

Zusatzinformationen

Federn/Hookesches Gesetz

Die folgende Ergänzung zur Transparentemappe „Physik am Auto“ ist aus der Praxis des Schulalltags erwachsen. In der Sekundarstufe I werden in jeder Schulform irgendwann die Themen „Auslenkung einer Feder unter Krafteinwirkung“ und „Hookesches Gesetz“ behandelt. Meistens ist dies eine erste willkommene Gelegenheit, den Schülern die Proportionalität zweier Größen vorzustellen, diesen wichtigen Begriff der Physik kennen zu lernen oder zu vertiefen.

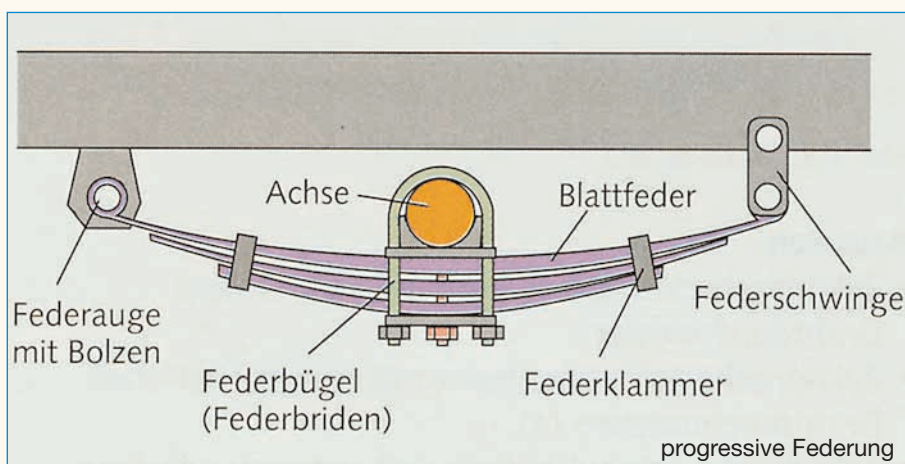
Die Frage kann aufkommen, ob bei **jeder** Feder der lineare Zusammenhang zwischen wirkender Kraft und Auslenkung der Feder gilt. Das Hookesche Gesetz besagt schließlich, dass genau dies ein für Metallfedern typisches Verhalten sei, im Unterschied zu beispielsweise einem Gummiband. Möglicherweise kennen einige Schüler den Begriff „progressive Federung“ aus dem Automobilbau, können sich darunter das Richtige vorstellen und stellen die Frage, wie man ein solches gezielt nicht-lineares Verhalten einer Feder anziehen könne.

Nach der Erfahrung des Autors hat hierauf selten ein Schüler eine Antwort oder es werden nur vage Vermutungen angestellt. Die folgenden Informationen können bei der Beantwortung weiterhelfen:

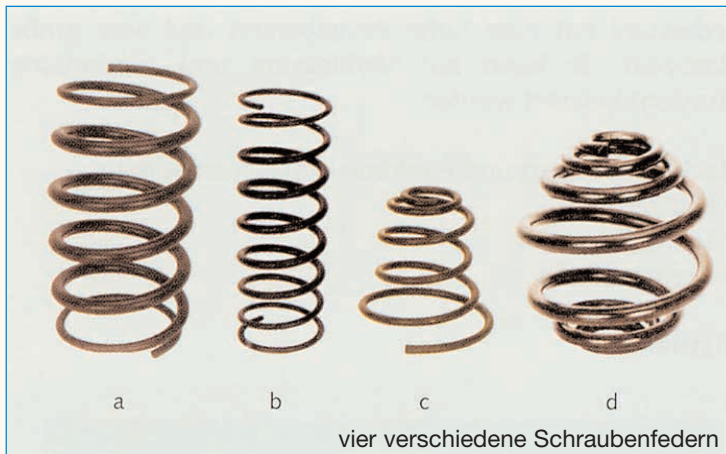
Begriff „progressive Federung“

Für die Federn eines Autos macht ein linearer Zusammenhang zwischen Auslenkung der Feder und wirkender Kraft in der Tat nicht viel Sinn. Komfortabler für die Insassen ist es, wenn die Federung bei kleinen Stößen weich erfolgt. Andererseits würden zu weiche Federn beim Durchfahren ernsthafter Schlaglöcher zu oft ein Durchschlagen bis auf die Anschläge der Federung verursachen. Deshalb werden die Federn des Kraftfahrzeugs mit einer nicht-linearen Kennlinie („progressiv“) hergestellt. Je nach Art der verwendeten Federn geschieht dies auf verschiedene Weisen.

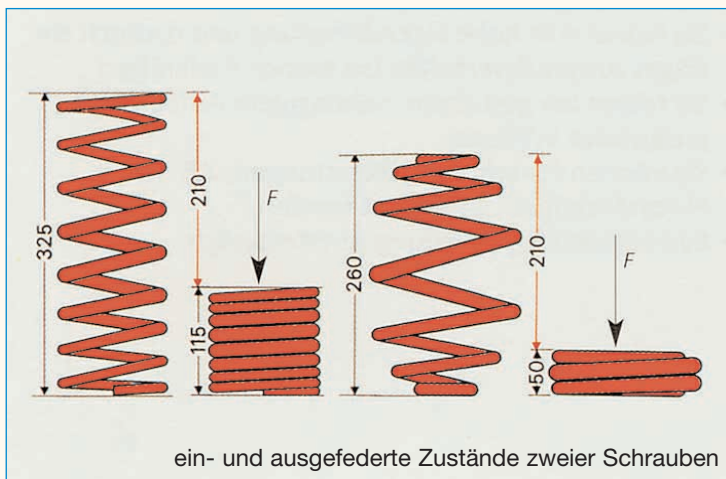
- 1.) Bei den heute im PKW-Bau nicht mehr verwendeten **Blattfedern** in Längsrichtung des Fahrzeugs, die aber für Geländefahrzeuge und LKWs wegen der dadurch möglichen robusten und einfachen Achsaufhängung durchaus sinnvoll und üblich geblieben sind, kann eine progressive Kennlinie dadurch erreicht werden, dass man ein „Paket“ aus verschiedenen langen Einzelblattfedern zusammenpackt. Dies ergibt das typische Erscheinungsbild, wie man es hinter den Hinterrädern eines Baustellen-LKWs von der Seite aus betrachten kann (Bild unten). Die Federwirkung wird dadurch automatisch progressiv, weil die Federn erst nacheinander beim Einfedern am Federungsprozess beteiligt werden. Durch geringe konstruktive Veränderung kann jede gewünschte Art der Progressivität erreicht werden.



2.) Die heute im Pkw-Bereich fast ausschließlich zu findende **Schraubenfeder** hätte von Natur aus eine lineare Kennlinie, wie sie die Schüler von den Versuchen mit entsprechend kleineren Federn dieser Form aus dem Unterricht kennen. Da genau das aber beim Einsatz im Auto nicht gewünscht wird, kann man die originäre Kennlinie auf folgende Weise verändern (oberes Bild):

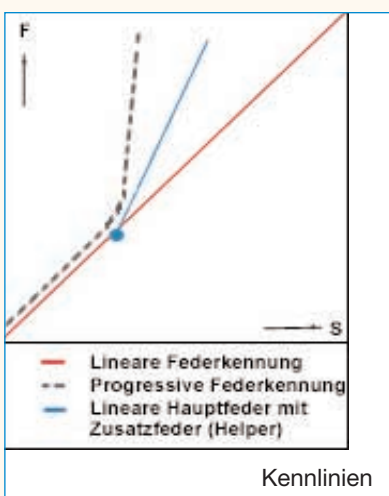


- (a) Zylindrische Schraubenfeder mit unterschiedlichen Drahtdurchmessern
- (b) Zylindrische Schraubenfeder mit unterschiedlichem Wicklungsabstand und Drahtdurchmesser
- (c) Schraubenfeder in Kegelform
- (d) Schraubenfeder in Tonnenform („Miniblockfeder“)



ein- und ausgefederte Zustände zweier Schrauben

Der Name der letztgenannten Feder rührt daher, dass sie im vollständig eingefederten Zustand den geringsten Platzbedarf aufweist. Dies wäre bei manchen Hinterachskonstruktionen (Kombis) ein nicht zu verachtender Vorteil, der Effekt zeigt sich deutlich in der folgenden Skizze (unteres Bild).



Kennlinien

Eine weitere Möglichkeit der Realisierung einer progressiven Gesamtkennlinie besteht darin, dass man eine Hauptfeder mit einer zusätzlichen Hilfsfeder geeignet verbindet. Obwohl jede Feder einzeln eine lineare Kennlinie hätte, kommt insgesamt eine progressive Kennlinie zustande (Bild links).

3.) Die platz sparende Drehstabfederung bietet wenig zur Kennlinienveränderung. Früher häufig (VW Käfer, Renault R4), wird sie heute kaum noch verwendet.

Die auch heute noch immer sehr selten verwendeten weiteren Federungsprinzipien *Hydropneumatik-Federung* und *Luftfederung* seien hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Vielleicht gelangen sie in Verbindung mit der weiter zunehmenden Verwendung von Fahrzeugelektronik und den Möglichkeiten, die sich dann für eine Beeinflussung der Federcharakteristik ergeben, zu neuen Ehren.

Lehrerinformationen

Die Kopiervorlage ergänzt das Kapitel „Hookesches Gesetz“ um das nahe liegende Thema „nicht-lineare Federn“. Das mathematische Anspruchsniveau hält sich auf dem Stand der 9. Klasse.

Hinweis: Man kann diese Kopiervorlage mit einer weiteren Intention auch erneut in der 10. Klasse verteilen. Zusätzlich zu den vorhandenen Aufgaben kann man wie folgt erweitern:

Mit den in der 10. Klasse bearbeiteten Thema „Logarithmen“ kann man die s-Werte auch direkt berechnen und muss sie nicht (ungenau!) durch Ablesen aus dem Diagramm ermitteln.

Wenn man die Kopiervorlage zunächst nochmals wortgetreu im Sinne der Aufgabenstellungen bearbeiten lässt und danach die Möglichkeit einer Rechnung an Stelle der Ablesung thematisiert, wird eine solche ausführliche Beschäftigung mit der Sachumgebung bei den Schülern das Verständnis für die Notwendigkeit und die Vorteile logarithmischer Rechnung fördern.

In der 9. Klasse sollte die Lösung der Aufgaben entsprechend der Vorgabe des Blattes keine Probleme bereiten. Für Schüler mit einem Taschenrechner ohne „Hochtaste“ wird eine alternative Berechnungsmöglichkeit angegeben.

Lösung zu Aufgabe 1:

Die zu berechnenden F-Werte sind in N, begonnen bei 0 cm und wie angegeben gerundet: 0, 50, 113, 191, 288, 410, 563, 754, 992, 1290, 1663, 2128, 2710, 3438, 4347, 5484 und für $s = 16$ cm schließlich 6905 N.

Dies liefert eine realitätsnahe Kennlinie.

Lösung zu Aufgabe 2:

Die angegebene Kraft liefert bei einigermaßen sorgfältiger Zeichnung einen s-Wert von 14,6 cm. Die vorgeschlagene rechnerische Prüfung mit Mitteln der 9. Klasse bestätigt diesen Wert.

Lösung zu Aufgabe 3:

Die angegebene Last von 400 kg liefert eine Kraft von 4 000 N. Diese verteilt sich allerdings auf beide Räder, sodass für eine Seite die Kraft $F = 2000$ N anzusetzen ist.

Ablesung liefert dann $s \sim 10,8$ cm, was die vorgeschlagene Kontrollrechnung bestätigt.