
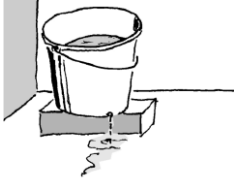


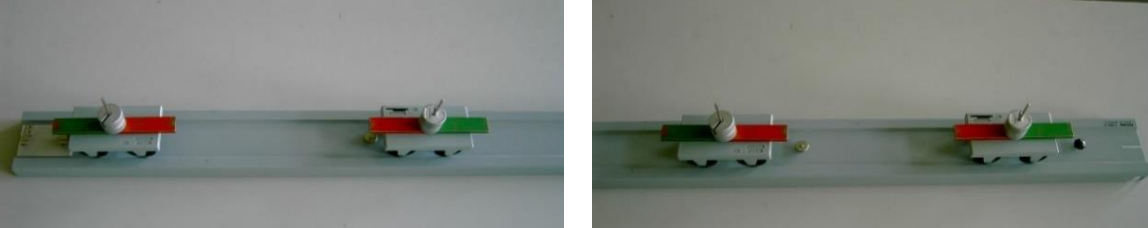


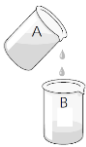

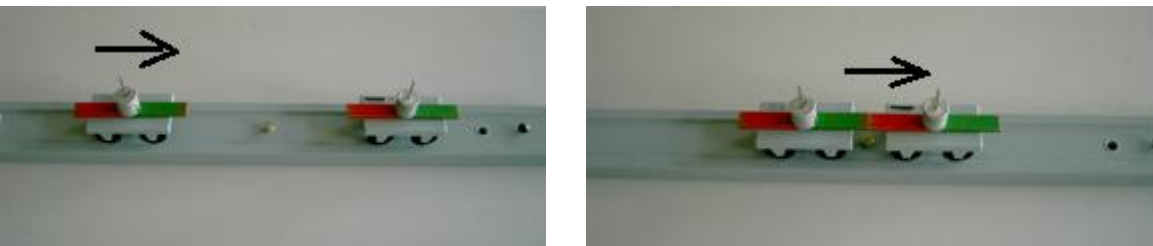
## Liste der Experimente zum Impuls

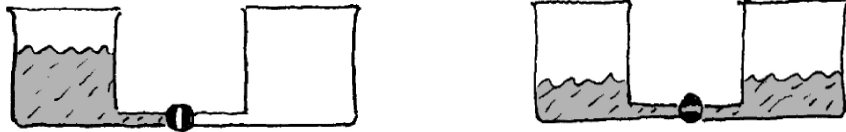

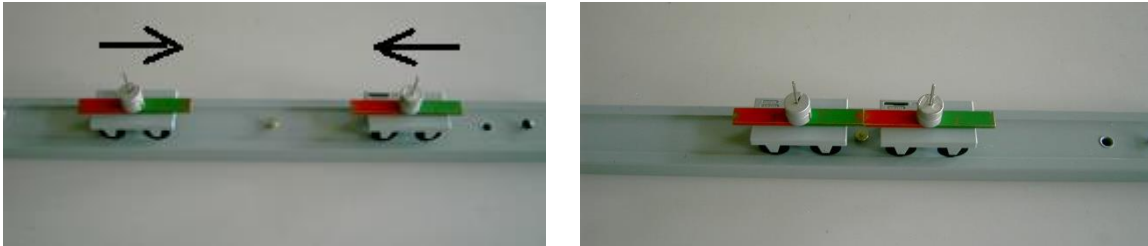
### Gemeinsame Strukturen und Analogien im neuen Lehrplan Physik


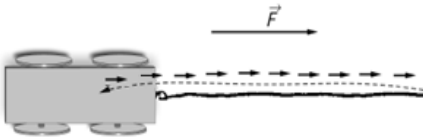


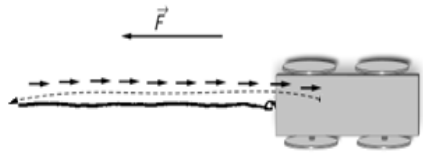

Nr	Thema	Aufbau und Durchführung	Bedarf pro Arbeitsplatz
	Geschwindigkeit	Die Vertrautheit der Schüler mit der Größe <b>Geschwindigkeit</b> und ihren Eigenschaften wird hier <b>vorausgesetzt</b> .	----
	Impuls	Neben der Geschwindigkeit benötigt man zur Beschreibung von Bewegungen eine weitere Größe. Gegenüber der Geschwindigkeit stellt sie etwas dar, was in einem Körper enthalten ist wenn er sich bewegt, und was nicht in ihm enthalten ist wenn er ruht. Man nennt sie umgangssprachlich „Schwung“ oder „Wucht“. Der Fachbegriff dafür lautet <b>Impuls</b> .	---
1	Zusammenhang zwischen Impuls und Geschwindigkeit	<b>Schülerübung:</b> Ein gutgelagerter Wagen wird auf der Fahrbahn wiederholt angeschubst. Jedes Mal führt man ihm dabei eine Portion Impuls zu, sodass sein Impuls nach und nach zunimmt. Gleichzeitig beobachtet man, dass jedes Mal auch seine Geschwindigkeit wächst. Ergebnis: Ein Körper enthält umso mehr Impuls, je höher seine Geschwindigkeit ist.	Rollenfahrbahn 2,2 m mit 2 Wagen 104.1501.
	„ Alternative	<b>Inliner:</b> Eine Person auf Inlineskates / Skateboard stößt sich wiederholt mit einem Fuß vom Boden (mit der Hand an der Wand) ab. Jedes Mal führt sich die Person eine weitere Portion Impuls zu und jedes Mal wächst ihre Geschwindigkeit.	Teilnehmer/in auf mitgebrachten Inlineskates / Skateboards.
2 PE1	Messung des Impulses um $p \sim v$ zu bestätigen.	<b>Schülerübung:</b> Zwei gut gelagerte Wagen gleicher Masse fahren mit verschiedenen Geschwindigkeiten nebeneinander her auf ihren Fahrbahnen. An der gleichen Stelle treffen sie auf ruhende gleichartige Klötze. Da es sich um Festkörperreibung / Gleitreibung ( $F = \Delta p / \Delta t = \text{const.}$ ) handelt, die unabhängig von der Geschwindigkeit ist, verliert das Fahrzeug in jeder Zeiteinheit gleich viel Impuls. Die <b>Zeitdauer</b> - nicht der Bremsweg - bis das Fahrzeug zum Halten kommt, ist also ein Maß für seinen ursprünglichen Impuls. Ergebnis: <b>Ein Körper enthält umso mehr Impuls, je höher seine Geschwindigkeit ist.</b> Misst man die Geschwindigkeit der Wagen (mit Hilfe von Maßband und Stoppuhr oder Lichtschranken), sowie die Bremszeit mit einer weiteren Stoppuhr, so kann man zeigen, dass $p \sim v$ ist.	 2 x Schülerübungen „Fahrbahnversuche“ (1 Fahrbahn, 1 Wagen, 1 Holzklötz, Lichtschranken mit Timer) 116.2020.
	„ Alternative	<b>Inliner:</b> Zwei gleichschwere Personen auf Inlineskates fahren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten nebeneinander her – angeschoben von einer weiteren Person. Dann treffen sie auf Getränkekisten, die mit wassergefüllten Flaschen beschwert sind und werden dadurch abgebremst. Die Zeit bis sie zum Stillstand kommen ist wieder ein Maß für ihren ursprünglichen Impuls.	2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates, 2 Getränkekisten mit Kunststoffflaschen, die mit Wasser gefüllt sind.
3	Messung des Impulses um $p \sim m$	<b>Schülerübung:</b> Zwei gut gelagerte Wagen verschiedener Masse (Wagen und Wagen mit Zusatzmasse) fahren mit gleicher Geschwindigkeit nebeneinander her auf ihren	Rollenfahrbahn 2,2m mit 2 Wagen und Zusatzmassen

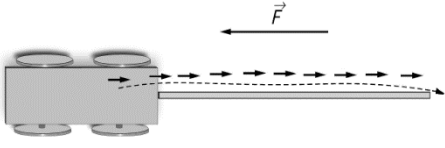
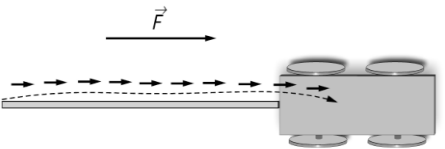





PE2	zu bestätigen.	<p>Fahrbahnen. An derselben Stelle treffen sie auf ruhende gleichartige Klötze. Die Zeitdauer bis jedes Fahrzeug zum Halten kommt wird bei beiden als Maß für seinen ursprünglichen Impuls gemessen.</p> <p>Ergebnis: <b>Ein Körper enthält umso mehr Impuls, je größer seine Masse ist.</b></p> <p><b>Zusatz:</b> Bestimmt man die Masse der Wagen und misst man ihre Bremszeiten mit Stoppuhren, so kann man zeigen, dass <math>p \sim m</math> ist.</p>		<p>2 x Rollenfahrbahn, Komplettsset (1 Fahrbahn, 1 Wagen und Zusatzmassen, 1 Holzklötz, 1 Maßstab) 116.2030.</p>
4	Untersuchung des Impulses um $p \sim m$ zu bestätigen.	<p><b>Schülerübung:</b> Zwei gutgelagerte Wagen werden aufeinander liegend auf der Fahrbahn in Bewegung versetzt. Ein weiterer Wagen wird auf seiner Fahrbahn mit derselben Geschwindigkeit in Bewegung versetzt. Jeder der beiden aufeinanderliegenden Wagen enthält dieselbe Impulsmenge wie der einzelne Wagen (gleiche Masse und gleiche Geschwindigkeit). Zusammengenommen hat der Doppelwagen also <b>doppelte Masse</b> und <b>doppelten Impuls</b> wie der Einzelwagen.</p>		<p>Rollenfahrbahn 2,2m mit 3 Wagen 104.1501, 2 x Zusatzfahrbahn 1m 108.6486, oder 2 Schülerübungen „Fahrbahnversuche“ 116.2020.</p>
	„ Alternative	<p><b>Inliner:</b> Zwei deutlich verschieden schwere Personen auf Inlineskates fahren mit derselben Geschwindigkeit nebeneinander her – angeschoben von einer weiteren Person. Dann treffen sie auf Getränkekisten, die mit wassergefüllten Flaschen beschwert sind und werden dadurch abgebremst. Die Zeit bis sie zum Stillstand kommen ist wieder ein Maß für ihren ursprünglichen Impuls.</p>		<p>2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates, 2 Getränkekisten mit Kunststoffflaschen, die mit Leitungswasser gefüllt werden.</p>
PE3	5 Impulsisolation Alternative	<p>Eine Person auf dem Luftkissen-Gleiter (oder der Luftkissengleiter von Conatex) wird in Bewegung versetzt und bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit durch den Raum. Das bedeutet sein Impuls bleibt erhalten.</p> <p>Ein <b>Luftkissen wirkt ebenfalls als Impulsisolator</b></p>		<p>2 Mitgebrachte Luftkissen-Gleiter oder 2 Luftkissengleiter 104.1959.</p>



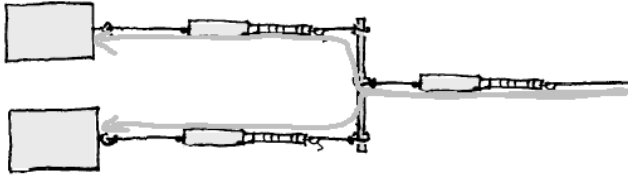
	Impulsisolation  Alternative	<p><b>Schülerübung:</b> Ein gut gelagerter Wagen und ein anderer schlecht gelagerter Wagen fahren auf dem Tisch (Gewichtsunterschiede durch Zusatzmasse ausgleichen). Der gut gelagerte Wagen fährt den gesamten Tisch mit (praktisch) konstanter Geschwindigkeit, während der schlecht gelagerte Wagen ständig langsamer wird und schließlich zum Stehen kommt. Was in der Praxis der häufigste Fall ist. Der gut gelagerte Wagen dagegen behält seinen Impuls während der gesamten Fahrt. Seine <b>Räder fungieren als Impulsisolation</b>.</p> <p>Bei einem schlecht gelagerten Fahrzeug fließt ständig etwas Impuls ab, wie Wasser aus einem Eimer mit einem Leck.</p>	 	<p>Rollenfahrbahn 1,2m mit einem Wagen und Zusatzmasse 104.1500, oder 2 Schülerübungen „Fahrbahnversuche“ 116.2020, Wagen mit Reibungsklotz auf Tisch, oder Experimentierwagen mit schlecht gelagerten Rädern und Zusatzmasse.</p>
6	Impuls fließt ab	<p><b>Schülerübung:</b> Ein schweres Buch wird auf ein Brett, das auf Rollen (kurzen Stativstangen) gelagert ist, geworfen. Das Buch wird langsamer, sobald es das Brett berührt. Dann rutscht es über das Brett und das Brett bewegt sich ebenfalls. Es wurde also Impuls vom Buch auf das Brett übertragen. Wären die Rollen (Impulsisolator) nicht gewesen, wäre der Impuls des Buches zur Erde abgefließen. Wenn das Buch zur Ruhe kommt, hat es keinen Impuls mehr. Daher hört dann auch der Impulsstrom auf. Impuls fließt solange wie das Buch eine höhere Geschwindigkeit hat als die Unterlage.</p>		<p>Brett, kurze Stativstangen 107.7043, schweres Buch.</p>
	”  Alternative	<p><b>Inliner:</b> Eine Person mit Zusatzmasse (Getränkekiste etc.) auf Inlineskates wird in Bewegung versetzt und rollt aus (ggf. Inlineskates mit schlechter Lagerung verwenden oder etwas bremsen). Sie verliert also ständig Impuls an die Erde.</p>		<p>Teilnehmer mit mitgebrachten (schlecht gelagerten) Inlineskates.</p>
7  PE1	Vollständige Impulsübertragung	<p><b>Schülerübung:</b> Ein ankommender gut gelagerter Wagen mit Magneten trifft auf einen stehenden weiteren Wagen gleicher Masse und mit Magneten (auf Abstoßung). Der ankommende Wagen bleibt nach dem Zusammentreffen stehen, während der andere Wagen mit derselben Geschwindigkeit und damit demselben Impuls losfährt. Der erste Wa-</p>		<p>Mitgebrachte Phywefahrbahn (1 Fahrbahn, 2 Wagen, Zusatzmassen, 2 Magnete).</p>

		<p>gen hat also seinen gesamten Impuls auf den zweiten Wagen übertragen. Ggf. beide Wagen mit Zusatzmassen beschweren um bessere Ergebnisse zu erhalten.  <b>Ergebnis: Impuls kann von einem auf einen anderen Körper übergehen.</b></p> <p>Man kann sich die Impulsübertragung von einem Wagen auf den anderen vorstellen wie das Umgießen einer Wassermenge aus einem Glas in ein anderes.</p>		
Alternative	„	<p><b>Inliner:</b> Hier werden zwei praktisch gleich schwere Personen auf Inlineskates benötigt.</p>  <p>Der eine kommt angefahren und fährt mit ausgestreckten Armen gegen den ruhenden Skater. Der ankommende bleibt stehen und der andere fährt mit etwa derselben Geschwindigkeit und damit demselben Impuls los. Der erste Skater hat also seinen gesamten Impuls auf den zweiten übertragen.</p>	2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates.	
PE2	8 Impulsverteilung	<p><b>Schülerübung:</b> Ein ankommender gut gelagerter Wagen mit Magneten trifft auf einen weiteren stehenden Wagen gleicher Masse und mit Magneten (auf Anziehung). Der ankommende Wagen hängt nach dem Zusammentreffen mit dem anderen Wagen zusammen. Sie fahren mit geringerer (halber) Geschwindigkeit weiter. Der erste Wagen hat also einen Teil seines Impulses (die Hälfte) auf den zweiten Wagen übertragen. Da der Impuls <math>p</math> nach dem Zusammentreffen in den beiden Wagen der Gesamtmasse <math>2m</math> steckt, hat jeder einzelne Wagen den Impuls <math>p/2</math>. Dies hat zur Folge, dass die zusammenhängenden Wagen mit halber Geschwindigkeit fahren.</p> <p><b>Ergebnis: Impuls kann sich auf mehrere Körper verteilen.</b></p> <p>Durch Messung (mit Maßband und Stoppuhr oder Lichtschranken) der Geschwindigkeiten vor und nach dem Zusammentreffen könnte man zeigen, dass die beiden zusammen-</p>		Rollenfahrbahn 1,2m mit 2 Wagen und Zusatzmassen 104.1500.

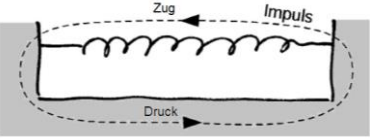
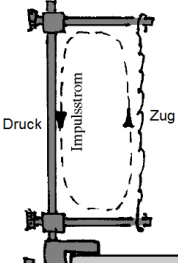


		<p>hängenden Wagen die halbe Geschwindigkeit haben. Man kann sich die Aufteilung von Impuls auf die beiden Wagen wie die Verteilung einer Wassermenge auf zwei verbundene Gefäße vorstellen.</p> 	
Alternative	 <p><b>Inliner:</b> Hier werden zwei praktisch gleich schwere Personen auf Inlineskates benötigt. Der eine kommt angefahren und fährt gegen den zweiten ruhenden Skater. Der ankommende hält sich ab dem Zusammentreffen am zweiten fest, sodass sie gemeinsam mit geringerer (halber) Geschwindigkeit weiterfahren. Der erste Skater hat also die Hälfte seines Impulses auf den zweiten übertragen.</p>	2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates.	
Richtung des Impulsstromes	<p>Die beiden Varianten des letzten Experiments zeigen, dass <b>Impuls von allein von Stellen höherer Geschwindigkeit zu Stellen niedrigerer Geschwindigkeit fließt.</b></p>	-----	
9 Zwei verschiedene Vorzeichen von Impuls. PE3 Impuls kann auch negative Werte haben	<p><b>Schülerübung:</b> Auf der Rollenfahrbahn bewegt sich ein gut gelagerter Wagen von links nach rechts gegen einen ebenfalls gut gelagerten Wagen, der mit betragsmäßig gleicher Geschwindigkeit von rechts nach links fährt. Die beiden Wagen haben anziehende Magnete. Nach dem Zusammentreffen bleiben beide stehen. Sie hatten also vor dem Zusammentreffen beide Impuls, der nach dem Zusammentreffen weg ist. Dies ist nur möglich, wenn sich die Impulse der beiden Wagen gegenseitig aufgehoben haben. Sie waren also betragsmäßig gleich, aber hatten entgegengesetzte Vorzeichen. Es gibt also <b>zwei Vorzeichen von Impuls.</b></p> 	Rollenfahrbahn 1,2m mit 2 Wagen und Zusatzmassen 104.1500.	

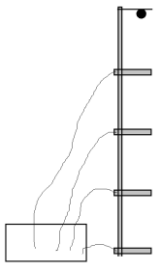
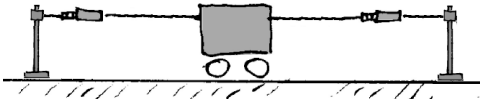
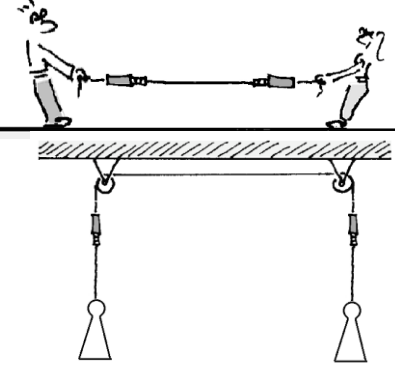
	<p>„ Alternative</p>	<p><b>Inliner:</b> Hier werden zwei praktisch gleich schwere Personen auf Inline-skates benötigt. Der eine fährt von links nach rechts und der andere fährt von rechts nach links. Sie fahren mit betragsmäßig gleichen Geschwindigkeiten aufeinander zu. Beim Zusammentreffen halten sie sich mit den Armen fest und bleiben beide stehen.</p> 	<p>2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates.</p>
<p>10 EE</p>	<p>Impulspumpen</p>	<p><b>Idee des Experiments, Schülerübung, Durchführung siehe unten:</b> Ein gut gelagerter Wagen (mit Zusatzmasse) wird mit Hilfe einer Schnur nach rechts gezogen. Dabei wird Zug ausgeübt und (<math>\rightarrow</math> positiver) Impuls fließt von rechts nach links in den Wagen. Ersetzt man die Schnur durch eine Spiralfeder, so kann man anhand der Verlängerung den Impulsfluss sichtbar machen. Die Richtung ergibt sich aus Zusatzüberlegungen.</p>    <p>Dann wird der Wagen an der Schnur nach links gezogen. Dabei fließt positiver Impuls von rechts nach links aus dem Wagen heraus, was man wieder mit Hilfe einer Spiralfeder überprüfen kann.</p>  	<p>-----</p>

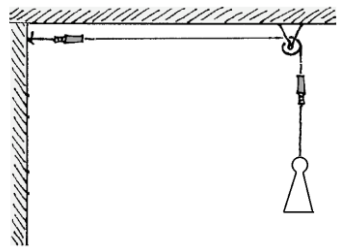
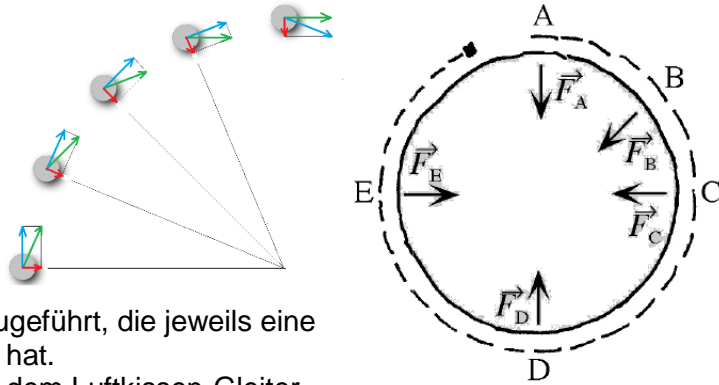
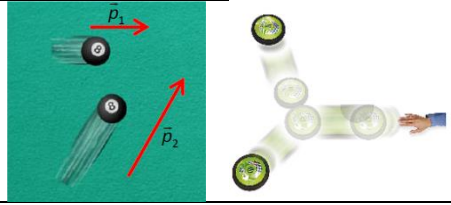

		<p>Nun wird der Wagen mit Hilfe einer Stange nach links gedrückt. Dabei wird positiver Impuls von links nach rechts aus dem Wagen „gepumpt“. Ersetzt man auch die Stange durch eine Stange mit Spiralfeder, so kann man an der Verkürzung der Feder den Impulsfluss erkennen.</p>  <p>Schließlich wird der Wagen mit Hilfe der Stange nach rechts gedrückt.</p>  <p>Dabei fließt positiver Impuls von links nach rechts in den Wagen hinein, was man wieder mit Hilfe der Spiralfeder erkennen kann.</p> <p><b>Zusatzüberlegungen:</b> Mit einer Schnur kann man an dem Wagen nur ziehen. Möchte man den Wagen drücken, so benötigt man eine Stange.</p>	 	
10	Impulspumpen	<p><b>Durchführung des Experiments:</b> Eine Person auf einem Skateboard wird mit einem Seil, das eine Spiralfeder enthält gezogen. Dann wird sie mit Hilfe einer Stativstange, die eine Spiralfeder enthält gedrückt. In beiden Fällen wird Impuls in die Person „gepumpt“. Die Verlängerung bzw. Verkürzung der Spiralfeder zeigt die Richtung des Impulsstromes an.</p>		2 Teilnehmer, einer auf einem Skateboard, Seil, Stange Spiralfeder, Druckstange.
PE1	11 Rückstoßprinzip	<p><b>Schülerübung:</b> Man stellt zwei gut gelagerte Wagen auf die Mitte der Rollenfahrbahn mit gespannter Feder / Startvorrichtung dazwischen und lässt die Wagen los. Sie fahren in entgegengesetzte Richtungen mit betragsmäßig gleichen Geschwindigkeiten auseinander. Zunächst haben die beiden Wagen keinen Impuls, danach hat einer ebenso viel positiven Impuls wie der andere negativen. Impuls wurde einem Wagen genommen und dem anderen gegeben. Diese Impulsübertragung hat die gespannte Feder / Startvorrichtung bewirkt.</p> <p><b>Zusatzexperiment:</b> Man legt auf einen der beiden Wagen ein oder zwei Zusatzmassen.</p>	 	Rollenfahrbahn 1,2m mit 2 Wagen und Zusatzmassen 104.1500.

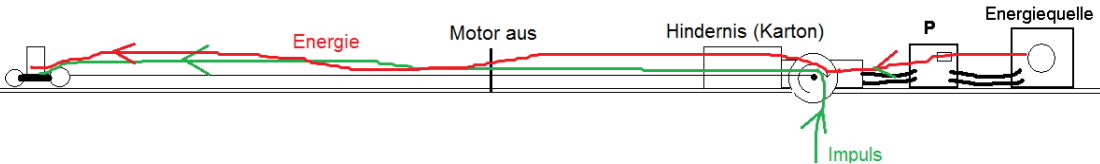
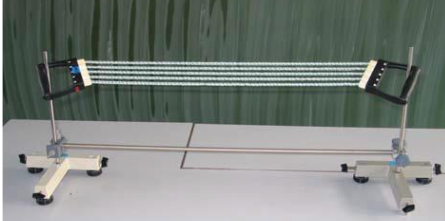
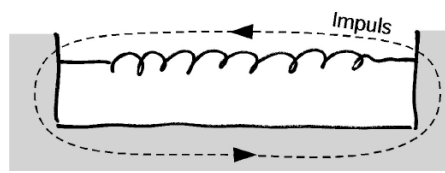
		Dann haben die Wagen beim auseinanderfahren verschiedene Geschwindigkeiten.		
PE2	„ Alternative	<b>Schülerübung:</b> Man befestigt einen aufgeblasenen Luftballon mit Stöpsel an einem gut gelagerten Wagen und setzt ihn an einem Ende auf die Rollenfahrbahn. Dann entfernt man den Stöpsel und lässt den Wagen los. Die Luft strömt aus dem Ballon und der Wagen mit dem Ballon bewegt sich in die entgegengesetzte Richtung.		Experimentierbox „Luft“ 104.0418.
		Ein Spielzeugauto steht auf einem Brett, das auf Rollen gut gelagert ist. Mit Hilfe der Fernsteuerung wird das Auto in Bewegung gesetzt. Dabei bewegt sich das Brett in die entgegengesetzte Richtung.		Spielzeugauto mit Fernbedienung, Stativstangen, Brett.
	„ Alternative	<b>Inliner:</b> Zwei Personen stehen sich auf Inlineskates gegenüber und drücken sich mit ihren Armen auseinander. Sie bewegen sich in entgegengesetzte Richtung auseinander. Je nachdem, ob sie gleiche oder verschiedene Massen haben, mit betragsmäßig gleichen oder verschiedenen Geschwindigkeiten.		2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates.
	„ Alternative	<b>Inliner:</b> Eine (relativ leichte) Person auf Inlineskates startet auf einem schweren Holzbrett, das auf Rollen (Stativstangen, Besenstielen etc.) gelagert ist. Während sich die Person in eine Richtung in Bewegung setzt bewegt sich das Brett in die andere. Nur mit Hilfestellung durchführen!		2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates. Brett, Rollen (z.B. Stativstangen)
	„ Alternative	<b>Inliner:</b> Zwei Personen auf Inlineskates werfen sich einen relativ schweren Gegenstand (Medizinball, Getränkekiste mit wassergefüllten Kunststoffflaschen etc.) abwechselnd zu. Dadurch führen sie sich abwechselnd positiven und negativen Impuls zu und bewegen sich daher auseinander.		2 Teilnehmer mit mitgebrachten Inlineskates. Medizinball, Getränkekiste mit Flaschen.
12	Knotenregel für Impulsströme	Zwei Reibungsklötze über einen Federkraftmesser mit einer Querstange verbinden, an der ebenfalls ein Federkraftmesser befestigt ist. Je nachdem welche Seite der Reibungsklötze auf der Unterlage liegt, erzielt man gleichstarke oder verschieden starke Impulsströme durch die Federkraftmesser, die an den Reibungsklötzen befestigt sind. Durch den dritten Federkraftmesser an der Querstange fließt in jedem Fall die Summe der beiden anderen Impulsströme.		2 Reibungsklötze aus Schülerübungen „Fahrbahnversuche“ 104.1501, 3 Federkraftmesser 109.1105 oder 109.1106 Querstange 107.7043, Schnur 114.2020.



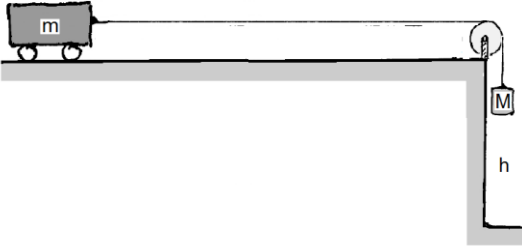
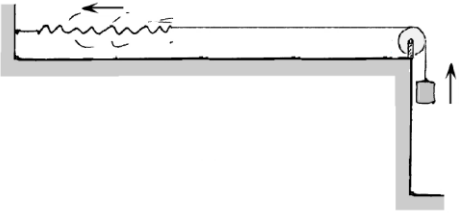
	Richtung senkrechter Impulsströme	 <p>Wenn man einen waagrechten Impulsstromkreis um 90 ° dreht, so erhält man einen senkrechten Impulsstromkreis. Auch hier kann man wieder Druck und Zug den Stromrichtungen zuordnen:</p> <p><b>Druck</b> bedeutet Impulsstrom <b>von oben nach unten</b>, <b>Zug</b> bedeutet <b>Impulsstrom von unten nach oben</b>.</p>		
13 PE1	Senkrechte Impulsströme	<p>Ein Gewicht hängt an einer Spiralfeder, die wiederum über eine waagrechte Stange und eine Stativklemme am Druckstab befestigt ist, der seinerseits von Stativmaterial am Tisch festgehalten wird. Die Feder oberhalb des Gewichts ist gedehnt, d.h. hier fließt Impuls von unten nach oben, die Druckfeder ist zusammengedrückt, d.h. hier fließt Impuls von oben nach unten. Es liegt also ein geschlossener Impulsstromkreis vor, bei dem Impuls von der Erde über das Gravitationsfeld zum Gewicht hinfließt und von dort über die Spiralfeder, das Stativ, durch den Druckstab zurück zur Erde wieder abfließt.</p> <p>Da es sich um einen unverzweigten Impulsstromkreis handelt, erwartet man, dass der Impulsstrom überall gleich stark ist. Ersetzt man die Spiralfeder durch einen Federkraftmesser und den Druckstab durch eine Waage, so kann man die Gleichheit der Impulsstromstärken messen.</p>		Hakengewicht 200.2024, Spiralfeder 200.2070, Druckstab, Stativmaterial, Kompaktwaage 100.3665
14	Zusammenhang zwischen F und m	<p>Aus Stativmaterial und einem Federkraftmesser stellt man einen „Galgen“ her, an den man Körper verschiedener Massen anhängen kann. Man stellt fest, dass die gemessene Kraft in N und die Masse des angehängten Körpers zueinander proportional sind. Der Proportionalitätsfaktor hat den Wert von etwa 10 N/kg, er beschreibt die Stärke unseres Gravitationsfeldes.</p>		Hakengewicht 200.2024, Federkraftmesser 109.1106, Stativmaterial, Stativfuß



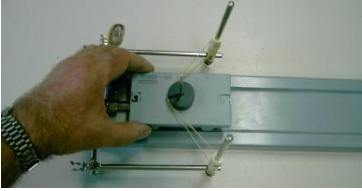

<p>15 Freier Fall</p> <p>PE2</p> <p>PE3</p>	<p>Durch Messung der Fallgeschwindigkeit zu verschiedenen Zeitpunkten stellt man fest, dass die Geschwindigkeit proportional zur Fallzeit wächst, was auch eine Proportionalität zwischen dem Impuls des fallenden Körpers und der Fallzeit bedeutet.</p> <p><b>Variante I:</b> An einer Stativstange wird eine Lichtschranke befestigt, die die Fallgeschwindigkeit nach der Fallstrecke <math>s</math> sowie die zugehörige Fallzeit <math>t</math> ermittelt. Die Fallstrecke wird variiert. Oder man verwendet gleichzeitig mehrere Lichtschranken an verschiedenen Fallstrecken.</p> <p><b>Variante II:</b> Die leicht geneigte Fahrbahn, wird an eine waagrechte Fahrbahn angeschlossen, sodass der Wagen nach dem Durchlaufen einer Strecke <math>s</math> auf der geneigten Fahrbahn mit konstanter Geschwindigkeit über die waagrechte Fahrbahn rollt. Hier kann seine Geschwindigkeit mit Maßstab und Stoppuhr bzw. mit der Lichtschranke ermittelt werden. Dann wird die Strecke <math>s</math> variiert und die Geschwindigkeit erneut gemessen. Die Auswertung ergibt jeweils: <math>v \sim t</math>, <math>\Leftrightarrow p \sim t</math>. Damit ist <math>p = F \cdot t</math> experimentell bestätigt.</p> <p><b>Zusatzexperiment:</b> Im Vortrag wird hergeleitet, dass <math>s = \frac{1}{2} g t^2</math> ist. Dies kann man zur Herstellung einer Fallschnur verwenden.</p>		<p>Rollenfahrbahn 2,2m 104.1501, Schüler-Timer mit Lichtschrankenpaar 116.2043, Lichtschrankenhalter 104.1586, Oder Kurzzeitmesser mit 2 Lichtschranken 116.2044, Freifallzubehör 116.2027,</p> <p>Rollenfahrbahn 2,2m mit Wagen 104.1501, Stoppuhr 112.4016, Maßstab oder Schüler-Timer mit Lichtschrankenpaar, Lichtschrankenhalter.</p>
<p>16 Kräftegleichgewicht I</p>	<p>Zwischen zwei am Tisch befestigten Stativstangen wird ein Experimentierwagen über zwei Federkraftmesser (einer links und einer rechts vom Wagen) eingespannt. Bei jeder denkbaren Spannung (Stativstangen verschieben) zeigen die beiden Federkraftmesser jeweils die gleiche Impulsstromstärke an. In jedem Fall ist der Wagen in Ruhe.</p>		<p>Zusatzfahrbahn 1 m, Wagen 104.1501, Schnur 114.2020, Stativmaterial, 2 Federkraftmesser 109.1105.</p>
<p>17 Kräftegleichgewicht II</p>	<p>Zwei Personen ziehen jeweils über einen Federkraftmesser an einem gemeinsamen Seil so, dass sie sich nicht bewegen.</p> <p><b>Alternative 1:</b> Über zwei Rollen, die an einem Stativ befestigt sind, wird eine Schnur geführt, an deren Enden zwei gleichgroße Gewichte hängen. Gleich nach den Rollen wird auf beiden Seiten ein Federkraftmesser in die Schnur eingefügt. Die Federkraftmesser zeigen beide dieselbe Impulsstromstärke, nämlich die Gewichtskraft des angehängten Gewichts.</p>		<p>Schnur 114.2020, 2 Rollen, Stativmaterial, 2 Federkraftmesser 109.1107, 2 Hakengewichte 200.2024.</p>

		<p><b>Alternative 2:</b> Das eine Ende der Schnur wird mit einem Federkraftmesser verbunden, der wiederum an der Wand befestigt ist. Das andere Ende der Schnur führt, wie bei Alternative 1, über einen weiteren Federkraftmesser und eine Rolle zum Gewicht. Auch bei diesem Aufbau zeigen beide Federkraftmesser dieselbe Impulsstromstärke, nämlich die Gewichtskraft des angehängten Gewichts.</p>		
18	Impuls als Vektor	<p>Eine Kugel oder ein Luftkissengleiter wird in Bewegung versetzt und soll durch regelmäßige Schläge mit einem Körper an einer Stativstange auf eine Kreisbahn oder einen Ausschnitt daraus gebracht werden. Durch jeden „Schlag“ mit dem Körper wird der Kugel / dem Gleiter eine Portion Impuls zugeführt, die jeweils eine Richtung auf den Kreismittelpunkt hat.</p> <p><b>Alternative:</b> Eine Person sitzt auf dem Luftkissen-Gleiter und stößt sich mit einer Stange in entsprechender Weise vom Boden ab, oder wird von Personen geschubst.</p>		<p>Kugel oder Luftkissengleiter 104.1959, Stativstange 100.2006, Tonnenfuß 102.0702.</p> <p>Luftkissen-Gleiter für Person</p>
19	Impuls als Vektor PEAlternative	<p>Ein Luftkissengleiter wird gegen einen zweiten geschubst, oder ein Gleiter gegen zwei ruhende. Man beobachtet jeweils die Richtung und die Geschwindigkeit der Gleiter nach dem Zusammenreffen.</p>		<p>2 Luftkissengleiter 104.1959.</p>
20	Impuls als Energieträger	<p><b>Bemerkung:</b> Die Unterscheidung zwischen <math>p</math> und <math>E</math> wird durch den Aufbau des Unterrichts gewährleistet. Nun werden Vorgänge betrachtet, bei denen beide Größen – zumindest zeitweise – zusammen fließen.</p> <p><b>Variante I:</b> Eine Person auf einem Fahrrad tritt in die Pedale um das Fahrrad in Bewegung zu versetzen, d.h. Impuls aus der Erde in das Fahrrad zu „pumpen“. Dabei muss sich die Person anstrengen, was zeigt, dass man dabei dem Fahrrad auch Energie zuführt. (Sollte auch von NaWi her als Bewegungsenergie bekannt sein).</p>		<p>Fahrrad</p>

		<p>Bremst man dann das Fahrrad wieder ab, fließt der Impuls über die Bremsen zurück in die Erde. Die Energie erzeugt dabei Entropie in den Bremsen, die zusammen mit der Energie in die Umgebung geht. Wenn man mehrfach angefahren ist und wieder abgebremst hat, kann man die erzeugte Entropie fühlen.</p> <p><b>Variante II:</b> Man pumpt mit Hilfe eines Elektromotors / Dynamot Impuls über eine Schnur</p>  <p>aus der Erde, durch den Motor, durch die Schnur in einen Experimentierwagen. Gleichzeitig strömt Energie vom Netzteil zum Motor, durch die Schnur zum Wagen. Sobald man den Motor ausschaltet, fährt der Wagen mit der Energie und dem Impuls weiter. Das fahrende Fahrzeug speichert die beiden Größen.</p> <p>Schließlich bringt man ein festes Hindernis (, das vom Motor festgehalten wird) und einen Gegenstand, der verformt werden soll, in den Weg des Wagens. Beim Auftreffen des Wagens wird die Energie benutzt um den Gegenstand zu verformen, während der Impuls aus dem Wagen durch das Hindernis, zum Motor und schließlich zur Erde abfließt. Vergl. Airbag und Knautschzone beim Unfall.</p>	<p>Rollenfahrbahn mit Wagen 104.1501, Schnur 114.2020, Dynamot 100.8012, Wattmeter 114.4002, Netzgerät 108.6431, Papierschachtel.</p>
		<p><b>Bemerkung:</b> Nachdem nun klar ist, dass Impuls ein Energieträger ist, muss geklärt werden, ob ein Impulsstrom immer von einem Energiestrom begleitet ist.</p> <p>Dazu betrachten wir die Situation, dass eine Feder zwischen zwei Wänden oder zwei Stangen, die sich nicht bewegen können eingespannt ist. Es fließt ein Impulsstrom von rechts nach links durch die Feder hin und von links nach rechts durch die Stange zurück. Da dabei nichts bewegt wird und sich nichts erwärmt, fließt aber sicher kein Energiestrom in der Apparatur. Was ist also der Unterschied zu Experiment 23, Variante II ? Dort bewegt sich die Schnur, also der Impulsleiter, durch die auch Energie fließt, während hier die Feder und die Stangen, also ebenfalls die Impulsleiter in Ruhe sind.</p> <p><b>Regel:</b> Nur wenn sich der Impulsleiter bewegt, fließt Energie zusammen mit dem Impuls.</p>  	<p>-----</p>
21	$P \sim F, P \sim v$	<p><b>Zusatzexperiment:</b> Im Vortrag wurde die Formel <math>P = v \cdot F</math> hergeleitet. Falls man dies experimentell überprüfen möchte, kann man folgenden Aufbau verwenden. Zunächst variiert man die Impulsstromstärke <math>F</math> in der Schnur über die Masse des angehängten Körpers und lässt diesen Körper jeweils vom Elektro-motor / Dynamot</p>	<p>Netzgerät 108.6431, Wattmeter 114.4002, Dynamot 100.8012, Federkraftmesser</p>

		<p>hochziehen. Dabei misst man mit einem zwischengeschalteten Wattmeter die Stärke des Energiestromes <math>P</math> zum Motor. Die Auswertung ergibt <math>P \sim F</math>. Dann variiert man die Spannung am Motor und damit die Geschwindigkeit <math>v</math>, mit der der Körper hochgezogen wird. Diese wird jeweils mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen. Die Auswertung ergibt <math>P \sim v</math>. Zusammen mit dem ersten Teilergebnis folgt daraus <math>P = v \cdot F</math>. Gleichzeitig ist dieses Experiment ein möglicher Einstieg zur <b>potenziellen Energie</b>.</p>		109.1106, Hakengewicht 200.2024.
22	Potenzielle Energie	<p>Aufbau wie bei Experiment 21: Einmal wird die <b>Höhe <math>h</math></b> (<math>= s</math>) variiert und jeweils die zugeführte Energie gemessen, einmal wird die Masse <math>m</math> variiert und die zugeführte Energie gemessen. Die Auswertung liefert: <math>E \sim h</math> und <math>E \sim m</math> als Bestätigung der im Vortrag hergeleiteten Formel <math>E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h</math></p>		„
23	Gravitationsfeld als Energiespeicher (potenzielle Energie)	<p>Ein Dynamot wird über einen Umschalter (Morsetaster) mit einem Netzgerät und einer Lampe verbunden. In der einen Schalterstellung wird das Dynamot als Motor betrieben und hebt ein Gewicht an der Schnur hoch. Dabei wird Energie ins Gravitationsfeld gesteckt, d.h. dort gespeichert. Wenn man dann nach einiger Zeit den Schalter umlegt, treibt das herabsinkende Gewicht das Dynamot als Generator an, der die Lampe leuchten lässt. Die Energie kommt aus dem Gravitationsfeld zurück.</p>		Netzgerät 108.6431, Umschalter 115.2070, Dynamot 100.8012, Kabel, Fassung 115.2033, Lampe 200.4195, Schnur 114.2020, Hakengewicht 200.2024.
24	Fahrendes Fahrzeug als Energiespeicher (kinetische Energie)	<p>Man setzt den Experimentierwagen unterschiedlich stark in Bewegung und lässt ihn dann eine schiefe Ebene hinaufrollen. Je höher er über der waagrechten Unterlage am Ende auf der schiefen Ebene anhält, desto mehr Energie besaß der Experimentierwagen auf der Waagrechten.</p>		Rollenfahrbahn 2,2 m mit Wagen 104.1501, 2 Zusatzfahrbahnen 1m 108.6486, Maßstab aus Schülerübungen „Fahrbahnversuche“.

25	Kinetische Energie	<p>Ein Experimentierwagen der Masse <math>m</math> wird durch eine Schnur, die über eine Rolle gelegt ist, mit einem anderen Körper der Masse <math>M</math> verbunden, die nach unten sinken kann und dabei den Wagen in Bewegung versetzt. Die potenzielle Energie, die der Körper der Masse <math>M</math> aus dem Gravitations-feld bekommt, wird an den Experimentier-wagen weitergeleitet und steckt dann als kinetische Energie in dem fahrenden Experimentierwagen. Mit Hilfe der potenziellen Energie kann die kinetische Energie gemessen werden. Damit ein Experimentierwagen der Masse <math>2m</math> (<math>3m</math>) dieselbe Endgeschwindigkeit erreicht, muss auch der heruntersinkende Körper verdoppelt (verdreifacht) werden. Wenn man beide (alle drei) Wagen gleichzeitig und nebeneinander fahren lässt, erkennt man, dass ihre Geschwindigkeiten zu jedem Zeitpunkt gleich sind. <math>E_{\text{kin}} \sim m</math> (bei gleichem <math>v</math>).</p> <p>Nun wird <math>m</math> konstant gehalten und <math>M</math> variiert (<math>M</math>, <math>4M</math> und <math>9M</math>). Auch die Höhe, die der andere Körper heruntersinkt, wird gleich gelassen (immer von derselben Stelle aus den Experimentierwagen losfahren lassen).</p> <p>Ab dem Moment, in dem der andere Körper den Boden erreicht hat, fährt der Experimentierwagen mit konstanter Geschwindigkeit. Man kann die zurückgelegte Strecke <math>s</math> des Experimentierwagens im gleichen Zeitraum <math>t</math> messen, oder Strecken <math>s</math>, <math>2s</math> und <math>3s</math> abmessen und die benötigte Zeit <math>t</math> messen.</p> <p>Die Auswertung ergibt, dass bei Zufuhr der - potenziellen und damit auch der kinetischen - Energiemengen <math>E</math>, <math>4E</math> und <math>9E</math> die erreichten Endgeschwindigkeiten <math>v</math>, <math>2v</math> und <math>3v</math> sind. D.h. <math>E_{\text{kin}} \sim v^2</math>.</p> <p>Wenn man die Rolle durch einen Tachogenerator ersetzt, um den die Schnur gewickelt ist, kann man am angeschlossenen Voltmeter die Spannung als Maß für die Geschwindigkeit ablesen.</p>		<p>Rollenfahrbahn 1,2 m Komplettsset 116.2030 Hakengewicht 200.2024, Schnur 114.2020.</p>
26	Gespannte Feder als Energiespeicher	<p><b>Variante I:</b> Eine Spiralfeder ist an einem Ende mit Stativmaterial am Tisch befestigt. Das andere Ende wird über eine Schnur, die über einer Rolle liegt, mit einem hängenden Gegenstand verbunden. Zunächst lässt man ein größeres Gewicht nach unten sinken und dabei die Feder spannen. In dem gespannten Zustand mit der Hand fixieren. Danach lässt man sie los (ggf. das Gewicht etwas nach oben antippen oder einen Teil des Gewichts entfernen). Dann zieht sich die Feder zusammen und hebt dabei das (restliche) Gewicht hoch.</p>		<p>Rollenfahrbahn 1,2 m 108.6486, Komplettsset 116.2030 Hakengewicht 200.2024, Schnur 114.2020,</p> <p>Rollenfahrbahn 1,2 m mit Wagen 108.6486,</p>

		<p><b>Variante II:</b> Die Spiralfeder ist wieder an einem Ende befestigt. Am anderen Ende steht ein Experimentierwagen. Nun wird die Feder etwas zusammengedrückt und dann losgelassen. Dabei dehnt sie sich aus und setzt den Wagen in Bewegung.</p> <p><b>Variante III:</b> An beiden Enden der Fahrbahn werden Gummiringe mit Hilfe von Stativmaterial quer über die Fahrbahn gespannt. Mit einem Experimentierwagen werden nun an einem Ende der Fahrbahn die Gummiringe gespannt und dann losgelassen. Die Gummiringe entspannen sich und setzen den Wagen in Bewegung. Er fährt bis zum anderen Ende der Fahrbahn und dehnt dort die Gummiringe, während er abgebremst wird. Dann entspannen sich auch dort die Gummiringe wieder und versetzen den Wagen in die entgegengesetzte Richtung in Bewegung.</p>	  	<p>Komplettsset 116.2030 Schnur 114.2020, Rollenfahrbahn 2,2 m mit Wagen 104.1501, Stativmaterial, Gummiringe.</p>
27	Spannenergie	<p>Das eine Ende einer Spiralfeder wird mit Stativmaterial am Experimentiertisch befestigt. Am anderen Ende wird eine Schnur angebunden, die über eine Rolle mit einem Gegenstand der Masse <math>M</math> verbunden ist, der herabsinken kann und dabei die Feder spannt. Neben der Feder ist ein Maßstab befestigt, damit man die Verlängerung <math>s</math> der Feder messen kann. Variiert man den herabsinkenden Gegenstand <math>M</math>, <math>4M</math> und <math>9M</math>, so stellt man eine Verlängerung der Feder um <math>s</math>, <math>2s</math> und <math>3s</math> fest: <math>E_{Sp} \sim s^2</math>. Um die Federkonstante <math>D</math> zu variieren, ordnen wir 1, 2 und 3 gleichartige Federn parallel an. Dadurch erreichen wir Federkonstanten <math>D</math>, <math>2D</math> und <math>3D</math>. Hängt man an die senkrechte Schnur dann Gegenstände der Masse <math>M</math>, <math>2M</math> und <math>3M</math>, so werden die Federn jeweils um dieselbe Strecke <math>s</math> – ist gleich der Höhe <math>h</math>, um die die Gewichte heruntersinken - verlängert. Die Auswertung liefert also <math>E_{Sp} \sim D</math>.</p>	 	<p>Spiralfedern 200.2070, Schnur 114.2020, Umlenkrolle 104.1559, Hakengewicht 200.2024, Maßstab aus Schülerübungen „Fahrbahnversuche“.</p>