wiederholen will. Ich habe deswegen alle eingetroffenen Briefe sowie meine Antwortschreiben dazu fotokopiert und gebe sie gesammelt zu Ihren Händen. Ich möchte Sie daher bitten, die gesamte Korrespondenz zu lesen, ganz besonders den ausführlichen Brief, den ich an Dr. Kuers geschrieben habe.

Über Ihren Brief habe ich mich besonders gefreut. Zwar vertreten Sie eine konträre Ansicht zu meiner, versuchen nun aber nicht, mich durch Zitate falscher Schulweisheiten ala "Jeder weiß, daß es eine Zentrifugalkraft gibt..." zu widerlegen sondern suchen gezielt in meinen Ausführungen nach Irrtümern, die mich zu meiner (für Sie scheinbar falschen) Rechnung gelangen ließen. Das ist ein sehr aufrichtiges Unterfangen und deswegen möchte ich Ihnen auch etwas ausführlicher antworten und Ihnen einige Dinge erklären, die ich bei anderen als selbstverständliches Wissen vorausgesetzt hätte.

Sie merken an, daß die Formel

$$\Delta r^2 = 1/2 * g * \Delta t^2$$

für die Beschreibung der Wirkung der Schwerkraft auf den Satelliten ungeeignet sei und führen dafür zwei Argumente ins Feld. Das erste davon ist, daß die Formel nur für eine Ausgangsgeschwindigkeit von $v = 0$ m/s gültig sei. Ist das richtig? Die Antwort darauf ist ein klares: Nein. Lassen Sie uns zunächst darüber diskutieren. Wir müssen dazu etwas weiter ausholen!

Ich schlage vor, daß Sie einmal folgendes Experiment durchführen: Man nehme zwei Billardkugeln, zwei Personen (das sind Sie ja) und einen glatten Tisch. Die eine Billardkugel wird nun von Person 1 in Höhe der Tischkante aber außerhalb der Tischoberfläche festgehalten. Die zweite Person legt nun die zweite Billardkugel an das eine Tischende und gibt ihr einen Stoß in Richtung auf das andere Tischende, so daß sie über den Tisch rollt. Person 1 beobachtet nun dieses Rollen und läßt seine Billardkugel genau in dem Moment los und zu Boden fallen, in dem die rollende Kugel an die Tischkante gelangt. Dieses Experiment wiederholen Sie einige mal, wobei die Kugel 2 von Person 2 immer mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten angestoßen wird.

Nun stellen Sie folgendes fest: Da Kugel 2 unterschiedliche Anfangsgeschwindigkeiten hatte, sind ihre Flugbahnen, nachdem sie über die Tischkante rollte, auch unterschiedlich: Hatte sie eine geringe Anfangsgeschwindigkeit, so ist sie nahe der Tischkante zu Boden gefallen, je größer ihre Anfangsgeschwindigkeit war, desto weiter fliegt sie, bevor sie auf dem Boden auftrifft. Gleichzeitig stellen Sie aber auch folgendes fest: Obwohl die Kugel 2 unterschiedlich weite Flugbahnen hatte, kam es Ihnen bei dem Geräusch, daß die beiden Kugeln beim Auftreffen auf dem Boden machen, so vor, als ob beide Kugeln *fast gleichzeitig* auf dem Boden auftreffen.

Als technisch interessierten Menschen (sonst wären Sie kein SWL bzw. OM) ist ihnen natürlich die technische Unvollkommenheit der Versuchsanordnung sofort klar: Sie liegt in Person 1 begründet, genauer in ihrer Reaktionszeit. Sie ersetzen daher Person 1 durch

a) eine Lichtschranke, welche genau feststellen kann, wenn Kugel 2 an die Tischkante kommt und

b) eine mechanische Vorrichtung, welche ausgelöst durch das Signal der Lichtschranke die Kugel 2 fallen läßt.

Nun erleben Sie eine Überraschung: Egal wie groß oder klein die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel 2 auch immer war: Beide Kugeln treffen exakt zum gleichen Zeitpunkt auf dem Boden auf. Es ist geradezu so, als ob die Fallbewegung von Kugel 2 *nach unten* sich überhaupt nicht darum kümmern würde, welche *horizontale Geschwindigkeit* die Kugel bei dem Experiment hatte.

Und genauso ist es auch: Was Sie hier beobachtet und gelernt haben, nennen wir in der Physik das *lineare Superpositionsprinzip*. Wenn wir die horizontale Richtung der Tischebene als x-Richtung und die Vertikale als y-Richtung bezeichnen, so besagt das Superpositionsprinzip, daß wir die Bewegung eines Körpers in die Richtung x als vollkommen unabhängig davon betrachten können, welche Kräfte auf den Körper in Richtung y wirken. Kräfte auf den Körper, die in x-Richtung wirken, haben keinen Einfluß auf seine Bewegung in y-Richtung und umgekehrt. Das gleiche gilt natürlich auch in drei Raumdimensionen, wenn ich als z-Richtung nun diejenige einführe, welche sowohl auf der x- als auch y-Richtung senkrecht steht. Im Beispiel ist z diejenige Richtung, die *in* der Tischebene aber *senkrecht* zur Rollrichtung der Kugel liegt.

Nun kommt ein Punkt, der vielleicht etwas schwieriger für Sie zu verstehen ist, im Zweifelsfall müssen Sie mir an dieser Stelle einfach glauben (oder viel nachlesen): Die mathematische und physikalische Grundlage für die Gültigkeit des Superpositionsprinzips beruht darauf, daß die drei Richtungen x, y und z (oder Koordinaten, wie wir das auch nennen) ein sog. Orthogonalsystem bilden. Für diesen einfachen Fall x/y/z reicht es aus, wenn man sagt: Es handelt sich

um ein Orthogonalsystem, weil die Richtungen x , y und z *senkrecht* aufeinander stehen. Die exakte Deutung des Begriffs "Orthogonal" ist aber eine sehr viel komplexere, mit der ich Sie nicht verwirren will (z.B. spannen die beiden Funktionen $f(x)=\sin(x)$ und $f(x)=\cos(x)$ einen sog. orthogonalen Funktionenraum auf. Witzig, nicht?)

Das wichtige, was Sie mir nun glauben müssen, ist folgendes: Außer dem kartesischen Koordinatensystem, welches wir in unserem Beispiel benutzt haben (3 aufeinander senkrecht stehende Raumkoordinaten) gibt es andere Koordinatensysteme, denen ebenfalls das Attribut der Orthogonalität zukommt, obwohl das bei diesen Systemen nicht so ganz augenscheinlich ist. Insbesondere bilden die bei zentralsymmetrischen Problemen benutzten Polarkoordinaten und auch die Kugelkoordinaten ein Orthogonalsystem. Vereinfacht gesagt stehen die beiden Richtungen "radial" und "tangential" bei Kreisbewegungen in dem gleichen Sinne senkrecht aufeinander wie x und y und deswegen dürfen wir Bewegungen in tangentialer Richtung genauso unabhängig von Kräften in radialer Richtung und umgekehrt betrachten, wie wir das für x und y gelernt haben.

So, wofür hat eigentlich diese ganze lange Abhandlung gedient? Sie hatten gesagt, daß die Formel

$$\Delta r_2 = 1/2 * g * \Delta t^2$$

für die Beschreibung der Wirkung der Schwerkraft auf den Satelliten ungeeignet sei, weil die Formel *nur für eine Ausgangsgeschwindigkeit von $v = 0$ m/s gültig sei*. Sie hätten aber beachten müssen, daß v nicht nur eine Maßzahl sondern eben auch eine Richtung hat. Ich habe ja geschrieben, daß das Geschloß in *tangentialer* Richtung mit der Geschwindigkeit v losgeschossen wird. Seine Anfangsgeschwindigkeit in *radialer* Richtung, also derjenigen Richtung, in der die Fallbewegung erfolgt, *ist tatsächlich 0*, genauso wie Sie es gefordert haben. Das war also letztlich kein Argument gegen meine Art und Weise, die Formel anzuwenden, und wir vergessen es daher besser.

Wenn Ihnen das nun zu schnell gegangen sein sollte, so denken Sie nochmals über das Tischexperiment nach. Kugel 2 hatte eine beliebig hohe Anfangsgeschwindigkeit in x -Richtung und trotzdem eine Anfangsgeschwindigkeit von 0 in der y -Richtung. Wäre es anders gewesen, so hätten die Kugeln nicht gleichzeitig auf den Boden auftreffen können, denn Kugel 1 hatte ja sowohl in x - aber besonders eben auch in y -Richtung eine Anfangsgeschwindigkeit von 0!

Ihr zweites Argument ist folgendes. Sie sagen mit Recht, daß die Fallbewegung eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist, welche die Eigenschaft hat, daß der fallende Körper eine linear mit der Zeit ansteigende Geschwindigkeit gewinnt und daher in gleichen Zeitabschnitten immer größer werdende Wegstrecken zurücklegt. Vollkommen richtig! Da haben Sie im Physikunterricht aufgepaßt!

Aber das gilt doch nur dann, wenn die Fallbewegung die *einzige* Bewegung ist, die der Körper *in Richtung der Fallbewegung* durchführt. Ich habe "*in Richtung der Fallbewegung*" extra noch einmal kursiv dazugeschrieben, weil wir ja oben gesehen haben, daß Bewegungen in der einen Koordinate unabhängig von Kräften in der anderen Koordinate erfolgen.

Nun ist es so, daß bei Kreisbewegungen zwar die *radiale* Bewegung nicht durch *tangential wirkende Kräfte* beeinflusst wird, daß aber die beiden Koordinaten *selber* in dem Sinne miteinander verkoppelt sind, daß eine tangentiale Bewegung eine radiale Bewegung zur Folge hat. Das ist genau der Term, den ich in meinem Beitrag als Δr_1 bezeichnet habe.

Wenn Sie nun noch einmal den Gedankengang aus meinem Beitrag nachvollziehen, so denke ich mir eigentlich, Sie würden mir darin zustimmen, daß am Ende des ersten Zeitintervalls Δt der Satellit wegen der Forderung $\Delta r_1 = \Delta r_2$ wieder den gleichen Abstand r wie zum Zeitpunkt $t = 0$ vom Erdmittelpunkt hat. Sie würden aber einwenden: In der Zeit Δt hat der Satellit aufgrund seiner Fallbewegung nicht nur den Weg Δr_2 zurückgelegt sondern auch eine Geschwindigkeit $v_R = g * \Delta t$ gewonnen, wobei der Index R andeuten soll, daß es sich um eine Geschwindigkeit in *radialer* Richtung handelt, die ich im nächsten Zeitintervall hinsichtlich der erneuten Anwendung des Fallgesetzes berücksichtigen muß.

Sie würden also sagen: Im zweiten Zeitintervall darf man nicht rechnen mit

$$\Delta r_2 = 1/2 * g * \Delta t^2$$

sondern müßte vielmehr

$$\Delta r_2 = v_R * \Delta t + 1/2 * g * \Delta t^2$$

ansetzen. Ich denke, ich habe Ihre Argumentation in dieser Hinsicht richtig interpretiert. Einem Physiker würde ich nun antworten: Wenn $r = \text{const.}$, dann sind alle zeitlichen Ableitungen

$$d^n r / d t^n$$

natürlich identisch 0. Er hätte das auch sofort verstanden. Bei Ihnen will ich das nicht voraussetzen. Wären Sie vielleicht damit einverstanden, daß wir uns einmal überlegen, was eigentlich passiert, wenn wir es *als zusätzliche Forderung* mit in die Rechnung einbringen, daß am Ende vom ersten Zeitintervall Δt sich nicht nur die Wege Δr_1 und Δr_2 gegeneinander aufheben sollen sondern ebenfalls die Geschwindigkeiten? Denn: Ihr Einwand ist ja richtig, daß wegen der radialen Fallbewegung der Satellit eine *nach innen gerichtete Geschwindigkeit* von

$$v_{R1} = g * \Delta t$$

im Zeitintervall Δt gewinnt. Aufgrund seiner tangentialen Tendenz, sich zu bewegen, hat er aber *ebenfalls* eine *nach außen gerichtete Geschwindigkeit*. Wenn diese beiden Geschwindigkeiten am Ende vom ersten Zeitintervall Δt ebenfalls gleich wären und sich zu 0 ergänzen, könnten Sie sich dann meiner Argumentation anschließen?

Sei r der Radius des Satelliten zum Zeitpunkt $t = 0$ des Abschusses. Dann ist genau den geometrischen Überlegungen des Artikels folgend (und wie zunächst ohne Schwerkraft gerechnet) der Abstand $r(t)$ des Satelliten zu einem beliebigen Zeitpunkt t

$$r(t) = (r^2 + v^2 * t^2)^{1/2}$$

Um die Geschwindigkeit v_{R2} , mit welcher der Satellit sich aufgrund seiner tangentialen Bewegung vom Erdmittelpunkt entfernt, zu einem beliebigen Zeitpunkt t zu berechnen, müssen wir die zeitliche Ableitung dieses Ausdrucks bilden.

$$v_{R2} = 1/2 * (r^2 + v^2 * t^2)^{-1/2} * 2 * v^2 * t$$

$$v_{R2} = (r^2 + v^2 * t^2)^{-1/2} * v^2 * t$$

Insbesondere beträgt die Geschwindigkeit am Ende vom ersten Zeitintervall Δt

$$v_{R2} = (r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2)^{-1/2} \cdot v^2 \cdot \Delta t$$

Da wir wissen, daß v_{R1} nach innen gerichtet und v_{R2} nach außen gerichtet ist, brauchen wir nur mit den Beträgen zu rechnen und fordern nun (womit wir die Schwerkraft wieder ins Spiel bringen)

$$v_{R2} = v_{R1}$$

$$(r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2)^{-1/2} \cdot v^2 \cdot \Delta t = g \cdot \Delta t$$

$$(r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2)^{-1/2} \cdot v^2 = g$$

$$v^2 = g \cdot (r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2)^{1/2}$$

$$v^4 = g^2 \cdot (r^2 + v^2 \cdot \Delta t^2)$$

$$v^4 = g^2 \cdot r^2 + g^2 \cdot v^2 \cdot \Delta t^2$$

Nun führen wir den Grenzübergang für Δt gegen 0 durch und erhalten

$$v^4 = g^2 \cdot r^2$$

oder

$$v^2 = g \cdot r$$

$$v = (g \cdot r)^{1/2}$$

also genau diejenige Bedingung, welche wir bereits aus der Forderung $\Delta r_1 = \Delta r_2$ abgeleitet hatten. Fazit: Wenn die erste Bedingung erfüllt ist, so ist damit die zweite automatisch auch erfüllt.

Wie Sie sehen, sind Ihre beiden Einwände entkräftet. Ich muß aber noch einmal zum Ausdruck bringen, wie sehr ich mich darüber gefreut habe, daß Sie in der Ansicht, ich hätte einen Fehler in meinem Ansatz begangen, offenbar sehr intensiv über die Sache nachgedacht haben und mich auf vermeintliche Fehler aufmerksam machen wollten. Interessanterweise ist Ihr Brief auch der einzige, in dem das Wort "Zentrifugalkraft" nicht vorkommt. Das ist an sich schon sehr löblich. Nur läßt mich Ihr letzter Satz natürlich doch etwas vermuten, daß Sie beide an die Existenz einer solchen Kraft glauben und daß meine Verleugnung einer solchen Sie überhaupt erst auf die Idee gebracht hat, nach Fehlern in meinem Ansatz zu suchen. Ansonsten gab es ja keinen Grund dafür, weil ich aus meinem ursprünglichen Ansatz heraus das physikalisch korrekte Ergebnis unter Zuhilfenahme einfacher (und richtiger) mathematischer Umformungen gewonnen habe.

Nachdem ich Ihnen die vermeintlichen Mängel erklärt und Ihre Argumente widerlegt habe, würde es mich aufs äußerste interessieren, wie Ihre Meinung zu dem Thema nun beschaffen ist. Lassen Sie nochmals von sich hören?

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

22. Akt

Ein Newcomer fragt

18. Jan. 1996

Erl.

Joachim Wehlack

Uhlandstr. 52
03050 Cottbus
Tel: 0355/540432

Datum: 17.01.96

DARC e. V.
Redaktion CQ DL
Postfach 11 55Bitte eine Kopie an den Autor von [1]
(die Anschrift ist mir unbekannt).

34216 Baunatal

Warum Satelliten wirklich oben bleiben (CQ DL 1/96)

Liebe Redaktion der CQ DL!

Ich bin ein Anfänger im Amateurfunk, der sich auf seine Lizenzprüfung vorbereitet. Dazu ist es für mich wichtig, daß ich möglichst viele Literaturquellen zum Lernen verwenden kann. Selbstverständlich ist die CQ DL in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung für mich. Natürlich beschäftige ich mich auch mit Themen des Amateurfunks, die nicht direkt für die Prüfung wichtig sind.

Ich weiß noch nicht viel über Amateurfunksatelliten, jedoch ist mir bekannt, daß ich von einer elliptischen Umlaufbahn ausgehen muß, bei der Perigäum und Apogäum durchaus im Verhältnis von ca. 1 : 10 stehen können [3].

Daher ist es mir unverständlich, warum in einem Artikel der endgültig klarstellen will "warum Satelliten wirklich oben bleiben", eine "stabile kreisförmige Umlaufbahn um die Erde" erläutert wird. Könnte es sein, daß dieser Ansatz "unsäglich falsch" ist, oder hat dieser Artikel gar nichts mit Amateurfunksatelliten zu tun?

Ich kann die Zusammenhänge auf so einer elliptischen Umlaufbahn nicht herleiten. Aber ich bin ja auch nur derjenige, der aus Ihren Artikeln lernen will. Autoren und Redaktion sollten davon ausgehen, daß es noch viele Leser gibt, die darauf vertrauen, daß die Informationen in der CQ DL korrekt sind. Ich bitte die Redaktion und den Autor um eine Antwort.

Mit freundlichen Grüßen

Literatur:

[1] CQ DL 1/96, S. 36

[2] CQ DL 10/95, S. 735

[3] FUNKAMATEUR 3/95, S. 244

23. Akt

Die Antwort darauf

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
22.01.1996

Herrn
Joachim Wehlack
Uhland-Str. 52

03050 Cottbus

Sehr geehrter Herr Wehlack,

da ich als Autor des o.g. Beitrages auch als der "Verursacher" Ihres Leserbriefes gelten muß, hat mir die Redaktion der CQDL Ihr Schreiben zur Kenntnis gebracht. Ich freue mich wirklich herzlich darüber, daß ich mit meinem Beitrag so eine interessante Grundsatzdiskussion angekurbelt habe! Ich habe mehrere Leserbriefe zu diesem Beitrag erhalten, die ich auch gerne alle beantworten will. Bitte haben Sie aber Verständnis dafür, daß ich mich in gewissen Dingen nicht in jedem Brief wiederholen will. Ich habe deswegen alle eingetroffenen Briefe sowie meine Antwortschreiben dazu fotokopiert und gebe sie gesammelt zu Ihren Händen. Ich möchte Sie daher bitten, die gesamte Korrespondenz zu lesen, ganz besonders den ausführlichen Brief, den ich an Dr. Kuers geschrieben habe.

Ihr Mißverständnis in Bezug auf meinen Artikel in der CQDL zeigt sich am deutlichsten in Ihrem Satz "Könnte es sein, daß dieser Ansatz unsäglich falsch ist, oder hat der Artikel gar nichts mit Amateurfunksatelliten zu tun"

Sie haben vollständig recht damit, daß die meisten Amateurfunksatelliten eine elliptische Bahn haben. Sie hätten sogar recht, wenn Sie sagen würden, daß *alle* Satelliten (genauso wie Planeten) eine elliptische Umlaufbahn haben. Auch die beiden Begriffe "Apogäum" und "Perigäum" haben Sie ganz offensichtlich richtig verstanden.

Und genau deshalb frage ich Sie: Wie sieht diejenige elliptische Bahn aus, bei der Apogäum und Perigäum nicht im Verhältnis 1: 10 wie in Ihrem Beispiel sondern im Verhältnis 1:1 stehen?

Nun, das ist doch..., halt, das ergibt ja ..., ja tatsächlich, nun haben Sie's: Das ergibt einen Kreis! Natürlich sind die Bezeichnungen Apogäum und Perigäum hier nicht mehr sonderlich zur Beschreibung geeignet, tatsächlich wird in der Mathematik ein Kreis aber als Spezialfall einer Ellipse angesehen, bei der die beiden Brennpunkte zusammenfallen. Mit anderen Worten: Ein Kreis ist eine Ellipse, und zwar unter allen Ellipsen, die man sich vorstellen kann, die einfachste!

Die physikalischen Bedingungen auf nicht kreisförmigen elliptischen Bahnen sind mathematisch ganz schön schwierig zu beschreiben. Das ist letztlich auch der Grund dafür, warum es so lange gedauert hat, bis schließlich Kepler (1571-1630) ihre richtige Beschreibung fand.

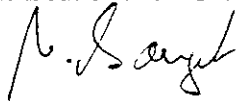
Weil der Kreis die einfachste denkbare Ellipse ist, eignet er sich besonders gut zum Studium bestimmter Eigenschaften von Satellitenbahnen. Z.B. ist die Bahngeschwindigkeit des Satelliten konstant, er hat einen konstanten Abstand vom Kraftzentrum u.s.w. Dieser Fall eignet sich also besonders gut zur Diskussion der Kräfteverhältnisse am Satelliten.

Weil der Kreis die einfachste aller Ellipsen ist, kann man sagen: Wer die physikalischen Bedingungen auf einer Kreisbahn nicht richtig verstanden hat, der wird dies auf nicht kreisförmigen elliptischen Bahnen erst recht nicht verstehen.

Das war der Grund dafür, warum ich die Kreisbahn als einfachsten Fall einer elliptischen Bahn als Beispiel für meine Erklärungen benutzt habe. Wie Sie dem übrigen Schriftverkehr entnehmen können, war meine Sorge, daß bereits hierüber Mißverständnisse entstehen können, absolut begründet.

Wie Sie sehen: Kreisbahnen sind Ellipsenbahnen. Und wenn auch die meisten Amateurfunksatelliten nicht kreisförmige elliptische Bahnen haben, warten Sie die nächsten Jahre einmal ab! Es gibt durchaus Stimmen unter den Funkamateuren, welche die Forderung nach geostationären Satelliten formulieren. Die haben dann eine kreisförmige Umlaufbahn. Für einem geostationären Satelliten (ähnlich wie diejenigen, die für Fernseh-Zwecke eingesetzt werden) bräuchte man keine Berechnungen anzustellen, wann er über den Horizont kommt und wie lange er sichtbar ist oder nicht. Er würde ungestört und zu jeder Zeit beliebig langen Funkverkehr zwischen all denjenigen Oms ermöglichen, welche sich in seiner Ausleuchtzone befinden. Das ist fast die halbe Erde!

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

24. Akt

Das Fazit

Ich kann mich noch gut meiner Anfangszeit als Funkamateurler erinnern. 1976 so rum ist das gewesen. Damals gab es eine mehrteilige Artikelserie in der CQDL, die Om Kawan wörtlich aus der amerikanischen QST übersetzt hatte und in der es um die Bedeutung des SWR im Amateurlerfunk ging. Soweit ich das nach meinem damaligen Ausbildungsstand beurteilen konnte, war der Inhalt des Artikels in physikalischer Hinsicht absolut korrekt. Er enthielt aber auch einige (vollkommen korrekt abgeleitete) provozierende Äußerungen in die Richtung, daß die Bedeutung des SWR im Amateurlerfunk allgemein überschätzt werde und man solle man ruhig funken und um das SWR brauche man sich nicht kümmern. Damals brach ein Sturm der Entrüstung in Form von Leserbriefen auf die CQDL ein, welcher aufzeigte, daß auch das SWR eins der unverstandenen Eier im Amateurlerfunk ist. Wie es richtig zu verstehen ist, stand schon im Artikel drin, wurde vielen Leuten allerdings erst in der dadurch angezettelten *Diskussion* klar.

Ebenso kann ich mich erinnern, daß in den 60er Jahren in der WIRELESS WORLD (einer populären englischen Elektronikzeitschrift mit wissenschaftlichem Anspruch) mal ein mehrteiliger Artikel zur Deutung der Maxwell'schen Gleichungen erschien. Damals wurde eine große Diskussion darüber vom Zaune gebrochen, welche physikalische Realität dem sog. Maxwell'schen Verschiebungsstrom zukommt. Und auch hier brachte erst die *Diskussion* viele Menschen dazu, ihre falschen Vorstellungen zu revidieren, obwohl im Artikel selber schon alles richtig formuliert gewesen war.

Obwohl ich mich selber nicht für sonderlich bedeutsam halte, sehe ich das, was in Zusammenhang mit meinem Artikel passiert ist, als in der gleichen Tradition stehend.

Es hat also fast den Anschein, als ob man ab und an durch provozierende Äußerungen mal die Menge wachrütteln müßte, damit möglichst viele möglichst viel lernen!

Der Trick besteht wohl darin, daß die Äußerung provozierend sein soll aber auch gleichzeitig fachlich richtig. Ich wünsche der Redaktion der CQDL für die Zukunft, daß Sie noch möglichst viele dieser Tricks findet.

Es ist sicher richtig, daß ich eine Diskussion angezettelt habe. Es wäre jedoch absolut unredlich, wenn ich behaupten wollte, die Antworten, die ich meinen Kritikern gegeben habe, seien mir alle nur so aus dem Handgelenk geflossen. Tatsächlich reicht es ja alleine nicht aus, etwas physikalisch richtiges zu sagen. Das hatte mein Artikel ja bereits getan. Bei der Diskussion geht es vielmehr darum, daß man *jedem* Kritiker *jedes* einzelne Argument auf eine Art und Weise widerlegt, die sicherstellt, daß er es auch wirklich begreift, warum sein Argument keines war. Das hat dazu geführt, daß ich selber auch wieder begonnen habe, mit Bekannten, meinen derzeitigen und ehemaligen Kollegen aber sogar mit meiner Frau über dieses Thema zu diskutieren, wobei letztere, weil sie von Physik keinen Schimmer hat, ein unschätzbar gutes Testobjekt war: Wenn ich ihr etwas erklärte und sie hat es begriffen, so konnte ich sicher sein, daß jeder, der von sich in Anspruch nehmen wollte, sich mit Physik auszukennen, es eigentlich auch verstehen müßte.

Für die auf hohem Niveau geführte Fachdiskussion und die Ratschläge, wie man dem einen oder anderen Argument begegnen müsse, möchte ich mich bedanken bei Dr. Klaus Krämer, Peter Reichert und Norbert Notthoff.

Groß Ippener, den 21.1.1996
Ulrich Bangert

Dipl.-Ing. Werner Föhse (DF 8 BJ)
Stoevesandtstr. 37
28309 Bremen

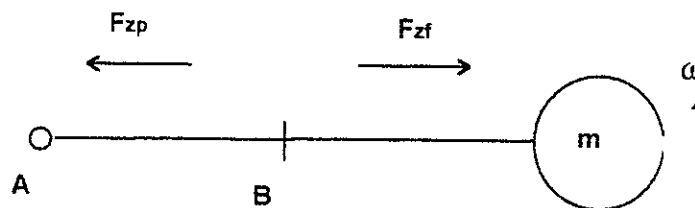
Herrn Ulrich Bangert
Ortholzer Weg 1
D 27243 Groß Ippener

Bremen den 6. Febr. 1996

Sehr geehrter Herr Bangert,

zunächst möchte ich mich für die zugeschickte Korrespondenz-Sammlung zum Satelliten-Thema bedanken.

In diesem Brief will ich aber nicht auf Satelliten eingehen, die einen Himmelskörper umkreisen, sondern ein von Ihnen (im 4. Akt, Seite 2, Absatz 2) angeführtes Beispiel aufgreifen:



In der Skizze soll A eine vertikal stehende Achse sein, an der ein Seil befestigt ist und das andere Ende des Seils soll mit der Masse m verbunden sein. Die Achse A wird angetrieben und läßt das gesamte System mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi n$ rotieren. Wird die Drehzahl n nun in kleinen Stufen gesteigert, wobei auf jeder Stufe $\omega = \text{konst}$ sein soll, so wird das Seil irgendwann reißen. Den Ort des Seilbruchs habe ich willkürlich angenommen und mit B bezeichnet.

Ich denke, daß wir bezüglich des Beispiels bis jetzt in unseren Auffassungen übereinstimmen.

Um das Seil zu zerreißen sind reale Kräfte erforderlich, welche an den Seilenden angreifen und das Seil an seiner schwächsten Stelle zerreißen. Diese Kräfte müssen zwangsläufig den gleichen Betrag, jedoch entgegengesetzte Richtung haben (Kraft und Gegenkraft). In meiner Skizze habe ich sie mit F_{zf} für Zentrifugalkraft und F_{zp} für Zentripetalkraft bezeichnet.

Setzt man die Richtung von F_{zp} positiv an, gilt die Gleichung: $F_{zp} + (-F_{zf.}) = 0$

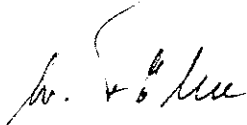
Im Moment des Seilbruchs werden beide Kräfte zu null, die Masse m verläßt die Kreisbahn und bewegt sich geradlinig entsprechend der Tangentialgeschwindigkeit V_{tang} .

Wenn es aber nach Ihrer Darstellung grundsätzlich keine Zentrifugalkraft gibt, so dürfte es auch keine Zentripetalkraft geben. Das Gesetz Kraft = Gegenkraft wäre sonst verletzt.

Nun meine Frage: Wenn es keine Zentrifugalkraft gibt, welche Kräfte zerreißen dann das Seil ? Abschließend würde ich gerne erfahren, ob die von Ihnen vertretene Ansicht auch in der wissenschaftlichen Literatur wiederzufinden ist. Für entsprechende Literaturhinweise wäre ich Ihnen dankbar.

Ihrer Antwort sehe ich mit großem Interesse entgegen und bedanke mich im voraus für Ihre Mühe.

Mit freundlichen Grüßen



(Werner Föhse)

Ulrich Bangert
DF6JB @ DBOCL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
08.02.1996

Herrn
Dipl.-Ing. Werner Föhse
Stoevesandt-Str. 37
28308 Bremen

Sehr geehrter Herr Föhse,

vielen Dank für Ihren freundlichen Brief vom 6. 2. 1996. Die Diskussion ist offensichtlich noch nicht ganz vorbei! Bitte beachten Sie dazu auch noch die Anlage mit weiterer Korrespondenz.

Sie berufen sich in Ihrem Schreiben darauf, daß das Newtonsche Reaktionsprinzip, welches im saloppen Sprachgebrauch als dasjenige von Kraft und Gegenkraft bezeichnet wird, in dem von Ihnen aufgeführten Beispiel geradezu beweise, daß es eine Zentrifugalkraft geben müsse, weil es sonst auch keine Zentripetalkraft geben könne. Mit anderen Worten: Sie stellen sich auf den Standpunkt, daß meine Argumentation dem Reaktionsprinzip widerspreche.

Das ist nun keineswegs der Fall, man muß nur das Reaktionsprinzip *richtig* anwenden. Gott sei Dank gibt es hinsichtlich der Formulierung des Reaktionsprinzips keine Mißverständnisse in der gängigen Literatur und wir greifen uns daher eine Formulierung aus einem Standardwerk der Hochschulliteratur. Dort findet man folgende Formulierung des Reaktionsprinzips:

Wenn die Kraft K , die auf einen Körper wirkt, ihren Ursprung in einem *anderen* Körper hat, so wirkt auf *diesen* die entgegengesetzt gleiche Kraft $-K$.

Gerade bei so scheinbar einfachen Dingen muß man aufpassen, daß man nichts verkehrt macht, weil ja alles so einfach erscheint. Nehmen wir uns ein einfaches Beispiel: Ich halte einen Körper der Masse m , auf den daher eine Gewichtskraft von $m \cdot g$ wirkt, in meiner Hand und zwar in einer konstanten Position. Da der Körper nun seinen Bewegungszustand nicht verändert, sage ich aufgrund des ersten Newton'schen Axioms: Es handelt sich um einen kräftefreien Körper. Ganz klar werden Sie sagen, es wirkt auf den Körper die Schwerkraft nach unten und ich bewirke vermittels meiner Hand eine entgegengesetzte nach oben gerichtete Kraft. Dabei sind wir beide noch exakt der gleichen Ansicht.

Der Fehler Ihres gedanklichen Ansatzes besteht nun darin, daß Sie vermutlich ganz schnell schließen würden, diejenige Kraft, welche ich mittels meiner Hand auf den Körper bewirke, sei die Gegenkraft zur Gravitation, habe ich nicht recht? Nun das ist aber falsch! Warum ist das falsch? Weil beide Kräfte auf den *gleichen* Körper wirken, wohingegen das Reaktionsprinzip ausdrücklich sagt, daß eine Gegenkraft auf einen *anderen* Körper wirkt.

Unser einfaches Beispiel muß man nämlich folgendermaßen interpretieren: Es gibt einen Körper der Masse m und es gibt einen zweiten Körper, nämlich die Erde. Die Gravitationskraft auf den Körper der Masse m hat ihren Ursprung im Körper "Erde". Das Reaktionsprinzip sagt für diese beiden Körper: Wenn die Erde (Körper 1) den Körper der Masse m (Körper 2) mit einer Kraft $m \cdot g$ anzieht, so wirkt auf die Erde (Körper 1) eine entgegengesetzt gerichtete Kraft der Größe $-m \cdot g$.

Das ist für uns gar keine außergewöhnliche Erkenntnis, wissen wir doch, daß die Gravitation nicht nur in eine Richtung wirkt. Die Erde bewirkt eine Gravitationskraft auf den Körper der Masse m und umgekehrt bewirkt der Körper der Masse m eine Gravitationskraft auf die Erde. Diese beiden Kräfte bilden ein Kraft/Gegenkraftpaar, weil sie exakt den Forderungen des Reaktionsprinzips genügen. Nun ist es aber doch so, daß ich zweifelsfrei mit meiner Hand auch eine Kraft $m \cdot g$ auf den Körper bewirke, wo ist denn dazu die Gegenkraft? Das ist einfach diejenige, um die sich meine (eigentlich so schon zu große) Gewichtskraft vergrößert hat, weil ich den Körper in der Hand halte. Sie wirkt auf die Erdoberfläche. Auch hier ist wieder das Kriterium des Reaktionsprinzips erfüllt, weil diejenige Kraft, welche ich auf den Körper der Masse m bewirke, auf eben diesen Körper wirkt und die Gegenkraft auf einen anderen Körper, nämlich die Erde. Das hatte schon Dr. Kuers in seinem ersten Schreiben richtig zum Ausdruck gebracht: Damit ich überhaupt Kräfte auf Körper bewirken kann, muß ich mich irgendwo gegen abstützen, und an denjenigen Körpern, gegen die ich mich abstütze, treten dann die entsprechenden Gegenkräfte auf.

Wie Sie sehen, war das schon eine komplizierte Sache, bei der insgesamt vier Kräfte eine Rolle spielten, obwohl es am Anfang so einfach aussah. Machen wir es uns daher (scheinbar) einfacher, indem wir nun einen Fall betrachten, bei dem die Schwerkraft keine Rolle spielt, weil wir von horizontal gerichteten Kräften und Bewegungen reden.

An einer Mauer befestigen wir eine Haken und ziehen in horizontaler Richtung an diesem Haken mit der Kraft F . Ohne Zweifel bewirke ich die Kraft F auf den Haken und ohne Zweifel gibt es eine Gegenkraft dazu, aber wo tritt diese auf? Nicht am Haken! Die Gegenkraft ist vielmehr diejenige, mit der ich mich gegenüber einem anderen Körper, nämlich dem Fußboden abstützen muß. Wenn ich mit konstanter Kraft am Haken ziehe, so stelle ich hinsichtlich des Hakens keine Bewegungsänderung fest. Also muß am Haken neben meiner auch noch eine zweite entgegengesetzt gerichtete Kraft ansetzen, eine sog. Kompensationskraft. Diese kommt im Beispiel dadurch zustande, daß meine Kraft die Mauer wie eine (wenig elastische) Feder "verbiegt" und sie wieder in ihren Ruhezustand zurückkehren möchte. Auch dazu gibt es wieder eine Gegenkraft, denn damit die Mauer sich "verbiegen" kann, muß sie irgendwo "eingespannt" sein, z.B. fest mit dem Fußboden verbunden. An dieser "Einspannstelle" tritt die Gegenkraft zur Kompensationskraft auf.

Nun befestigen wir an dem Haken ein Seil und ziehen daran anstatt unmittelbar am Haken. Wie man sofort sieht, ist das Seil nichts anderes als eine "Verlängerung" meiner Hand, ein Mittel zur Kraftvermittlung, welches an der Physik des Beispiels nichts ändert. Auch hier tritt natürlich wieder eine Gegenkraft auf und zwar erneut an anderen Körpern (Fußboden, Erdoberfläche) Charakteristisch für das Beispiel ist es, daß auch hier wieder vier Kräfte eine Rolle spielten.

Ich gebe zu, daß in den beschriebenen Fällen, so einfach sie auch sein mögen, das Reaktionsprinzip schwerer zu erkennen ist, weil man sich ja auf den Standpunkt stellen könnte, Erdoberfläche, Fußboden und Mauer seien in Wirklichkeit ja mechanisch miteinander verbunden und man könne insofern nicht von "unterschiedlichen" Körpern sprechen. Diesem Argument kann man dadurch begegnen, daß ich mich gegenüber einem anderen Körper abstütze, der vom

Fußboden hinsichtlich horizontaler Kräfte vollständig entkoppelt ist, z.B. einem reibungslos gelagerten Wagen. Auf diesen Wagen setze ich mich nun und ziehe an dem Seil. Würde die *Gegenkraft* in diesem System durch das Seil vermittelt, so hätten wir bereits für das System Mensch-Seil-Haken ein Kräftegleichgewicht von *Kraft* und *Gegenkraft* (tatsächlich haben wir ein Gleichgewicht von Kraft und Kompensationskraft) und nichts würde als Folge des Ziehens passieren. Tatsächlich beobachten wir etwas anderes: Um am Seil mit der Kraft F ziehen zu können, muß ich eine Gegenkraft auf den Wagen bewirken, auf dem ich sitze (einen anderen Körper), wodurch dieser eine beschleunigte Bewegung in Richtung auf den Haken ausführt.

Nun übertragen wir diese Erkenntnisse auf Ihr Beispiel: Natürlich tritt da eine Gegenkraft zur Zentripetalkraft auf, welche auf den Körper notwendig ist, um ihn auf einer Kreisbahn zu halten. Aber das kann nicht die Zentrifugalkraft sein, weil diese ja angeblich wie die Zentripetalkraft auf den *gleichen Körper* der Masse m wirken soll. Die Gegenkraft zur Zentripetalkraft tritt vielmehr in der *Lagerung der Achse A* auf! Weil diese beiden Kräfte (die Zentripetalkraft auf den Körper und die entgegengesetzte Kraft im Lager, einem anderen Körper) ein Reaktionskräftepaar bilden, ist es interessanterweise gerade das Reaktionsprinzip, aus dem sich ableiten läßt, daß die Zentrifugalkraft keine reale sondern eine Scheinkraft ist: Genau deswegen, weil sich zu ihr keine entgegengesetzt gleich große Gegenkraft finden läßt.

Das ist genau der Unterschied zu den oben beschriebenen statischen Beispielen: Dort hatten wir es immer mit einer geradzahligen Anzahl von Kräften zu tun, wobei immer zwei Kräfte ein Reaktionskräftepaar bildeten. Für Ihr Beispiel haben wir nun auch ein Reaktionskräftepaar gefunden, nämlich Zentripetalkraft und Lagerkraft. Damit die angebliche Zentrifugalkraft (eine dritte Kraft in diesem System) eine Gegenkraft (und damit eine reale Kraft!) sein könnte, müßten wir zu ihr eine vierte Kraft in diesem System angeben können, welche mit der Zentrifugalkraft ein Reaktionskräftepaar bildet. Diese darf nicht am Körper der Masse m angreifen (tut ja angeblich schon die Zentrifugalkraft) sondern muß am *anderen Körper* angreifen, sprich: der Achse. Da die Zentrifugalkraft ja nach außen gerichtet sein soll, muß die gesuchte vierte Kraft auf die Achse entgegengesetzt nach außen gerichtet sein, damit sie mit ihrer Reaktionskraft "Zentrifugalkraft" die Kraftsumme 0 ergeben kann, mit anderen Worten: Wir müßten eine abstoßende Kraft zwischen Achse und Körper feststellen, was gegen jegliche Erfahrung ist.

Und welche Kraft zerreißt das Seil? Die höchst reale Zentripetalkraft, welche mit steigender Winkelgeschwindigkeit immer größer werden muß, um den Körper auf einer Kreisbahn zu halten.

Hinsichtlich der von Ihnen angemahnten Stellen aus der "wissenschaftlichen" Literatur: Man muß gar nicht so hoch greifen. Da es sich um ein Thema handelt, welches bereits in der Schule abgehandelt wird, reicht ein Blick in ein gutes Schulbuch vollständig aus. Das möchte ich Ihnen nun nicht nur benennen sondern unmittelbar als Photokopie mitliefern. Hier finden Sie bis auf die markierten Stellen eine nahezu perfekte Darstellung der Zusammenhänge. Hier noch meine Anmerkungen dazu:

*1: Dies ist ein außerordentlich schlecht gewähltes Beispiel, weil es nicht erkennen läßt, ob die Autoren durch ihre Frage den Schüler aufs Glatteis führen wollen oder ob sie an dieser Stelle nicht selber einem Denkfehler zum Opfer gefallen sind.

*2: Zunächst mal sind die Bilder a) und b) vertauscht. Auch hier wird aber wieder Schindluder mit der Vorstellung vom "bewegten Beobachter" getrieben. Bitte lesen Sie dazu noch einmal meine Überlegungen, die ich in meinem ersten Schreiben an Dr. Kuers zu Papier gebracht habe.

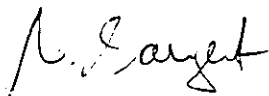
*3: Was die Autoren da geschrieben haben, ist zwar alles richtig. Die Konsequenz hätte man aber noch deutlicher formulieren können: Wenn ich vernünftig Physik betreiben will mit all den schönen Erhaltungssätzen, welche die Physik gefunden hat, dann *muß* ich dafür sorgen, daß ich mich als Beobachter in einem Inertialsystem befinde, da sie nur da gelten! Das zeichnet ja gerade ein Inertialsystem vor demjenigen des mitrotierenden Beobachters aus! Es ist also nicht so, daß wir als mitrotierender Beobachter gleich gut Physik betreiben können! Und in diesem Sinne ist dann auch die Wahl des Bezugssystems nicht in dem Maße beliebig, wie es an anderer Stelle gelegentlich formuliert wird. Das ganze ist vielmehr als Warnung zu verstehen: Willst du Physik betreiben, so such dir gefälligst zunächst ein Inertialsystem! Und um es noch einmal zu wiederholen: In einem Inertialsystem tritt keine Zentrifugalkraft auf.

Ein hübsches Beispiel, daß selbst große Geister falschen Vorstellungen von Kräften aufsitzen können, ist das folgende:

In seinem weltberühmten Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln wies der deutsche Physiker Otto von Guericke die Existenz des barometrischen Luftdrucks nach. Der Versuch lief dergestalt ab, daß die Halbkugeln aufeinandergelegt und dann so weit evakuiert wurden, wie dies mit den damaligen technischen Mitteln möglich war. Anschließend wurde an jede Halbkugel ein Sechsspänner angespannt und die Pferde auf beiden Seiten mit Peitschen angetrieben. Man findet genau diese Szene auf einigen wunderbaren alten Stichen dargestellt. Guericke brüstete sich nach dem Experiment damit, daß der Luftdruck die Halbkugeln dermaßen fest zusammengedrückt habe, daß die Kraft von zwölf (12) Pferden nicht ausgereicht habe, sie zu trennen.

Da die Halbkugeln sich (bis auf geringe Schwankungen, welche dadurch zustande kamen, daß die Kräfte wegen der Natur des Experiments zeitlich nicht konstant waren) horizontal nicht bewegten, hätte man den einen Sechsspänner aber genauso auch durch eine massive Wand ersetzen können. Tatsächlich wirkte im Experiment also nur die Kraft *eines* Sechsspanners. Wie Sie sehen, kann man selbst trotz solcher groben Fehler ein großer berühmter Physiker werden! (siehe dazu auch das Schulbuchbeispiel von den Jungen auf Rollschuhen) Ich würde mich freuen, wieder von Ihnen zu hören.

Mit freundlichen Grüßen



(Ulrich Bangert, DF6JB)

dem Kraftstoß, den er vom Eisen erfährt, da die beiden Körper ein abgeschlossenes System bilden:

$$\vec{F}_1 \Delta t = -\vec{F}_2 \Delta t$$

Die Zeit Δt ist für beide Körper gleich. Damit folgt für die wirkenden Kräfte:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Wenn ein Körper auf einen anderen eine Kraft \vec{F} ausübt, so erfährt er von ihm die entgegengerichtete gleiche Kraft $\vec{F}_g = -\vec{F}$.

Kräfte treten also immer paarweise auf. Zu jeder wirkenden Kraft \vec{F} gehört eine Gegenkraft $\vec{F}_g = -\vec{F}$.

Diese Aussage über das paarweise Auftreten von Kräften hat *Newton* bei seiner Begründung der Mechanik als Gleichheit von *actio* und *reactio* ausgesprochen (3. Newtonsches Axiom). In unserem Aufbau ist der Satz kein Axiom, sondern wurde aus dem Erhaltungssatz der Bewegungsgröße gefolgert.

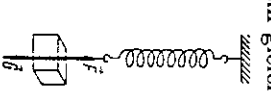
Man muß genau beachten, daß die Gegenkraft am anderen Körper angreift. Die Anziehungskraft des Magneten greift im Eisen an, die Gegenkraft im Magneten.

Beispiele für Kraft und Gegenkraft:

1. Ein Stein wird von der Erde angezogen. Mit gleich großer Kraft zieht der Stein die Erde an.
2. Ein Wagen erfährt durch ein Pferd eine Kraft. Die gleich große Gegenkraft übt der Wagen auf das Pferd aus. (Wie kommt es, daß sich der Wagen trotzdem in Bewegung setzen kann?)
3. Die Schraube eines Schiffes übt eine Kraft auf das Wasser aus. Die Gegenkraft des Wassers auf das Schiff treibt es voran.

Man darf die Gegenkraft nicht verwechseln mit einer Kraft, die am gleichen Körper angreift, entgegengerichtet gleich ist und somit die Wirkung einer Kraft aufhebt.

Beispiel: Auf einen Körper, der an einer Feder in Ruhe hängt, wirken zwei Kräfte. Das nach unten gerichtete Gewicht wird aufgehoben durch die Kraft der Feder, die in gleicher Größe nach oben wirkt (Bild 1.3-23). Diese Federkraft ist nicht die Gegenkraft zum Gewicht. Wir können sie als *Kompensationskraft* bezeichnen. Sie greift am gleichen Körper an und hebt die Wirkung des Gewichtes auf.



Aufgabe 1.3/11: Gib für das Gewicht und für die kompensierende Federkraft die jeweilige Gegenkraft an.

Wenn an einem Körper eine Kraft wirkt und auch die Kompensationskraft, so wird er nicht beschleunigt. Die Wirkung der beiden Kräfte heben sich auf, die Bewegungsgröße des Körpers kompensiert.

Bild 1.3-23
Kompensationskraft. Das Gewicht des Körpers wird durch die entgegengesetzte Kraft der Feder kompensiert.

A

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Impulse stets Null.

A *Aufgabe 1.3/10:* Gib Beispiele für die Gültigkeit des Impulssatzes.

c) Kraft und Gegenkraft

Wir wollen das System, das aus zwei Körpern besteht, noch genauer untersuchen.

V *Versuch 1.3/18:* Zwei Jungen stehen sich auf Rollschuhen gegenüber und halten die Enden eines Bandes.

- a) Beide Jungen ziehen mit (etwa) gleicher Kraft am Band.
- b) Nur ein Junge zieht, während der andere das Band festhält.

Beobachtung: Die Jungen werden aufeinander zu beschleunigt. Es zeigt sich kein Unterschied, ob beide ziehen oder nur einer.

V *Versuch 1.3/19:* In einem Wassergefäß lassen wir zwei Korken schwimmen. Auf den einen legen wir einen Magneten, auf den anderen ein Stück unmagnetisches Eisen (Bild 1.3-22).

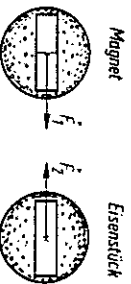
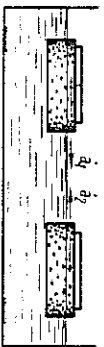


Bild 1.3-22. Kraft und Gegenkraft beim Anziehen eines Eisensüdkes durch einen Magneten

Beobachtung: Die beiden Korken bewegen sich aufeinander zu. Es übt also nicht nur der Magnet eine Kraft auf das Eisen aus, sondern auch das Eisen auf den Magneten. Aus der gleichen Beschleunigung erkennen wir, daß die beiden Kräfte gleich groß sind.

Dieses Ergebnis können wir auch aus dem Impulssatz folgern. Der Kraftstoß $\vec{F}_1 \Delta t$, den der Magnet auf das Eisen ausübt, muß entgegengesetzt gleich sein

ändert sich nicht. Dadurch ist die Statik gegenüber der Dynamik gekennzeichnet, daß jede auftretende Kraft durch eine Kompensationskraft aufgehoben wird. Wir können damit das Verfahren der statischen Kraftmessung besser verstehen. Es wird nicht die Kraft an ihrer dynamischen Wirkung gemessen, sondern an der kompensierenden Vergleichskraft.

1.3.9. Zentralkräfte

a) Die Zentrifugalkraft

Für einen Körper mit der konstanten Masse m ist die auf ihn wirkende Kraft F proportional zu seiner Beschleunigung a : $F = ma$. Bisher haben wir nur den Fall betrachtet, daß die Kraft und damit die Beschleunigung die gleiche Richtung haben wie eine schon vorhandene Bewegung des Körpers. Dann ändert die Kraft nur den Betrag der Geschwindigkeit v und der Bewegungsgröße $m \cdot v$ nicht aber ihre Richtung. Es tritt eine Bahnbeschleunigung a_n auf. Wir haben (siehe 1.2.7) schon festgestellt, daß bei der Kreisbewegung Beschleunigungen senkrecht zur Bewegungsrichtung, d. h. Radialbeschleunigungen, vorkommen. Diese Bewegung wollen wir nun hinsichtlich der auftretenden Kräfte untersuchen.

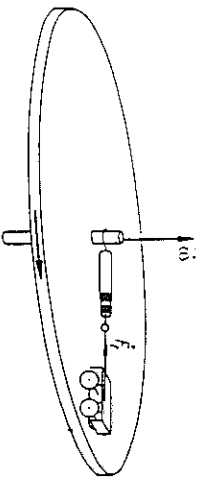


Bild 1.3-24. Zentrifugalkraft. Bei der Drehung übt die Feder eine Kraft auf den Körper in Richtung auf Z aus.

Beobachtung: Der Kraftmesser wird bei der Bewegung ausgezogen, die Feder übt auf den Körper eine Kraft aus.

Ergebnis: Um einen Körper auf einer Kreisbahn zu halten, muß man auf ihn eine Kraft ausüben, die zum Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist. Wir nennen sie *Zentrifugalkraft*) oder Radialkraft.

Man muß beachten, daß der Körper während der Rotation eine Eigenrotation um seinen Schwerpunkt ausführt. Denken wir uns die gesamte Masse des Körpers in seinem Schwerpunkt zusammengezogen, so verliert die Rotation des Körpers um den Schwerpunkt ihre Bedeutung und wir können uns ausschließlich auf die Untersuchung der Kraftwirkungen auf der Kreisbahn beschränken. Wir haben in diesem Fall den Körper als Massenpunkt idealisiert: Eine solche Idealisierung heißt in der Physik eine *Modellvorstellung*.

Bei der Untersuchung der Radialkraft benutzen wir das Modell des Massenpunktes.

) *petere* (lat.), streben nach.

1.3. Dynamik

Eine Änderung der Versuchsbedingungen zeigt, daß die Größe der Zentrifugalkraft abhängt von der Umlaufdauer T (oder der Frequenz $\nu = \frac{1}{T}$ bzw. $\omega = 2\pi\nu$), von der Masse m des bewegten Körpers und von seiner Entfernung r vom Zentrum. Diese Abhängigkeiten wollen wir genauer untersuchen.

Versuch 1.3/21: Den Faden des Versuchs zum Nachweis der Radialkraft führen wir durch ein Rohr der in Bild 1.3-25 dargestellten Form. Dadurch bleibt beim Herumschwenken des Körpers der Kraftmesser fest und wir können die Größe der Radialkraft messen. Wir ändern nacheinander die Masse des drehenden Körpers, den Bahnradius und die Frequenz.

Aufgabe 1.3/12: Ein Körper mit der Masse $m = 2$ g wird auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 30$ cm bewegt. Wir messen verschiedene Umlaufzeiten T und die zugehörige Radialkraft F_r :

$10T$ (s)	11	10	7	6	5
F_r (p)	2	2,5	5	6,5	10

Werte die Mehreihe aus zur Bestimmung der Abhängigkeit zwischen F_r und T .

Ergebnis der Versuche: Die Zentrifugalkraft F_r ist direkt proportional zur Masse m des sich drehenden Körpers und zum Radius r der Kreisbahn. Sie ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Umlaufdauer T : $F_r \sim \frac{m}{T^2}$.

Den Proportionalitätsfaktor wollen wir theoretisch herleiten. Die Radialbeschleunigung der gleichmäßigen Kreisbewegung ist $a_r = -\omega^2 r$ (s. 1.2.7). Setzen wir sie in die Grundgleichung der Mechanik $F = ma$ ein (m ist konstant), so erhalten wir die Radialkraft $F_r = -m\omega^2 r$ mit $F_r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$. Der gesuchte Proportionalitätsfaktor ist $4\pi^2$.

Die Zentrifugalkraft, die den Körper auf der Kreisbahn hält, hat den Betrag

$$F_r = m\omega^2 r \text{ oder } F_r = m \frac{v^2}{r}$$

Aufgabe 1.3/13: Bestimme aus der Mehreihe der Aufgabe 1.3/12 den Wert des Proportionalitätsfaktors.

Aufgabe 1.3/14: Ein Körper bewegt sich gleichmäßig auf einer vertikalen Kreisbahn. Zeichne im höchsten, im tiefsten Punkt die auftretenden Kräfte (und ihre Gegenkräfte) ein.

Aufgabe 1.3/15: Ein Seilenderball ($m = 0,8$ kg) wird mit dem Arm ($l = 70$ cm) in einer Frequenz $\nu = 0,8$ Hz auf einem vertikalen Kreis herumgeschleudert. Berechne die Kraft, die auf ihn im höchsten und im tiefsten Punkt seiner Bahn ausgeübt werden muß. Wie fliegt der Ball fort, wenn man ihn losläßt und wenn damit die Kraft zu wirken aufhört?

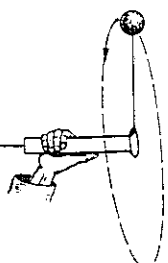


Bild 1.3-25. Einfache Anordnung zur Untersuchung der Zentrifugalkraft. Durch Hochschwenken des Erbschneiders fällt sich der Bahnradius verkleinern.

A Aufgabe 1.3/16: Ein Jaden ($l=0,84\text{ m}$) kann 8 kp tragen, bevor er reißt. An ihm wird ein Körper ($m=2\text{ kg}$) auf einem vertikalen Kreis herumgeschleudert. Berechne die Frequenz und die Bahngeschwindigkeit, für die der Faden reißt.

Die gleichmäßige Kreisbewegung ist eine Bewegung mit reiner Radialkraft. F_r . Diese ändert ständig die Richtung, nicht aber den Betrag der Geschwindigkeit. Die bei einer allgemeinen Bewegung angreifende Kraft können wir zerlegen in eine Komponente F_v in Richtung der Bahn und eine zweite F_r senkrecht dazu: $\vec{F} = \vec{F}_v + \vec{F}_r$. Die erste ändert den Betrag der Geschwindigkeit, die zweite ihre Richtung; die erste bewirkt eine Bahnbeschleunigung; die zweite eine Radialbeschleunigung.

b) Kraft und Bezugssystem; die Zentrifugalkraft

V Versuch 1.3/22: Auf der Plattform eines Fahrstuhles steht ein frei beweglicher Wagen. Wir beschleunigen den Tisch nach rechts.

Beobachtungen: 1. Der mitbewegte Beobachter stellt fest, daß sich der Wagen beschleunigt nach hinten bewegt. Der Wagen erfährt also (relativ zum Tisch) eine Kraft $F = ma$. Um ihn festzuhalten, muß man eine kompensierende Kraft in entgegengesetzter Richtung ausüben (Bild 1.3-26b).

2. Der nicht mitbewegte Beobachter stellt fest, daß der Tisch eine Beschleunigung a erfährt. Für ihn bleibt der Wagen (wegen seiner Trägheit) in Ruhe, erfährt also keine Kraft (Bild 1.3-26a). Wird der Wagen am Tisch festgebunden, so erfährt er auch eine Kraft, die ihm die Beschleunigung a verleiht.

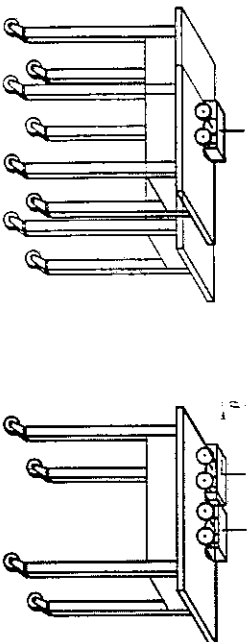


Bild 1.3-26
a) Für den ruhenden Beobachter bleibt der Wagen wegen seiner Trägheit in Ruhe. Er erfährt keine Kraft.
b) Der mitbewegte Beobachter stellt eine Beschleunigung des Wagens und damit eine Kraft fest.

a)

b)

Auf die Frage, ob der bei diesem Versuch am Anfang beschleunigte Wagen eine Kraft erfährt, geben die beiden Beobachter eine unterschiedliche Antwort. Der mitbewegte Beobachter mißt relativ zu seinem Bezugssystem eine Beschleunigung, für ihn liegt also eine Kraft $F = ma$ vor. Der ruhende Beobachter stellt keine Änderung der Bewegungsgröße des Wagens fest, es liegt also keine Kraft vor. Welches der beiden Bezugssysteme ist nun das „richtige“? Zur Klärung dieser Frage stellen wir einige weitere Versuche an.

A Aufgabe 1.3/17: Hänge einen Körper an einen Kraftmesser. Bewege ihn zuerst beschleunigt und dann gleichförmig nach oben und entsprechend nach unten. Deute die Beobachtungen a) im mitbewegten und b) im ruhenden Bezugssystem.

Aufgabe 1.3/18: Wie ändert sich das Gewicht eines Menschen in einem beschleunigten Fahrstuhl, in einer abgeschlossenen Kabine, beim Fallschirmabsprung und in einer frei fallenden Raumkapsel?

Deute die Vorgänge jeweils im mitbewegten und im ruhenden System.

V Versuch 1.3/23: Auf einer Kreisscheibe sind auf einem Durchmesser kleine Vertiefungen angebracht. In sie legen wir Kugeln. Dann lassen wir die Scheibe mit zunehmender Frequenz rotieren.

Beobachtung: Bei einer bestimmten Umdrehungszahl fliegen die äußersten Kugeln fort. Erklärt man die Frequenz, so werden auch die anderen nicht mehr gehalten. — Der mitbewegte Beobachter stellt eine Kraft fest, die die Kugeln nach außen zieht. Für den äußeren Beobachter bewegen sich die Kugeln im Augenblick des Fortfliegens tangential und kraftfrei.

V Versuch 1.3/24: Auf einem Drehtisch befindet sich eine bewegliche Kugel. Damit sie sich auf ihrem Platz mitdreht, muß sie durch einen Faden mit der Mitte verbunden werden.

Beobachtungen: 1. Der mitbewegte Beobachter stellt eine Kraft fest, die die Kugel nach außen zieht. Er bezeichnet sie als Zentrifugal- oder Fliehkraft. Wenn der Faden eine kompensierende Kraft zur Mitte ausübt (Zentripetalkraft), so bleibt die Kugel in Ruhe (Bild 1.3-27a).

2. Der außenstehende Beobachter erkennt (z. B. am Auszug der Feder), daß ständig eine Kraft auf die Kugel ausgeübt wird (Zentripetalkraft). Sie bewirkt die Radialbeschleunigung der Kugel auf der Kreisbahn (Bild 1.3-27b).



Bild 1.3-27
a) Für den mitbewegten Beobachter ruht die Kugel. Die auf sie wirkenden Kräfte kompensieren sich.
b) Für den ruhenden Beobachter wird die Kugel zur Mitte beschleunigt (Radialbeschleunigung).

Die zum Mittelpunkt gerichtete Kraft wird von beiden Beobachtern in gleicher Größe wahrgenommen. Der mitgedrehte Beobachter stellt zusätzlich noch die Zentrifugalkraft fest. Für den ruhenden Beobachter ist eine solche nicht feststellbar.

Aufgabe 1.3/19: Besondere die Vorgänge beim Reiben des Fadens (Versuch 1.2/24) in bezug auf beide Systeme.

Aufgabe 1.3/20: Untersuche die Kräfte, die beim Kurvenfahren auf den Fahrer eines Wagens a) relativ zum Wagen und b) relativ zur Straße wirken.

Wir wollen eine Kraft *Wechselwirkungskraft* nennen, wenn sie eine Gegenkraft besitzt. Die Zentripetalkraft ist eine Wechselwirkungskraft. An der Hand, die den Stein herumzuschleudert, spürt man die vom Stein darauf ausgeübte Gegenkraft. Die Zentrifugalkraft, die nur der mitbewegte Beobachter feststellt, hat dagegen keine Gegenkraft. Es gibt keinen zweiten Körper, an dem eine der Zentrifugalkraft entgegengesetzte Kraft angreift. Sie ist eine *Scheinkraft* oder *Trägheitskraft*.

Mit dieser Festsetzung haben wir die Trägheitskräfte von den Wechselwirkungskräften unterschieden. Damit haben wir gleichzeitig auch die Frage nach dem „richtigen“ Bezugssystem wieder aufgegriffen. Bei unseren Versuchen hat nur der ruhende Beobachter die Möglichkeit, ausschließlich Wechselwirkungskräfte festzustellen; der bewegte dagegen beobachtet auch Trägheitskräfte, wenn sich sein System beschleunigt bewegt gegenüber dem anderen. Woran kann man aber feststellen, ob man in einem System ist, in dem man nur Wechselwirkungskräfte wahrnimmt? Man muß prüfen, ob zu allen Kräften die Gegenkräfte existieren. Wenn dies für alle aufeinanderen Kräfte gilt, so gilt auch der Impulsatz und der Erhaltungssatz der Bewegungsgröße. In einem solchen System beschreibe ein frei beweglicher Körper, der ganz sich selbst überlassen ist, wegen seiner Trägheit eine gleichförmige Bewegung. Solche besonderen Systeme nennen wir *Inertialsysteme*.

Dipl.-Ing. Werner Föhse (DF 8 BJ)
Stoevesandtstr. 37
28309 Bremen

Herrn Ulrich Bangert
Ortholzer Weg 1
D 27243 Groß Ippener

Bremen den 19. Febr. 1996

Sehr geehrter Herr Bangert,

vielen Dank für Ihr Schreiben vom 8. Febr. 96 und die beigelegte Fotokopie aus einem Physikbuch.

Neben der von Ihnen erhaltenen Literaturstelle habe ich mir noch zwei weitere Physikbücher [1], [2] ausgeliehen. Beide Bücher wurden 1993 herausgegeben, so daß sie wohl auf dem neuesten Stand sind. Das Buch von Gerthsen/Vogel hatten Sie übrigens auch schon in Ihrer Korrespondenz-Sammlung erwähnt.

Eine erste Durchsicht dieser Literatur hat mir gezeigt, daß in beiden Werken auch von der Zentrifugalkraft die Rede ist. Sie wird als Trägheitskraft/Scheinkraft definiert und nur dann berücksichtigt, wenn ein Nicht-Inertialsystem zugrunde gelegt wird. Insofern ist Ihre Aussage „In einem Inertialsystem tritt keine Zentrifugalkraft auf“ korrekt.

Wie man in [1] S. 128/129 und [2] S. 49/50 nachlesen kann, gibt es offensichtlich keine bindende Vorschrift, welche es verbietet, z.B. für die Satellitenbewegung ein Nicht-Inertialsystem zu verwenden. Es heißt vielmehr, daß Bezugssysteme nach ihrer Zweckmäßigkeit gewählt werden können. Was als zweckmäßig angesehen wird, ist dann eine persönliche Entscheidung.

Demnach wäre es zulässig, ein rotierendes Bezugssystem -in dem der Satellit relativ zum Bezugssystem in Ruhe ist- zu verwenden. In einem solchen System ist der Satellit immer noch der zum Erdmittelpunkt gerichteten Gravitationskraft ausgesetzt. Damit die Beschleunigung des Satelliten gegenüber dem rotierenden Bezugssystem Null wird, muß jetzt die der Gravitationskraft entgegengesetzte Zentrifugalkraft (als Trägheitskraft) eingeführt werden.

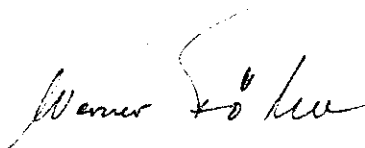
Unter diesen Gesichtspunkten komme ich zu dem Schluß, daß die ganze Diskussion auf die Frage nach dem jeweils verwendeten Bezugssystem hinausläuft.

Zu Ihrer Information habe ich einige Seiten aus [1] und [2] kopiert und diesem Brief beigelegt.

[1] Physik, David Halliday, Professor of Physics, University of Pittsburgh
Robert Resnick, Professor of Physics, Rensselaer Polytechnic Institute
Aus dem Amerikanischen übersetzt von Joachim Streubel,
Prof. an der Fachhochschule Bochum und
Bernd Schaarschmidt, Prof. an der Freien Universität Berlin.
Walter de Gruyter, Berlin 1993, ISBN 3-11-010640-X

[2] Physik, Christian Gerthsen,
Helmut Vogel, Prof. Dr., Lehrstuhl für Physik an der TU München
Springer-Verlag 1993, 17. Auflage, ISBN 3-540-56638-4, 17. Auflage

Mit freundlichen Grüßen



(Werner Föhse)

Anlagen: Aus [1] S. 127,128,129,723,724,725

Aus [2] S. 14,15,48,49,50,51

bekommt die Normalkraft neben der vertikalen zusätzlich eine horizontale Komponente, die bei ausreichender Überhöhung keine zusätzliche Zentripetalkraft nötig macht.

Der für eine Kurve ausreichende Überhöhungswinkel θ kann wie folgt ermittelt werden: Da die senkrechte Beschleunigung Null ist, gilt

$$N \cos \theta = W.$$

Die Zentripetalkraft ist $N \sin \theta$, so daß $N \sin \theta = mv^2/R$. Dividiert man diese Gleichung durch die vorangehende und setzt $W = mg$, so erhält man

$$\tan \theta = v^2/Rg.$$

Der für die Überhöhung geeignete Winkel hängt somit von der Wagengeschwindigkeit und dem Radius der Kurve ab.

Man überprüfe die Überhöhungsformel für die Grenzfälle $v = 0$, $R \rightarrow \infty$, v groß und R klein. Außerdem mache man sich die Ähnlichkeit zwischen der Abb. 6.7 in Beispiel 3 und Abb. 6.9b klar.

6.4 Klassifizierung der Kräfte – Trägheitskräfte

Sämtliche in der Natur auftretenden Kräfte kann man nach ihrer relativen Stärke in vier Arten aufteilen: (1) die Gravitationskräfte als die schwächsten Kräfte, (2) die elektromagnetischen Kräfte, die von mittlerer Stärke sind, (3) die für die Bindung von Neutronen und Protonen verantwortlichen Kernkräfte als die stärksten und (4) die schwachen Wechselwirkungskräfte, mit denen man den β -Zerfall von Atomkernen und bestimmte Wechselwirkungen sehr vieler Elementarteilchen erklären kann (s. Anhang F).

Diese Kräfte sind in dem Sinne „real“, als man sie mit Objekten in der Umgebung eines Teilchens in Verbindung bringen kann. So sind die Kräfte, die einem im Alltag begegnen, wie die Zugspannung in einem Seil, die Reibungskraft, die Kraft, mit der wir gegen eine Wand stoßen, oder die Kraft, die von einer zusammengerückten Feder ausgeübt wird, sämtlich Manifestationen der (elektromagnetischen) Anziehung oder Abstoßung von Atomen.

Bei der bisherigen Behandlung der klassischen Mechanik haben wir stets vorausgesetzt, daß die Messungen und Beobachtungen von einem Inertialsystem aus erfolgten. Darunter verstanden wir ein Bezugssystem, das sich gegenüber dem Fixsternhimmel in Ruhe oder in einer gleichförmigen Bewegung gegenüber den mittleren Positionen der Fixsterne befindet. Die Inertialsysteme waren durch das erste Newtonsche Axiom als die Bezugssysteme eingeführt worden, in denen sich ein kräftefreier Körper ($F = 0$) mit konstanter Geschwindigkeit ($a = 0$) bewegt. Grundsätzlich steht uns die Wahl eines Bezugssystems frei. Für die Anwendung der klassischen Mechanik auf natürliche Phänomene bedeutet es daher keine Einschränkung, wenn wir nur von Inertialsystemen ausgehen.

Trotzdem kann es zweckmäßig sein, klassische Mechanik aus der Sicht eines Beobachters zu betreiben, der sich in einem *Nichtinertialsystem* befindet. Ein derartiges System kann mit einem fallenden Körper verbunden sein, oder es kann sich in bezug auf die Fixsterne drehen (und sich damit gegenüber diesen beschleunigt bewegen). So verwenden wir zum Beispiel ein Nichtinertialsystem bei der Behandlung der Trennung von Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte in einer Zentrifuge, der Zirkulation der Luftmassen auf der sich drehenden Erde oder aber der Beschreibung der Erfahrungen, die ein Astronaut in seinem Raumschiff macht.

Die klassische Mechanik kann nun auch in Nichtinertialsystemen betrieben werden, wenn man dabei zusätzliche Kräfte, sogenannte *Trägheitskräfte*, einführt. Im Gegensatz zu den bisher untersuchten Kräften können diese Kräfte nicht mit Gegenständen der Umgebung eines Körpers in Verbindung gebracht werden, sie fallen auch nicht in die oben angegebene Klassifizierung. Darüberhinaus verschwinden sie, wenn wir das Teilchen von einem Inertialsystem aus betrachten. Sie stellen darum einfach ein Hilfsmittel dar, das uns die Anwendung der klassischen Mechanik auch in einem Nichtinertialsystem ermöglicht.

Wir betrachten eine Kugel, die gegen den erhöhten äußeren Rand eines Karussells gedrückt wird. Ein Beobachter auf dem Karussell befindet sich in einem Nichtinertialsystem. Für ihn bewegt sich die Kugel nicht, und wenn er sie etwas in Richtung des Drehzentrums zu ziehen versucht, wird sie wieder zum Rand rollen. Es scheint eine radial nach außen gerichtete Kraft zu wirken. Als Erklärung würde der Beobachter anführen, daß die Kugel ruht, weil die nach außen gerichtete Kraft (eine Trägheitskraft, die man hier *Zentrifugalkraft* nennt) mit der von der Wand radial nach innen wirkenden Kraft im Gleichgewicht steht.

Ein Beobachter, der außerhalb des Karussells auf der Erde steht und sich damit (näherungsweise) in einem Inertialsystem befindet, hat für das Verhalten der Kugel eine andere Erklärung. Für ihn beschreibt sie eine gleichförmige Kreisbewegung mit der nach innen gerichteten Radialbeschleunigung $a = v^2/R$. Diese Beschleunigung rührt von der nach innen weisenden Kraft F her, mit der der Rand des Karussells auf die Kugel wirkt. Nach dem Newtonschen Grundgesetz ist ihr Betrag $F = ma = mv^2/R$. Vom Standpunkt dieses Beobachters ist die Kugel *nicht* im Gleichgewicht, und dies würde man auch von jedem anderen Inertialsystem aus feststellen. Nur wenn der Rand *nicht* auf die Kugel wirkte, würde sie sich mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Geraden bewegen. Dieser Beobachter würde nichts von einer nach außen gerichteten Kraft (die Trägheitskraft) finden.

In diesem einfachen Beispiel ist klar, daß der Betrag der Zentrifugalkraft für den auf dem rotierenden Karussell stehenden Beobachter gleich mv^2/R sein muß. Dieser Betrag hängt also von der Geschwindigkeit des Teilchens ab, die ein Beobachter *außerhalb des Karussells*, also von einem Inertialsystem aus, an diesem feststellt. Im rotierenden System ist seine Geschwindigkeit gleich Null.

Dieses Beispiel zeigt auch, weshalb Trägheitskräfte keine „Newtonschen“ Kräfte sind: Für sie gilt das dritte Axiom nicht. Zur Trägheitskraft (die Aktion) gibt es keine Gegenkraft (Reaktion). Wäre der äußere Rand nicht vorhanden, so hätten wir im rotierenden System eine Trägheitskraft (die Zentrifugalkraft), die auf die Kugel wirkt, ohne daß von der Kugel auf einen anderen Körper eine Gegenkraft ausginge. *Hat* das Karussell einen Rand, so gibt es zwei Kräfte, die auf *denselben* Körper wirken, nämlich die vom Rand herrührende Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft. Sie stehen im Gleichgewicht, aber wie wir gesehen haben, kann eine dieser Kräfte ohne die andere auftreten. In einem Inertialsystem wirkt andererseits auf die Kugel nur eine Kraft, sie geht vom Rand auf die Kugel aus (Aktion), während die Kugel eine entgegengesetzt gleich große Kraft (Reaktion) auf den Rand ausübt. Wenn wir hier von *Zentripetal-* und *Zentrifugalkraft* sprechen wollen, so hätten wir es mit einem Paar von Kraft und Gegenkraft zu tun, die in Übereinstimmung mit dem dritten Newtonschen Axiom auf *verschiedene* Körper wirken. In einem beschleunigten Bezugssystem wirken die beiden Kräfte auf denselben Körper und bilden kein solches Paar.

Etwas allgemeiner können wir das Vorgehen so ausdrücken: Man schreibt die in einem Inertialsystem gültige Gleichung $F = ma$ um in $F - ma = 0$ und interpretiert von einem Nichtinertialsystem aus $-ma$ als eine Trägheitskraft, die nur in diesem beschleunigten System existiert und mit F im Gleichgewicht steht. In diesem Sinne ist es manchmal einfacher, die Bewegung von einem Nichtinertialsystem aus zu beschreiben, so wie bei der Kreisbewegung, bei der der Körper in einem solchen System ruhte.

So haben wir bei mechanischen Problemen zwei Möglichkeiten: (1) Wir wählen als Bezugssystem ein *Inertialsystem* und betrachten nur „reale“ Kräfte, also solche, die bestimmten Körpern in der Umgebung zugeordnet werden können und von diesen ausgehen, oder wir nehmen (2) ein *Nichtinertialsystem* und berücksichtigen nicht nur die „realen“, sondern auch geeignet definierte

Trägheitskräfte. Im allgemeinen werden wir die erste Möglichkeit zugrunde legen, gelegentlich aber auch die zweite. Beide sind völlig gleichwertig, und die Auswahl ist allein eine Frage der Zweckmäßigkeit. In den Kapiteln 11 und 16 gehen wir auf Nichtinertialsysteme weiter ein.

6.5 Klassische, relativistische und Quantenmechanik

In den ersten Kapiteln dieses Buches haben wir die Grundlagen der klassischen Mechanik dargestellt. Wir führten die Newtonschen Axiome ein und gaben mehrere Beispiele für Kraftgesetze. In späteren Kapiteln werden wir weitere Kraftgesetze diskutieren und die Struktur der Theorie entwickeln. Hier wollen wir ansprechen, welchen Platz die klassische Mechanik im Rahmen der modernen Theorie einnimmt.

Die Physik ist kein starres Gebäude von unveränderlichen Gesetzen. Sie ist eine Wissenschaft, die sich ständig verändert und entwickelt. Historisch gesehen gibt es lange Perioden, in denen man sich mit einer bestimmten Klasse von Problemen befaßt. Sie endeten, oft ziemlich plötzlich, in einem „Umbruch“, in einer „Revolution“, und dem Übergang zu einer neuen und umfassenderen Theorie.* Dies geschah um 1690 (Newtonsche Mechanik), um 1870 (Maxwellsche Elektrodynamik), im Jahre 1905 (Einsteins Relativitätstheorie) und gegen 1925 (Quantenmechanik). Einige Physiker glauben heute, daß die gegenwärtige Beschäftigung mit Fragen im Bereich der Elementarteilchen (siehe Anhang F) unter Umständen zu einem weiteren „Umbruch“ führt.

Während der Entwicklung der Physik haben sich sowohl die Fragestellungen wie die Mittel zu ihrer Lösung geändert. Geblieben ist aber die allgemeine Methode, mit der die Physik an ihre Probleme herangeht und sie behandelt. Von älteren physikalischen Theorien stellte man fest, daß ihr Gültigkeitsbereich nur begrenzt war. Sie gingen als Spezialfälle in umfassenderen Theorien auf. Diesen geschah dann das gleiche Schicksal und so fort. Stets jedoch wurde gefordert, daß sich eine Theorie der experimentellen Überprüfung zu unterziehen habe, immer suchte man nach Größen, die invariant bleiben, unverändert glauben wir auch heute an die Einfachheit und Symmetrie der Natur und suchen und verwenden Analogien und Modelle. Es entstanden Konzepte zur Vereinheitlichung, die in allen Bereichen der Physik gültig sind, als ein Beispiel nennen wir die Erhaltungssätze. Eine Kenntnis dieser allgemeinen Zusammenhänge ist für das Verständnis der Physik von grundsätzlicher Bedeutung und gleichzeitig Voraussetzung für die Beherrschung irgendeines ihrer Teilgebiete. Darauf werden wir in diesem Buch immer wieder eingehen. Wer sich neben der Beschäftigung mit der klassischen Mechanik mit diesem Hintergrund befaßt, wird einen viel leichteren Zugang zu anderen Theorien wie die Relativitäts- oder die Quantentheorie finden. Die Methode ist bei diesen die gleiche, nur ihr Anwendungsbereich ist ein anderer. Er ist nicht mehr, wie bei der klassischen Mechanik, Teil unserer Alltagserfahrung.

Wie alle physikalischen Theorien, so basiert auch die klassische Mechanik auf Beobachtungen von Dingen, die in der Natur geschehen. Unsere normalen Erfahrungen mit Naturvorgängen sind nur begrenzt. Dies gilt vor allem im Kindes- und Jugendalter, also in einer Zeit, in der wir unsere intuitiven (und oft falschen!) Vorstellungen entwickeln, und die wir dann den „gesunden Menschenverstand“ nennen.

So ist zum Beispiel die höchste Geschwindigkeit für eine Signalübertragung von einem Ort zum anderen die Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \times 10^8$ m/s), und dies scheint auch eine obere Grenze für die Geschwindigkeit materieller Körper zu sein. Nun haben aber unter den makroskopischen Objekten selbst die schnellsten, wie ein Düsenflugzeug oder ein Satellit, Geschwindigkeiten v , die wesentlich geringer als c sind. Für einen Erdsatelliten mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 27000 km/h ist das Verhältnis v/c nur etwa 0,00025. Für mehrere Jahrhunderte basierte die klassische Mechanik auf Beobachtungen an Körpern, die sich relativ langsam bewegen (Planeten, auf

* Siehe Thomas Kuhn, Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt 1976.

Ergänzungen

Ergänzungen I

Zusammenhang zwischen Translations- und Rotationsbewegung eines Teilchens in einer Ebene

In Abschn. 11.6 diskutierten wir den Zusammenhang zwischen den kinematischen Größen der Translation und der Rotation am Beispiel eines Teilchens, das sich in einer ebenen Kreisbahn um eine dazu senkrechte Achse bewegte. Ein solches Teilchen repräsentiert zum Beispiel ein beliebiges Massenelement eines starren Körpers, der um eine feste Achse rotiert. Die Beschränkung auf eine Kreisbahn wollen wir jetzt fallenlassen. Das Teilchen soll sich frei in einer Ebene bewegen können, so wie zum Beispiel ein Planet auf einer elliptischen Bahn um die Sonne.

Wir gehen von Gl. 11.11 ($r = u_r r$) aus. Jetzt soll r aber nicht mehr konstant, sondern wie u , eine Variable sein. Das bedeutet, daß die Bewegung des Teilchens nicht mehr auf eine Kreisbahn beschränkt ist. Die Geschwindigkeit ergibt sich durch Differenzieren nach der Zeit t , also

$$v = \frac{dr}{dt} = u_r \frac{dr}{dt} + r \frac{du_r}{dt}.$$

Aus Gl. 11.13 erhält man $du_r/dt = u_\theta \omega$, so daß wir

$$v = u_r \frac{dr}{dt} + u_\theta \omega r \quad (I.1)$$

erhalten. Wir erkennen, daß v zwei Komponenten besitzt, eine radiale Geschwindigkeit $v_r = dr/dt$ und eine dazu rechtwinklige Geschwindigkeit $v_\theta = \omega r$. Im Falle einer Kreisbahn mit konstantem r wird $dr/dt = 0$, so daß sich die bekannte Gl. 11.14a ergibt.

Die Beschleunigung ergibt sich durch nochmaliges Differenzieren nach der Zeit. Wir müssen dabei aber beachten, daß alle fünf Größen auf der rechten Seite von Gl. I.1 veränderlich sein können. Es gilt also

$$a = \frac{dv}{dt} = u_r \frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{dr}{dt} \frac{du_r}{dt} + (u_\theta) \left(\omega \frac{dr}{dt} + r \frac{d\omega}{dt} \right) + (\omega r) \left(\frac{du_\theta}{dt} \right).$$

Nach Gl. 11.13 ist $du_r/dt = u_\theta \omega$, nach Gl. 11.16 ist $du_\theta/dt = -u_r \omega$ und nach Gl. 11.2 ist $d\omega/dt = \alpha$. Setzen wir alle diese Größen ein, so erhalten wir

$$\begin{aligned} a &= u_r \left(\frac{d^2 r}{dt^2} - \omega^2 r \right) + u_\theta \left(\alpha r + 2\omega \frac{dr}{dt} \right) \\ &= u_r (a_r - \omega^2 r) + u_\theta (\alpha r + 2\omega v_r). \end{aligned} \quad (I.2)$$

Auch für die Beschleunigung ergibt sich bei konstantem r mit $dr/dt = 0$ und $d^2r/dt^2 = 0$ die schon bekannte Gl. 11.17 für eine Kreisbewegung.

In Gl. I.2 treten zwei neue Ausdrücke $u_r d^2r/dt^2$ und $u_\theta 2\omega dr/dt$ auf, die einer Erklärung bedürfen. Bewegt sich das Teilchen in der Ebene, ohne daß es rotiert, so wird Gl. I.2 zu

$$a = u_r \frac{d^2r}{dt^2} = u_r a_r.$$

Das ist die uns wohlbekannte Beziehung für die Beschleunigung eines Teilchens in geradliniger Bewegung. Das bedeutet, daß dieser Ausdruck in Gl. I.2 die radiale Beschleunigung des Teilchens bezüglich der Änderung des Betrages von r darstellt und daß der andere Ausdruck ($-u_r \omega^2 r$) die radiale Beschleunigung bezüglich der Änderung der Richtung von r darstellt.

Es treten aber noch zwei Beschleunigungen in Richtung von θ auf, genauer gesagt in Richtung des zunehmenden Winkels θ . Die erste, $u_\theta a_r$, ergibt sich aus der Winkelbeschleunigung des Teilchens bei einer Kreisbewegung und entspricht der Tangentialbeschleunigung von Gl. 11.20 b. Zur Erklärung des zweiten Ausdrucks $u_\theta 2\omega dr/dt$ betrachten wir ein Beispiel. Ein Mann geht längs eines auf dem Boden eines Karussells vorgezeichneten Radius nach außen. Das Karussell dreht sich mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit ω , so daß die Winkelbeschleunigung α zu Null wird. Stünde der Mann still, d. h. $d^2r/dt^2 = 0$ und $dr/dt = 0$ wegen $r = \text{const.}$, so besäße er aus der Sicht eines Beobachters außerhalb des Karussells eine Beschleunigung von $-u_r \omega^2 r$, d. h. die uns wohlbekannte, radial nach innen gerichtete Zentripetalbeschleunigung. Geht er aber auf dem Radius weiter nach außen, so ist $dr/dt \neq 0$, und ein Beobachter außerhalb stellt eine Beschleunigung von $u_\theta 2\omega v_r$ mit $v_r = dr/dt$ in Richtung zunehmenden Winkels θ fest. Dieser Anteil wird *Coriolisbeschleunigung* genannt. Sie tritt deshalb auf, weil die Geschwindigkeit des Mannes mit größer werdendem r zunimmt, obwohl seine Winkelgeschwindigkeit konstant bleibt. Wir wollen dies am Beispiel des auf dem Karussell gehenden Mannes noch näher untersuchen.

In Abb. I.1 a ist die Position des Mannes zur Zeit t im Punkt $P(t)$ und zur Zeit $(t + \Delta t)$ in $P(t + \Delta t)$ aus der Sicht eines Beobachters außerhalb des Karussells gezeigt. Zur Zeit t ist sowohl seine radial gerichtete Geschwindigkeit $v_r (= u_r dr/dt)$ als auch seine Geschwindigkeit $v_\theta (= u_\theta \omega r)$ in Richtung zunehmenden Winkels θ angegeben. Einen Augenblick Δt später haben sich beide Geschwindigkeiten geändert. Die radiale Geschwindigkeit hat ihre Richtung geändert, der Betrag dr/dt bleibt gleich. Die Geschwindigkeit in θ -Richtung hat sowohl die Richtung (wir erklärten dies als Zentripetalbeschleunigung) als auch den Betrag von ωr auf $\omega(r + \Delta r)$ geändert, da der Mann weiter nach außen gegangen ist, wo die Karussellplattform eine größere Bahngeschwindigkeit besitzt.

In Teil (b) der Abbildung ist die Geschwindigkeitsänderung gezeigt, die durch die Richtungsänderung des Radius hervorgerufen wird, auf dem der Mann nach außen geht. Wenn der Winkel $\Delta\theta$ in dem gezeigten Dreieck klein genug ist, gilt $\sin\theta \approx \theta$, und es ist

$$\Delta v_r = v_r \Delta\theta,$$

woraus wir durch Division mit Δt im Grenzfall $\Delta t \rightarrow 0$

$$a' = \frac{dv_r}{dt} = v_r \frac{d\theta}{dt} = v_r \omega$$

erhalten. Dieses ist die Hälfte des Ausdrucks $2\omega v_r$ von Gl. I.2.

Es tritt aber auch noch eine Änderung der tangentialen Geschwindigkeit auf, wenn der Mann radial nach außen geht. Sie ist

$$\Delta v_\theta = \omega(r + \Delta r) - \omega r = \omega \Delta r.$$

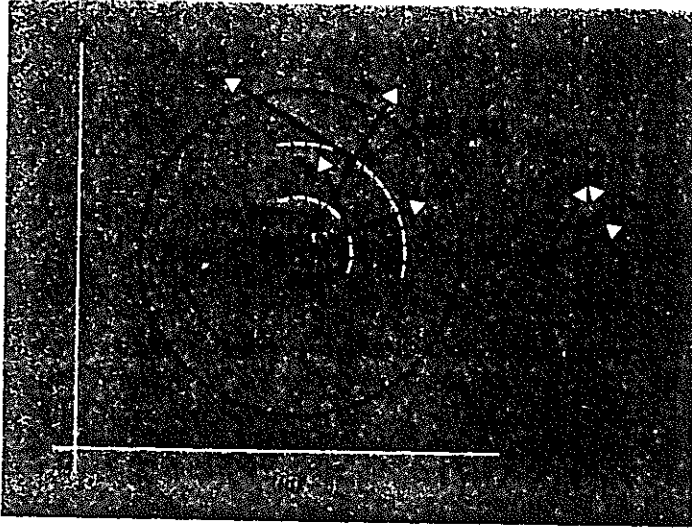


Abb. I.1 (a) Ein Karussell dreht sich um eine feste Achse und wird von einem Inertialsystem aus beobachtet. Ein Mann läuft auf dem Karussell in radialer Richtung mit der konstanten Geschwindigkeit v . Während des Zeitintervalls Δt überstreicht der Radius den Winkel $\Delta\theta$ und der Mann bewegt sich zwischen den angegebenen Positionen. Für beide Lagen sind die r - und die θ -Komponenten der Geschwindigkeit eingezeichnet. (b) Die Änderung Δv_r der radialen Geschwindigkeitskomponente. Für $\Delta t \rightarrow 0$ weist Δv_r in die θ -Richtung bei P .

Teilen wir durch Δt und betrachten den Grenzfall $\Delta t \rightarrow 0$, so ergibt sich

$$a'' = \frac{dv_\theta}{dt} = \omega \frac{dr}{dt} = \omega v_r.$$

a' und a'' sind Beträge von Vektoren, die beide in die gleiche Richtung weisen, nämlich in Richtung des zunehmenden Winkels θ im Punkt P . Die Gesamtbeschleunigung in dieser Richtung beträgt somit

$$a' + a'' = v_r \omega + \omega v_r = 2\omega v_r$$

und entspricht genau dem ganz rechten Ausdruck in Gl. I.2.

Wenn es tatsächlich eine solche Beschleunigung in Richtung zunehmenden Winkels θ im Punkt P gibt, so muß auch eine Kraft in dieser Richtung existieren. Diese Kraft kann für den auf dem Radius des Karussells nach außen gehenden Mann nur von der Reibung zwischen seinen Schuhsohlen und der Karussellplattform herrühren.

Wir erinnern uns, daß wir bei der Formulierung der klassischen Mechanik zunächst ein Inertialsystem zugrunde gelegt haben. Dann kann man eine beobachtete Beschleunigung auf die Wirkung von Kräften zurückführen, die von Körpern aus der Umgebung ausgeübt werden. Man kann aber die Gesetze der klassischen Mechanik auch in einem Nicht-Inertialsystem anwenden, z. B. in einem rotierenden Bezugssystem. Dann muß man allerdings Trägheitskräfte einführen; das sind Kräfte, die nicht von einem Körper aus der Umgebung herrühren und die deshalb von einem Beobachter in einem Inertialsystem nicht wahrgenommen werden können. Solche Kräfte heißen daher auch Scheinkräfte. Die Zentrifugalkraft und die Corioliskraft gehören dazu.

→ Herrn Dr. Krane

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

MSG
U. Bangert

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
22.02.1996

Herrn
Dipl.-Ing. Werner Föhse
Stoevesandt-Str. 37
28308 Bremen

Sehr geehrter Herr Föhse,

ich habe mit großer Freude zur Kenntnis genommen, daß Ihre Sichtweise der Zentrifugalkraft, wie sie sich in Ihrem Schreiben vom 19.2.96 dokumentiert, eine sehr viel differenziertere geworden ist. Nun können wir endlich die Angelegenheit auf einem hohen Niveau diskutieren.

Nun ist es so: Daß das Auftreten von Trägheitskräften von der Wahl des Bezugssystems abhängig ist, war für mich keine neue Erkenntnis, die ich erst im Rahmen der Diskussion gewonnen hätte, sondern war mir aufgrund meiner Ausbildung schon vorher klar. Wenn Sie das gesamte Drama noch einmal durchblättern, so werden Sie feststellen, daß ich auf die Wahl des Bezugssystems aber auch auf die damit verbundenen Schwierigkeiten mehrfach hingewiesen habe. Während Sie dem Prinzip nach die Sache nun schon richtig verstanden haben, so sehe ich Sie doch in der Gefahr, daß Sie sich zwecks Verteidigung der Zentrifugalkraft immer auf "die Beobachtung im mitbewegten System" zurückziehen wollen. Über diesen Standpunkt und seine Konsequenzen möchte ich gerne gleich ein wenig mit Ihnen diskutieren.

Lassen Sie mich aber zunächst noch einmal zusammenfassen, was Ihre letzten Erkenntnisse für die bisher geführte Diskussion für eine Bedeutung haben. Damit meine ich nicht allein unseren privaten Briefwechsel sondern die komplette Korrespondenz.

Keiner der Diskussionsteilnehmer hat für sich bislang in Anspruch genommen, das Verhalten des Satelliten "im mitbewegten System" diskutieren zu wollen.

Vielmehr sind alle Diskussionsteilnehmer (genau wie ich auch) von einer Betrachtungsweise ausgegangen, die ziemlich genau unserer tatsächlichen Situation entspricht, nämlich als Beobachter auf der Erdoberfläche.

Von diesem System sagen Halliday&Resnick ganz mit Recht, daß es eine sehr gute Näherung eines Inertialsystems ist. Diese Sichtweise wird bei den Diskussionsteilnehmern mehr oder minder deutlich. Dr. Kuers z.B. will über abgeschlossene physikalische Systeme diskutieren. Da nur ein Inertialsystem ein abgeschlossenes System sein kann, muß er wohl ein Inertialsystem im Sinn gehabt haben. In dem tritt keine Zentrifugalkraft auf, wie Sie mir nun zubilligen. Herr Steger spricht davon, daß die Zentrifugalkraft in Zusammenhang mit den Erhaltungssätzen der Physik für stabile Satellitenbahnen Sorge. Diese Erhaltungssätze gelten wiederum aber nur in Inertialsystemen.

Und wenn Sie ganz ehrlich mit sich selbst umgehen, so bin ich sicher, hätten Sie bislang auch gesagt, den Satelliten von der Erdoberfläche aus zu betrachten. Da es Ihnen offensichtlich nicht ganz einfach von den Lippen geht, sage ich es selbst einmal ganz unverfroren: Ich würde für mich in Anspruch nehmen, in der Diskussion das Recht auf meiner Seite gehabt zu haben.

Nun kommen wir zu dem vermeintlichen Ausweg, den Sie mit der freien Wahl des Bezugssystem zu finden gemeint haben. Sie schreiben vollkommen mit Recht: "Es heißt vielmehr, daß Bezugssysteme nach ihrer Zweckmäßigkeit gewählt werden können". Zustimmung. Den folgenden Satz "Was als zweckmäßig angesehen wird, ist dann eine persönliche Entscheidung", der Ihnen scheinbar die Legitimation dazu gibt, die Physik des Satelliten im mitbewegten System beschreiben zu dürfen (in dem es eine Zentrifugalkraft gibt), kann ich hingegen nicht so ohne weiteres unterschreiben.

Schauen wir uns doch einmal genau an, was für ein seltsames System das ist, in das Sie sich zurückziehen wollen. Nehmen wir dazu das Karussellbeispiel aus Halliday&Resnick. Sie befinden sich im mitbewegten System und beobachten die ruhende Kugel im Gleichgewicht zwischen einer nach außen wirkenden Kraft und derjenigen, die durch die Außenwand des Karussells vermittelt wird. So weit, so gut.

Nun wollen wir aber i.A. nicht nur Dinge beobachten sondern sie auch quantitativ beschreiben, m.a.W. wir wollen nun die Größe dieser nach außen wirkenden Kraft angeben. Schon geraten wir in Schwierigkeiten. Der Term $m \cdot v^2 / r$ ergibt nämlich in dieser Situation keinen Sinn, weil die Kugel aus Ihrer Betrachtungsweise ja *ruht*, also $v = 0$ ist. In dem Moment aber, wo Sie der Kugel eine Geschwindigkeit v zubilligen, um eine davon abhängige Zentrifugalkraft zu errechnen, befinden Sie sich bezüglich dieser Rechnung aber bereits schon wieder in einem Inertialsystem, weil nur in diesem die Kugel eine von 0 abweichende Geschwindigkeit hat. In dem treten, wie wir nun beide wissen, aber gar keine Zentrifugalkräfte auf.

Sie können aber im mitbewegten System auch einige einfache physikalische Experimente anstellen, z.B. Wurfexperimente. Die Flugbahnen, die Sie dabei beobachten, werden Ihren physikalischen Verstand schier zur Verzweiflung bringen.

Die Wahl des Bezugssystems ist also eine überaus trickreiche Angelegenheit. Deshalb halte ich es auch für ausgesprochen falsch, wenn Halliday&Resnick schreiben: "Als Erklärung würde der Beobachter anführen, daß die Kugel ruht, weil die nach außen gerichtete Kraft (eine Trägheitskraft, die man hier Zentrifugalkraft nennt) mit der von der Wand radial nach innen wirkenden Kraft im Gleichgewicht steht". Was für Trägheitskräfte? Im mitbewegten System *ruhen sowohl Kugel als auch Wand!* Trägheitskräfte sind doch gerade solche, die durch *Änderungen* des Bewegungszustandes zustande kommen. Wie soll ich als mitbewegter Beobachter auf die Idee von Trägheitskräften kommen, wenn ich keine Änderungen des Bewegungszustandes beobachte?

In dem Moment, wo ich das Wort "Zentrifugalkraft" nur in den Mund nehme, gebe ich bereits zu erkennen, daß ich verstanden habe, daß ich mich in einem rotierenden Bezugssystem befinde. Wenn ich das verstanden habe, so habe ich auch verstanden, daß dieses rotierende Bezugssystem in einem Inertialsystem eingebettet sein muß, welches sich viel besser zur Beschreibung der Vorgänge eignet.

Kommen wir noch einmal auf das System des Satelliten und eines mitbewegten Beobachters zu sprechen. Der mitbewegte Beobachter sieht in dem Satelliten einen ruhenden kräftefreien Körper. Warum er kräftefrei ist, vermag er aber nicht anzugeben. Nun sieht er einen zweiten Satelliten ein paar Meter unter sich, welcher ihn gerade überholt und einen dritten ein paar Meter

über sich, den er gerade selbst überholt. Wenn er versucht, deren Bahnen physikalisch zu beschreiben, dann wird da was hochkompliziertes bei rauskommen, welches ihm kaum eine physikalische Einsicht der Dinge vermittelt. Aus dem Inertialsystem Erde heraus ist hingegen alles ganz einfach zu beschreiben.

Die ganze Diskussion um das geeignete Bezugssystem offenbart sich an einem einfachen linearem Beispiel: Wenn ich mit verbundenen Augen im freien Weltraum auf einer Plattform stehe und dabei feststelle, daß ich mit meinem normalen Körpergewicht auf die Plattform drücke, so ist es in dieser Situation für mich nicht entscheidbar, ob sich unter der Plattform ein Körper mit etwa der Masse der Erde befindet, oder aber eine Rakete, welche die Plattform konstant mit 9.81 m/s^2 beschleunigt. Während es in der Tat unentscheidbar für mich ist, so sind wir uns sicher darin einig, daß die beiden denkbaren Alternativen der Sache nach so unterschiedlich sind, daß man schon ein gewisses Interesse für die "wahre" Ursache aufbringen kann.

Die Aufklärung erhalte ich erst in dem Moment, wo ich die Augenbinde abnehme und unter die Plattform schaue. Die Argumentation, die Satellitenbewegung im rotierenden System beschreiben zu wollen, entspricht in etwa der Haltung, die Augenbinde trotz Aufforderung nicht abnehmen zu wollen.

Mit freundlichen Grüßen

(Ulrich Bangert, DF6JB)

Dr. Eugen Unger
Matth.-Claudius-Str. 3h
86161 Augsburg

Herrn
Ulrich Bangert
Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener

Augsburg, 02/02/96


Sehr geehrter Herr Bangert,

herzlichen Dank für die Zusendung Ihres Satellitendramas in 24 Akten. Ich habe Ihre Zusammenstellung teils amüsiert, teils kopfschüttelnd studiert und sie war auch Gegenstand der Belustigung für einige meiner Kollegen. Lediglich ausgehend von den Artikeln und Leserbriefen hätte ich nicht erwartet, daß da an einer Stelle so ein Aufwand getrieben würde.

Sie haben in der Sache natürlich völlig recht!! In den Bobzinschen Artikeln gibt es aber so viele "dicke Hunde", daß mir der Fehler mit der leidigen Zentrifugalkraft gar nicht so ins Bewußtsein kam; zumal dieser elend weit verbreitet ist und stellenweise auch der Schulunterricht nichts anderes vermittelt hat. Es wird ganz allgemein viel Mist geschrieben und gesendet, nicht nur in unserer Clubzeitschrift. Wie sagte schon Einstein: "Zwei Dinge sind unendlich: das Weltall und die Dummheit des Menschen." Ich bin Ihnen in diesem Zusammenhang für Ihren "Aufstand" dankbar; hat er mich doch dazu angeregt, diese alten Sachen mal wieder nachzulesen und so ein wenig nachzusitzen.

Zum Schluß noch eines: Es gibt unter uns YLs und OMs genügend Vertreter, die in physikalischen, bzw. elektrotechnischen Dingen große Verständnislücken aufweisen. Ich möchte mich da auch nicht immer ausschließen. Vielleicht können Sie, aber auch andere, einige kurze Artikel verfassen, die so neuralgische Punkte exakt und eingängig erklären als da sind: Maxwell-Gleichungen, was bedeuten sie?, komplexe Widerstände und Impedanzen, Wellenwiderstände und Gruppenlaufzeiten, Skineffekt und Werkstoffeigenschaften in der HF-Technik, Wirkungsweisen von modernen Halbleitern wie HEMTs, Laserdioden, etc etc .

In diesem Sinne und mit freundlichen Grüßen,



BU-241

C DF 6 J B
mfg

K i l e n s Georg
DK 9 WK

54576 Hillesheim/ Eifel, den 12. 02.96
Wallstraße 04

An

DARC e.v.

Postfach 1155
34216 Baunatal

Sehr geehrte Damen und Herren,

die folgenden Ausführungen sind als Leserschrift gedacht für
eine der nächsten Ausgaben der CQ DL.:

Betr.: Warum Satelliten wirklich oben bleiben
CQ DL 1/96 S.36
von OM Ulrich Bangert (DF 6 JB)

OM Bangert hat gut verständlich ausgeführt, warum Satelliten oben
bleiben. Dafür sei ihm Dank gesagt. Gerne hätte man am Ende aber
auch gewußt, wie groß denn nun die Geschwindigkeit der Satelliten
in einer Kreisbahn ist.

Die notwendigen Zahlenangaben sind:

a) die Gravitationskonstante γ (Gamma)

$$\gamma = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

Sie wurde von Henry Cavendish im Jahre 1798 mit Hilfe eine
Coulombschen Drehwaage ermittelt. Neuere Messungen ergaben den
oben angegebenen Wert.

b) die Masse der Erde $M_E = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

c) der Erdradius bzw. die Entfernung zweier Körper. Der
Einfachheit halber soll sich der Satellit in einer Kreisbahn
bewegen, deren Radius 7000 km (7000 km vom Erdmittelpunkt)
beträgt, also ca. 630 km oberhalb der Erdoberfläche.

Setzt man diese Größen in die von OM Bangert entwickelte Formel
ein, dann erhält man

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{M_E}{r}}$$

$$v = \sqrt{6,673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{7000 \text{ km}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{6,673 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24}}{7000 \cdot 10^3} \cdot \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{6,673 \cdot 5,97 \cdot 10^{10}}{7000} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$$

Die Ausrechnung ist mit Regeln der Bruchrechnung und der Potenzrechnung vorgenommen worden. Wer sich erproben will, kann die Durchführung "per Hand", einschließlich des Wurzelziehens, vornehmen. Einfacher geht es mit dem Taschenrechner. Das Ergebnis ist:

$$v = 0,075439484 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$$

$$v \approx 7543 \frac{m}{s} \longrightarrow v \approx 7,5 \frac{km}{s}$$

Die Geschwindigkeit des Satelliten in einer Kreisbahn um die Erde beträgt in unserem Beispiel ca. 7,5 km in der Sekunde.

Dividiert man den Umfang der Kreisbahn des Satelliten durch die errechnete Geschwindigkeit, dann erhält man die Umlaufzeit T.

$$T = \frac{43982,3}{7,5} \cdot \frac{km \cdot s}{km}$$

$$T \approx 5864,31 s \longrightarrow T \approx 97,74 \text{ Minuten}$$

Fragen bleiben übrig, so u.a.

- a) Ist die universelle Gravitationskonstante veränderlich?
(g und r sind veränderlich)
- b) Was geschieht, wenn die Geschwindigkeit des Satelliten erhöht wird?
- c) Nach dem Trägheitsgesetz verharrt jeder Körper im Zustand der Ruhe o d e r der geradlinig-gleichförmigen Bewegung, so lange er nicht gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern. Ist es nun nicht so, daß die Schwerkraft hier den Körper (siehe Geschosse der Kanone) daran hindert, in der geradlinig-gleichförmigen Bewegung zu bleiben, und daß lediglich die Zentrifugalkraft (eine Folge der Trägheit) und die Schwerkraft (Zentralkraft) dem Betrage nach gleich sind und dadurch eine kreisförmige Bewegung bewirken?

Mit freundlichem Gruß

Jörg Killeus

FAX**Datum:** 30.01.96**Anzahl der Seiten (inkl. Deckblatt):** 1

An: Ulrich Bangert
 DF6JB@DBOCL
 Ortholzer Weg 1
 27243 Groß Ippener

Telefon: 04224-431**Fax:** 04224-431

Von: Dr. Günter Kuers
 DL4MGB
 Sudetenstraße 90
 85567 Grafing b. München

Telefon: 08092-39 14**Fax:** 08092-3 11 46**Kopie an:**

Bemerkung:	<input checked="" type="checkbox"/> Zur Kenntnis	<input type="checkbox"/> Zur Erledigung	<input type="checkbox"/> Zur Stellungnahme	<input type="checkbox"/> Mit bestem Dank zurück
-------------------	--	---	--	---

Sehr geehrter Herr Bangert,

Vielen Dank für Ihre umfangreiche Zuschriftensammlung und Ihr Schreiben vom 22/01/96 über ein Thema, das Sie erkennbar sehr beschäftigt.

Offenbar haben die zahlreichen kritischen Zuschriften Sie in Ihren Meinungen nicht beeinflussen können. Dennoch mache ich noch einmal den Versuch, Ihnen folgendes zu bedenken zu geben:

- Für die „nach Innen“ wirkende Kraft geben Sie an: $m \cdot v^2 / r$. Sie sagen nicht, woher Sie das haben. Es ist die von Ihnen geleugnete Zentrifugalkraft. Sie wirkt auch nicht nach innen, wie sie sagen, sondern vom Erdmittelpunkt weg und sie steht mit der entgegengesetzt gerichteten Gravitationskraft im Gleichgewicht, wodurch das Gegenwirkungsprinzip erfüllt wird. Offenbar lassen Sie sich dadurch verwirren, daß die Zentrifugalkraft eine Reaktionskraft ist, für die als Voraussetzung die Gravitation vorhanden sein muß.
- Der Begriff der Zentrifugalkraft existiert tatsächlich, nachzulesen in Standardwerken wie Sommerteld oder Schäfer, wo auf die Zentrifugalkraft eingegangen wird. Die Tatsache, daß sie eine Reaktionskraft und eine Konsequenz aus der Trägheit der Masse ist, darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß es sie gibt.
- Die oberlehrerhafte, überhebliche und teilweise verletzende Manier, mit der Sie wohlmeinenden Zuschriften begegnen wirkt sehr befremdlich. In Ihnen überwiegt offenbar stärker der Drang zu belehren, als zu lernen und zwar ohne Rücksicht auf die eigenen Wissensdefizite.

Mit freundlichem Gruß

G. Kuers

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
30.01.1996

Herrn
Dr. rer. nat. Günter Kuers
DL4MBG
Sudeten-Str. 90

85567 Grafing bei München

Fax: 08902 31146

Sehr geehrter Herr Dr. Kuers,

wenn ich überhaupt einen Fehler gemacht habe, dann denjenigen, Ihre intellektuelle Einsichtsfähigkeit falsch einzuschätzen. Ihr Fax vom 30.01.96 wimmelt geradezu wieder so von Widersprüchen. Es hat den Anschein, daß Sie entweder meine Argumentation nicht gelesen oder nicht verstanden haben oder noch wahrscheinlicher: gar nicht verstehen wollen, weil sonst Ihr mühsam gebasteltes Bild der Physik teilweise zusammenbricht.

>Für die "nach innen" wirkende Kraft geben Sie an : $m * v^2 / r$. Sie sagen nicht woher Sie das >haben.

Falsch! Im Gegensatz zu Ihrer Rechnung, die sich anderer Quellen bedienen mußte, hat sich der Ausdruck $m * v^2 / r$ in meiner ursprünglichen Rechnung des CQDL Beitrages inklusive seines Vorzeichens und damit seiner Richtung (nach innen) einfach ergeben! Ich brauchte ihn nicht herbeizuzaubern! Wenn ich in meinem Antwortschreiben an Sie eine Kraftgleichung (bzw. Beschleunigungsgleichung) aufschrieb, in welcher der Term $m * v^2 / r$ auftauchte, so war dies eine didaktische Maßnahme, welche Ihnen aufzeigen sollte, daß die Kraftgleichung nur dann zu einem physikalisch sinnvollen Ergebnis führt, wenn man davon ausgeht, daß $m * v^2 / r$ und die Gravitation in die gleiche Richtung wirken.

>Offenbar lassen Sie sich dadurch verwirren, daß die Zentrifugalkraft eine Reaktionskraft ist, >für die als Voraussetzung die Gravitation vorhanden sein muß.

Ihr Hauptsatz ist der Knüller schlechthin: Die Gravitation ist also die Voraussetzung für das Auftreten einer Zentrifugalkraft... mmmh, das geht wirklich genußvoll durch die Kehle des Physikers! Warum? Weil wir damit bereits einig darüber sind, daß bei allen Kreisbewegungen, bei denen die Gravitation *nicht* die Ursache der Kreisbewegung ist, auch keine Zentrifugalkräfte auftreten. Oder hatten Sie vielleicht doch etwas anderes schreiben wollen? Oder wie? Oder was?

Ihr Nebensatz enthält den Kernfehler aller Ihrer Überlegungen. Die Zentrifugalkraft ist eben *keine* Reaktionskraft. Nun nehmen wir Herrn Newton und sein Reaktionsprinzip aber wirklich beim Wort. Es besagt:

Wenn die Kraft K , die auf einen Körper wirkt, ihren Ursprung in einem *anderen* Körper hat, so wirkt auf *diesen* die entgegengesetzt gleiche Kraft $-K$. (Die wichtigen Stellen sind die kursiven!) Das hat Newton nun doch so einfach und klar formuliert, daß es selbst Ihnen eigentlich nicht gelingen kann, diesen Satz falsch zu interpretieren!

Für das System Erde-Satellit bedeutet das: Die Gravitation der Erde bewirkt eine Kraft K auf den Satelliten, nennen wir ihn Körper 1. Ohne Zweifel hat diese Kraft ihren Ursprung in der Erde, also Körper 2. Die Aussage des Reaktionsprinzips ist daher: Auf Körper 2 wirkt eine Kraft $-K$, die ihren Ursprung in Körper 1 hat. Das ist die Gravitationskraft, mit welcher der Satellit die Erde anzieht. Und dieser Zusammenhang sorgt dafür, daß im System Erde-Satellit die Summe aller Kräfte und Beschleunigungen verschwindet und zwar unabhängig davon, ob sich der Satellit, die Erde oder beide bewegen! Ein sehr schönes Beispiel dafür sind die Gezeitenkräfte auf der Erde, welche durch die Gravitation des Mondes auf die Erde bewirkt werden.

Und weil gerade jede von diesen beiden Kräften die Reaktionskraft zur anderen darstellt und sie sich daher zu 0 addieren, führt die Annahme einer dritten in diesem System angeblich wirkenden Kraft unmittelbar zu der Erkenntnis, daß ihre Größe 0 sein muß, damit das Reaktionsprinzip erfüllt ist! Kann man es denn noch einfacher darstellen?

Die Zentrifugalkraft könnte nur dann eine Reaktionskraft sein, wenn wir eine *an einem anderen Körper ansetzende Gegenkraft*, also eine vierte Kraft im System Erde-Satellit, zu ihr finden. Das kann nun *nicht* die Gravitation sein, *weil die Gravitationskraft der Erde auf den Satelliten und die Gravitationskraft des Satelliten auf die Erde bereits ein Reaktionskräftepaar bilden!* Ist das denn wirklich so schwer zu begreifen? Wenn in der Schule eine solche Einsicht einem 15-jährigen abverlangt wird, so ist es doch nicht allzu vermessen, die gleiche Einsicht auch von einem Dr. rer. nat. zu verlangen.

Wäre die Zentrifugalkraft eine Reaktionskraft, so müßten wir eine auf die Erde wirkende Kraft beobachten, welche in die dem Satelliten *entgegengesetzte Richtung* zeigt, also eine Abstoßung von Satellit und Erde. Tun wir das? Für den norddeutschen Raum kann ich dies mit Sicherheit verneinen, aber da ich regionale Fluktuationen in dieser Hinsicht durchaus nicht prinzipiell ausschließen will, wäre ich für entsprechende Erkenntnisse aus dem Raume München sehr dankbar.

Der Begriff der Reaktionskraft insbesondere bei Kreisbewegungen scheint für Sie ein sehr verwirrender zu sein. Denken wir deswegen einmal über lineare Systeme nach: Ich beschleunige mit meiner Hand einen Körper der Masse m gleichförmig mit der zeitlich konstanten Kraft F . Dabei verspüre ich eine Trägheitskraft, mit welcher der Körper sich der Beschleunigung zu widersetzen scheint, in meiner Hand.

Nun bitte ich um Ihr besonderes Augenmerk bei der Beantwortung der Frage: Ist diese Trägheitskraft eine Reaktionskraft auf diejenige Kraft, die ich mit meiner Hand auf den Körper bewirke?

1. Möglichkeit: Sie beantworten diese Frage mit: Ja. Dann bilden Hand und der Körper der Masse m ein abgeschlossenes System, in dem die Summe aller Kräfte und Beschleunigungen verschwindet. Da die Summe aller Kräfte 0 ist, haben Sie nun aber gewisse Schwierigkeiten zu erklären, warum das System eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung durchführt.

2. Möglichkeit: Sie beantworten die Frage mit: Nein. Dann ist das System Hand-Körper ein nicht abgeschlossenes und wir müssen unseren Horizont erweitern, um ein abgeschlossenes System zu finden. Hier kommen nun Ihre Überlegungen aus dem Alltag ins Spiel, wo Sie über Reaktionskräfte referierten. Damit ich eine Kraft F auf den Körper bewirken kann, ist es notwendig, daß ich mich irgendwo gegen "abstütze". Damit ich die Kraft F auf den Körper bewirken kann, muß ich gleichzeitig eine Kraft $-F$ auf einen *anderen Körper* bewirken, in diesem Fall die Erde. Und *das* ist die Reaktionskraft auf die Kraft F , welche auf den Körper wirkt. Damit ist die physikalische Welt wieder in Ordnung, weil wir

- a) ein System gefunden haben, in dem die Summe aller Kräfte verschwindet, also ein abgeschlossenes System.
- b) wir einsehen, warum der Körper sich gleichförmig beschleunigt bewegt, weil es in seinem (nicht abgeschlossenen) System nämlich *nur die Kraft F* wirkt. Die Trägheitskraft, die ich in meiner Hand zu spüren glaube, hat man dabei als Scheinkraft ohne physikalische Realität enttarnt.

Wie Sie sehen, führt die Annahme, daß Trägheitskräfte Reaktionskräfte sind, zu Schwierigkeiten, während die entgegengesetzte Annahme vollkommen in Einklang mit unserer Erfahrung steht. Ihre Beispiele aus dem Alltagsleben bezüglich Reaktionskräften waren ja nicht prinzipiell falsch! Es ist lediglich so, daß Trägheitskräfte sich nicht unter die Reaktionskräfte subsumieren lassen! Reaktionskräfte sind reale Kräfte, Trägheitskräfte (wie die Zentrifugalkraft) sind Scheinkräfte.

Der einzige Unterschied zur Satellitenrotation besteht darin, daß in diesem linearen Beispiel die *einzigste Kraft F auf den Körper* die gleiche Richtung wie die Bewegung des Körpers selber hatte und daher den Bewegungszustand des Körpers dahingehend veränderte, daß seine Bewegungsrichtung gleich blieb er aber seine Geschwindigkeit veränderte.

Beim Satelliten greift *die einzigste Kraft F auf den Körper* immer senkrecht zur Bewegungsrichtung an und führt daher nicht zu einer Änderung seiner Geschwindigkeit sondern zu einer permanenten Änderung seiner *Bewegungsrichtung*. Das ist auch eine Änderung des Bewegungszustandes! Bei einer Kreisbahn des Satelliten ist die Schwerkraft diejenige Kraft, die für den permanenten Richtungswechsel in der Bewegung des Satelliten verantwortlich ist. Nicht mehr und nicht weniger. Es sind keine weiteren Kräfte notwendig, um ihn am "Herunterfallen" zu hindern. Auf der Kreisbahn hat die Schwerkraft genau diejenige Stärke, um die Richtungsänderung zu bewirken, aber nicht zu mehr, etwa den Satelliten näher an die Erde heranzuziehen.

Ich bin die Monotonie, mit der Sie immer wieder "Es gibt eine Zentrifugalkraft, es gibt eine Zentrifugalkraft" repetieren, endgültig leid! Bitte wiederholen Sie nicht immer wieder diesen Unsinn sondern sagen Sie mir auf der Stelle klipp und klar, warum Sie in Ihrer Betrachtung *aller* Beschleunigungen, die im System Erde-Satellit wirken, diejenige, welche der Satellit auf die Erde bewirkt, nicht berücksichtigen mußten. Dafür muß es doch einen physikalischen Grund aus Ihrer Sichtweise geben und um die Angabe genau dieses eines Grundes bitte ich Sie! Sonst nichts! Die ganze Problematik, die in Ihrer Sichtweise liegt, wird sich anhand dieser einen Begründung denkbar einfach aufzeigen lassen.

Und wo wir gerade dabei sind: Sagen Sie mir bei der gleichen Gelegenheit doch bitte auch, warum meine Energiebetrachtung, mit der ich Herrn Steger in oberlehrerhafter Weise attackierte, falsch ist.

>Die oberlehrerhafte, überhebliche und teilweise verletzende Manier, mit der Sie
>wohlmeinenden Zuschriften begegnen, (Komma von mir oberlehrerhaft eingefügt) wirkt sehr
>befremdlich. In Ihnen überwiegt offenbar stärker der Drang zu belehren, als zu lernen und
>zwar ohne Rücksicht auf die eigenen Wissensdefizite.

Mir ist nicht genau klar, wie weit der Begriff "wohlmeinend" bei Ihnen geht. Sollten Sie damit andeuten wollen, daß wir hier über "Meinungen" diskutieren, so entziehen Sie unserer Diskussion jegliche Grundlage. Ich hatte nämlich angenommen, daß wir über physikalische Gesetze reden, über die man schwerlich eine "Meinung" haben kann. Sie sind einfach so, wie sie sind und ich kann sie entweder erlernen oder nicht. Aber "meinen" kann man darüber nicht, auch nicht "wohl".

In mir gibt es tatsächlich einen Drang, dieser stellt sich aber etwas anders dar, als Sie sich vorstellen. Sehen Sie, wenn Politiker lügen, dann geben sich Untersuchungskommissionen große Mühe, ihnen das nachzuweisen. Leider mißlingt der Nachweis allzu oft, weil die Betroffenen sich auf Gemeinplätze wie des "Nichtwissens" oder des "Nicht-mehr-erinnern-könnens" zurückziehen, wo schwerlich das Gegenteil zu beweisen ist.

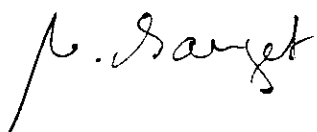
In diesem Fall ist die Sachlage ein wenig anders, weil wir über physikalische Zusammenhänge reden. Da lassen sich "falsch" und "richtig" viel einfacher voneinander unterscheiden. Wenn Sie sich den gesamten Schriftverkehr noch einmal ansehen, so werden Sie zugeben müssen, daß der Stil meiner Antworten durchaus nicht einheitlich beschaffen war. Ich habe sehr wohl unterschieden zwischen solchen Zuschriften, bei denen ich die Autoren für *Opfer* einer falschen Ausbildung hielt, und denjenigen, bei denen man die Autoren geradezu als die *Motoren* dafür einstufen muß, daß sich solche falschen Vorstellungen wie die der Zentrifugalkraft so hartnäckig halten.

Und weil einem Doktor allzu leicht geglaubt wird, muß man jemandem, der Falsches kraft seiner Doktorwürde zu Wahrem erklären will, eben entsprechend hart in der Sache aber auch in seinen Formulierungen begegnen. Gerade weil Sie wegen Ihres Dokortitels den Nimbus haben, man könne Ihren Ausführungen ungeprüft Glauben schenken, werden Sie im Sinne des von mir angesprochenen Teufelskreises in dem Moment zu einem sehr gefährlichen Menschen, wo Ihnen etwas sachlich unrichtiges über die Lippen geht.

Trotzdem wollte ich bislang Ihre Person dadurch schonen, daß ich eine weite Verbreitung Ihrer Ausführungen zu verhindern suchte. Ihrem Fax entnehme ich aber, daß Sie einem offenen Schlagabtausch in dieser Sache durchaus nicht abgeneigt sind. Dann sollten wir das aber auch wirklich tun!

Gehen Sie deshalb davon aus, daß in naher Zukunft ein Beitrag von mir in einer physikalischen Fachzeitschrift erscheinen wird, wo ich Sie hinsichtlich Ihrer physikalischen Aussagen wörtlich zitieren werde. Wir werden dann unseren Disput unter den Augen eines höchst fachkundigen Publikums austragen und sicherlich bei dieser Gelegenheit auch klären können, bei wem von uns beiden in Hinsicht auf die "Zentrifugalkraft" die größeren Wissensdefizite vorliegen. Ich freue mich von ganzem Herzen darauf!

Mit freundlichen Grüßen



TELEFAX

C 2 F 6 2 B
Dr. W. WILHELMYJOSEPH STR. 16
D - 50678 KÖLN

(0221) 315868

An die

Redaktion CQ DL

Raunatal

Betr.:

Leserzuschrift (Dialog)

20.2.96

Betr.: Warum Satelliten wirklich oben bleiben (CQ DL 1/96).

Die von OM Bangert ausgeführten Berechnungen sind richtig. Falsch ist jedoch die Schlußfolgerung, daß die Formulierung $\text{Schwerkraft} = \text{Zentripetalkraft}$ (oder, was das gleiche ist: Schwerkraft und Zentrifugalkraft sind gleich groß und entgegengesetzt, „heben sich also auf“) unsäglich falsch sei.

Denn wie könnte dann der klassische Lösungsansatz „ $\text{Schwerkraft} = \text{Zentripetalkraft}$ “, als Formel:

$$\gamma \frac{m_S \cdot m_S}{r^2} = \frac{m_S \cdot v^2}{r}$$

zur gleichen richtigen Lösung: $v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{m_E}{r}}$ führen?

Übersehen wurde offenbar die Tatsache, daß im Zeitintervall Δt der Satellit sich tatsächlich tangential, also „geradeaus“ weiterbewegt, wobei man nach den anerkannten Regeln der Infinitesimalrechnung $\Delta t \rightarrow 0$ „schrumpfen“ lassen muß, wovon der Autor vorher ja auch richtigen Gebrauch gemacht hat.

Merke: Was im makroskopischen Bereich „krumm“ ist, ist im Infinitesimalbereich immer „gerade“ (sofern es sich um eine stetige Funktion handelt).

Mit freundlichen Grüßen

W. Wilhelmy
DL3WET

Sg OM Bangert —

Das nächste Kapitel

der unendlichen Geschichte ⁶

MfG

H. Radlitz

Dr. Wilfried Wilhelmy Josephstr.16 D- 50678 Köln Tel & Fax (0221) 31 58 68

Lieber OM Bangert,

29.3.1996

vielen Dank für Ihr Schreiben vom 26.2.96, dem ich eine Übereinstimmung unserer Meinungen hinsichtlich der Aussage „Schwerkraft = Zentripetalkraft“ entnehme. Ihre Folgerungen hinsichtlich der „Zentrifugalkraft“, die zu einer imaginären Lösung führen, haben mich zunächst überrascht. Dann wurde mir klar, daß in Ihrem Gedankengang die Kräfte nur als Skalare vorkommen. Tatsächlich aber sind sie Vektoren.

Um Ihre Gedankengänge auf Seite 2 ihres Schreibens nun vektoriell darstellen zu können (was zu einem anderen Ergebnis führt), möchte ich folgende Schreibweise vereinbaren: Vektoren schreibe ich kursiv und benutze folgende Abkürzungen:

SK ist der Vektor der Schwerkraft und hat den Betrag SK,

ZPK ist der Vektor der Zentripetalkraft und hat den Betrag ZPK,

ZFK ist der Vektor der Zentrifugalkraft und hat den Betrag ZFK.

Einig sind wir uns über die Formulierung $SK = ZPK$ und $SK = ZPK$. Die „Zentrifugalkraft“ ist nun nach dem 3.Newton'schen Axiom die Reactio zur actio „Zentripetalkraft“. Diese beiden Kräfte sind um 180 Grad versetzt, haben aber den gleichen Betrag, also gilt: $ZFK = -ZPK$ und $ZFK = ZPK$.

(Das Minuszeichen ist in der Vektorrechnung entstanden, weil $\cos(180) = -1$ ist)

Hier liegt des Pudels Kern: Die Beträge von Vektoren können nicht negativ sein. Ihre Formulierung in Zeile 21 „Schwerkraft = -Zentrifugalkraft“ ist nicht zutreffend, wenn es sich um die Beträge der Kräfte handelt. Richtig muß es in diesem Fall heißen: „Schwerkraft = Zentrifugalkraft“. Damit ist das Problem der imaginären Lösung vom Tisch.

Mit herzlichen Grüßen


DL 3 WE

Ulrich Bangert
DF6JB @ DBOCL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
03.01.1980

Herrn
Dr. Wilfried Wilhelmy
Joseph-Str. 16
50678 Köln

Lieber Om Wilhelmy,

es hat mich außerordentlich gefreut, daß Sie sich als Folge meines Briefes erneut mit der Zentrifugalkraft beschäftigt haben. Erfreulich ist auch Ihr Eingeständnis, daß Sie durch meine Argumentation zunächst überrascht waren.

Ich glaube, Sie werden in einigen Minuten noch wesentlich mehr überrascht sein. Denn: Ihre Argumentation, daß man die ganze Sache vektoriell rechnen muß, ist ja vollkommen richtig. Das werde ich dann auch gleich tun. Falsch ist Ihre Einstellung, daß man dadurch, daß man mit Beträgen von Vektoren rechnet, die Problematik mit dem negativen Vorzeichen und der imaginären Lösung einfach aus der Welt schafft. Richtig ist, daß durch das Rechnen mit Beträgen jegliche Richtungsinformation aus den behandelten Vektoren entfernt wird. Gerade indem man zu einer Betrachtung von Beträgen übergeht muß man sich die Richtungen der beteiligten Vektoren um so klarer vor Augen halten. Insofern war das von mir benutzte Vorzeichen durchaus als "vektorielles" zu verstehen, so wie Sie es in

$$SK = - ZFK$$

auch benutzen. Rechnen wir also jetzt vektoriell. Dabei will ich die Tatsache, daß wir vektoriell rechnen, nicht nur durch die Fettschrift darstellen sondern durch die Schreibweise

$$\mathbf{VEKTOR} = | \mathbf{VEKTOR} | \vec{e}_{\mathbf{VEKTOR}}$$

explizit immer seinen Betrag und seine Richtung darstellen. Dabei ist $\vec{e}_{\mathbf{VEKTOR}}$ der Einheitsvektor, welcher in die Richtung von \mathbf{VEKTOR} zeigt. Zwar ist die Satellitenbewegung ein dreidimensionales Problem, ich denke aber wir gehen konform, wenn wir bezüglich der wirkenden Kräfte eindimensional rechnen, d.h. wir unterscheiden nur nach innen und nach außen wirkenden Kräfte. Die Richtung "nach innen" will ich durch die Schreibweise

$$\vec{e}_I$$

andeuten, diejenige "nach außen" durch

$$\vec{e}_A$$

wobei selbstverständlich

$$\vec{e}_1 = -\vec{e}_A$$

gelten soll. Betrachten wir zunächst den ersten Fall der Zentripetalkraft. In vektorieller Schreibweise lautet das dann

$$|\text{SK}| \vec{e}_1 = |\text{ZPK}| \vec{e}_1$$

Durch einfache Umformungen wird daraus

$$|\text{SK}| \vec{e}_1 - |\text{ZPK}| \vec{e}_1 = 0$$

oder

$$(|\text{SK}| - |\text{ZPK}|) \vec{e}_1 = 0$$

Ein Produkt aus einem Skalar und einem Vektor kann nur dann den Skalar "0" ergeben, wenn der multiplizierende Skalar "0" ist, wenn also gilt

$$|\text{SK}| - |\text{ZPK}| = 0$$

oder

$$|\text{SK}| = |\text{ZPK}|$$

Das ist dasjenige Ergebnis, mit dem wir beide ja keine Schwierigkeiten haben. Nun machen wir die gleiche Rechnung mit der Zentrifugalkraft. Daß die Zentrifugalkraft nach außen wirken soll, kann ich rein formal *durch zwei unterschiedliche Maßnahmen* kennzeichnen. Ich kann *entweder* schreiben

$$\text{ZFK} = |\text{ZFK}| \vec{e}_A$$

wobei ich die Richtung explizit als \vec{e}_A hingeschrieben habe, *oder* ich kann sie durch ein negatives Vorzeichen darstellen, indem ich die Identität $\vec{e}_1 = -\vec{e}_A$ benutze und die Gleichung als

$$\text{ZFK} = |\text{ZFK}| (-\vec{e}_1)$$

schreibe, was mit vorgezogenem negativen Vorzeichen dann

$$\text{ZFK} = -|\text{ZFK}| \vec{e}_1$$

lautet. Ich muß mich aber für *eine* dieser beiden Schreibweisen entscheiden! Wende ich (fälschlicherweise) beides gleichzeitig an, so führt das zu

$$\text{ZFK} = -|\text{ZFK}| \vec{e}_A$$

und somit zu

$$\text{ZFK} = -|\text{ZFK}| (-\vec{e}_1)$$

und letztlich zu

$$\mathbf{ZFK} = |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_r$$

was etwas anderes ist, als ich eigentlich sagen will, weil hier die Zentrifugalkraft als eine nach innen gerichtete Größe erscheint, und schließlich will ich ja das Gegenteil behaupten.

Also, wenn ich sagen will, daß Schwerkraft und Zentrifugalkraft entgegengesetzt gleich sind, so kann ich das *entweder* durch

$$|\mathbf{SK}| \vec{e}_r = |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_A$$

oder durch

$$|\mathbf{SK}| \vec{e}_r = - |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_r$$

notieren. Beide Formulierungen sind durch die Identität $\vec{e}_r = -\vec{e}_A$ äquivalent. Wieder mache ich einfache Umformungen und erhalte

$$|\mathbf{SK}| \vec{e}_r + |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_r = 0$$

$$(|\mathbf{SK}| + |\mathbf{ZFK}|) \vec{e}_r = 0$$

Dies wiederum kann nur erfüllt sein, wenn gilt

$$|\mathbf{SK}| + |\mathbf{ZFK}| = 0$$

oder

$$|\mathbf{SK}| = - |\mathbf{ZFK}|$$

Wie Sie sehen, ergibt sich die imaginäre Lösung *gerade dadurch, daß ich das Problem ganz korrekt vektoriell behandelt habe!*

Ihre Aussage, daß die Zentrifugalkraft nach dem 3. Newton'schem Axiom die Reactio zur actio Zentripetalkraft sei, ist knatschfalsch. Ich will mich an dieser Stelle nicht endlos wiederholen und möchte Sie bitten, einen erneuten Blick in das Drama zu werfen oder das Axiom noch einmal nachzulesen. Da werden Sie überdeutlich die Aussage finden, daß Reaktionskräfte an *unterschiedlichen* Körpern ansetzen. Mit der Annahme einer Zentrifugalkraft konstatieren Sie jedoch eine Reaktionskraft auf den *gleichen* Körper, nämlich den Satelliten. Die Reaktionskraft auf die Zentripetalkraft (=die Schwerkraft der Erde auf den Satelliten) ist die Schwerkraft, welcher der Satellit auf die Erde bewirkt.

Mit freundlichen Grüßen + 73's

U. Bangert
(U. Bangert, DF6JB)

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
05.03.1996

Herrn
Dr. Wilfried Wilhelmy
Joseph-Str. 16
50678 Köln

Lieber Om Wilhelmy,

noch bevor ich eine Antwort auf mein letztes Fax erhalten hätte, möchte ich die Gelegenheit zu einer Selbstkorrektur nutzen. Sie hatten nämlich in *mathematischer* Hinsicht recht. Mein Fax war bis zu einschließlich demjenigen Punkt richtig, wo ich schrieb, daß man die Zentrifugalkraft als

$$\mathbf{ZFK} = |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_A$$

bzw. als

$$\mathbf{ZFK} = - |\mathbf{ZFK}| \vec{e}_I$$

schreiben müsse. Was ich übersehen hatte, war, daß einer dieser Terme in

$$\mathbf{SK} = - \mathbf{ZFK}$$

einzusetzen ist und damit quasi zu der gleichen Bestimmungsgleichung für die Beträge

$$|\mathbf{SK}| = |\mathbf{ZFK}|$$

führt, ohne daß einem ein negatives Vorzeichen das Leben versauert. Das Argument mit dem negativen Vorzeichen, welches ich in der ganzen Diskussion benutzt habe, ist also falsch. Sie sind bislang der einzige, der dies in aller Klarheit erkannt hatte, und ich bedanke mich dafür, daß Sie mich auf diesen meinen Fehler aufmerksam gemacht haben.

Nur möchte ich Sie nun vor folgendem Fehler warnen: Wenngleich beide Ansätze zu einer mathematisch richtigen Bestimmungsgleichung führen, so wäre es falsch, daraus den Schluß zu ziehen, die Ansätze wären *physikalisch* äquivalent. Denn es ist ja so, daß der Ansatz "Schwerkraft = Zentripetalkraft" behauptet, der Satellit sei nicht kräftefrei, während der Ansatz "Schwerkraft = Zentrifugalkraft" behauptet, der Satellit sei kräftefrei. Mithin ist der eine Ansatz die logische Negation des jeweils anderen.

Die trügerische Idee, die meiner Vorstellung mit dem Vorzeichen zugrunde lag, war diejenige, daß Unsinn herauskommen muß, wenn man mit falschen Voraussetzungen richtige Umsetzungen durchführt.

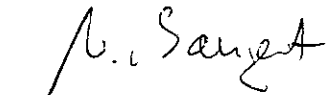
Das hätte ich in der Tat besser wissen müssen, gilt doch in der Logik "Ex falsi omnis, aus falschen Voraussetzungen kann man alles schließen". Unter diesem Aspekt neu überlegt, ist es also eigentlich kein so großes Wunder, wenn zwei kontradiktionale Ansätze das gleiche Ergebnis liefern.

Nochmals mein Dankeschön dafür, daß Sie bei mir einen gedanklichen Fehler entdeckt haben. Sie haben allerdings damit nicht bewiesen, daß es eine Zentrifugalkraft gibt, sondern lediglich, daß man mit rein *mathematischen Mitteln* keine Entscheidung darüber treffen kann, welcher der beiden Ansätze *physikalisch* richtig ist.

Außerdem haben Sie nur *ein* Argument entkräftet und wenn Sie das "Drama" in Ruhe durchlesen, werden Sie viele andere Argumente gegen die Zentrifugalkraft finden.

Ich würde mich freuen, wieder von Ihnen zu hören.

Mit freundlichen Grüßen und 73's

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'U. Bangert'.

(U. Bangert, DF6JB)

Dr. Wilfried Wilhelmy Josephstr.16 D-50678 Köln Tel & Fax (0221) 31 58 68

Lieber OM Bangert,

vielen Dank für Ihre Faxe vom 26.2. und 5.3. ! Mit letzterem sind Sie mir in der Tat zuvor gekommen, denn nach dem Lesen des ersteren hatte ich schon eine Antwort im Hinterkopf, die mit folgender Gegenargumentation begonnen hätte: "In der Formel auf Seite 3, Zeile 6 formulieren Sie, daß Schwerkraft und Zentrifugalkraft gleich sind, aber nicht, was Ihre eigentliche Absicht ist, daß die beiden entgegengesetzt gleich sind." Die Weiterführung dieses Gedankens erübrigt sich nun. Ich hätte auch unter Verzicht auf die mathematische Formulierung mich darauf berufen können, daß die verbale Aussage "Zwei Kräfte sind entgegengesetzt gleich" logisch definiert ist als: "Zwei Kräfte haben den gleichen Betrag, sind aber in ihrer Richtung um 180 Grad versetzt". Daraus läßt sich natürlich nie folgern, daß die beiden (gleichen) Beträge sich (dennoch) um den Faktor -1 unterscheiden.

Da unser Schriftwechsel auch für mich fruchtbar ist, weil er in Erinnerung ruft, was ich vor knapp einem halben Jahrhundert im Hörsaal gelernt habe, und mich veranlaßt, dieses erneut zu bedenken, zu korrigieren und zu formulieren, möchte ich hier nun mein *derzeitiges* "Weltbild der Physik" zusammenfassen:

- 1) Zur Bahnbeschreibung von Satelliten ist es notwendig und hinreichend, die Zentripetalbeschleunigung zu berechnen und (durch Multiplikation mit der Masse) die Zentripetalkraft zu definieren als diejenige Kraft, die erforderlich ist, um den Satellit ständig auf eine Kreisbahn zu zwingen.
- 2) Zur Zentripetalkraft gibt es nach Newton eine „reactio“. In der Tat ist es knatschfalsch, dieser den irrtumstiftenden Namen „Zentrifugalkraft“ zu geben und dann noch zu behaupten, sie würde, am Satelliten angreifend, diesen nach außen ziehen. Diese Klarstellung geht auf Ihr Konto und nun bin ich an der Reihe mich dafür zu bedanken. (Diese „reactio“ ist vielmehr auch eine Zentripetalkraft, die dadurch entsteht, daß die Erde, genauer gesagt der Schwerpunkt der Erde, eine kleine Kreisbewegung synchron mit dem Satellitenumlauf macht und dadurch ständig eine Zentripetalbeschleunigung auf den Satelliten zu erfolgt. Analog zur Aussage Anziehung (Erde -> Satellit) = Zentripetalkraft (Satellit) gilt ebenso Anziehung (Satellit -> Erde) = Zentripetalkraft (Erde) = „reactio“, wobei alle 4 Vektoren den gleichen Betrag haben und sich zu 0 summieren, so daß das System Erde + Satellit kräftefrei ist..)
- 3) Die Punkte 1 und 2 beschreiben den Vorgang komplett und lückenlos in jedem Inertialsystem. Dies könnte der Weisheit letzter Schluß sein, wäre die Phantasie der Physiker nicht einen Schritt weitergegangen, der darin besteht, einen Bewegungsablauf in einem Koordinatensystem zu beschreiben, das seinerseits sich innerhalb des Inertialsystems bewegt.

Z.B. kann sich dieses System mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen. Dann entsteht ein neues Inertialsystem, das ohnehin vom ursprünglichen nicht unterschieden werden kann (Relativitäts-Prinzip).

Z.B. kann sich dieses System beschleunigt bewegen, sei es linear (Ein Labor fällt aus 10000 m Höhe zur Erde.), sei es durch Drehung (Ein Labor wird in ein Karussell eingebaut oder ein Labor befindet sich auf der Erde und dreht sich mit dieser.) Zu diesem Zweck erstellt man Koordinaten-Transformations-Gleichungen und differenziert diese zweimal nach der Zeit. Das Ergebnis ist, daß manche Ortspunkte sich beschleunigt bewegen (nach Betrag oder nach Richtung oder beides), die vorher in Ruhe waren oder sich gleichförmig bewegten. Für andere Ortspunkte passiert das Umgekehrte. Besetzt man einen solchen (geometrischen) beschleunigten Ortspunkt mit einem (physikalischen) Massepunkt, so entsteht eine Kraft, die als Trägheitskraft bezeichnet wird.

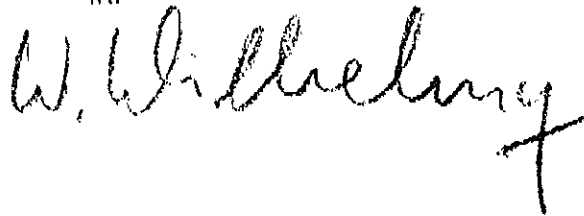
Die Einführung bewegter Koordinatensysteme hat sich als nützlich erwiesen. So ergibt sich z.B. eine elegante Formulierung der Coriolis-Kraft, wenn man den Bezugskordinaten-Ursprung in den Mittelpunkt der Erde legt und die Koordinaten mit dieser gleichförmig rotieren läßt.

Die Bewegung eines Satelliten kann man auch (muß man aber nicht) in einem Koordinatensystem beschreiben dessen Ursprung im Mittelpunkt der Erde (genauer: im gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Satellit) liegt und das so rotiert, daß z.B. die x-Achse ständig auf den Satelliten weist. Dann stellt man fest, daß der Satellit sich ständig auf dem Koordinatenpunkt $x = 789$ km befindet. Weil man einerseits weiß, daß der Satellit sich im Schwerfeld der Erde befindet, andererseits beobachtet, daß er nicht „herunterfällt“, schließt man daraus, daß es eine Kraft gibt, die der Schwerkraft „entgegengesetzt gleich“ ist. Damit das Kind einen Namen bekommt, hat man sich auf „Zentrifugalkraft“ geeinigt. Berechnet man im neuen Koordinatensystem ihre Größe, so erhält man den gleichen Betrag wie den der Zentripetalkraft im Inertialsystem. Das ist kein Zufall, denn zwei Beschreibungen ein und desselben Vorgangs müssen zum gleichen Ergebnis führen.

Ich bin mir sicher, mit Punkt 3 Ihre Sch^elte einzuhandeln, aber vorerst habe ich noch keine Veranlassung, das Wort „Zentrifugalkraft“ aus meinem Lexikon zu streichen. Auch werde ich vorerst noch keinen Antrag bei der Duden-Kommission stellen, das Wort „Zentrifuge“ durch „Zentripete“ zu ersetzen.

Nichts für ungut und herzliche 73 |

Ihr



Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
06.03.1996

Herrn
Dr. Wilfried Wilhelmy
Joseph-Str. 16
50678 Köln

Lieber Om Wilhelmy,

die Diskussion mit Ihnen bereitet mir außerordentliches intellektuelles Vergnügen! Sie dürfen auch davon ausgehen, daß jemand, der sein physikalisches Weltbild analog wie in Ihren Punkten 1. und 2. formuliert, sich keinesfalls eine Schelte von mir einhandelt. Im Gegenteil: Aus diesem korrekten Ansatz heraus kann man endlich eine mehr feinsinnige Diskussion über die Rolle bewegter Beobachter anstimmen.

Zunächst aber einmal: Ohne daß ich es expressis verbis in Ihrem Fax finde, gehe ich davon aus, daß Sie meiner ursprünglichen Darstellung in der CQDL nun weitestgehend zustimmen würden. Zudem hatte keiner der Diskussionsteilnehmer für sich in Anspruch genommen, die Bewegung des Satelliten im mitbewegtem System beschreiben zu wollen. Vielmehr gibt es viele Ansatzpunkte, welche in der Korrespondenz geradezu darauf hinweisen, daß meine "Gegner" eigentlich aus einem Inertialsystem heraus argumentieren wollen.

Kommen wir nun zum mitbewegten System: Eine solche Argumentation hatte ich von einem Mann Ihrer Intelligenz und Ihres Ausbildungsstandes erwartet. Sie entspricht ziemlich genau dem, was man in der gängigen Fachliteratur zu diesem Thema findet. Trotzdem möchte ich gerne einen Punkt ansprechen, an dem entweder ich mich ganz dumm anstelle oder die gängige Fachliteratur Unrecht hat. Nehmen wir dazu Ihre Formulierung Wort für Wort:

"Dann stellt man fest, daß der Satellit sich ständig auf dem Koordinatenpunkt $x = 789$ km befindet."

Ok, ich habe mich nun in das mitbewegte System begeben, folglich ruht der Satellit für mich als mitbewegten Beobachter.

"Weil man einerseits weiß, daß der Satellit sich im Schwerfeld der Erde befindet, andererseits beobachtet, daß er nicht herunterfällt, schließt man daraus, daß es eine Kraft gibt, die der Schwerkraft entgegengesetzt gleich ist. Damit das Kind einen Namen bekommt, hat man sich auf Zentrifugalkraft geeinigt."

Ich habe hier zwar einige kritische Kommentare auf der Zunge, lasse diese aber hier weg, weil sie vom eigentlichen Argument ablenken würden, und sage schlicht: Ok!

"Berechnet man im neuen Koordinatensystem ihre Größe, so erhält man den gleichen Betrag wie den der Zentripetalkraft im Inertialsystem."

Hier erhebe ich Einwand! Ich beobachte eine der Schwerkraft entgegengesetzt gleiche Kraft, mehr nicht! Berechnen kann ich da gar nichts! Aus meiner Sichtweise ruht der Satellit, ich würde also nie auf den Gedanken von Trägheitskräften kommen, weil diese immer mit Änderungen von Bewegungszuständen verkoppelt sind. In dem Moment wo ich dem Satelliten eine von 0 verschiedene Geschwindigkeit zuerkenne, habe ich bewiesen, daß ich bezüglich meiner Beschreibung bereits wieder in ein Inertialsystem zurückgerutscht bin.

Mein physikalisches Weltbild stellt sich deshalb so dar:

1) Genau wie bei Ihnen

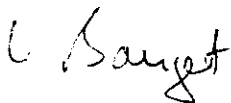
2) Genau wie bei Ihnen

3) In einem mitbewegten System treten Zentrifugalkräfte auf, über die ich aber kaum mehr aussagen kann, als daß sie einer nach innen gerichteten Kraft gleich sind. Ich könnte auf die Idee verfallen, mich nacheinander in die Systeme unterschiedlicher Satelliten zu begeben. Immer würde ich feststellen, daß die entgegengesetzte Gleichheit zur Schwerkraft gegeben ist und deswegen eine $1/r^2$ Abhängigkeit der Zentrifugalkraft ansetzen. Auf die Idee von $m v^2 / r$ würde ich niemals kommen, weil entweder für mich $v = 0$ ist (im mitbewegten System) oder aber $v > 0$, aber dann bin ich bereits wieder in einem Inertialsystem.

Fazit: Wenn ich unbedingt eine Zentrifugalkraft haben will, so kann ich durch Wahl eines geeigneten Bezugssystem dafür sorgen, daß solche vorhanden sind. Vernünftige Physik kann ich aber in diesem Bezugssystem nicht betreiben, ohne wieder in eine Inertialsystem zurückzugehen (abgesehen davon, daß einige ausgesprochen hübsche Erhaltungssätze der Physik in meinem mitbewegten System keine Gültigkeit mehr haben!).

Wenn Sie zu dieser Argumentation ähnlich gute Erwiderungen haben sollten wie in der Vergangenheit, so bin ich durchaus bereit, den Begriff der Zentripete aus meinem Wörterbuch zu streichen!

Mit freundlichen Grüßen und 73's

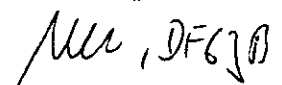


(U. Bangert, DF6JB)

P.S.

Meine letzten Hörsaalbesuche sind nur etwa 20 Jahre her. Eine gewisse Seelenverwandtschaft unter Physikern scheint sich aber trotz des Generationsunterschieds kaum verleugnen zu lassen.

DAMIT SIE SEHEN, DASS ICH MICH IN MEINER FREIZEIT NICHT NUR DAMIT BESCHÄFTIGE, MICH ÜBER PHYSIK ZU STREITEN, SCHICKE ICH NOCH EINEN BRIEF MIT INFOMATERIAL DARÜBER ZU, WAS MIR EIGENTLICH SPASS MACHT!



Dr. Wilfried Wilhelmy Josephstr.16 D- 50678 Köln Tel & Fax (0221) 31 58 68

Lieber OM Bangert,

vielen Dank für Ihr Fax vom 6.3., das meine Gehirnzellen wieder in Bewegung versetzte!

Es gibt 2 legitime Möglichkeiten, einen Sachverhalt zu erörtern:

1. Man weiß schon alles, was kluge Physiker in den letzten Jahrhunderten ausgeknobelt haben, und stellt sich die Aufgabe, dieses Allerlei zu ordnen.
2. Man stellt sich dumm und beginnt bei Adam und Eva.

Ich möchte durch diese **zwei** Betrachtungsweisen mein Weltbild präzisieren.

1) Diese Betrachtung knüpft an Ihren Abschnitt „3) In einem mitbewegten in einem Inertialsystem.“ an. In unserem Fall weiß ich, daß es sich im Inertialsystem um die kreisförmige Bewegung eines Satelliten um die Erde handelt. Deswegen wähle ich als neues Bezugssystem ein solches, dessen Koordinaten-Nullpunkt mit dem Nullpunkt des Inertialsystems zusammenfällt, dessen x-Achse aber so rotiert, daß sie stets auf den Satelliten weist. Bei der mathematischen Behandlung stellt man jedes Bezugssysteme zweckmäßigerweise als 3-dimensionalen Vektorraum dar und den Standort des Satelliten durch den Vektor r (Dadurch erspart man sich den bei skalarer Schreibweise entstehenden sin-cos-Wirrwarr.) Der Vektor r_I im Inertialsystem ist gleich dem Vektor r_R im rotierenden System, da ja in jedem Bezugssystem der Satellit den gleichen (momentanen) Standort haben muß. (Aber seine Koordinaten sind in jedem Bezugssystem andere.) An dieser Stelle müßte ich jetzt die Formeln des Rechengangs (ab-)schreiben; da ich ein schreibfauler Mensch bin, verweise ich auf die Literatur, wo diese Prozedur unter dem Oberbegriff „Beschleunigte Bezugssysteme“, Unterbegriff „Gleichförmig rotierende Bezugssysteme“ vorgeführt wird, und beschränke mich auf eine verbale Interpretation: Die erste Ableitung von r nach der Zeit ergibt $dr/dt = d'r/dt + [w r]$ mit w als Vektor der Winkelgeschwindigkeit. (Mit d' seien die Differentiale bezeichnet, die ein Beobachter im rotierenden System wahrnimmt.) Die Formel besagt: Die (im Inertialsystem) tatsächliche zeitliche Ortsveränderung, also Geschwindigkeit des Satelliten, ist gleich der im rotierenden System beobachteten Ortsveränderung (in unserem Beispiel = 0, weil $x = |r| = 789 \text{ km} = \text{const}$) plus dem Vektorprodukt $[w r]$, das ja nichts anderes ist als der Vektor v der tangentialen Bahngeschwindigkeit. Differenziert man noch mal nach der Zeit, so erhält man als Ergebnis

$$d^2r/dt^2 = d'^2 r/dt^2 + 2[w d'r/dt] + [w[w r]]$$

Die Beschleunigung des Satelliten setzt sich also aus 3 Summanden zusammen.

1. Eine Beschleunigung, die man im rotierenden System beobachtet und die in unserem Beispiel wegen $r = \text{const}$ gleich Null ist.
2. Eine Beschleunigung, die man als Coriolis-Beschleunigung bezeichnet, und die in unserem Beispiel wegen $r = \text{const}$ gleich Null ist.
3. Eine Beschleunigung, die auf den Koordinatenursprung (Drehpunkt) hingerrichtet ist und Zentrifugalbeschleunigung genannt wird. Da in unserem Beispiel w und r sowie w und $[w r] = v$ jeweils einen Winkel von 90° einschließen, ist der Betrag der Zentripetalbeschleunigung gleich $w^2 r = v^2 / r$. (Durch Multiplikation mit der Masse m erhält man dann die Zentripetalkraft $ZPK = m * w^2 * r = m * v^2 / r$.)

Das Ergebnis ist trivial. Wenn ich von Köln nach Groß Ippener marschiere, und dann den umgekehrten Weg gehe, muß ich wieder in Köln ankommen, es sei denn, ich habe mich unterwegs verlaufen. Oder, wie Sie es formulieren: ich bin wieder in ein Inertialsystem zurückgekehrt. Für unser Diskussion besagt es aber dennoch

folgendes: Als Beobachter, der starr in einem (beschleunigt) bewegten System (in unserem Fall ein rotierendes) verhaftet ist, darf ich getrost den Bewegungsablauf aus „meiner“ Perspektive betrachten und Berechnungen anstellen. *Ich komme zu richtigen Ergebnissen, vorausgesetzt: ich weiß, wie sich „mein“ Bezugssystem gegenüber dem Inertialsystem bewegt.*

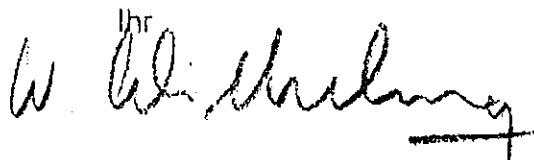
2) Ich befinde mich auf einer Drehscheibe und stelle fest, daß außer der (senkrechten) Schwerkraft auch noch eine (horizontale) geheimnisvolle Kraft auf meinen Körper und auch auf physikalische Körper wirkt, deren Größe ich mit einer Federwaage als Kraftmesser bestimmen kann. Diese Kraft ist von Ort zu Ort verschieden. Es gibt einen Ort, an dem diese Kraft gleich Null ist, den ich auf dem Boden markiere und mit „A“ bezeichne. Mit Federwaage und Metermaß erkenne ich folgende Gesetzmäßigkeit: Diese Kraft ist proportional zur Masse m und zum Abstand r zwischen Meßort und A, also $K = \text{const} * m * r$. Ihre Richtung ist genau von A abgewendet. Habe ich die Möglichkeit, die Winkelgeschwindigkeit zu ändern, so stelle ich fest, daß die Kraft proportional zum Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ist. Ich komme also *experimentell* zur Erkenntnis: $K = \text{const} * m * w^2$ (wobei es erlaubt ist, $\text{const} = 1$ zu setzen, wodurch dann die Einheit der Kraft definiert ist) und kann Beobachtungen erklären und technische Anwendungen berechnen. Da diese Kraft vom Drehpunkt weg gerichtet ist, gebe ich ihr den Namen „Zentrifugalkraft“. Ihrer Natur nach ist sie die „Widerspenstigkeit der Materie gegen beschleunigte Bewegung“, der man den Namen „Trägheitskraft“ gegeben hat.

Da beide Betrachtungsweisen fehlerfrei sind, muß man nun für eine friedliche Koexistenz Sorge treffen. Für das Satelliten-Beispiel lautet die primäre Formulierung: „Die für die Kreisbewegung erforderliche Zentripetalkraft ist in diesem Fall die Schwerkraft“. Diese Aussage entspricht den Newtonschen Axiomen, und in einem Lehrbuch der Physik gehört sie in das Kapitel „Dynamik“. Die andere Aussage „Schwerkraft und Zentrifugalkraft halten sich das Gleichgewicht“ gehört in das Kapitel „Statik“. An Stelle des 1. Newtonschen Axioms „Ein kräftefreier Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit“ muß es hier heißen: „Ein Körper bewegt sich mit konstanter Beschleunigung“, weil eine der Kräfte eine beschleunigungsbedingte Trägheitskraft ist. Sollte die Beschleunigung gleich Null sein oder werden, so führt dies wieder zum Newtonschen $v = \text{const}$ zurück.

Meiner Weisheit (die dank Ihrer Ausführungen in einigen Punkten korrigiert wurde) letzter Schluß: der Begriff der „Zentrifugalkraft“ befriedigt nicht das Newtonsche Axiom „If $K = 0$ then $a = 0$ and $v = \text{const}$ “, aber es ist in manchen Fällen nützlich und bequem, so zu tun, **als ob** es sie gäbe. Die Wetterfrösche gehen mit der Corioliskraft so um, **als ob** sie eine „Trägheitskraft“ wäre, und sollte die Wetterprognose mal daneben gehen, dann sicherlich nicht wegen dieses „Irrtums“. Das Elektron verhält sich manchmal, **als ob** es eine Welle, manchmal, **als ob** es ein Teilchen wäre, wobei mir wohl bei dieser Analogie der Unterschied bewußt ist: die als-ob-Zentrifugalkraft ist das Produkt menschlicher Phantasie, induziert durch die sinnliche Wahrnehmung einer Fliehkraft, beim Elektron-als-ob ist es das (Noch-)Nicht-Wissen um das eigentlich Wahre.

Manchmal gehe ich mit der Physik so um, als ob es Philosophie wäre.

In diesem Sinne grüße ich Sie herzlich!

Ihr


PS: Vielen Dank für Ihre Infos über EasyFax, die ich inzwischen mit Interesse gelesen habe.

Ulrich Bangert
DF6JB @ DB0CL

Ortholzer Weg 1
27243 Groß Ippener
Telefon & Fax
+49-(0)4224-431
15.03.1996

Herrn
Dr. Wilfried Wilhelmy
Joseph-Str. 16
50678 Köln

Lieber Om Wilhelmy,

vielen Dank für Ihre weitere Präzisierung Ihres Weltbildes. Ich kann eigentlich jeden einzelnen Satz unterschreiben. Gerade deswegen wundert es mich, daß wir darüber unterschiedliche Ansichten haben können. (In 1. 3. gehe ich davon aus, daß das Wort Zentrifugalbeschleunigung ein Verdreher war, den Sie selber nicht so meinten.)

Was heißt es denn, "etwas im bewegten System zu beschreiben"? Es heißt doch zunächst einmal, die Sachlage in den Koordinaten meines frei gewählten Bezugssystems zu beschreiben. Hier aber ist $r_R = \text{const}$ und deswegen verschwinden natürlich alle zeitlichen Ableitungen, wie Sie selber richtig feststellen. Damit kann man kaum vernünftige Physik machen! Was Sie ansonsten in Ihrem großen Bereich 1) anstellen, ist aber doch nun genau das, was ich in meinem letzten Brief behauptet habe, nämlich: Unter Ausnutzung der Tatsache "ich weiß, wie sich mein Bezugssystem gegenüber dem Inertialsystem bewegt" führen Sie eine Koordinatentransformation aus dem bewegten in das Inertialsystem durch und gelangen nun zu physikalisch verwertbaren Erkenntnissen in Termen des Inertialsystems.

Natürlich enthält Ihre Gleichung für $d^2 r / dt^2$ auch Terme wie $d' r / dt$ und höhere Ableitungen und damit Koordinaten des bewegten Systems. Ich würde es aber für äußerst unredlich halten, wenn man beim Lesen der Gleichung von links nach rechts sagen würde: Aha, hier befinde ich mich im bewegten System oder an anderer Stelle: Aha, hier befinde ich mich im Inertialsystem. Diese Gleichung ist eine, die Sie überhaupt nur in einem Inertialsystem aufstellen können und deswegen befinden Sie sich hinsichtlich ihrer Interpretation zu jedem Zeitpunkt in einem Inertialsystem.

Die gleiche Argumentation würde ich auch auf Ihr Beispiel mit der Drehscheibe anwenden wollen. Im mitbewegten System gibt es keine Winkelgeschwindigkeit ω ! Diese kommt erst in's Spiel, wo mir bewußt ist, daß mein Bezugssystem ein mit dieser Winkelgeschwindigkeit gegenüber einem Inertialsystem rotierendes ist. Diese Tatsache kann ich mir zunutze machen, indem ich nun allen Gegenständen, die im rotierenden System ruhen, eine Winkelgeschwindigkeit ω im Inertialsystem zuordne. In dem Moment, wo ich dies tue und weiter mit ω hantiere, gebe ich ohne jeden Zweifel zu erkennen, daß ich die Sachlage aus einem Inertialsystem heraus beschreiben will. Die Tatsache, daß ich weiß, daß mein Bezugssystem mit ω gegenüber einem Inertialsystem rotiert, führt nicht dazu, daß in der Sprechweise (= in den Koordinaten) des rotierenden Bezugssystems ein ω auftaucht! Das tut es nur in der Sprechweise des Inertialsystems!

Mit anderen Worten: Sie machen genau das, was ich nun schon mehrfach beschrieben habe:
Weil das langweilige $r_R = \text{const}$ im bewegten System Sie physikalisch nicht weiter bringt (=die Effekte, die Sie beobachten, nicht plausibel erklärt), führen Sie eine Koordinatentransformation in ein Inertialsystem durch (=Sie begeben sich in ein Inertialsystem), um da vernünftige Physik zu betreiben.

Ich reite auf dieser Geschichte deswegen so herum, weil -ähnlich wie bei Ihnen- für mich nicht nur "nackte Gleichungen" interessant sind sondern ebenfalls deren erkenntnistheoretische Bedeutung. Philosophie war mein zweites Fach an der Uni und ich habe mich damals besonders für Wissenschaftstheorie sowie philosophische Probleme der Physik stark gemacht.

Mit freundlichen Grüßen und 73's

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'U. Bangert'.

(U. Bangert, DF6JB)