



Lehrplananbindung: NT 7.1.2 Kräfte in der Natur und in der Technik

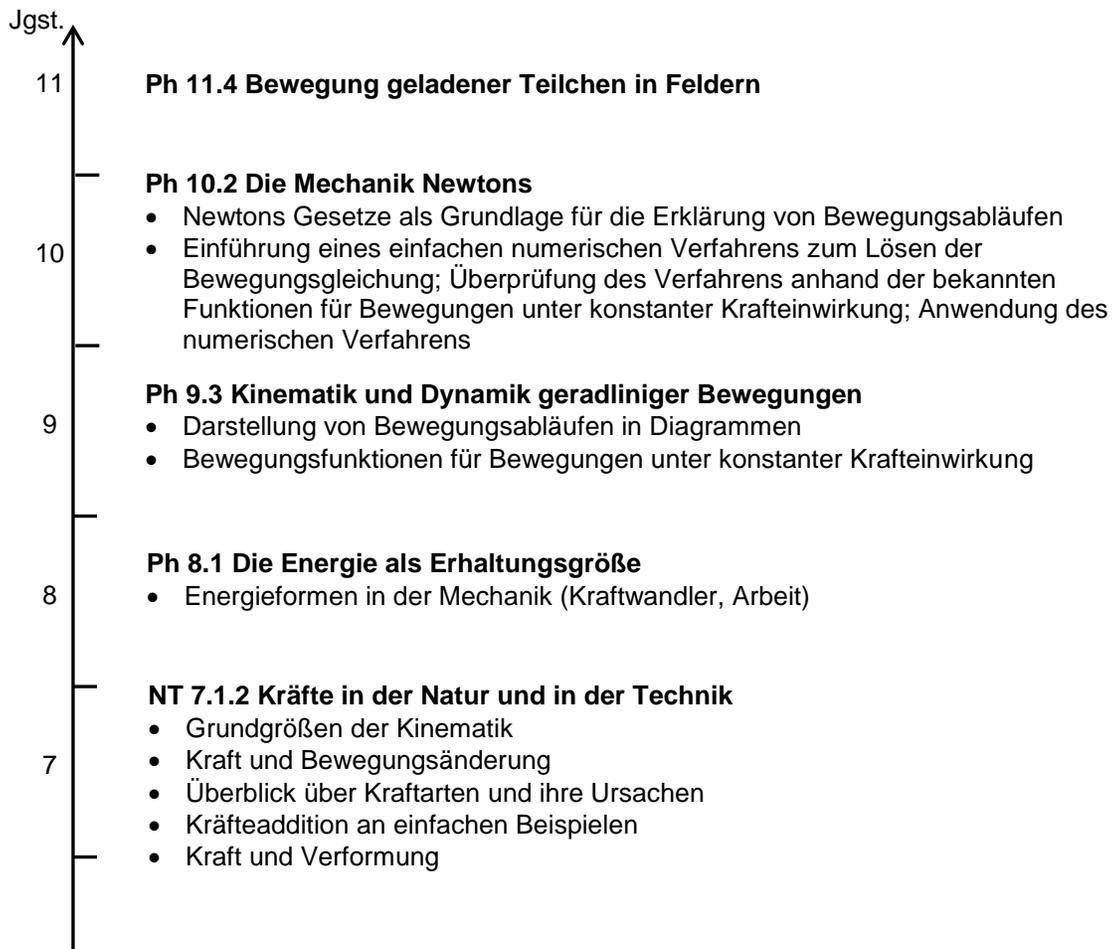
Unterrichtskonzept:

Einführung der Größen „Beschleunigung“ und „Kraft“ in der 7. Jahrgangsstufe

Die Einführung der Beschleunigung und des dynamischen Kraftbegriffs in der 7. Jahrgangsstufe unterscheidet sich methodisch grundsätzlich von der Vorgehensweise der Erarbeitung dieser Themenbereiche in der Jgst. 11 des früheren neunjährigen Gymnasiums. Die folgenden Erläuterungen stellen eine Möglichkeit dar, keineswegs jedoch die einzige – sie sollen vielmehr als Angebot verstanden werden und Anregungen geben. Ziel ist es, die Lehrerinnen und Lehrer in ihren methodischen und didaktischen Freiheiten – verbunden mit einer individuellen Schwerpunktsetzung – zu unterstützen, keinesfalls jedoch einzuengen.

Einbettung in den Lehrplan – Kumulative Entwicklung

Die Erarbeitung der physikalischen Größen Kraft und Beschleunigung erstreckt sich – einhergehend mit den zunehmenden Abstraktionsfähigkeiten und mathematischen Kenntnissen der Schüler – über mehrere Jahrgangsstufen, wobei das wiederholte Aufgreifen und die sukzessive Vertiefung der Begriffe die Chance zur kumulativen Vertiefung bietet. Es besteht in keiner Hinsicht die Notwendigkeit, abstrakte Begriffe und mathematisch ausgefeilte Methoden bereits in der 7. Jahrgangsstufe zu verwenden. Einen Überblick gibt die folgende Graphik:





Lehrplananbindung: NT 7.1.2 Kräfte in der Natur und in der Technik

Einführung der Beschleunigung

In der 7. Jahrgangsstufe steht die Einführung der Kraft als Ursache für Bewegungsänderungen im Vordergrund. Hierzu sollen die Schüler zunächst die kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung an einfachen Bewegungen kennen lernen. Lebensnahe Beispiele mit geringem mathematischen Anforderungsniveau bilden den Einstieg. Im Kontext des Lehrplans ist an die Einführung der Beschleunigung ausschließlich für den Fall eindimensionaler Bewegungen gedacht. Bei der Einführung der Kraft als Ursache von Bewegungsänderungen ist dagegen die Betrachtung von Richtungsänderungen unerlässlich.

In einem ebenso zielführenden **Unterrichtskonzept**, das an der LMU München und der Universität Würzburg erarbeitet wurde, wird dagegen von Anfang an konsequent mit zweidimensionalen Bewegungsvorgängen gearbeitet.

Vorkenntnisse:

Die Begriffe Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen die Schüler aus dem Alltag sowie den Fächern Mathematik bzw. Natur und Technik der vorherigen Jahrgangsstufen, jedoch teilweise noch auf einem vagen und unpräzisen Niveau. Rechnungen mit Geschwindigkeiten sollten sie bereits im Mathematikunterricht der vorherigen Jahrgangsstufen durchgeführt haben.

Vor der Behandlung der Beschleunigung wurde bereits die Geschwindigkeit als Quotient aus zurückgelegtem Weg und dafür benötigter Zeit eingeführt. Um eine Vorstellung für Geschwindigkeitswerte zu bekommen, und um eine einfache Umrechnungsmöglichkeit zwischen km/h und m/s zu haben, wurde auch die Einheitenumrechnung $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ behandelt.

Vorgehen im Unterricht:

Die Geschwindigkeit wird in gewohnter Weise definiert. Diese Definition stellt zur intuitiven Vorstellung der meisten Schülerinnen und Schüler keinen Gegensatz dar und eignet sich somit insbesondere auch zur Einführung der hier und im Weiteren wichtigen Delta-Notation:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{dafür benötigte Zeit}} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\text{Als Maßeinheit für die Geschwindigkeit ergibt sich:} \quad [v] = \left[\frac{\Delta s}{\Delta t} \right] = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anhand mehrerer Beispiele z.B. aus der Autowerbung kann der Begriff der Beschleunigung mittels Angaben wie „von 0 auf 100 in 12 s“ motiviert und beschrieben werden.

Die Beschleunigung wird dann analog zur Geschwindigkeit definiert als:

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{dafür benötigte Zeit}} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\text{Als Maßeinheit für die Beschleunigung ergibt sich:} \quad [a] = \left[\frac{\Delta v}{\Delta t} \right] = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Es kann dem Verständnis zuträglich sein, wenn die Schreibweise (m/s) / s für die Einheit der Beschleunigung einige Zeit lang verwendet wird, bis die Schreibweise m / s^2 als mathematisch richtige Vereinfachung der Notation eingeführt wird.

Die nachfolgenden Übungsbeispiele zur Festigung sollten so gewählt werden, dass keine übermäßigen algebraischen Umformungen nötig sind.



Lehrplananbindung: NT 7.1.2 Kräfte in der Natur und in der Technik

Möglichkeiten und Einschränkungen:

Die Definition lässt es auch zu, dass sich bei Bremsvorgängen negative Werte für die Beschleunigung ergeben. Die Behandlung solcher Beispiele in einfachen Fällen ist ohne Überbetonung des Formalen möglich, wenn auch nicht zwingend erforderlich.

Auf die implizierte Mittelwertbildung bei Messungen über ein ganzes Zeitintervall (mittlere Geschwindigkeit, mittlere Beschleunigung) kann hingewiesen werden. Selbstverständlich darf die Grenzwertproblematik nicht thematisiert werden.

Aufgabenbeispiele und experimentelle Möglichkeiten:

- Beschleunigung eines Autos (siehe Link-Ebene Natur und Technik 7.1.2 „Beschleunigung eines Autos - Tacho“)
- Abschätzungen der Startbeschleunigung eines 100-m-Läufers (evtl. auch experimentell mit mehreren Stoppuhren am Sportplatz; siehe Link-Ebene Natur und Technik 7.1.2 „Geschwindigkeitsprofil eines Sprinters“)
- Beschleunigung eines Flohs (Kontaktzeit ca. 2 ms, Absprunggeschwindigkeit ca. 2,5 m/s)
- freier Fall (Verdunklungszeit einer Lichtschranke)
- Tropfenwagen (ein Wagen mit Tropfvorrichtung fährt eine schiefe Ebene hinab und hinterlässt eine Tropfenspur; anhand der Tropfenabstände lassen sich Geschwindigkeiten und Beschleunigungen berechnen)

Einführung der Kraft

Zur Einführung der Kraft soll im Sinne Newtons die Beschleunigung herangezogen werden. Die Schüler werden also nicht über den Umweg eines statischen Kraftbegriffs, sondern direkt zu einer dynamischen Vorstellung geführt.

Vorkenntnisse:

Die Schüler kennen aus dem bisherigen Unterricht die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung. Die Masse ist dagegen eine Größe, von der sie aus dem Alltag häufig nur ungenaue oder gar falsche Vorstellungen haben. Sie wird pragmatisch als Körpereigenschaft, die die Eigenschaften "Trägheit" und "Schwere" erfasst, eingeführt, aber nicht weiter problematisiert. Dass große Massen sehr träge sind, kann bereits frühzeitig angesprochen werden, da dies mit der naiven Vorstellung von Masse vereinbar ist. Eventuell vorhandene Fehlvorstellungen im Zusammenhang mit dem Gewicht sollen in angemessenem Umfang korrigiert werden. Da der Begriff „Gewicht“ sowohl als Synonym für den Betrag der Gewichtskraft als auch umgangssprachlich für die Masse Verwendung findet, empfiehlt es sich abzuwägen, ob auf ihn vollständig im Physikunterricht verzichtet werden kann.

Vorgehen im Unterricht:

Bei der Einführung der Kraft sollte deren beschleunigende Wirkung auf Körper hervorgehoben werden. Da in der Newton'schen Massenpunktmechanik keine Verformung existiert, sind Kräfte immer durch die Änderung der Geschwindigkeit beschreib- und messbar. Zunächst wird der Trägheitssatz thematisiert. Daran schließt sich eine genauere Betrachtung der aus dem Alltag vertrauten Tatsache an, dass Kräfte offensichtlich Geschwindigkeitsänderungen – in Betrag oder Richtung – verursachen. Die weiteren Inhalte werden am besonders einfachen Fall der beschleunigten, geradlinigen Bewegungen erarbeitet.

Der nun nahe liegenden Fehlvorstellung, Kräfte seien mit Beschleunigungen identisch, kann wirkungsvoll durch einfache Experimente begegnet werden. Beispielsweise kann ein Schüler mit seiner Muskelkraft erst einen leeren Mattenwagen, darauffolgend einen beladenen Mattenwagen mit mehreren darauf sitzenden Schülern beschleunigen. Den Schülern wird klar, dass die Beschleunigung bei gleicher Kraft umso größer ist, je kleiner die zu beschleunigende Masse ist. So wird an dieser



Lehrplananbindung: NT 7.1.2 Kräfte in der Natur und in der Technik

Stelle den Schülerinnen und Schülern das als Definitionsgleichung zu betrachtende 2. Newton'sche Gesetz $F = m \cdot a$ plausibel. Einige einfache Rechenbeispiele festigen das Erlernete. Die skizzierten Überlegungen lassen sich zudem durch die Animation „Kräfte messen / Vergleich bei Beschleunigung“ der CD-ROM „Kraftstudio“ des ISB vertiefen.

Zwar ist das 2. Newton'sche Gesetz mit der Alltagserfahrung verträglich, doch kann es bei entsprechendem Unterrichtsverlauf durchaus angebracht sein, seine innere Konsistenz (z. B. $1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,5 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) experimentell zu überprüfen. Hierzu benötigt man eine – auch für Schüler –

offensichtlich konstante Kraft: Ein über eine Rolle laufendes Gewichtsstück stellt eine solches „Zugpferd“ dar. Die zu beschleunigende Masse, z. B. ein kleiner Wagen, dessen Masse mit einer gewöhnlichen Waage bestimmt wird, kann nun variiert werden. Dass das „Zugpferd“ mitbeschleunigt wird, sollte angesprochen werden – der zentrale Unterrichtsgegenstand ist es an dieser Stelle nicht. Der beschleunigte Wagen durchläuft zwei Lichtschranken und schattet diese z. B. durch einen Pappstreifen bekannter Breite ab, woraus sich eine Geschwindigkeitsdifferenz errechnen lässt. Alternativ können die Geschwindigkeiten auch mit (mittlerweile preiswerten) Fahrradcomputern und am Wagen angebrachten Magneten mit gemessen werden. Das zugehörige Zeitintervall zur Berechnung der Beschleunigung ermittelt man in jedem Fall aus einer Messung mit zwei Lichtschranken. Im Rahmen der Messgenauigkeit erhält man für $m \cdot a$ einen konstanten Wert. Diese Konstante ist identisch mit der Kraft.

Die Krafteinheit 1 N ergibt sich als direkte Folge der Definition der Kraft über $F = m \cdot a$:

$$[F] = [m \cdot a] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Als unmittelbare Konsequenz hat man auf diese Weise ein dynamisches, wenn auch umständliches Messverfahren für Kräfte erschlossen. Wird der Wagen nun durch die Dehnung einer Feder in Ruhe gehalten, herrscht nach dem Trägheitssatz offensichtlich Kräftegleichgewicht, d. h. die Feder wird durch eine betragsmäßig gleich große, entgegengesetzte Kraft gedehnt. Alternativ kann man die Feder auch ohne Wagen die nun betragsmäßig bekannte Kraft des „Zugpferds“ dehnen lassen. Nach entsprechender Skalierung dient demnach eine Feder als Kraftmesser, der deutlich einfacher zu handhaben ist.

Erscheint diese Variante zu aufwändig, kann auch auf eine experimentelle Bestätigung verzichtet werden. Die Gleichung $F = m \cdot a$ wird dann ohne Konsistenzprüfung als reine Definitionsgleichung verwendet. Der Übergang von der Beschleunigungsmessung zur statischen Kraftmessung erfolgt wie oben erläutert über den Trägheitssatz und eine gedehnte, geeichte Feder. Allerdings kann in diesem Fall der Wagen eine schiefe Ebene hinabrollen. Die Schwierigkeit, dass auch das „Zugpferd“ mitbeschleunigt werden muss, entfällt.

Der bisher übliche Weg der Definition der Krafteinheit 1 N über den Ortsfaktor ist damit hinfällig. Typische Fehlvorstellungen wie die Verwechslung von Masse und Gewichtskraft werden vermieden, ebenso die Schwierigkeit, die Identität von Ortsfaktor und Fallbeschleunigung zu erkennen. Die künstliche Hilfskonstruktion Ortsfaktor wird nicht mehr benötigt und die Gewichtskraft wird nach der beschriebenen Vorgehensweise wie alle anderen Kräfte über $F = m \cdot a$ definiert. Wie bereits beschrieben, lässt sich auch die Gewichtskraft mit Hilfe einer geeichten Feder und des Trägheitssatzes messen, die Fallbeschleunigung kann daraus berechnet werden. Im Sinne des eingeführten dynamischen Kraftbegriffs ist es jedoch konsistenter, zunächst die Fallbeschleunigung g durch Messung einer Geschwindigkeitsänderung (vgl. oben) experimentell zu bestimmen und damit die Gewichtskraft als $F_G = m \cdot g$ einzuführen.

Der außergewöhnlichen Tatsache, dass alle Körper an einem bestimmten Ort der Erde die gleiche Beschleunigung erfahren, wird Rechnung getragen, indem man dieser Beschleunigung ein eigenes Symbol zuordnet und Beschleunigungen oft als Bruchteile oder Vielfache dieser Beschleunigung



Lehrplananbindung: NT 7.1.2 Kräfte in der Natur und in der Technik

angibt; man benutzt dann 1 g als Einheit. An dieser Stelle sollte das bekannte Experiment mit Feder und Bleikugel in der evakuierten Glasröhre nicht fehlen.

Möglichkeiten und Einschränkungen:

In der Folge sollten vielfältige Beispiele diskutiert und einfache Berechnungen durchgeführt werden. Der mathematische Zusammenhang zwischen Ort, Geschwindigkeit und Zeit von konstant beschleunigten Körpern soll in dieser Jahrgangsstufe aber ausdrücklich nicht behandelt werden – dies ist Lerninhalt der 9. Jahrgangsstufe.

Aufgabenbeispiele und experimentelle Möglichkeiten:

- Als Rechenaufgaben eignen sich prinzipiell alle Aufgaben aus dem Abschnitt „Beschleunigung“ unter der Angabe von Massen
- Ermittlung der Beinkraft einer Sprinters beim Start (experimentell oder durch Vorgabe plausibler Werte) – Ermittlung der Beinkraft durch Anheben eines Gewichtstücks
- Messung der Erdbeschleunigung auf herkömmliche Art – Bestimmung der Erdbeschleunigung durch Kraftmessung und Massenbestimmung im Schülerexperiment – Vergleich