

Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe

Thomas Wilhelm, Beyhan Gemici

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, beyhan3105@me.com

Kurzfassung

Die Beschleunigung ist eine zentrale Größe in der Newton'schen Mechanik und in der Oberstufe des Gymnasiums, aber auch eine schwer zu verstehende Größe. Zumindest bei eindimensionalen Bewegungen und Kreisbewegungen wird sie intensiv im Unterricht behandelt. Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit wurden qualitative Aufgaben an 364 Schülerinnen und Schüler aus 20 Klassen an 13 hessischen Gymnasien gestellt und untersucht, nach welchen Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler antworten. Betrachtet werden ein- und zweidimensionale Bewegungen und abgefragt werden Graphen, Vorzeichen und Richtungen von Beschleunigungen. Da die Items bereits in verschiedenen früheren Studien verwendet wurden, können Vergleiche angestellt werden, in denen das aktuelle hessische Gymnasium schlecht abschneidet.

1. Bekannte Schülervorstellungen

In den 1970er bis 1990er Jahre wurden intensiv Schülervorstellungen in verschiedenen Gebieten der Physik erforscht, ganz besonders intensiv in der Mechanik. Die zentralste Aussage der Mechanik betrifft den Zusammenhang zwischen der Bewegungsänderung (Geschwindigkeitsänderung bzw. Beschleunigung bzw. Impulsänderung) und der Einwirkung (Kraft bzw. Kraftstoß). Deshalb wurden auch die Schülervorstellungen zur Beschleunigung untersucht (siehe z.B. [1]).

Zunächst kann man feststellen, dass im Alltag „Beschleunigung“ oft nur in der Bedeutung „Schnellerwerden“ verwendet wird. Allerdings ist damit kein Quotientenbegriff im Sinne von „Geschwindigkeitsänderung dividiert durch Zeitintervall“ gemeint; die Zeit, in der die Geschwindigkeitsänderung geschieht wird nämlich oft zusätzlich angegeben. Beschleunigung ist damit eine Bilanzgröße, die einen Anfangs- und einen Endzustand eines Vorgangs vergleicht [1]. Folglich werden großen Beschleunigungen mit großen Endgeschwindigkeiten assoziiert, obwohl auch kleine Geschwindigkeitsänderungen in kleinen Zeitintervallen sehr große Beschleunigungen sein können. Verständlich ist damit auch, dass Schülerinnen und Schüler meinen, einem Zeitpunkt sei keine Beschleunigung zuzuordnen, sondern nur einem Zeitintervall. Entsprechend werden Umkehrpunkte wie z.B. dem höchsten Punkt beim senkrechten Münzwurf oder dem tiefsten Punkt beim Trampolinsprung keine Beschleunigung zugeordnet.

Die Beschleunigung ist in der Physik als zweite Ableitung des Ortes nach der Zeit sehr abstrakt und der Erfahrung nicht besonders zugänglich. So ist es verständlich, dass Schülerinnen und Schüler den Begriff „Beschleunigung“ in seiner Komplexität

reduzieren und höchstens einzelne Teilaspekte erfassen.

Die stärkste Reduktion findet statt, wenn kein prinzipieller Unterschied zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit gesehen wird, so wie auch Spannung und Strom als das Gleiche oder als etwas Proportionales angesehen werden. Die Schülerinnen und Schüler können dann nicht zwischen verschiedenen Bewegungsformen unterscheiden (v konstant oder a konstant) [2] und antworten in qualitativen Aufgaben zur Beschleunigung so, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt worden [3+4].

Ein größeres Verständnis ist vorhanden, wenn die Beschleunigung auf die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages oder noch besser auf die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages pro Zeit reduziert wird. Positive Beschleunigung bedeutet dann Schnellerwerden und negative Beschleunigung bedeutet Langsamerwerden und die Beschleunigung ist eine skalare Größe. Diese Reduktion auf eine skalare Größe führt in der Schule zunächst nicht zu Problemen, weil sich alle Körper meistens in positive Richtung bewegen. Bewegungen in negative Richtung, bei denen ein Schnellerwerden eine negative Beschleunigung ist, werden nicht betrachtet. Allerdings ist dann auch bei der behandelten gleichförmigen Kreisbewegung die Zentripetalbeschleunigung nicht verstehbar, da keine Tempoänderung vorliegt.

Die Vermittlung der physikalischen Vorstellung, dass die Beschleunigung eine vektorielle Größe ist, also eine Richtung hat, gelingt bei der Behandlung krummliniger Bewegungen meist nicht. Lehrkräfte schätzen zwar die Schwierigkeiten, die Schülerinnen und Schüler auch nach dem Mechanikunterricht im Umgang mit Beschleunigungsgraphen haben, zum Teil richtig ein. Die Probleme der Schülerinnen und

Schüler bei Richtungsänderungen ist aber den wenigsten wirklich bewusst [5].

2. Die Erhebung

Die Schülervorstellungen sind seit Langem ein wichtiges Thema in der Lehrerbildung, so dass viele Lehrkräfte davon gehört haben. Außerdem wurden verschiedene alternative Unterrichtskonzepte erarbeitet, getestet und publiziert. Darüber hinaus gab es in den letzten Jahren auch viele Bestrebungen, im Unterricht von reinem Rechenkalkül wegzukommen hin zu einem besseren qualitativen Verständnis. In manchen Lehrplänen wird die Beschleunigung heute schon früher angesprochen als das in vergangenen Lehrplänen der Fall war. Andererseits wird in Zeiten der Kompetenzorientierung dem fachlichen Verständnis weniger Wert zugemessen.

Daraus folgt die Frage, ob Schüler heute andere Leistungen bei bekannten Testitems zur Beschleunigung zeigen als früher. Dazu wurde als Staatsexamensarbeit eine Reproduktionsstudie durchgeführt [6], in der vor allem Items verwendet wurden, die bereits in anderen Studien eingesetzt wurden.

Der erstellte Fragebogen (siehe im Anhang) wurde bei 346 Schülerinnen und Schülern aus 20 Klassen an 13 hessischen Gymnasien in Frankfurt am Main und in dessen Umgebung eingesetzt. Zeitlich geschah dies am Ende des Schuljahres der Einführungsphase (Jgst. 10 im G8 oder Jgst. 11 im G9), also dem Jahr vor der zweijährigen Qualifikationsphase. Dieses ganze Jahr hat nur die Mechanik zum Thema. Verbindliche Unterrichtsinhalte sind in diesem Schuljahr gemäß dem hessischen Lehrplan [7] die geradlinige und die kreisförmige Bewegung mit der gleichförmigen und der beschleunigten Bewegung und mit dem senkrechten und dem waagerechten Wurf. Das herkömmliche Vorgehen im Mechanikunterricht mit der üblichen Elementarisierung wird im Abschnitt 6 ausführlicher dargelegt.

Alle Items wurden als Single-Choice-Aufgaben zum Ankreuzen formatiert, damit der Fragebogen computerlesbar und somit bei einer großen Probandenzahl eingesetzt werden konnte.

3. Ergebnisse bei geradlinigen Bewegungen

Bei allen Items zur Beschleunigung wird geschaut, welche Antwort man in den folgenden vier Fällen erhält:

- Es wird physikalisch korrekt geantwortet, d.h. die Antwort entspricht qualitativ der vektoriellen Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$.
- Beschleunigung wird als Änderung des Tempos verstanden, $\Delta|\vec{v}|$; es wird also nur das Schneller- bzw. Langsamerwerden beachtet.
- Es wird so geantwortet, als sei nach der Geschwindigkeit \vec{v} statt nach der Beschleunigung gefragt.
- Es wird so geantwortet, als sei nach dem Tempo $|\vec{v}|$ statt nach der Beschleunigung gefragt.

Bei den meisten Items führen mehrere Fälle zu einem gleichen Ergebnis, so dass nicht gesagt werden kann, welche Vorstellung hinter der entsprechenden Antwort steht. Optimal wäre es, wenn die vier Vorstellungen zu vier verschiedenen Antworten führen, was nur bei wenigen Items der Fall ist.

3.1. Vorzeichen der Steigung im t - v -Diagramm

Die ersten Items zum Einstieg sollen einfach und nahe am Unterricht sein. Dazu werden t - v -Diagramme eindimensionaler Bewegungen gezeigt und die Schülerinnen und Schüler sollen das Vorzeichen der Beschleunigung angeben, also positiv bei steigenden und negativ bei fallenden Graphen. Erwartungsgemäß ist der Anteil richtiger Antworten groß (siehe Tab. 1). Auffällig ist aber auch, dass die Items mit Bewegungen in negative Richtung (zweite Hälfte der Items) größere Probleme erzeugen. Einige Schülerinnen und Schüler überlegen sich hier, wie sich das Tempo ändert und kommen so auf das gegenteilige Ergebnis, als wenn sie nur die Steigung betrachtet hätten. Cronbachs Alpha der sechs Items ist mit 0,61 etwas gering.

Geschwindigkeit ist:	Antwort gemäß			
	$\Delta\vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos = schneller/langsamer	\vec{v} Geschwindigkeit	$ \vec{v} $ Tempo
positiv, steigend	97 %			
positiv, fallend	89 %		5 %	
positiv, konstant	88 %		4 %	
negativ, konstant	73 %		6 %	0,3 %
negativ, fallend	81 %	10 %	wie $\Delta\vec{v}$	wie $\Delta \vec{v} $
negativ, steigend	72 %	14 %		wie $\Delta\vec{v}$

Tab. 1: Ergebnisse bei den Items zur Beschleunigung gemäß verschiedener t - v -Diagramme

3.2. Der Münzwurf

Bei der Aufgabe zum senkrechten Münzwurf wird nicht nach der Kraft auf die Münze sondern nach ihrer Beschleunigung während der verschiedenen Phasen (Aufwärtsbewegung, höchster Punkt, Abwärtsbewegung) gefragt und zwar einmal nach dem Vorzeichen der Beschleunigung (negativ, null, positiv), wobei im Aufgabenstamm aufwärts als die positive Richtung festgelegt wurde, und einmal nach der Richtung der Beschleunigung (abwärts gerichtet, null, aufwärts gerichtet). Man kann beim Beantworten aus der bekannten Krafrichtung auf die proportionale Beschleunigung schließen, was Schülerinnen und Schüler nicht tun [4]. Sie denken hier nur über

die Geschwindigkeitsänderung nach, so dass die Aufgabe für sie eine kinematische ist.

Bei der Auswertung wurden nicht die drei Phasen einzeln ausgewertet, sondern die Antwortkombinationen bei allen drei Phasen betrachtet (siehe Tab. 2). Beim Vorzeichen wird am häufigsten einfach nur das Vorzeichen der Geschwindigkeit angegeben. Am Zweithäufigsten wird ein Vorzeichen angegeben, dass der Vorstellung entspricht, eine positive Beschleunigung bedeute schneller werden, eine negative Beschleunigung bedeute langsamer werden. Schülerinnen und Schüler, die so denken, haben dann ein Problem, wenn nach der Richtung der Beschleunigung gefragt wird. Entsprechend wird dann noch häufiger die Bewegungsrichtung angegeben.

Die Unterschiede in der Beantwortung zwischen den einzelnen Klassen waren sehr groß. Sieht man von einer sehr kleinen Klasse ab, so gaben bei dem Vorzeichen je nach Klasse 0 bis 15 % der Schüler die richtige Antwortkombination, 0 bis 18 % die fast-richtige Antwortkombination (richtig bis auf den Umkehrpunkt), 9 bis 57 % die Schneller/Langsamere Antwortkombination und 7 bis 73 % die Geschwindigkeits-Antwortkombination. Die richtige Antwort gibt in 17 der 20 Klassen kein einziger Schüler.

	Antwortkombination für 3 Items	Hessen 2016 n = 346	Bayern 1994 n = 188	Bayern 1988 n = 426
	Richtige Lösung: - - -	1 % ***	7 % ***	3 %
	Fast-richtig: - 0 -	3 % ***	10 % ***	3 %
	Nach $\Delta \vec{v} $, - 0 +	27 % *	36 % *	34 %
	Nach \vec{v} : + 0 -	47 %	41 %	55 %
	Nach $ \vec{v} $: + 0 +	11 %	?	?
	Richtige Lösung: ↓ ↓ ↓	2 % ***	9 % ***	-
	Fast-richtig: ↓ 0 ↓	6 % ***	19 % ***	-
	Nach $\Delta \vec{v} $: ↓ 0 ↑	6 %	4 %	-
	Nach \vec{v} : ↑ 0 ↓	76 % **	62 % **	-
	Sonstige	10 %	9 %	-

Tab. 2: Ergebnisse bei den Items zum senkrechten Münzwurf in Hessen 2016 [6], in Bayern 1994 [3+4] und in Bayern 1988 [4] (bei signifikanten Unterschieden zwischen den ersten beiden Spalten: * für $p < 5\%$, ** für $p < 1\%$ und $p < 1\%$)

Den Aufgabenteil zum Vorzeichen hat bereits Thornton in den USA mehrfach eingesetzt (veröffentlicht in [8]). Nach dem Mechanikunterricht der Oberstufe in Bayern hat Treffer diesen Aufgabenteil 1988 verwendet (veröffentlicht in [4]) sowie Wilhelm 1994 beide Aufgabenteile [3+4].

Im Vergleich mit den beiden älteren bayerischen Erhebungen zeigen sich in der aktuellen Erhebung zwar ähnliche Verteilungen der Antworten (siehe Tab. 2). Die richtige Antwort und die fast-richtige Antwort werden jedoch in Hessen sowohl beim Vorzeichen als auch bei der Richtung höchst signifikant seltener gegeben als 1994 in Bayern. Die Antwort bei den Vorzeichen, die wenigstens die Tempoänderung betrachtet, ist auch signifikant seltener.

3.3. Beschleunigungsdiagramme

Bei diesen Items geht es um ein Spielzeugauto, das sich nur nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie bewegt. Vorgegeben sind Beschreibungen unterschiedlicher Bewegungen des Autos, denen die Schülerinnen und Schüler passende Zeit-Beschleunigungs-Graphen zuordnen sollen. In drei Items bewegt sich das Auto nach rechts in positive Richtung und drei Items nach links in negative Richtung. Dabei fährt es jeweils im ersten Fall mit einer konstanten Geschwindigkeit, im zweiten Fall wird es gleichmäßig immer schneller und im dritten Fall gleichmäßig immer langsamer. Die Ergebnisse (siehe Tab. 3) zeigen, dass am häufigsten so geantwortet wird, als wären die vorgegebenen Graphen Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme.

Item	Antwort gemäß			
	$\Delta\vec{v}$ Änderung der Ge- schwindig- keit	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos = schneller/ langsamer	\vec{v} Ge- schwin- digkeit	$ \vec{v} $ Tempo
v konstant, nach rechts	13 %		69 %	
v konstant, nach links	15 %		52 %	4 %
schneller- werdend, nach rechts	9 %		83 %	
schneller- werdend, nach links	7 %	4 %	41 %	10 %
langsamer- werdend, nach rechts	6 %		64 %	
langsamer- werdend, nach links	3 %	4 %	(37 %)	10 %

Tab. 3: Ergebnisse der Aufgaben zur Auswahl eines Beschleunigungsdiagramms zu beschriebenen Bewegungen

Die Items sind in dieser Form von Wilhelm [3+4]. In anderer Formatierung wurden sie bereits von Thorn-

ton [8-11] und 1988 von Treffer [4] benutzt. In der hier verwendeten Form fehlt jedoch die Lösung, die im letzten Item der Geschwindigkeit entspricht, so dass man hier „Keiner der Graphen“ wählen musste, was auch aus anderen Gründen gewählt werden könnte. Einige Schülerinnen und Schüler beantworteten dieses Item einfach nicht. Da sechs Items haben eine hohe Reliabilität mit einem Cronbachs Alpha von 0,84.

Ein Vergleich mit den beiden älteren bayerischen Erhebungen zeigt, dass die hessischen Schülerinnen und Schüler bei der Auswahl der Graphen schlechter abschnitten als vor 20 bzw. 30 Jahren die bayerischen Schülerinnen und Schüler (siehe Tab. 4). Da in der Erhebung von 1988 die Items allerdings anders formuliert waren, was schwieriger zu verstehen war, wird im Folgenden nur mit der Erhebung von 1994 verglichen. Cronbachs Alpha lag ebenso bei 0,84. Im Durchschnitt wurden 2016 nur 9 % dieser Items richtig beantwortet, 1994 aber bei identischer Formulierung 47 %, was ein höchst signifikanter Unterschied ist und einer hohen Effektstärke von $d = 1,43$ entspricht.

Item	Studie	Hessen	Bayern	Bayern
		2016 n = 346	1994 n = 188	1988 n = 426
v konstant, nach rechts		13 %	64 %	47 %
v konstant, nach links		15 %	57 %	22 %
schneller werdend, nach rechts		9 %	58 %	28 %
schneller werdend, nach links		7 %	40 %	12 %
langsamer werdend, nach rechts		6 %	37 %	21 %
langsamer werdend, nach links		3 %	28 %	-
Mittelwert		9 % ***	47 % ***	-

Tab. 4: Anteile richtiger Antworten bei den Aufgaben zur Auswahl eines Beschleunigungsdiagramms in Hessen 2016 [6], in Bayern 1994 [3+4] und in Bayern 1988 [4]

3.4. Stroboskopbild

Verwendet wird ein Item aus dem FCI-Test [12], in dem das Stroboskopbild zweier geradliniger Bewegungen mit unterschiedlichen konstanten Geschwindigkeiten gezeigt wird. Nur 13 % geben richtig an, dass die Beschleunigung in beiden Fällen Null ist. 42 % antworten so, als wäre nach der Geschwindigkeit bzw. dem Tempo gefragt (bei der zweiten Bewegung größer als bei der ersten). In einer Erhebung in Bayern im Jahr 2004 gaben dagegen 33 % der Schülerinnen und Schüler eine korrekte Antwort [4+13]. Dies ist ein höchst signifikanter Unterschied.

4. Ergebnisse bei krummlinigen Bewegungen

Fragt man bei Items zu krummlinigen Bewegungen nach der Richtung der Beschleunigung, haben all die Schülerinnen und Schüler ein Problem, für die die Beschleunigung nur eine Zahl ist – positiv beim Schnellerwerden und negativ beim Langsamerwerden. Stimmig wäre es, wenn hier der tangentielle Anteil der Beschleunigung angegeben werden würde. Damit gibt es drei interessante Fälle:

- Es wird physikalisch korrekt geantwortet, d.h. die Antwort entspricht qualitativ der vektoriellen Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$.
- Es wird nur der tangentielle Anteil der Beschleunigung angegeben, weil nur die Änderung des Tempos, $\Delta|\vec{v}|$, beachtet wird, also nur das Schneller- bzw. Langsamerwerden. Der Beschleunigungspfeil wird also in oder gegen die Bewegungsrichtung gezeichnet.
- Es wird so geantwortet, als sei nach der Geschwindigkeit \vec{v} statt nach der Beschleunigung gefragt.

4.1. Sprungschanze

In der Aufgabe zur Sprungschanze aus dem „Mechanics Baseline Test“ [14] soll die Beschleunigungsrichtung für drei Fälle angegeben werden: (i) ein Klotz rutscht eine schiefe Ebene hinunter, (ii) der Klotz durchläuft den tiefsten Punkt eines Kreisbogens und (iii) der Klotz befindet sich am Scheitelpunkt einer Wurfparabel bei einem schrägen Wurf.

Das erste Item ist ungeschickt, da hier alle drei Vorstellungen zur gleichen Antwort führen. Dafür sind dann 69 % richtige Antworten wenig – zumal die schiefe Ebene ein Standardbeispiel im Mechanikunterricht ist. Beim Kreisbogen und bei der Wurfbewegung unterschieden sich die drei Antworten. Am häufigsten wird allerdings einfach die Bewegungsrichtung angegeben (siehe Tab. 5). Insbesondere bei dem Kreisbogen antworten nur 2 % richtig.

Item	Antwort gemäß		
	$\Delta\vec{v}$: Änderung der Geschwindigkeit	\vec{a}_t : Richtung der tangentialen Beschleunigung, nur schneller/langsamer	\vec{v} : Geschwindigkeit
Schiefe Ebene	69 %		
Kreisbogen	2 %	30 %	40 %
Schiefer Wurf	11 %	12 %	27 %

Tab. 5: Ergebnisse bei den Aufgaben zur Sprungschanze

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse aus anderen Studien. Insbesondere zeigt sich, dass die hessischen Oberstufenschülerinnen und -schüler deutlich schlechter sind als amerikanische High School Schülerinnen

und Schüler [14]. Vermutlich werden in den USA die Richtungen der Größen stärker thematisiert und mehr zweidimensionale Bewegungen betrachtet.

Studie \ Item	Hessen 2016 Gym.	USA 1992 High School	USA 1992 Uni	Bayern 2007 Uni
Schiefe Ebene	69 %	80 % - 94 %	67 % - 86 %	73 %
Kreisbogen	2 %	1 % - 40 %	12 % - 72 %	3 %
Schiefer Wurf	11 %	44 % - 73 %	53 % - 96 %	57 %

Tab. 6: Anteile richtiger Antworten zur Sprungschanze im hessischen Gymnasium 2016 [6], in den USA 1992 [14] und einer bayerischen Universität 2007 [15]

4.2. Rennstrecke

Bei der Rennstreckenaufgabe (aus [4]) fährt ein Auto in der Ebene und die Veränderung des Tempos wird beschrieben. Für die schnellerwerdende Geradeausfahrt gilt das Gleiche wie für das Item zur schiefen Ebene. Bei den Items zur Kurvenfahrt wird wiederum meistens nur die Bewegungsrichtung angegeben (siehe Tab. 7). Nur ein Schüler löst alle drei Items zur Kurvenfahrt richtig.

Item	Antwort gemäß		
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit	\vec{a}_t nur tangentialer Richtung gemäß schneller/langsamer	\vec{v} Geschwindigkeit
geradeaus, schnellerwrđ	62 %		
geradeaus, bremsend	36 %		26 %
Kurvenfahrt, konst. Tempo	4 %	28 %	37 %
Kurvenfahrt, schnellerwrđ	7 %	68 %	
Kurvenfahrt, bremsend	1 %	35 %	35 %

Tab. 7: Ergebnisse bei den Aufgaben zur Rennstrecke

Wilhelm [4+16] fand für die beiden Items zur geradlinigen Bewegung ein Cronbachs Alpha von 0,82 und für die drei Items zur Kurvenfahrt ein Cronbachs Alpha von 0,81. Ein Vergleich mit einer Erhebung von 2004 am Ende der Oberstufenmechanik in Bayern [4+16] zeigt einen höchst signifikanten Unterschied bei den Items zur geradlinigen Fahrt (im Mittel 49 % statt 90 %) (siehe Tab. 8), was eine sehr große Effektstärke von $d_{gerade} = 1,2$ ergibt. Bei den Kurvenitems liegt ebenfalls ein hoch signifikanter Unterschied mit einer Effektstärke von $d_{Kurve} = 0,28$ vor.

Studie \ Item	Hessen 2016 n = 346	Bayern 2004 n = 217
geradeaus, schnellerwerdend	62 %	93 %
geradeaus, bremsend	36 %	88 %
Kurvenfahrt, konstantes Tempo	4 %	12 %
Kurvenfahrt, schnellerwerdend	7 %	9 %
Kurvenfahrt, bremsend	1 %	6 %
Mittelwert geradeaus	49 % ***	90 % ***
Mittelwert Kurve	4 % **	9 % **

Tab. 8: Anteile richtiger Antworten zur Rennstrecke im hessischen Gymnasium 2016 [6] und im bayerischen Gymnasium 2004 [4+16]

4.3. Hügelfahrt und Mondaufgabe

Ähnliche Ergebnisse gibt es bei der schwierigen Aufgabe von Flores [17] zu einer Hügelfahrt, bei der es eine Richtungsänderung und gleichzeitig ein Langsamerwerden gibt. 8 % geben die richtige Beschleunigungsrichtung an, 23 % die tangentielle Beschleunigungsrichtung und 45 % die Bewegungsrichtung.

Interessant ist auch das letzte Item zur Mondbewegung, bei dem bei der Kreisbewegung mit konstantem Tempo nicht nach der Beschleunigung, sondern nach der Geschwindigkeitsänderung während einer Viertel Drehung gefragt wurde. Die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ kann nämlich als Elementarisierung der Beschleunigung betrachtet werden. Nur 5 % geben die korrekte Antwort (radial nach innen), 35 % geben eine Antwort, die der Tempoänderung entspricht (Null) und 39 % geben die durchschnittliche Bewegungsrichtung an.

Die gleiche Aufgabe wurde in einer Studie in Bayern [18] nach einer qualitativen Einführung in die Mechanik in Jahrgangsstufe 7 gestellt. Obwohl diese Schülerinnen und Schüler im traditionellen Unterricht keine zweidimensionalen Bewegungen, keine gerichteten Größen, keine Geschwindigkeitsänderung und keine Vektoren kennengelernt haben, wird das Item von etwa genauso vielen Schülern richtig beantwortet (6 %, N = 488) wie hier nach dem Oberstufenunterricht.

Siebtklässler, die dagegen nach einem veränderten Konzept unterrichtet wurden, erreichten trotz der hohen Aufgabenschwierigkeit 11 % richtige Antworten [18]. Das ist viel, da selbst Studienanfänger der Physik nur auf 12 % kommen [15].

5. Diskussion der Ergebnisse

Da hinter einer Antwort auf ein Item meist verschiedene Vorstellungen liegen können, wäre es nötig, in Zukunft zweistufige Tests einzusetzen, in denen zu der gegebenen Lösung eine Begründung auf Basis bekannter Vorstellungen auszuwählen ist. Deren

Auswertung hätte allerdings den Rahmen dieser Examensarbeit überschritten.

Auch nach dem Oberstufenunterricht wird „Beschleunigung“ entweder mit „Geschwindigkeit“ gleichgesetzt oder als Änderung des Tempos angesehen. Insbesondere bei Aufgaben mit einer Änderung der Bewegungsrichtung wird die Beschleunigung sehr selten richtig angegeben. Die Ergebnisse in Hessen 2016 sind wesentlich schlechter als Ergebnisse in vergleichbaren Studien, insbesondere im Vergleich zu Studien in Bayern.

Für die unterschiedlichen Ergebnisse der aktuellen Studie im Vergleich zu anderen Erhebungen sind verschiedene Gründe denkbar: 1. Ein Einflussfaktor könnte bei einigen Items die Formatierung sein, die nicht immer völlig identisch gehalten ist. Damit der Fragebogen computerlesbar ist, sind alle Items Ankreuzaufgaben, während bei manchen Aufgaben in früheren Erhebungen die Schüler selbst die Beschleunigungspfeile einzeichneten. 2. Die Unterschiede könnten darin begründet sein, dass die Erhebungen zu unterschiedlichen Zeiten stattfanden und sich in den über zwanzig Jahren der Unterricht und die Zielsetzungen geändert haben. Gerade in Hessen wird die Kompetenzorientierung betont und Kompetenzen werden z.T. als Gegenteil von Fachwissen aufgefasst. 3. Schließlich könnten die Unterschiede daran liegen, dass verschiedene Bundesländer beteiligt waren mit recht unterschiedlichen Schulsystemen und unterschiedlichen Schwerpunkten im Unterricht. Auch die Schülerinnen und Schüler am Gymnasium unterscheiden sich, da in Hessen ein größerer Anteil eines Jahrgangs das Gymnasium und die Gesamtschule, die ebenfalls zum Abitur führen kann, besuchen. Im Schuljahr 2011/12 besuchten in der 9. Jahrgangsstufe in Hessen 40 % der Schülerinnen und Schüler das Gymnasium und 20 % die Gesamtschule (28 % Realschule und 12 % Hauptschule), während in Bayern in der 9. Jahrgangsstufe nur 32 % das Gymnasium besuchten (34 % Hauptschule und 34 % Realschule) [19].

Nach einem Schuljahr Mechanikunterricht, in dessen Zentrum die Gleichung $F = m \cdot a$ steht, sind die Ergebnisse ernüchternd. Es stellt sich die Frage, welche Konsequenzen man aus diesen Ergebnissen zieht, wenn man nicht so weitermachen will wie bisher. Das ganze Thema Mechanik zu streichen, ist sicher keine Option. Deshalb muss über eine Veränderung der Sachstruktur des Mechanikunterrichts nachgedacht werden. Der herkömmliche Unterricht führt die Geschwindigkeit und die Beschleunigung an geradlinigen Bewegungen ein und verallgemeinert dies später auf zweidimensionale Bewegungen, was bei Wurfbewegungen und vor allem der Kreisbewegung thematisiert wird. Nötig ist aber eine stärkere Betonung der Richtung der Größen, wozu nicht nur zweidimensionale Bewegungen behandelt werden müssen, sondern die Größen gleich an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt werden müssen. Außerdem sollte die Be-

schleunigung stärker mit der Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ in einem Zeitintervall Δt in Verbindung gebracht werden, so dass man sich in verschiedenen Situationen leichter die Beschleunigung erschließen kann.

Unterrichtskonzepte mit entsprechendem Vorgehen sind in Vergleichsstudien bezüglich des Verständnisses der Beschleunigung und der Kraft erfolgreicher als traditioneller Unterricht. Wilhelm hat die kinematischen Größen in der Jahrgangsstufe 11 des bayerischen Gymnasiums an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt und mit Pfeilen veranschaulicht [4+20]. Amenda hat die kinematischen Größen in der Jahrgangsstufe 12 der Fachoberschule in Bremen als Vektoren eingeführt und als Spaltenvektoren dargestellt [21+22]. Wilhelm, Tobias, Waltner, Hopf und Wiesner haben in der Jahrgangsstufe 7 des bayerischen Gymnasiums die Newton'sche Mechanik an zweidimensionalen Bewegungen behandelt und alle Größen als Pfeile dargestellt [23-25]. Hier wurde allerdings auf die Beschleunigung verzichtet und stattdessen als deren Elementarisierung die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ behandelt, die als Zusatzgeschwindigkeit bezeichnet wurde. Für einen solchen Unterrichtsgang liegen mittlerweile auch zwei Lehrerhandbücher vor, die aufzeigen, wie die gesamte Dynamik und Kinematik der Schulzeit (ein- und zweidimensionale Bewegungen) so unterrichtet werden können [26-28].

6. Exkurs: die traditionelle Elementarisierung

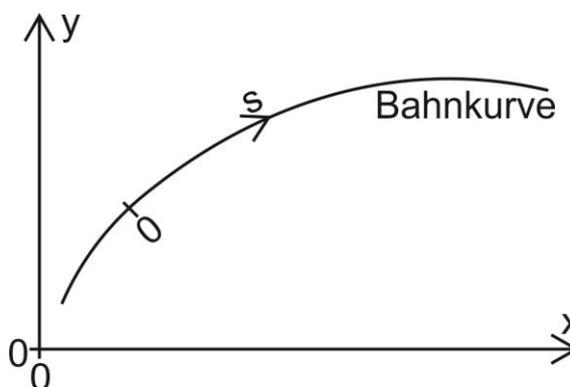


Abb. 1: Die traditionelle Elementarisierung: Betrachtung des „Weges“ s längs der Bahnkurve statt Betrachtung des Ortes (entsprechend Betrachtung der tangentialen Beschleunigung statt der ganzen Beschleunigung)

In der Hochschulphysik ist der Ort eines Körpers festgelegt durch seinen Ort $\vec{r} = (x, y, z)$ in einem dreidimensionalen Bezugssystem. Die zeitliche Ortsänderung ergibt die Geschwindigkeit $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ und die zeitliche Geschwindigkeitsänderung ergibt die Beschleunigung $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$, wobei \vec{r} , \vec{v} und \vec{a} Vektoren sind.

Eine aus historischen Gründen verbreitete Elementarisierung in der Mechanik ist die Folgende. Zur Vereinfachung betrachtet man zunächst nur den

„Weg“ s längs der (im Allgemeinen dreidimensionalen) Bahnkurve (siehe Abb. 1) ausgehend von einem Startpunkt, also den Abstand zum Startpunkt längs der Bahnkurve. Die Richtung der Koordinatenachse ändert sich quasi mit dem Ort des Körpers. Die zeitliche Wegänderung ist nun eine Zahl und wird nun „Geschwindigkeit“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag des Geschwindigkeitsvektors und ihr Vorzeichen gibt an, ob sich der Körper auf der Bahnkurve „vorwärts“ oder „rückwärts“ bewegt. Die zeitliche Änderung dieser Zahl ist wiederum eine Zahl und wird nun „Beschleunigung“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag der tangentialen Beschleunigungskomponente und ihr Vorzeichen gibt an, ob die tangentiale Beschleunigung „vorwärts“ oder „rückwärts“ gerichtet ist. Auch bei den Kräften werden nur die tangentialen Anteile berücksichtigt, so dass $F = m \cdot a$ gilt. Alle Bewegungen sind nun quasi auf eine eindimensionale Bewegung zurückgeführt und alle Größen sind (vorzeichenbehaftete) Zahlen statt Vektoren. Später bei der Kreisbewegung wird dann versucht, die kinematischen Größen zu erweitern und als Vektoren einzuführen. Wie die obigen Ergebnisse zeigen, gelingt dies bei der Beschleunigung nicht.

Fachlich sei am Rande anzumerken, dass der „Weg“ s hier nicht dem entspricht, was in der Physik und im Alltag als Weg bezeichnet wird, denn da ist der Weg immer eine positive Größe und nimmt bei jeder Ortsänderung zu. In dieser traditionellen Elementarisierung kann jedoch der „Weg“ s beim Zurücklaufen auch wieder abnehmen und sogar negativ werden. Die Größe „Weg“ wird hier wie die Ortskomponente einer geradlinigen Bewegung verwendet und somit werden die vektorielle, mehrdimensionale Größe Ort und die stets positive, skalare Größe Weg miteinander vermischt. Wie inkonsistent und problematisch die Darstellungen gängiger Oberstufen-Schulbücher sind, zeigt Amenda [22] ausführlich auf.

Bei der Kreisbewegung muss thematisiert werden, dass für eine Richtungsänderung eine Kraft nötig ist und es entsprechend eine radiale Beschleunigungskomponente gibt. Dies ist bei der obigen Elementarisierung nicht verstehbar. Die Elementarisierung ist nicht erweiterbar und nicht anschlussfähig und nur bei geradlinigen Bewegungen verwendbar. Die Hauptaussage der Newton'schen Mechanik ist, dass – bei konstanter Masse – jede Kraft eine Geschwindigkeitsänderung bewirkt und für jede Geschwindigkeitsänderung eine Kraft nötig ist, wobei eine Geschwindigkeitsänderung sowohl eine Änderung des Geschwindigkeitsbetrages als auch der Geschwindigkeitsrichtung sein kann. Mit obiger Vereinfachung verkürzt man diese Aussage erheblich und wird ihr nicht gerecht. Diese Vereinfachung steht der späteren Erweiterung sogar im Wege.

7. Literatur

[1] Schecker, H. (1985): Das Schülervorverständnis zur Mechanik, Eine Untersuchung in der

Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte, Dissertation, Universität Bremen

- [2] Dykstra, D. (1991): Studying Conceptual Change: Constructing New Understandings. In: Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Hrsg.): Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4-8, 1991, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, Kiel, S. 40 – 58
- [3] Heuer, D.; Wilhelm, T. (1997): Aristoteles siegt immer noch über Newton - Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50, Nr. 5, 1997, S. 280 – 285
- [4] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Studien zum Physik- und Chemielernen. Band 46. Logos-Verlag. Berlin
- [5] Wilhelm, T. (2008): Vorstellungen von Lehrern über Schülervorstellungen. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Essen 2007. Band 28. Lit-Verlag. Münster. S. 44 – 46
- [6] Gemici, B. (2016): Schülervorstellungen zur Beschleunigung nach der hessischen E-Phase, Staatsexamensarbeit, Universität Frankfurt, <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Beschleunigung.pdf>
- [7] Hessisches Kultusministerium (2010): Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Gymnasiale Oberstufe, <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/go-physik.pdf>
- [8] Thornton, R. (1996): Using Large-Scale Classroom Research to Study Conceptual Learning in Mechanics and to Develop New Approaches to Learning. In: Tinker, R. F. (Hrsg.): Microcomputer-Based Labs: Educational Research and Standards, NATO ASI Series, Serie F: Computer and Systems Sciences, Vol. 156, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 89 - 114
- [9] Thornton, R. (1990): Tools for Scientific Thinking: Learning Physical Concepts with Real-Time Laboratory Measurement Tools. In: Redish, E. F.; Risley, J. S. (Hrsg.): The Conference on Computers in Physics Instruction: proceedings, Addison-Wesley Publishing Company, S. 177 - 189
- [10] Thornton, R.; Sokoloff, D. (1990): Learning motion concepts using real-time micro-

- computer-based laboratory tools. In: American Journal of Physics 58, Nr. 9, S. 858 – 867
- [11] Thornton, R. (1992): Enhancing and Evaluating Students' Learning of Motion Concepts. In: Tiberghien, A.; Mandl, H. (Hrsg.): Intelligent Learning Environments and Knowledge Acquisition in Physics, NATO ASI Series, Serie F: Computer and Systems Sciences, Vol. 86, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 265 – 283
- [12] Hestenes, D.; Wells, M.; Swackhamer, G. (1992): Force Concept Inventory. In: The physics teacher 30, S. 141 – 158
- [13] Wilhelm, T. (2005): Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern - Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 2/4. 2005. S. 47 – 56
- [14] Hestenes, D.; Wells, M. (1992): A Mechanics Baseline Test. In: The physics teacher 30. S. 159 – 166
- [15] Wilhelm, T. (2007): Vektorverständnis und vektoriell Kinematikverständnis von Studienanfängern. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007. Lehmanns Media. Berlin.
- [16] Wilhelm, T. (2006): Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Didaktik der Physik – Kassel 2006. Lehmanns Media. Berlin
- [17] Flores, S.; Kanim, S.; Kautz, C. (2004): Student use of vectors in introductory mechanics. In: American Journal of Physics 72. Nr. 4. S. 460 – 468
- [18] Wilhelm, T.; Waltner, C.; Hopf, M.; Tobias, V.; Wiesner, H. (2009): Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht - quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung - In: Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [19] Anand Pant, H.; Stanat, P.; Schroeders, U.; Roppelt, A.; Siegle, T.; Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013): IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I, Waxmann, Münster / New York / München / Berlin
- [20] Wilhelm, T.; Heuer, D. (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51, Nr. 7, S. 29 - 34
- [21] Amenda, T.; Schecker, H.; Kulgemeyer, C. (2013): Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Inquiry-based learning - Forschendes Lernen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012, Band 33, S. 269 - 272
- [22] Amenda, T. (2017): Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik, Dissertation, Universität Bremen, 2017
- [23] Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2012): Einfluss der Sachstruktur auf das Lernen Newtonscher Mechanik. In: Bayrhuber, H.; Harms, U.; Muszynski, B.; Ralle, B.; Rothgangel, M.; Schön, L.-H.; Vollmer, H.; Weigand, H.-G. (Hrsg.): Formate Fachdidaktischer Forschung. Empirische Projekte – historische Analysen – theoretische Grundlagen, Fachdidaktische Forschungen, Band 2, Waxmann, Münster/New York/München/Berlin, 2012, S. 237 – 258
- [24] Waltner, C.; Tobias, V.; Wiesner, H.; Hopf, M.; T. Wilhelm (2010): Ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Dynamik in der Mittelstufe. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 59, Nr. 7, S. 9 – 22
- [25] Tobias, V. (2010): Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 105, Logos-Verlag, Berlin
- [26] Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M. (2013): Lehrerhandbücher zur zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Jena 2013, 2013, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/418/563>
- [27] Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Waltner, C.; Tobias, V.; Rachel, A.; Hopf, M. (2016): Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik (Sek. 1), Aulis-Verlag
- [28] Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Rachel, A. (2013): Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik. In: Reihe Unterricht Physik, Band 6, Aulis-Verlag

8. Anhang

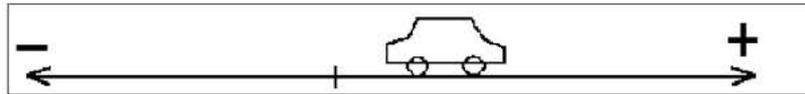
Auf den folgenden Seiten befindet sich der verwendete Fragebogen.



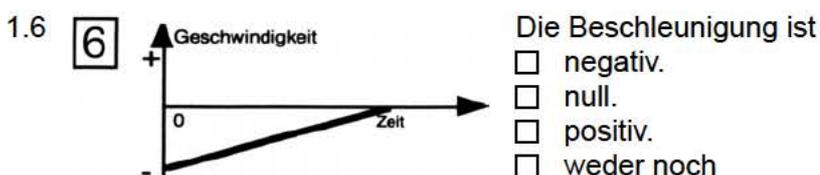
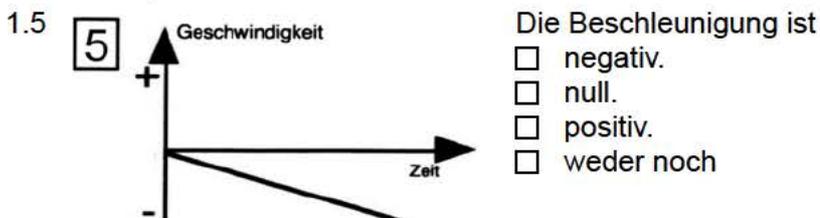
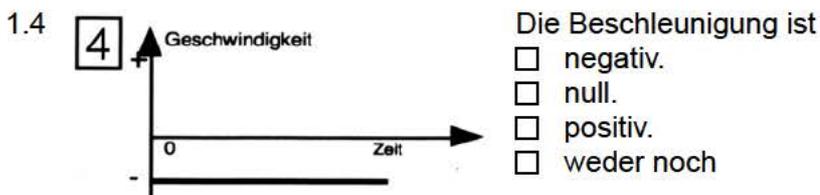
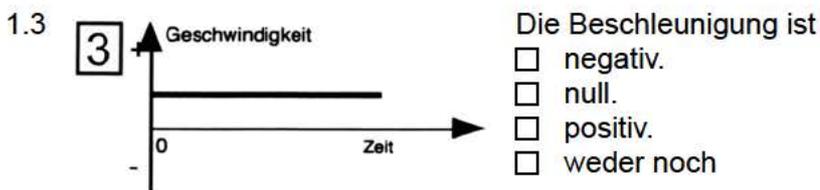
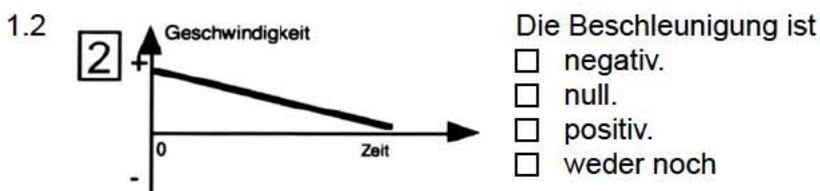
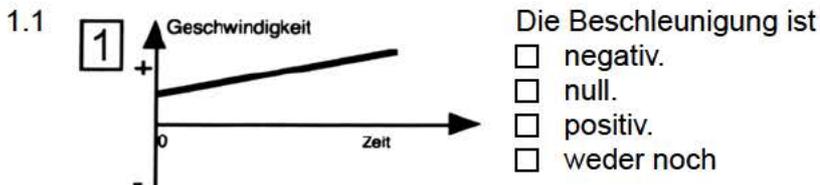
Bitte so markieren: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Aufgabe

Situation: Die Fragen dieser Seite beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



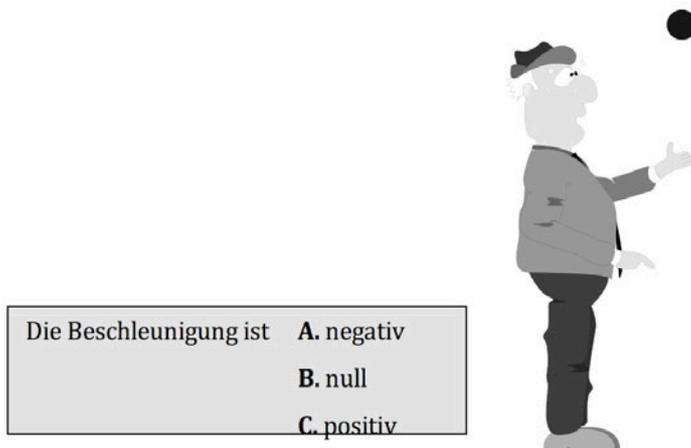
Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind in den Diagrammen 1 bis 6 beschrieben. Wähle jeweils eine der nebenstehenden Möglichkeiten, um das Vorzeichen der Beschleunigung für das Diagramm anzugeben. Bitte ankreuzen!



2. Aufgabe

Situation: Die Fragen dieser Seite beziehen sich auf eine Münze, die gerade hoch in die Luft geworfen wurde. Nachdem sie losgelassen wurde, bewegt sie sich hoch, erreicht ihren höchsten Punkt und fällt wieder herunter.

Aufgabe: Wähle eine der folgenden Möglichkeiten (**A** bis **C**), um das Vorzeichen der Beschleunigung der Münze für jeden der unten beschriebenen Fälle zu zeigen. Nimm aufwärts als die positive Richtung. Bitte ankreuzen!



Die Beschleunigung ist

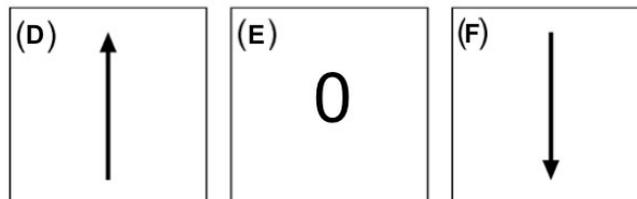
A. negativ

B. null

C. positiv

- | | | | | |
|-----|--|--|----------------------------|----------------------------|
| 2.1 | Die Münze bewegt sich aufwärts, nachdem sie losgelassen wurde. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.2 | Die Münze ist an ihrem höchsten Punkt. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.3 | Die Münze bewegt sich abwärts. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |

Aufgabe: Wähle eine der folgenden Möglichkeiten (**D** bis **F**), um die Richtung der Beschleunigung für jeden der unten beschriebenen Fälle zu bestimmen. Bitte ankreuzen!



- | | | | | |
|-----|--|--|----------------------------|----------------------------|
| 2.4 | Die Münze bewegt sich aufwärts, nachdem sie losgelassen wurde. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.5 | Die Münze ist an ihrem höchsten Punkt. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.6 | Die Münze bewegt sich abwärts. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |



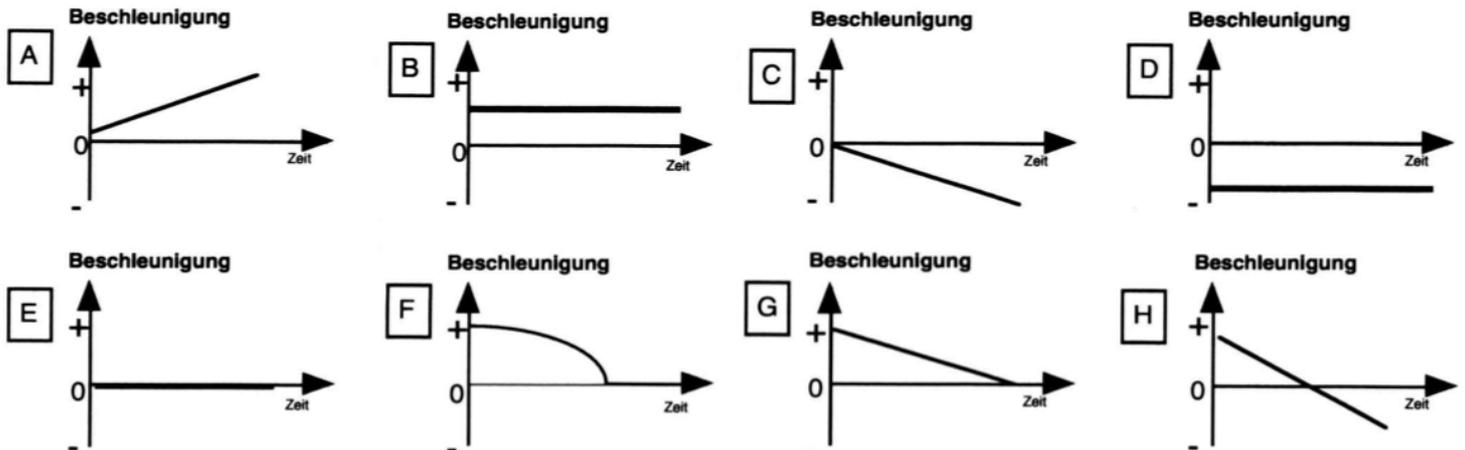
3. Aufgabe

Situation: Die Fragen 1 - 6 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den einen Buchstaben (A bis H) des Beschleunigungs-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos passt, die in jeder Angabe beschrieben ist (nur ein Buchstabe!). Bitte ankreuzen!

Hinweis: Du darfst jeden Graphen mehrmals oder auch gar nicht auswählen.



3.1 Das Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit nach rechts (in positive Richtung).

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.2 Das Auto bewegt sich nach rechts (in positive Richtung) und wird gleichmäßig immer schneller.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.3 Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer langsamer.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.4 Das Auto bewegt sich nach links (in negative Richtung) mit einer konstanten Geschwindigkeit.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.5 Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer schneller.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

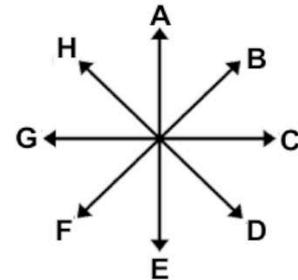
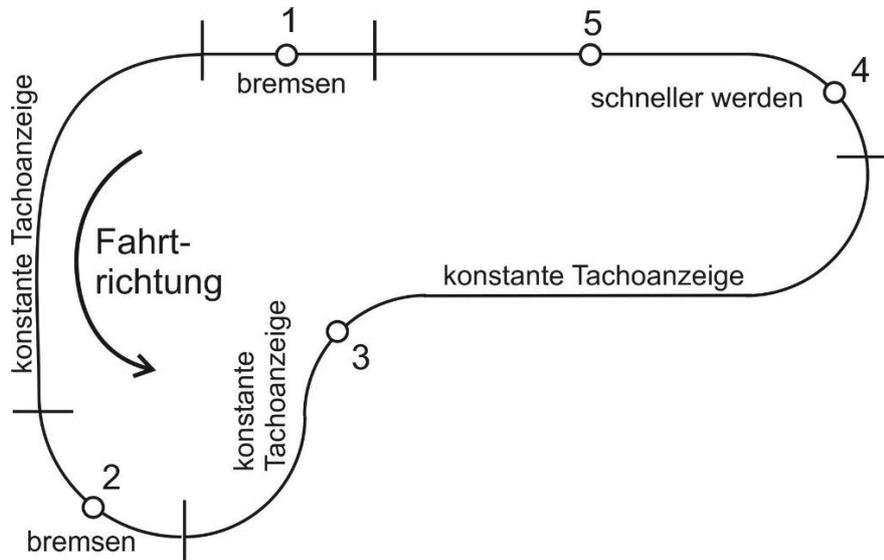
3.6 Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer langsamer.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |



6. Aufgabe

Auf einer Rennstrecke fährt ein Auto unter normalen Bedingungen (schneller werden, abbremsen, abschnittsweise konstante Geschwindigkeit). Die Fahrweise in den einzelnen Streckenabschnitten kannst du der Graphik entnehmen.



Wähle an den fünf markierten Stellen der Bahn den Pfeil aus der Darstellung, der die Beschleunigung am besten darstellt. Bitte ankreuzen!

6.1 Ortspunkt 1

- C
 F

- D
 G

- E
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.2 Ortspunkt 2

- A
 D

- B
 H

- C
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.3 Ortspunkt 3

- B
 F

- C
 H

- D
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.4 Ortspunkt 4

- D
 G

- E
 H

- F
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.5 Ortspunkt 5

- C
 G

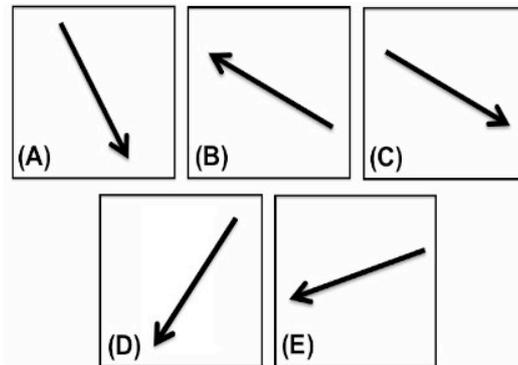
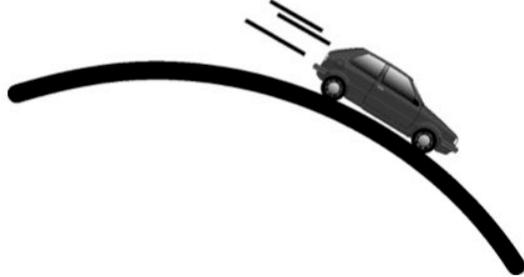
- E
 H

- F
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0



7. Aufgabe

Ein Auto bremst ab (aber wendet nicht), während es wie gezeigt den Scheitelpunkt eines Hügels passiert.

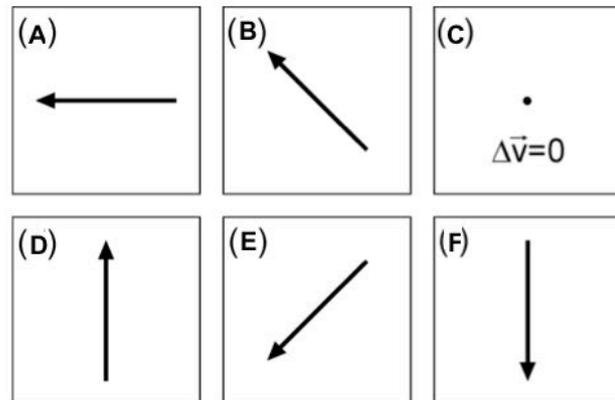
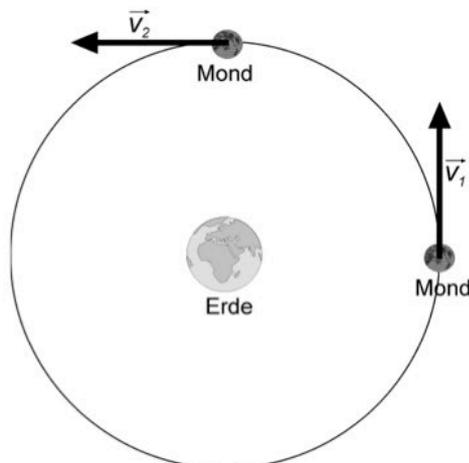


7.1 Wähle einen der dargestellten Pfeile (**A** bis **E**), der die ungefähre Richtung der Beschleunigung des Autos in dem gezeigten Augenblick angibt. Bitte ankreuzen!

 A B C D E Keiner der Pfeile

8. Aufgabe

Eine Zeichnung zeigt den Ort des Mondes zu zwei Zeitpunkten ungefähr sieben Tage auseinander.



8.1 Welche Wahlmöglichkeit zeigt die Änderung in der Geschwindigkeit des Mondes in diesem Zeitintervall am besten? Bitte ankreuzen!

 A B C D E F