

Die Weltraumfahrt im Physikunterricht der Sekundarschule

Autor(en): **Vogel, Paul**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Schule**

Band (Jahr): **47 (1960)**

Heft 10: **Anregungen zum Mathematik- und Physikunterricht in der Sekundarschule**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-532463>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

mittel zu trachten. Dies bedeutet für den Schüler einen großen Gewinn, auch wenn er einige Franken mehr für ein gutes Lehrbuch ausgeben muß, dafür aber eine innere Beziehung zu dem Buch bekommt und es nicht nach der letzten Schulstunde wegwirft, sondern auch später, vielleicht sogar nach Jahren, gern wieder zur Hand nimmt. Ein Geometriebuch, das auf diese Weise Knaben und Mädchen begeistern kann, würde sicher von allen Mathematiklehrern freudig begrüßt werden.

Einer Gefahr können wir von Anfang an im Mathematikunterricht bei den Mädchen nie genug begegnen. Wir müssen ihnen zeigen, daß Mathematik nicht in erster Linie gelernt, sondern verstanden sein will. Hüten wir uns vor auswendig gelernten Lehrsätzen und Beweisen, und leiten wir auch die Mädchen an, mit einer gewissen Entdeckerfreude in die Geheimnisse der Zahlen und geometrischen Gebilde einzudringen. Die Zeit, die wir scheinbar durch einen solchen Unterricht verlieren, wird uns schon nach einem Jahr in reichem Maße wiedergeschenkt. Alles aber, was nur angelernt und nicht innerlich verarbeitet ist, hält nicht stand. Selbständigkeit und Selbsttätigkeit muß oberstes Grundprinzip im Mathematikunterricht sein und bleiben.

4. Ein Schlußgedanke

Die Erziehung hat das Ziel, Knaben und Mädchen ihre eigenen individuellen Möglichkeiten und Grenzen erkennen zu lassen. Unsere Kinder sollen nicht genötigt werden, sich so zu entwickeln, wie es ein äußerer Zwang, ein inneres Modell oder vielleicht der Druck der Masse von ihnen erwartet oder gar fordert, sondern es muß ihnen dazu verholfen werden, das zu sein, was sie nach ihren Fähigkeiten und Neigungen sein können und daher auch werden sollen. Der Unterricht muß so erteilt werden, daß jedes Kind seine ihm eigenen Talente entwickeln kann. Nicht alle Mädchen werden auf dem Gebiete der Mathematik Großes leisten, aber der Versuch, es mit ihnen einmal zu wagen, und vor allem die Begabten unter ihnen in Zukunft auch auf weniger traditionelle Bahnen zu lenken, wird sich sicher lohnen. Daß noch große Schwierigkeiten überwunden werden müssen, bis dieses Ziel erreicht ist, das ist mir voll bewußt. Vieles habe ich nur skizzenhaft und in groben Zügen dargelegt. Ich glaube, daß die Frage, wie wir die Mädchen für die Mathematik und damit auch für die Technik gewinnen können, es wert ist, weiter

verfolgt und diskutiert zu werden. Vielleicht haben wir gar keine andere Wahl mehr, wenn wir wirklich mit der Zeit gehen wollen.

Die Weltraumfahrt im Physikunterricht der Sekundarschule

Paul Vogel, dipl. Physiker, Hitzkirch

In einem im Aulis-Verlag, Frankenberg, erschienenen Büchlein *Erdsatellit und Weltraumfahrt* (Praxis-Schriftenreihe, Band 5) schildert L. Wolf, wie der Mechanikunterricht in den oberen Klassen der Mittelschule (in Deutschland als Oberstufe bezeichnet), dem trotz großem methodischem und experimentellem Aufwand eine gewisse stoffliche Dürre anhaftet, durch Behandlung des Satellitenproblems aktuell und spannend gestaltet werden kann. In klarer, übersichtlicher Darstellung wird mit bescheidenen mathematischen Mitteln, die sich mit Ausnahme eines Arbeitsintegrals auf die Schulalgebra beschränken, und aufbauend auf den Fall- und Wurfgesetzen und dem Gravitationsgesetz die Satellitenmechanik entwickelt. Es wird allerdings auf die Berechnung ellipsenförmiger Satellitenbahnen verzichtet; doch gestattet auch die Beschränkung auf Kreisbahnen interessante Einblicke in den Problemkreis. Einen Teil seiner Ausführungen widmet der Verfasser den Fragen der Weltraumfahrt. Obwohl dieses Gebiet heute noch im Stadium der Vorbereitung steckt, gestattet es eine Reihe von Überlegungen, die auch vom physikalischen Standpunkt aus interessieren.

Ist es nicht verlockend, die Himmelsmechanik in vermehrtem Maße zur Bereicherung und Auflockerung des Physikunterrichtes beizuziehen, nachdem künstliche Monde und Planeten auf ihre Bahn geschickt worden sind und sich ‚astronomisches Geschehen‘ gewissermaßen im Zeitraffertempo abspielt und sogar von bloßem Auge verfolgen läßt? Es soll in keiner Weise einem Thema das Wort geredet werden, bloß weil es aktuell geworden ist, sondern weil seine Behandlung wirklich einen Beitrag zu physikalischem Denken zu liefern vermag. Denn in der Tat stellen die Satellitenexperimente Großversuche zum Gravitationsgesetz dar und bestätigen in eindrucklicher Weise unsere Vorstellungen vom Bau des Weltalls und den in ihm wirksamen Kräften. Andererseits brachten sie, und dies war ihre Hauptaufgabe, wertvolle Erkenntnisse über Vorgänge innerhalb und außerhalb der irdischen Atmosphäre, Erkenntnisse, die u. a. erst eine ernsthafte Vorbereitung auf die Weltraumfahrt ermöglichen.

Für den Sekundarlehrer stellt sich die Frage, ob eine Besprechung über Erdsatelliten und Weltraumfahrt

in den Physikunterricht seiner Stufe eingebaut werden kann. Die Frage darf nach meiner Ansicht ohne weiteres bejaht werden; denn gerade der unvoreingenommene Schüler dieser Stufe bringt physikalischen und technischen Problemen ein überaus großes Interesse entgegen, das – selbstverständlich in maßvollem Rahmen – nutzbringend ausgewertet werden darf. Eine weise Beschränkung des Stoffes und eine Anpassung an die Aufnahmefähigkeit des Sekundarschülers ist dabei natürlich notwendig. Eine allgemeine, formelmäßige Behandlung des Themas ist weitgehend ausgeschlossen, da in den meisten Fällen die algebraischen Grundlagen fehlen werden, und entsprechend können Gesetze wie etwa das Gravitationsgesetz höchstens qualitativ erarbeitet werden.

Eine kurze Anregung, wie gerade dieses fundamentale Gesetz dem Schüler nahegebracht werden kann: Ausgangspunkt ist die Tatsache, daß jeder Körper auf der Erde ein Gewicht besitzt, also mit einer bestimmten Kraft von der Erde angezogen wird. Daß diese Kraft nichts mit Magnetismus zu tun hat, wird verständlich, wenn man darauf hinweist, daß ja alle Materialien, und nicht nur Eisen, Kobalt und Nickel, die als einzige auf Magnete reagieren, der Erdanziehungskraft unterliegen. Es handelt sich um eine nicht weiter erklärbare Kraft, die allgemein zwischen zwei Körpern wirkt und sogar im Laboratoriumsversuch festgestellt werden kann. Die Größe der Anziehungskraft hängt von der Masse, das heißt der Materialmenge der beiden beteiligten Körper, ab (es wird an dieser Stelle unerläßlich sein, den Unterschied zwischen Masse und Gewicht eines Körpers herauszuarbeiten) und besitzt die Eigenschaft, auch auf Distanz zu wirken, allerdings mit entsprechender Abschwächung. Solche Anziehungskräfte herrschen auch zwischen den Himmelskörpern, so zum Beispiel zwischen der Sonne und den Planeten. Weil die Massen dieser Körper ungeheuer groß sind, bestehen trotz riesiger Abstände unvorstellbare Gravitationskräfte. So wirkt beispielsweise zwischen Sonne und Erde eine Anziehungskraft von 3,6 Trillionen Tonnen. Diese Riesenzahl übersteigt natürlich das Vorstellungsvermögen des Schülers, wird aber doch etwas anschaulicher, wenn man zum Beispiel ausrechnet, wie dick ein Stahlseil sein müßte, um diese Kraft aushalten zu können, wenn jeder mm² Querschnitt 100 kg* zu tragen vermag. (Bemerkung: kg* wird als Krafteinheit, kg als Masseneinheit verwendet.) Die Berechnung liefert einen Seildurchmesser von

6800 km. Solche Angaben vermögen den Schüler zu beeindrucken, auch wenn er ihre Richtigkeit nicht in allen Teilen nachprüfen kann. Der Lehrer muß versuchen, durch derartige Anschaulichkeitsbetrachtungen die Riesenzahlen, die einfach im Gebiet der Astronomie nicht zu umgehen sind, in den Erfahrungsbereich der Schüler hereinzuziehen.

Eine kleine Zusammenstellung von Aufgaben soll nun im folgenden zeigen, wie ein Lehrgang in Satellitenmechanik illustriert werden könnte durch Rechenbeispiele, die dem Verständnis des Sekundarschülers angepaßt sind und deshalb seine aktive Mitarbeit ermöglichen. Die Sammlung ist lediglich als Anregung gedacht und kann beliebig erweitert werden. Für die theoretischen Grundlagen verweise ich auf das eingangs besprochene Büchlein ‚Erdsatellit und Weltraumfahrt‘.

1. Aufgabe:

Welche Zentrifugalkraft erfährt ein Stein von 1 kg Masse, der an einer Schnur von 1 m Länge 1mal/Sekunde im Kreis herumgeschleudert wird?

Die Formel für die Zentrifugalkraft (wir wollen der Einfachheit halber bei dieser Bezeichnung bleiben)

$K = \frac{m \cdot v^2}{r}$ kann selbstverständlich auf der Sekundarschulstufe nicht exakt hergeleitet werden; der Einfluß der verschiedenen Größen kann jedoch dem Schüler mit Beispielen aus dem täglichen Leben verständlich gemacht werden (Wasch- und Butterzentrifuge, Kurvenfahrt mit Velo oder Auto usw.). Die Schwierigkeiten, die in der Verwendung der Maßeinheiten liegen, sollen nicht verschwiegen werden. Kraft- und Masseneinheit sind nicht ohne weiteres verträglich, sondern müssen durch einen Zahlfaktor aufeinander abgestimmt werden. Verwendet man CGS-Einheiten, so kann die angeführte Formel ohne weiteres verwendet werden. Weit bequemer wird sie aber für unsere Zwecke mit dem Zahlfaktor $\frac{1}{9,8}$:

$$K = \frac{1}{9,8} \cdot \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (1)$$

Masse m in kg, Geschwindigkeit v in m/sec und Radius r in m ergibt die Zentrifugalkraft K in kg*.

Die Rechnung ergibt nun

$$K = \frac{1 \cdot 1 \cdot (2\pi)^2}{9,8 \cdot 1} \text{ kg*} = 4,03 \text{ kg*}$$

Zur Verwendung eines Zahlfaktors für die gegenseitige Anpassung der Maßeinheiten ist beizufügen, daß dieses Verfahren auch dem Sekundarschüler nicht neu ist. So weiß er womöglich, daß durch Mul-

tiplikation von Stromstärke und Spannung in den gebräuchlichen Einheiten die Stromleistung in Watt und nicht in den mechanischen Einheiten PS oder mkg/sec herauskommt. Erst mit einem Umrechnungsfaktor kann dies erreicht werden.

2. Aufgabe:

Mit welcher Geschwindigkeit müßte ein Körper von 1 kg Masse waagrecht weggeschleudert werden, damit er knapp über der Erdoberfläche die Erde umlaufen könnte? (Luftreibung vernachlässigen!) Wie groß würde seine Umlaufzeit?

Ein geworfener Stein erreicht je nach Anfangsgeschwindigkeit eine bestimmte Wurfweite. Bei Steigerung der Geschwindigkeit wird sich die Wurfbahn immer mehr der gekrümmten Erdoberfläche anschmiegen und schließlich ganz um die Erde herumführen; der Stein ist zum Satelliten geworden, der seine Kreisbahn ohne äußere Einwirkung nicht mehr verläßt. Es besteht Gleichgewicht zwischen dem immer noch vorhandenen Gewicht des Körpers und der durch die offenbar sehr große Geschwindigkeit verursachten Zentrifugalkraft.

Die einzusetzenden Zahlenwerte sind

$$K = 1 \text{ kg}^* \text{ (Gewicht des Körpers)}$$

$$m = 1 \text{ kg} \text{ (Körpermasse)}$$

$$r = 6370000 \text{ m (Erdradius; einige m mehr oder weniger haben keinen Einfluß)}$$

Gleichung (1) lautet nun unter Weglassung der Maßeinheiten:

$$1 = \frac{1 \cdot 1 \cdot v^2}{9,8 \cdot 6370000}$$

Auch ohne algebraische Kenntnisse kann daraus v^2 , resp. v ausgerechnet werden.

$$v^2 = 9,8 \cdot 6370000 = 62500000$$

$$v = 7900 \text{ m/sec} = 7,9 \text{ km/sec}$$

$$\text{Umlaufzeit } T = \frac{s}{v} \quad \begin{array}{l} s = \text{Weg} = \text{Erduumfang} \\ v = \text{Geschwindigkeit} \end{array}$$

$$T = \frac{2\pi \cdot 6370000}{7900} = 5070 \text{ sec} = 84,4 \text{ min}$$

Diese Umlaufzeit muß genau eingehalten werden, wenn der Körper die Erde umkreisen soll. Versucht man's in kürzerer Zeit, also mit größerer Geschwindigkeit, so wird der Wurfkörper in den Raum hinausgetragen, mit kleinerer Geschwindigkeit wird er zum ballistischen Geschöß, das wieder auf die Erde zurückkehrt.

Die gleiche Rechnung mit einem Körper größerer

Masse und entsprechend größerem Gewicht wird genau dasselbe Resultat liefern. Es zeigt sich, daß die Masse des geworfenen Körpers überhaupt ohne Bedeutung ist. Erklärung: größere Masse bewirkt größere Zentrifugalkraft beim Umlauf, andererseits aber auch größeres Körpergewicht. Das Gleichgewicht zwischen den beiden Kräften bleibt gewahrt.

3. Aufgabe:

Mit welcher Geschwindigkeit muß der amerikanische Satellit Echo I in einer durchschnittlichen Höhe von 1600 km die Erde umkreisen? Umlaufzeit?

Die Schwierigkeit bei der Lösung dieser Aufgabe besteht darin, daß das ‚Gewicht‘ des Flugkörpers mit der großen Entfernung von der Erdoberfläche beträchtlich abgenommen hat. Die Gravitationskraft hat die Eigenschaft, daß sie bei Verdopplung des Abstandes der beiden sich anziehenden Körper auf $\frac{1}{4}$, bei Verdreifachung des Abstandes auf $\frac{1}{9}$ des ursprünglichen Wertes sinkt usw.

Wir haben als erstes zu ermitteln, was für eine Erdanziehungskraft der Satellit der Zentrifugalkraft entgegenzustellen hat.

Dies gelingt am besten anhand einer Tabelle, in der für verschiedene Abstände die Anziehungskräfte, die zum Beispiel auf einen 1-kg-Stein ausgeübt werden, eingetragen sind. Für den Abstand ist die Distanz vom Erdmittelpunkt maßgebend, die mit Vorteil in Vielfachen des Erdradius R angegeben wird. Werden zunächst die Werte für R , $2R$, $3R$ usw. eingesetzt, so wird die Vervollständigung der Tabelle keine allzu großen Schwierigkeiten mehr bereiten.

| Abstand vom Erdzentrum | ‚Gewicht‘ eines 1-kg-Steins |
|------------------------|--|
| R | 1,00 kg * |
| $\frac{5}{4} R$ | $\frac{16}{25} \text{ kg}^* = 0,64 \text{ kg}^*$ |
| $\frac{3}{2} R$ | $\frac{4}{9} \text{ kg}^* = 0,44 \text{ kg}^*$ |
| $\frac{7}{4} R$ | $\frac{16}{49} \text{ kg}^* = 0,33 \text{ kg}^*$ |
| $2 R$ | $\frac{1}{4} \text{ kg}^* = 0,25 \text{ kg}^*$ |
| $3 R$ | $\frac{1}{9} \text{ kg}^* = 0,11 \text{ kg}^*$ |
| $4 R$ | $\frac{1}{16} \text{ kg}^* = 0,06 \text{ kg}^*$ |
| $5 R$ | $\frac{1}{25} \text{ kg}^* = 0,04 \text{ kg}^*$ |
| $6 R$ | $\frac{1}{36} \text{ kg}^* = 0,03 \text{ kg}^*$ |
| $7 R$ | $\frac{1}{49} \text{ kg}^* = 0,02 \text{ kg}^*$ |

Bei der Berechnung der Umlaufgeschwindigkeit unseres Satelliten spielt es nun, wie wir bereits erfahren haben, keine Rolle, welche Masse er besitzt. Wir dürfen also ganz unwillkürlich den Wert 1 kg wählen. Die Höhe von 1600 km über dem Erdboden entspricht ziemlich genau dem Abstand $\frac{5}{4}R$ vom Erdzentrum, und dies ist auch der Radius der Satellitenbahn. Unser 1-kg-Satellit erfährt dort die Erdanziehungskraft $0,64 \text{ kg}^*$, wie wir unserer Tabelle entnehmen, und ebenso groß muß auch die Zentrifugalkraft sein.

Nach Gleichung (1) ergibt sich

$$0,64 = \frac{1}{9,8 \cdot 8000000} v^2$$

$$v^2 = 0,64 \cdot 9,8 \cdot 8000000 = 50000000$$

$$v = 7070 \text{ m/sec} = 7,07 \text{ km/sec}$$

Daraus berechnet sich die Umlaufzeit zu $7100 \text{ sec} = 118 \text{ min}$.

Der gefundene Wert unterscheidet sich vom beobachteten (130 min), weil Echo I in Wirklichkeit eine Ellipsenbahn und nicht, wie wir vereinfachend angenommen haben, eine Kreisbahn beschreibt. Für einen exakten Vergleich der gerechneten mit der tatsächlichen Umlaufzeit müßte außerdem berücksichtigt werden, daß sich auch die Erde während eines Umlaufs unter der Satellitenbahn hinwegdreht und daß dadurch die beobachtete Umlaufzeit scheinbar verlängert wird.

4. Aufgabe:

In welcher Höhe müßte ein Satellit kreisen, um ständig vom gleichen Punkt der Erdoberfläche aus beobachtet werden zu können?

Die Umlaufzeit des Satelliten müßte genau mit der Rotationszeit der Erde übereinstimmen; dann befände er sich dauernd über dem gleichen Punkt der Erde. T ist also 24 Std.

Die exakte Lösung der Aufgabe führt auf eine Gleichung 3. Grades, da neben der Geschwindigkeit des Satelliten auch der Bahnradius unbekannt ist. Und trotzdem ist eine näherungsweise Lösung leicht möglich, wenn wir gemäß Aufgabe 3 für verschiedene Bahnradien die Umlaufzeiten bestimmen. Die Rechnung ergibt für:

$$6R: v = 3,34 \text{ km/sec} \quad T = 20,0 \text{ Std.}$$

$$7R: v = 2,96 \text{ km/sec} \quad T = 26,3 \text{ Std.}$$

Größerem Bahnradius entspricht längere Umlaufzeit und umgekehrt. Die Umlaufzeit von 24 Std. wird also ein Satellit aufweisen, dessen Abstand vom Erdzentrum zwischen $6R$ und $7R$ liegt, der also in einer Höhe zwischen $5R$ und $6R$ über dem Erdboden kreist. Die genaue Rechnung liefert $35,800 \text{ km}$ Höhe.

5. Aufgabe:

Bestimme die Hubarbeit, die aufgewendet werden muß, um einen Satelliten von 1 Tonne Masse auf diese Höhe zu bringen, unter der Annahme, daß die aufzubringende Kraft je in Schichten von der Dicke R konstant sei.

Selbstverständlich liefert auch diese Rechnung nur eine Näherungslösung, doch kann auch eine Größenordnungsbetrachtung zur Abwechslung sehr instruktiv sein.

In der ersten Schicht ist eine durchschnittliche Kraft von 625 kg^* auf einer Strecke von 6370 km aufzubringen, was eine Arbeit von $625 \cdot 6370000 = 3,98$ Milliarden mkg^* erfordert.

In der zweiten Schicht ergibt die entsprechende Rechnung $180 \cdot 6370000 = 1,15$ Milliarden mkg^* , analog für die folgenden Schichten bis zur Höhe $5R = 31,850 \text{ km}$, über der noch 25 kg^* auf 3950 km , also auf die Gesamthöhe von 35800 km über Erdboden zu heben sind.

Insgesamt ergibt sich so eine grob berechnete Gesamtarbeit von $6,31$ Milliarden mkg^* .

Diese Energie wäre zur Lancierung eines Satelliten von 1 Tonne Masse auf eine 24-Bahn vom Raketenstanz aufzubringen, außerdem wäre ihm dann nach Erreichen der gewünschten Höhe noch eine Horizontalgeschwindigkeit von etwas über 3 km/sec zu erteilen. Nicht zu vergessen, daß auch der Raketentreibstoff in die entsprechende Höhe befördert werden muß. Man sieht aus dieser kleinen Überlegung, daß von einer Energiequelle, die einen Satelliten auf seine Bahn bringen soll, enorm viel verlangt wird. Und doch entspricht die berechnete Hubarbeit von $6,31$ Milliarden mkg^* nur ungefähr dem, was von den gesamten Kraftwerken Oberhasli in knapp 9 Minuten produziert wird.

Diese kleine Gruppe von Rechenbeispielen möge genügen; die Möglichkeiten zu weiteren Anwendungen sind äußerst vielfältig und werden gewiß vom einen und andern ausgenützt.