

„Große Freiheit auf zwei Rädern“ – Fahrschulphysik

Jürgen Godau, Halle (Saale)

Ab dem 15. Lebensjahr beginnt der „Run“ auf den Führerschein. Die Schüler sind dann etwa in Klasse 9/10. In der Fahrschule lernen sie Faustformeln zur Bewertung von Fahrzeugbewegungen.

Gibt es eine eigene Physik für die Fahrschule?

Ja, die gibt's! Physikalisches Wissen und Können kann Ihre Schüler auch zu kompetenten Fahrschülern und Fahrzeugführern machen. Deshalb vermitteln wir ihnen dieses Wissen im folgenden Beitrag.



© Image Source / Thinkstock

Abb. 1: Entlastung für Eltern und mehr Mobilität für Jugendliche: Das länderübergreifende Modellprojekt „Moped-Führerschein mit 15“ kommt gut an.¹

VORANSICHT

Zeigen Sie ein drei- bis fünfminütiges Video zum Thema Sicherheit im Straßenverkehr (Mediathek)!

Der Beitrag im Überblick	
<p>Klasse: 9 /10</p> <p>Dauer: 2–6 Stunden</p> <p>Ihr Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Video zur Einstimmung ✓ Gruppenpuzzle mi Expertengruppen: <ul style="list-style-type: none"> Fahrlehrer Physiker PC-Freaks ✓ Schülerversuche 	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faustformeln zu <ul style="list-style-type: none"> – Reaktionsweg – Bremsweg – Sicherheitsabstand • Fahrschulwissen • Bewegungsarten und deren Ursachen • Umgang mit einer Tabellenkalkulation, um z. B. die Crashgeschwindigkeit zu ermitteln

¹ Quelle: Wohlt, Christian: Große Freiheit auf zwei Rädern. ADAC Motorwelt 2016 (3) S. 88, 89

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Gibt es eine eigene Physik für die Fahrschule? – Hintergrundinformation

Im vorliegenden Gruppenpuzzle lassen wir die Schüler nach Zusammenhängen zur **Kinematik der Schulphysik** suchen. Wir geben Anregungen zu einer Wertung von Verhalten motorisierter Verkehrsteilnehmer.

Unser didaktischer Ansatz zielt darauf ab, für die Jugendlichen erlebbar zu machen, dass ihr physikalisches Wissen und Können sie auch zu kompetenten Fahrschülern und Fahrzeugführern machen kann. Wir heben uns mit der vorliegenden Gestaltung bewusst vom formalen Anwenden in Rechenaufgaben als einer traditionellen Form der Festigung ab. Dies erreichen wir durch eine Verknüpfung von Fahrschulwissen und Schulwissen sowie durch die organisatorische Form eines **Gruppenpuzzles**.

Welche Faustformeln muss ein Fahrschüler beherrschen?

- **Reaktionsweg [A]**
- **Bremsweg [B]**
- **Sicherheitsabstand [C]**
- Anhalteweg
- Bremsweg (Gefahrenbremsung)
- Überholweg
- Relation zwischen der Geschwindigkeit und dem Bremsweg
- Relation zwischen den Straßenverhältnissen und dem Bremsweg

Für unser Gruppenpuzzle haben wir die **ersten drei Faustformeln** ausgewählt.

So bleibt der erforderliche zeitliche Rahmen überschaubar. Wir haben mit zwei bis sechs Unterrichtsstunden geplant. Die Realität zeigt, dass manchmal zwei Stunden schon ausreichend sein können, wenn die Klasse entsprechend konzentriert ist.

Zum Einlesen in den Problembereich der Fahrschulphysik beginnen wir mit einem technischen Exkurs. Dann beschreiben wir kurz die nicht im Gruppenpuzzle berücksichtigten Faustformeln in umgekehrter Reihenfolge und unterziehen letztlich die drei ausgewählten Formeln einer näheren Betrachtung.

Technischer Exkurs zum Bremsvorgang

Abb. 2 zeigt den prinzipiellen zeitlichen Ablauf eines realen Anhaltvorgangs für ein Kraftfahrzeug. Nach der Entscheidung des Fahrzeugführers, zu bremsen, folgt der physiologische Reaktionsprozess, bis der Fuß tatsächlich auf dem Bremspedal ist. Von da an läuft die sog. **Ansprechzeit des Bremssystems**, bis der erste Druck an den Radbremszylindern ankommt und die Reibung zwischen Bremsbacke und Bremsscheibe ihre Wirkung entfaltet. Diese Wirkung baut sich bis zur größten Bremskraft auf. Die Zeit, die dabei vergeht, nennt man **Schwellzeit des Bremssystems**. Danach erst findet die gewünschte Verzögerung (a_{\max}) kontinuierlich statt.

Für die kinematische Beschreibung vereinfachen wir didaktisch den technischen Vorgang des Bremsens auf eine **mittlere Bremsverzögerung (a_{mittel})**. Sie beginnt nach Ablauf der Reaktionszeit. Der Begriff „**Bremszeit**“ fasst dann mehrere Prozesse (Ansprechzeit, Schwellzeit und Verzögerungszeit) zusammen.

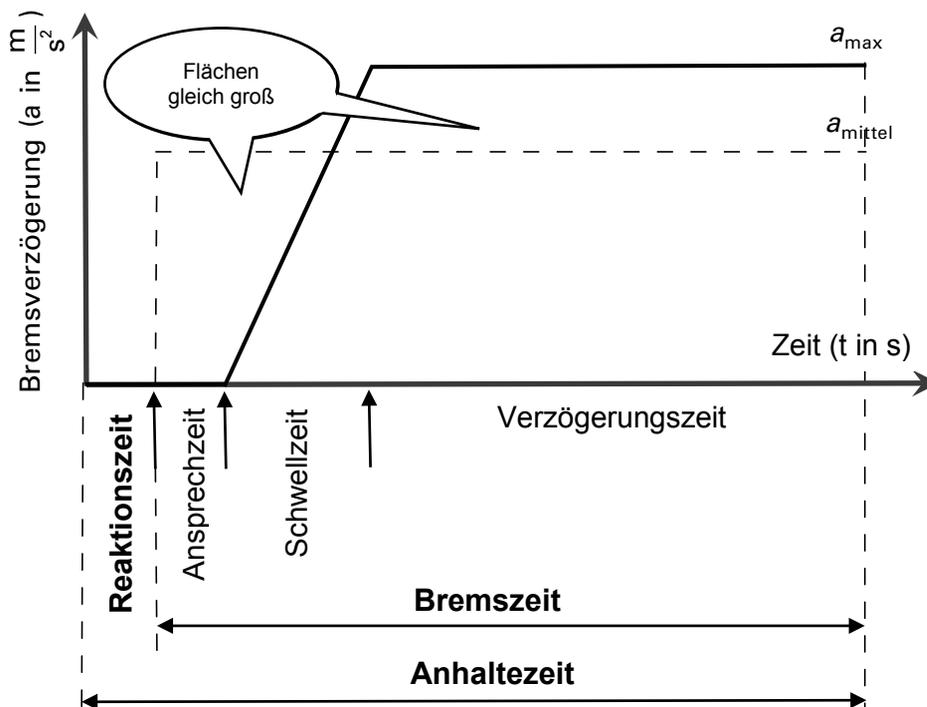


Abb. 2: Verzögerungs-Zeit-Diagramm

Relation zwischen den Straßenverhältnissen und dem Bremsweg

Der Bremsvorgang wird nach der obigen didaktischen Reduktion **als gleichmäßig beschleunigte Bewegung** betrachtet. Somit gehen wir von einer konstant angenommenen mittleren Verzögerung aus.

Es können also die im Physikunterricht erarbeiteten Größengleichungen für diese Bewegungsart genutzt werden.

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad (\text{Gl. 1}) \quad \text{und} \quad v = a \cdot t \quad (\text{Gl. 2}) \quad \text{Gl. 2 nach } t \text{ umstellen und in Gl. 1 einsetzen}$$

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot a} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$\rightarrow s \sim \frac{1}{a}, \text{ wenn } v = \text{konst.}$$

Im § 41 Abs. 4 der StVZO wird gefordert:

„Bei Kraftfahrzeugen – ausgenommen Krafträder – muss mit der einen Bremse (Betriebsbremse) eine mittlere Vollverzögerung von mindestens $5,0 \text{ m/s}^2$ erreicht werden ...“

Quelle: https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvzo_2012/gesamt.pdf

Moderne Pkw erreichen unter idealen Bedingungen deutlich höhere Verzögerungen. Der Schwachpunkt für die tatsächlich erreichbaren Verzögerungswerte ist der **Reibungsbeiwert** zwischen Straßenoberfläche und Reifen. Dieser ist sehr stark von den Straßenverhältnissen abhängig.

Faustformel:

Bei einer Gefahrenbremsung können wir vom halben Bremsweg ausgehen.

Anhalteweg

Diese Faustformel bietet sich als Zusatzinformation für die Schüler an, da sie eine Kombination aus den zu bearbeitenden Größen Reaktionsweg und Bremsweg darstellt.

Dieser Begriff dient als gedankliche Klammer zur Hinführung und organisatorischen Aufspaltung für das Gruppenpuzzle in die Arbeitskreise [A] und [B]. Der Arbeitskreis [C] kann mit ihr einschätzen, ob der errechnete Sicherheitsabstand ausreicht. Der Weg bis zum Stillstand des Fahrzeuges kann mit folgender Formel ermittelt werden.

Faustformel:

$Anhalteweg = Reaktionsweg + Bremsweg$

Gruppenpuzzle

Für unsere Arbeitskreise auswählen und etwas genauer betrachten werden wir nun die ersten drei Faustformeln in der Reihenfolge ihrer Nennung in obiger Auflistung:

Die untenstehende Grafik zeigt, dass Reaktionsweg und Bremsweg über den Begriff Anhalteweg eine gemeinsame Klammer bekommen können.

Für das Verständnis des Sicherheitsabstandes ist der erforderliche Anhalteweg ebenfalls hilfreich.

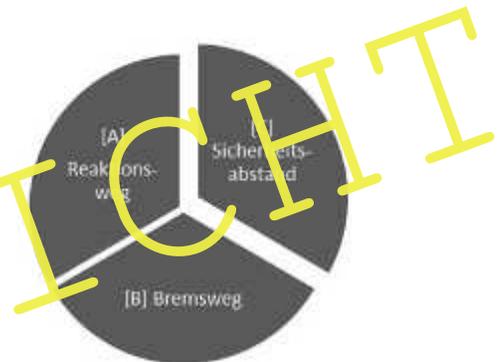


Abb. 3: drei Arbeitskreise

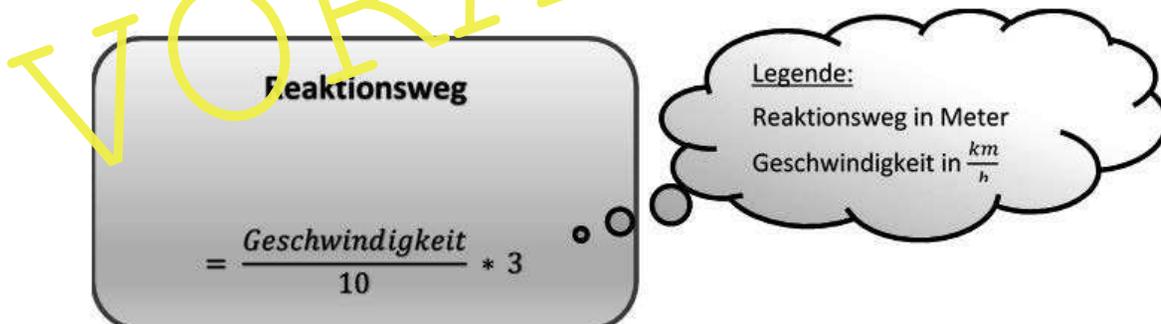


Abb. 4: Faustformel für Arbeitskreis A

Definition:

Der **Reaktionsweg** ist der Weg, den das Fahrzeug während der Reaktionszeit des Fahrzeugführers ungebremst zurücklegt. Die Reaktionszeit beginnt mit dem Erkennen der Gefahr und endet mit dem Tritt auf das Bremspedal.

Physik:

Eine „ungebremste Bewegung“ ist in der Kinematik eine **geradlinig gleichförmige Bewegung**. Für diese Bewegung gilt folgendes Weg-Zeit-Gesetz: $s = v \cdot t$. Die Geschwindigkeit wird vom Tachometer in der Einheit $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ angezeigt.

Die Reaktionszeit wird üblicherweise in Sekunden, der Reaktionsweg in Metern angegeben.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie

M 1	Fo	So funktioniert das Gruppenpuzzle! – Struktogramm <input type="checkbox"/> OHP
M 2	Ab	So geht's! – Stammgruppenblatt
M 3	Ab	Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A1 <input type="checkbox"/> Datei „M 3_StVO“ <input type="checkbox"/> PC mit MS Office und/ <input type="checkbox"/> Datei „M 3_Prüfungskatalog“ oder Acrobat Reader
M 4	Ab, SV ⌚ V: 5 min	Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A2 <input type="checkbox"/> M 4_Falltest (Excel-App) <input type="checkbox"/> Lineal ca. 40–50 cm <input type="checkbox"/> Formelsammlung „Kinematik“ <input type="checkbox"/> PC mit Excel (MS Office)
M 5	Ab	Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A3 <input type="checkbox"/> PC mit Excel (MS Office)
M 6	Ab	Den Bremsweg ermitteln – Expertengruppe B1 <input type="checkbox"/> Datei „M 6_StVO“ <input type="checkbox"/> PC mit MS Office und/ <input type="checkbox"/> Datei „M 6_Prüfungskatalog“ oder Acrobat Reader
M 7	Ab, SV ⌚ V: 5 min	Den Bremsweg ermitteln – Expertengruppe B2 <input type="checkbox"/> Formelsammlung „Kinematik“ <input type="checkbox"/> Wägestücke <input type="checkbox"/> Gummihandschuhe <input type="checkbox"/> Kraftmesser <input type="checkbox"/> Geschirrspülmittel <input type="checkbox"/> Kleines Grundbrettchen <input type="checkbox"/> Küchentücher
M 8	Ab	Den Bremsweg ermitteln – Expertengruppe B3 <input type="checkbox"/> Datei „M 8_StVZO“ <input type="checkbox"/> PC mit Excel (MS Office)
M 9	Ab	Den Sicherheitsabstand abschätzen – Expertengruppe C1 <input type="checkbox"/> Datei „M 9_StVO“ <input type="checkbox"/> PC mit MS Office und <input type="checkbox"/> Datei „M 9_Prüfungskatalog“ / oder Acrobat Reader
M 10	Ab, SV ⌚ V: 5 min	Den Sicherheitsabstand abschätzen – Expertengruppe C2 <input type="checkbox"/> M10_Simulation-1 (Excel-App) <input type="checkbox"/> PC mit Excel (MS Office) <input type="checkbox"/> M10_Simulation-2 (Excel-App)
M 11	Ab	Den Sicherheitsabstand abschätzen – Expertengruppe C3 <input type="checkbox"/> PC mit Excel (MS Office)
M 12	Ab	Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse (Arbeitskreis)
M 13	Ab	Teste dein Wissen!

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 25 und auf CD-ROM 45.

I/B

M 1 So funktioniert das Gruppenpuzzle! - Struktogramm

Klasse									
Arbeitskreise	Reaktionsweg A			Bremsweg B			Sicherheitsabstand C		
Stammgruppen									
Experten- gruppen	<i>Fahrlehrer</i> A1	<i>Physiker</i> A2	<i>PC-Freak</i> A3	<i>Fahrlehrer</i> B1	<i>Physiker</i> B2	<i>PC-Freak</i> B3	<i>Fahrlehrer</i> C1	<i>Physiker</i> C2	<i>PC-Freak</i> C3
Stammgruppen									

Arbeitskreise	Präsentation erarbeiten A	Präsentation erarbeiten B	Präsentation erarbeiten C
Klasse	Veröffentlichung der Arbeitskreispräsentationen 		

M 2 So geht's – Stammgruppenblatt

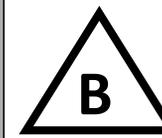
Aufgaben

1. Schreibt die Namen aller Mitglieder eurer Stammgruppe auf.

1	2	3	4

I/B

2. Kreuzt deutlich an, zu welchem Arbeitskreis ihr gehört!

Arbeitskreis A <input checked="" type="checkbox"/>	Arbeitskreis B <input checked="" type="checkbox"/>	Arbeitskreis C <input checked="" type="checkbox"/>
 A Reaktionsweg	 B Bremsweg	 C Sicherheitsabstand

Für das angekreuzte Thema sollen in Spezialgebieten aus euch Experten werden.

Diese Spezialgebiete heißen Die Experten nennen sich dann:

- | | |
|-------------------|--------------|
| - Fahrschule | - Fahrlehrer |
| - Schulphysik | - Physiker |
| - Computernutzung | - PC-Freak |

Jeder künftige Experte eurer Gruppe arbeitet sich zunächst selbst in das Thema ein. Dabei unterstützt euch ein Arbeitsblatt.

Danach gibt es die Möglichkeit, mit „Gleichgesinnten“ anderer Stammgruppen zusammenzuarbeiten. Diese neue Gruppe heißt Expertengruppe.

3. Tragt jetzt eure Namen bei den Experten ein.

Bei jedem Experten soll wenigstens ein Name stehen.

Experte	Name	Expertengruppe
Fahrlehrer		1
Physiker		2
PC-Freak		3

4. Hole dir das richtige Arbeitsblatt für deine Expertengruppe! 

Zum Schluss trifft ihr euch hier in der Stammgruppe zum Ergebnisaustausch wieder!

M 3 Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A1



Thema: Reaktionsweg

Experte: Fahrlehrer

I/B

Materialien

- Datei „M 3_StVO“
- Datei „M 3_Prüfungskatalog“

Geräte

- PC mit MS Office und/oder Acrobat Reader

Als Fahrlehrer unterrichtet ihr folgende Faustformel:

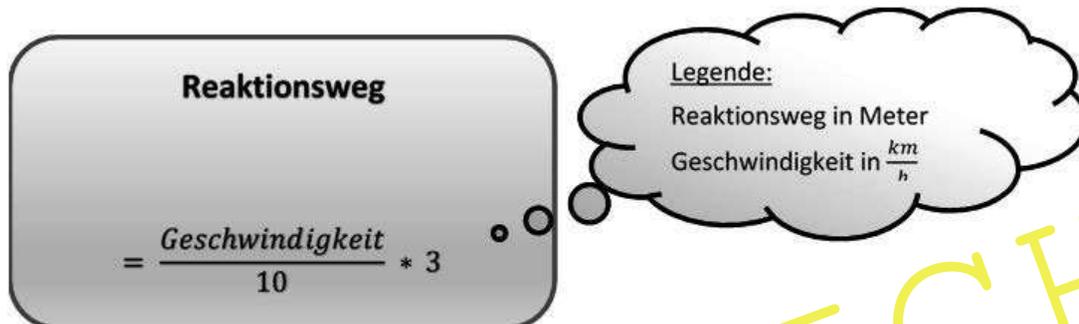


Abb. 7

Aufgaben

1. Formuliere eine Definition für den Begriff „Reaktionsweg“!
Nutze dazu die Informationen aus dem Video oder/und recherchiere im Internet.
2. Was bedeuten folgende Verkehrszeichen?
Notiere die zulässigen Geschwindigkeiten!



Abb. 8



Abb. 9



Abb. 10



Abb. 11

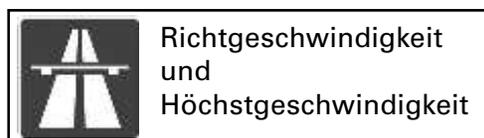


Abb. 12

3. Berechne nach der Faustformel zu jeder notierten Geschwindigkeit [v] den Reaktionsweg! Erstelle eine Tabelle mit folgendem Kopf:

Name von v	v in $\frac{km}{h}$	Reaktionsweg in m

4. Suche aus dem Prüfungskatalog nur die Fragen zum Reaktionsweg.
Beantworte diese Fragen durch Ankreuzen!
Nutze sie später als Kontrollfragen in der Stammgruppe!

M 7 Den Bremsweg ermitteln – Expertengruppe B2

B2

Thema: Bremsweg

Experte: Physiker

I/B

Materialien

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Formelsammlung „Kinematik“ | <input type="checkbox"/> Wägestücke |
| <input type="checkbox"/> Gummihandschuhe | <input type="checkbox"/> Kraftmesser |
| <input type="checkbox"/> Geschirrspülmittel, Küchentücher | <input type="checkbox"/> Kleines Grundbrettchen |

Aufgaben

1. Formuliere eine Definition für den Begriff „Bremsweg“! Nutze dazu die Informationen aus dem Video oder/und recherchiere im Internet.
2. Entscheide dich für eine Bewegungsart des Autos während des Bremsvorganges!
3. Suche für die gewählte Bewegungsart eine Gleichung, mit der du den Bremsweg (s) aus Geschwindigkeit (v) und Bremsverzögerung (a) errechnen und somit voraussagen kannst. Wenn du keine passende Gleichung findest, leite sie aus dem s -t-Gesetz und dem v -t-Gesetz her!

Berechne mit dieser Größengleichung die Bremswege für folgende Geschwindigkeiten:

$$5 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 180 \frac{\text{km}}{\text{h}}!$$

Gehe von einer Bremsverzögerung von $4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ aus (in Anlehnung an § 41(4) StVZO).

4. Die vom Auto erzeugte Bremskraft muss an der Kontaktstelle Gummireifen-Straße durch Reibung übertragen werden. Prüft experimentell den Einfluss des Untergrundes (Straße) auf das Bremsverhalten!

Versuchsaufbau

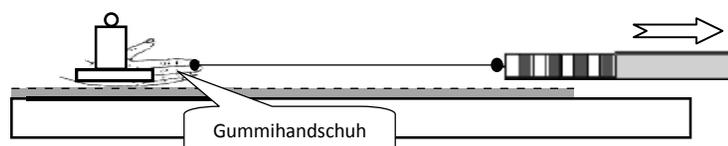


Abb. 20

Versuchsdurchführung

- Baue die Versuchsanordnung auf. Stelle den Körper auf einen Gummihandschuh.
- Ziehe am Federkraftmesser den Handschuh mit dem Körper über den Tisch. Lies die dazu nötige Reibungskraft ab.
- Wiederhole die Messung auf einem Film aus Geschirrspülmittel und Wasser.

Lfd. Nr.	Reibung in N (Gummi auf Tisch)	Reibung in N (auf Wasserfilm)

Miss jede Reibungskraft 10-mal! Nutze zum Protokollieren die Tabelle.

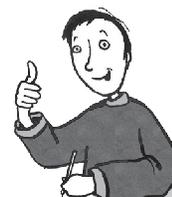
Ermittle für jeden Fall den Mittelwert. In der Fahrschule lernt man, dass sich bei nasser Straße die Bremsverzögerung halbiert. Vergleiche diese Aussage mit deinen Ergebnissen!

Zusatz: Berechne wie in Aufgabe 4 die Bremswege, aber mit halber Verzögerung für:

$$5 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 180 \frac{\text{km}}{\text{h}}!$$

M 13 Teste dein Wissen!

Aufgaben



I/B

1. Wie lang ist nach der Faustformel der Reaktionsweg bei einer Geschwindigkeit von $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

A 15 m

B 21 m

C 35 m

2. Welche Art der Bewegung hat das Fahrzeug in der Zeit vom Erkennen der Gefahr bis zum Bremsen?

A beschleunigt

B verzögert

C gleichförmig

3. Welche der folgenden Gleichungen passt zu dieser Bewegungsart?

A $s = v \cdot t$ B $v = a \cdot t$ C $v = \frac{s}{t}$

4. Berechne den Reaktionsweg (Schrecksekunde) für eine Fahrzeuggeschwindigkeit von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ mit der physikalisch richtigen Größengleichung!

5. Wie lang ist nach der Faustformel der Bremsweg bei einer Geschwindigkeit von $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf trockener Fahrbahn in der Ebene?

A 21 m

B 33 m

C 49 m

6. Welche Art der Bewegung hat das Fahrzeug in der Zeit des Bremsens?

A kreisförmig

B verzögert

C gleichförmig

7. Welche der folgenden Gleichungen passt zu dieser Bewegungsart?

A $s = v \cdot t$ B $v = a \cdot t$ C $s = \frac{a}{2} \cdot t^2$

8. Berechne den Bremsweg (mit $a = 4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) für eine Fahrzeuggeschwindigkeit von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ mit der physikalisch richtigen Größengleichung!

9. Beschreibe, wie du beim Fahren die Faustformel „2 Sekunden hinterher“ für den Sicherheitsabstand anwenden kannst!

10. Wie viel Meter beträgt der Sicherheitsabstand bei dem in Aufgabe 9 beschriebenen Verfahren bei einer Geschwindigkeit von $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

11. Berechne mit den Ergebnissen von Aufgabe 1 und 5 den gesamten Anhalteweg bei $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$!

12. Vergleiche den Sicherheitsabstand (Aufgabe 10) mit dem Anhalteweg (Aufgabe 11)!
Welche Schlussfolgerungen ziehst du als zukünftiger Fahrzeugführer?

Erläuterungen und Lösungen

M 1 So funktioniert das Gruppenpuzzle! – Struktogramm

■ Dieses Material liegt als Folie vor. Es dient in jeder Phase des Gruppenpuzzles als Orientierung.

M 2 So geht's! – Stammgruppenblatt

■ Dieses Arbeitsblatt hilft den Schülern, sich individuell durch das Gruppenpuzzle zu navigieren.

M 3 Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A1

3.

Geschwindigkeit in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	5	30	50	100	130	180
Reaktionsweg in m	1,5	9	15	30	39	54

4. Auswahl: 1A; 3C; 5B; 7C; 8B; 9C

keine Auswahl: 2B; 4A+B; 6A

M 4 Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A2

3.

Geschwindigkeit in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	5	30	50	100	130	180
Reaktionsweg $s = \left(\frac{v}{3,6}\right) \cdot 1 \text{ s}$ in m	1,4	8,3	13,9	27,8	36,1	50

M 5 Den Reaktionsweg berechnen – Expertengruppe A3

2.

	s_1 in m	s_2 in m	s_3 in m
Geschwindigkeit	Reaktionsweg 1	Reaktionsweg 2	Reaktionsweg 3
v in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	Faustformel	Physik (1 s)	Physik (0,5 s)
0	0	0,0	0,0
10	3	2,8	1,4
20	6	5,6	2,8
30	9	8,3	4,2
40	12	11,1	5,6
50	15	13,9	6,9
60	18	16,7	8,3
70	21	19,4	9,7
80	24	22,2	11,1
90	27	25,0	12,5
100	30	27,8	13,9

	s_1 in m	s_2 in m	s_3 in m
Geschwindigkeit	Reaktionsweg 1	Reaktionsweg 2	Reaktionsweg 3
v in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	Faustformel	Physik (1 s)	Physik (0,5 s)
110	33	30,6	15,3
120	36	33,3	16,7
130	39	36,1	18,1
140	42	38,9	19,4
150	45	41,7	20,8
160	48	44,4	22,2
170	51	47,2	23,6
180	54	50,0	25,0
190	57	52,8	26,4
200	60	55,6	27,8

3. und 4. siehe ausführliche Informationen unter „Lehrerinfo.docx“.