

II.A.23

Mechanik

Geschwindigkeitsüberwachung mit Blitzern – Messtechniken und physikalische Grundlagen

Maureen Götza



© RAABE 2024

© fhm/Moment/Gettyimages

Sie sind meist versteckt am Straßenrand und machen teure Fotos von Verkehrsteilnehmern, die mit ihrem Fahrzeug zu schnell unterwegs sind – die Blitzer. Die Geschwindigkeitsüberwachung auf geschwindigkeitsbegrenzten Straßen mit Blitzern ist weltweit verbreitet. Aber wie ist so ein Blitzer aufgebaut? Und wie wird die Geschwindigkeit gemessen? In dieser Einheit werden die geläufigsten Techniken zum Messen der Geschwindigkeit von Fahrzeugen vorgestellt und die entsprechenden physikalischen Zusammenhänge zu den Mess-Techniken erläutert.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	Sek. II
Dauer:	6 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 4)
Kompetenzen:	Verschiedene Blitzer-Messtechniken unterscheiden, Geschwindigkeiten auf Basis der Messtechniken berechnen, verschiedene Fälle des Doppler-Effekts erkennen und berechnen
Thematische Bereiche:	Doppler-Effekt, Geschwindigkeitsmessung, Blitzer, Wellen

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Tx = Infotext

1. Stunde

Thema:	Grundlagen zu Blitzern
M 1 (Tx)	Quiz: Wissen rund ums Thema Blitzer
M 2 (Tx)	Aufbau eines Blitzers

2. Stunde

Thema:	Geschwindigkeit
M 3 (Ab)	Die Geschwindigkeit

3. Stunde

Thema:	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Induktion und Piezo-Sensoren
M 4 (Ab)	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Induktion
M 5 (Ab)	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Piezo-Sensoren

4. Stunde

Thema:	Geschwindigkeitsmessungen durch verschiedene Messtechniken
M 6 (Tx)	Geschwindigkeitsmessung mit Einseitensensoren
M 7 (Tx)	Geschwindigkeitsmessung durch Videonachfahrssysteme
M 8 (Ab)	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Lasertechnik

5. Stunde

Thema:	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Radartechnik und des Doppler-Effekts
M 9 (Ab)	Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Radartechnik
M 10 (Ab)	Doppler-Effekt

6. Stunde

Thema: Abschnittskontrollen und wie geht es weiter, nachdem ich geblitzt wurde

M 11 (Tx) Geschwindigkeitsmessung durch Abschnittskontrollen

M 12 (Tx) Was passiert nun, wenn ich geblitzt wurde?

Minimalplan

Die Unterrichtseinheit kann flexibel eingesetzt und auch gekürzt werden, da die einzelnen Blitzer-Messtechniken unabhängig voneinander behandelt werden können. Um jedoch die wichtigsten Themenbereiche behandelt zu haben, sollten höchstens folgende Materialien bei Zeitmangel weggelassen werden: **M 5**, **M 6**, **M 7** und **M 12**. Je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler kann auch **M 3** weggelassen werden. Dadurch kann die Einheit an der Unterrichtsstunden gekürzt werden.

Quiz: Wissen rund ums Thema Blitzer

M1

Jede Autofahrerin und jeder Autofahrer kennt sie und viele Verkehrsteilnehmer durften aufgrund von Blitzern auch schon ein Bußgeld bezahlen. Als Blitzer bezeichnen wir umgangssprachlich ein Gerät, mit dem die vorgegebenen Verkehrsregeln überwacht werden. Meistens wird mit einem Blitzer die Geschwindigkeit von Fahrzeugen ermittelt und kontrolliert, also ob die Maximalgeschwindigkeit eingehalten wird. Ein Blitzer kann aber auch kontrollieren, ob Fahrzeuge zum Beispiel über eine rote Ampel fahren. Stellt der Blitzer fest, dass die Maximalgeschwindigkeit überschritten oder die Ampel bei Rot überfahren wurde, werden das Kennzeichen und der Fahrer mithilfe eines Fotos dokumentiert. Je nach Maß der nicht eingehaltenen Vorgaben gibt es ein entsprechend hohes Bußgeld.



© fhm/Moment/Getty Images



© fhm/Moment/Getty Images

Quiz rund um das Thema Blitzer

Bevor Sie die verschiedenen Komponenten eines Blitzers, die verschiedenen Blitzerarten und die verschiedenen Messtechniken von Blitzern näher kennenlernen, führen wir ein kleines Quiz rund um das Thema Blitzer durch.

- Der erste Blitzer wurde von der Firma Telefunken entwickelt und bei der Weltausstellung in Essen vorgestellt. In welchem Jahr hat Telefunken den ersten Blitzer vorgestellt?
 - 1912
 - 1943
 - 1956
 - 1969
- Wie teuer waren die ersten Blitzergeräte in Deutschland?
 - 10.000 Mark
 - 20.000 Mark
 - 45.000 Mark
 - 80.000 Mark
- Auf welcher Strecke wurden Fahrzeuge das erste Mal in Deutschland geblitzt?
 - Zwischen Dortmund und Raasdorf (Nordrhein-Westfalen)
 - Zwischen Stuttgart und Ludwigsburg (Baden-Württemberg)
 - Zwischen Berlin und Potsdam (Brandenburg)
 - Zwischen München und Augsburg (Bayern)
- In welchen Ländern variiert sich die Höhe des Bußgeldes bei Überschreiten der Maximalgeschwindigkeit beim Fahren eines Fahrzeuges nach dem Einkommen des Fahrers?
 - Deutschland, Österreich und Dänemark
 - Frankreich, Polen und Ungarn
 - Irland, Schweden und Spanien
 - Finnland, England und Schweiz



Aufbau eines Blitzers

M 2



Es gibt verschiedene Blitzer-Typen und auch Blitzergeräte, weshalb nicht pauschal von dem einen Blitzergerät gesprochen werden kann. Zu unterscheiden ist zwischen mobilen und fest installierten Blitzern, aber auch zwischen den verschiedenen Techniken, mit denen die Blitzergeräte arbeiten. Unabhängig von den verschiedenen Blitzern gibt es aber bestimmte Komponenten, die nahezu jedes standardmäßige Blitzergerät beinhaltet.

Gehäuse

Das Gehäuse eines Blitzers schützt die Komponenten, die sich in dem Blitzer befinden. Das Gehäuse bei fest installierten Blitzern ist dabei so aufgebaut, dass der Blitzer jeder Witterung standhält. So sollten keine Feuchtigkeit und kein Regen durch das Gehäuse in das Innere eintreten. Ebenfalls sollten die inneren Komponenten vor zu starker und direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden. Zudem sollten keine Tiere in das Gehäuse eindringen können. Mittlerweile werden die Gehäuse auch immer mehr darauf ausgelegt, dass das Blitzergerät nicht so einfach durch Vandalismus durch den Menschen beschädigt werden kann. Dies kommt daher, da Blitzer schon mutmaßlich durch Menschen mit Farbe besprüht und überkippt wurden, mit Spitzhacken und Baseballschlägern zertrümmert oder angezündet wurden.



© fhm/Monkey/GettyImages

Sender

Blitzer besitzen standardmäßig mindestens einen Sender. Der Sender kann sich dabei in dem Gehäuse, aber auch außerhalb des Gehäuses befinden, je nach Blitzer-Technik. Bei einem Radarblitzer sendet der Sender aus dem Gehäuse heraus Radarwellen in Richtung der fahrenden Autos. Dabei dient der Sender der Ermittlung der Geschwindigkeit. Bei Blitzern mit Induktionsschleifen in der Straße ist der Sender dagegen dafür zuständig, die durch die Induktionsschleifen ermittelten Daten an den Computer oder Prozessor des Blitzers zu senden.

Sensoren

Die Sensoren eines Blitzers erfassen die auszuwertenden Daten. Bei Radarblitzern erfassen die Sensoren reflektierte Radarwellen durch die Autos. Bei Induktionsschleifen in der Straße erfassen die Sensoren, zu welchem Zeitpunkt sich ein Auto auf den Induktionsschleifen befindet. Die erfassten Daten werden dann an eine Auswerteeinheit, welche zumeist durch einen kleinen Computer oder Prozessor dargestellt wird, mittels eines Senders gesendet.

Auswerteeinheit

Die Auswerteeinheit ist das Herzstück des Blitzers dar. Sie wird meistens durch einen Prozessor oder kleinen Computer dargestellt. In der Auswerteeinheit werden die übermittelten Daten ausgewertet. Die übermittelten Daten sehen je nach Messtechnik des Blitzers unterschiedlich aus und müssen entsprechend unterschiedlich ausgewertet werden.

Die Geschwindigkeit

Um festzustellen, ob ein Fahrzeug die maximal zulässige Geschwindigkeit überschreitet, muss die Geschwindigkeit gemessen werden. Damit wir die Technik der Blitzer besser verstehen, erfolgt zuerst eine kurze Wiederholung zur physikalischen Größe v (Geschwindigkeit). Die Geschwindigkeit v eines Fahrzeugs berechnet sich aus einer zurückgelegten Strecke s dividiert durch die benötigte Zeit t für die zurückgelegte Strecke – also Strecke pro Zeit.



© Peter Dazeley/The Image Bank

Die Formel für die Geschwindigkeit lautet somit: $v = \frac{s}{t}$

Die Geschwindigkeit wird physikalisch oft in der Einheit m/s angegeben. Im Straßenverkehr wird die Geschwindigkeit jedoch normalerweise in km/h angegeben. Die beiden Einheiten können mithilfe des Faktors 3,6 schnell ineinander umgerechnet werden:

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{1 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 3,6 \frac{(\text{km} \cdot \text{s})}{\text{m} \cdot \text{h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Umgekehrt gilt somit natürlich auch:

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \approx 0,278 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aufgaben

1. Thomas fährt mit seinem Auto eine Strecke von 23 km in einer Zeit von 20 min. Welche Geschwindigkeit ist Thomas im Durchschnitt auf der Strecke gefahren? Geben Sie die Geschwindigkeit sowohl in m/s als auch in km/h an.
2. Mila fährt mit ihrem Fahrrad von zu Hause aus eine Strecke von 1,5 km in einer Zeit von 7 min zum Bäcker. Dort braucht sie 3 min. Anschließend fährt sie noch 2,1 km in 9 min zur Schule.

Hinweis: Geben Sie alle Ergebnisse jeweils in km/h und in m/s an.

- a) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit fährt Mila von ihrem Zuhause bis zum Bäcker?
 - b) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit fährt Mila vom Bäcker bis zu ihrer Schule?
 - c) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit fährt Mila insgesamt von ihrem Zuhause bis zur Schule, wenn die 3 min Pause beim Bäcker nicht in der Durchschnittsgeschwindigkeit beachtet werden?
 - d) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit fährt Mila insgesamt von ihrem Zuhause bis zur Schule, wenn die 3 min Pause beim Bäcker mit in der Durchschnittsgeschwindigkeit beachtet werden?
3. Viktor läuft auf seiner Lieblingsstrecke. Die Strecke hat eine Distanz von 6,2 km. Die ersten 2 km läuft Viktor mit einer Geschwindigkeit von 9 km/h. Für die nächsten 2,3 km braucht er 12 min. Den Rest der Distanz läuft er mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s.

Hinweis: Geschwindigkeiten sind jeweils in km/h und in m/s anzugeben.

- a) Wie viel Zeit benötigt Viktor für die ersten 2 km?
- b) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit läuft Viktor auf dem zweiten Abschnitt seiner Strecke?
- c) Welche Distanz legt Viktor auf dem dritten Abschnitt zurück und welche Zeit benötigt er für diesen Abschnitt?
- d) Welche Durchschnittsgeschwindigkeit läuft Viktor auf seiner gesamten Laufstrecke?

M 4



Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Induktion

Bei der Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Induktion befinden sich mehrere (meistens zwei bis drei) parallel verlaufende Induktionsschleifen in der Fahrbahn. Die Induktionsschleifen befinden sich etwa 8 cm tief im Asphalt und werden von Strom durchflossen. Fährt ein Fahrzeug über die Induktionsschleifen, ändert sich das elektromagnetische Feld der Induktionsschleifen. Die Veränderung des elektromagnetischen Feldes ist ein physikalischer Effekt, der darauf basiert, dass sich das Magnetfeld einer von Strom durchflossenen Spule bzw. Schleife ändert, sobald sich ein magnetischer Gegenstand in dem Magnetfeld bewegt. Falls Ihr das Thema Induktion noch nicht im Physikunterricht behandelt habt, reicht es an dieser Stelle auch aus zu verstehen, dass Induktionsschleifen das Fahrzeug beim Überfahren der Induktionsschleifen detektieren können.

Überfährt ein Fahrzeug nun mehrere dieser Induktionsschleifen, kann mithilfe des Weg-Zeit-Gesetzes, also mithilfe von verschiedenen Positionen, an denen ein Fahrzeug zu verschiedenen Zeitpunkten detektiert wurde, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt werden. Wird das Überschreiten der zulässigen Maximalgeschwindigkeit dabei festgestellt, wird ein entsprechendes Signal an das Blitzgerät, welches sich meistens einige Meter hinter der Induktionsmessung befindet, gesendet. Das Blitzgerät macht von dem Fahrzeug dann ein entsprechendes Foto.

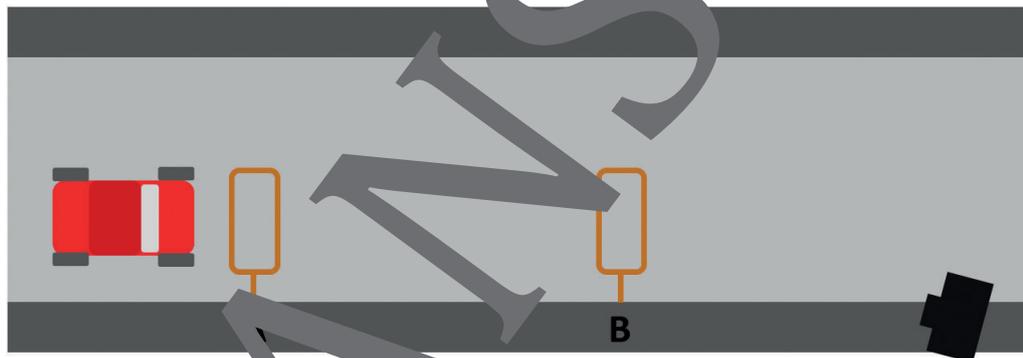


Abbildung: Maureen Götza

Beispiel

Kenos fährt täglich auf seinem Arbeitsweg in einer 20er-Zone (es sind 20 km/h erlaubt) an einer Geschwindigkeitsmessung vorbei, die auf zwei parallel zueinander verlegten Induktionsschleifen (A und B) basiert. Die Induktionsschleife A registriert Kenos Fahrzeug zum Zeitpunkt $t_1 = 0$ s. Die Induktionsschleife B befindet sich 6 m hinter der Induktionsschleife A und registriert Kenos Fahrzeug zum Zeitpunkt $t_2 = 1,2$ s. Mithilfe des Weg-Zeit-Gesetzes kann nun die Geschwindigkeit von Kenos Fahrzeug ermittelt werden.

Für wird folgende Formel verwendet:

$$v = \frac{(s_2 - s_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Die Induktionsschleife A befindet sich für die Geschwindigkeitsmessung an der Position $s_1 = 0$ m und die Induktionsschleife B an der Position $s_2 = 6$ m. Somit ergibt sich folgende Geschwindigkeit:

M 5



Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Piezo-Sensoren

Die Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen auf Basis von Piezo-Sensoren ist vom Prinzip her sehr ähnlich zu der Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Induktion aufgebaut. Es befinden sich ebenfalls mehrere Sensoren hintereinander und parallel zueinander unter der Fahrbahn, die ein Fahrzeug detektieren. Durch die Detektion eines Fahrzeugs an verschiedenen Positionen und zu verschiedenen Zeitpunkten kann über das Weg-Zeit-Prinzip berechnet werden, wie schnell ein Fahrzeug unterwegs ist.

Statt Induktionsschleifen befinden sich bei dieser Messtechnik sogenannte Piezo-Sensoren bzw. Piezo-Kristalle unter der Fahrbahn. Bei einer mechanischen Verformung der Piezo-Sensoren ändern diese ihre elektrische Ladung. Die Veränderung der elektrischen Ladung kann über entsprechende elektrische Schaltungen und Vorrichtungen gemessen werden.

Die Piezo-Sensoren liegen etwa 2,5 cm tief unter der Fahrbahn. Würden die Sensoren sehr viel tiefer unter der Fahrbahn liegen, wäre die mechanische Verformung durch ein darüber fahrendes Fahrzeug ggf. nicht mehr ausreichend, damit die Sensoren ein Fahrzeug detektieren. Mit der Tiefe von 2,5 cm sind die Piezo-Sensoren sogar empfindlich genug, um auch Fahrräder detektieren zu können.

Standardmäßig handelt es sich bei der Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Piezo-Sensoren um stationäre Geschwindigkeitsmessungen, bei denen die Sensoren in der Fahrbahn befinden. Es gibt aber auch mobile Geschwindigkeitsmessungen mit Piezo-Sensoren, die auf der Fahrbahn aufgelegt werden. Diese werden jedoch äußerst selten verwendet, da für mobile Geschwindigkeitsmessungen andere Blitzertechnologien besser geeignet sind.

Bei der Realisierung einer Geschwindigkeitsmessung mit Piezo-Sensoren sollten Kosten zwischen 50.000 € und 250.000 € kalkuliert werden. Das Austauschen oder Reparieren ist genauso wie bei den Induktionsschleifen ziemlich aufwendig und teuer, da die Fahrbahn hierfür an den entsprechenden Stellen aufbrechen und nach der Reparatur wieder geschlossen werden muss.

Aufgabe

In einer Straße befinden sich zwei Piezo-Sensoren zur Ermittlung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s fährt ein blaues Auto über den ersten Piezo-Sensor. Bevor das blaue Auto den zweiten Piezo-Sensor fährt, welcher sich 15 m hinter dem ersten Piezo-Sensor befindet, fährt zum Zeitpunkt $t_1 = 1$ s ein graues Auto über den ersten Piezo-Sensor. Das blaue Auto fährt 1,2 s nachdem das graue Auto den ersten Piezo-Sensor überfahren hat, über den zweiten Piezo-Sensor. Das graue Auto überfährt den zweiten Piezo-Sensor 1,6 s nach dem blauen Auto. Überschreiten die beiden Autos die zulässige Maximalgeschwindigkeit von 20 km/h?



© Westend61/Getty Images



Geschwindigkeitsmessung mit Einseitensensoren

M 6



Geschwindigkeitsmesser als Einseitensensor gibt es als mobile, als auch als stationäre Variante. An den Straßenrändern sieht man jedoch meistens die mobilen Einseitensensoren. Dieser Blitzer besteht aus zwei Hauptkomponenten, dem Sensorkopf und der Fotoeinheit. Der Sensorkopf führt die eigentliche Geschwindigkeitsmessung durch, die Fotoeinheit erstellt das Foto von dem Fahrzeugkennzeichen und dem Fahrer bzw. der Fahrerin, wenn die eingestellte Höchstgeschwindigkeit überschritten wird.

Der Sensorkopf des Einseitensensors besteht aus fünf Helligkeitssensoren, die in einer Reihe und in definierten Abständen zueinander angeordnet sind. Die beiden äußeren und der mittlere Sensor sind für die Geschwindigkeitsmessung verantwortlich. Diese sind in einem rechten Winkel zur Fahrbahn ausgerichtet und haben untereinander einen Abstand von 25 cm. Der zweite und der vierte Sensor erfassen die Entfernung zwischen dem Einseitensensor und dem vorbeifahrenden Fahrzeug.



© no_limit_pictures/istock/Gettyimages Plus

Fährt ein Fahrzeug an dem Sensorkopf vorbei, ändert sich die Helligkeit in dem Detektierbereich der fünf Sensoren. Der Detektierbereich wird dunkler. Alle fünf Sensoren des Einseitensensor-Blitzers detektieren diese Helligkeitsveränderung und erstellen kurz hintereinander jeweils ein Helligkeitsprofil. Durch Abgleich der Helligkeitsprofile von den Sensoren ein, drei und fünf kann dann die Geschwindigkeit ermittelt werden. Dies geschieht über die Zeitdauer. Je länger der zeitliche Abstand zwischen den erfassten Helligkeitsprofilen, desto langsamer war das Fahrzeug unterwegs. Lösen alle drei Sensoren zeitlich gesehen sehr schnell hintereinander aus, ist das Fahrzeug schnell unterwegs. Die beiden anderen Sensoren messen ebenfalls mit einem kleinen zeitlichen Versatz den Abstand zwischen dem Fahrzeug und dem Messgerät. Durch die Abstandsdaten zwischen Fahrzeug und Messgerät kann eine Geschwindigkeitsmessung eines Fahrzeugs auch auf unterschiedlichen Fahrspuren stattfinden und die Zuordnung des zu blitzenden Fahrzeugs kann besser erfolgen. Wird eine Geschwindigkeitsüberschreitung festgestellt, sendet der Sensorkopf die Messdaten über Funk an die Fotoeinheit, die daraufhin einen Blitz auslöst und von dem Kennzeichen des Fahrzeugs und dem Fahrer bzw. der Fahrerin ein Foto macht.

Ein Einseitensensor, bestehend aus der Fotoeinheit und dem Sensorkopf, kostet in etwa 100.000 €. Der Vorteil dieses Sensors ist, dass dieser auch an unübersichtlichen Straßenstellen aufgestellt werden können, etwa in Tunneln und Kurven. Zudem kann die Geschwindigkeitsmessung in beide Fahrtrichtungen erfolgen.

Ein aktuell sehr häufig verwendeter Vertreter der Einseitensensoren ist der ES 3.0. Bei diesem Einseitensensor können der Sensorkopf bis zu zwei Fotoeinheiten gekoppelt werden, die die Fahrzeuge auf unterschiedlichen Spuren registrieren.

Geschwindigkeitsmessung auf Basis von Lasertechnik

M 8



Es gibt verschiedene Blitzersysteme, die auf Basis von Lasertechnik arbeiten. Das Blitzen mit der Laserpistole, welche auch als Laserhandmessgerät bezeichnet wird, wird am Straßenrand von geschulten Polizisten durchgeführt. Dabei wird die Laserpistole mit dem fahrenden Auto mitbewegt. Um die Geschwindigkeit genau zu ermitteln, ist es wichtig, dass die Laserpistole bei dem Auto während der gesamten Messung den gleichen Punkt anvisiert. Durch Aussendung von Laserstrahlung, die an dem Auto reflektiert und durch die Laserpistole anschließend wieder detektiert wird, kann die Geschwindigkeit ermittelt werden.

Wird bei der Geschwindigkeitsmessung festgestellt, dass die zulässige Maximalgeschwindigkeit überschritten wurde, wird bei der Laserpistolen-Geschwindigkeitsmessung kein Foto gemacht. Stattdessen zieht die Polizei den Autofahrer meistens einige Meter hinter der Geschwindigkeitsmessung aus dem Verkehr. Da bei der Laserpistole kein Foto zur Dokumentation gemacht wird, müssen die Polizisten jeweils ein ausführliches Messprotokoll als Dokumentation erstellen. Da die Messung manuell geschieht und somit fehleranfällig ist, darf die Geschwindigkeitsmessung mit einer Laserpistole nur von geschulten Polizisten durchgeführt werden. Die Kosten einer Laserpistole belaufen sich auf ungefähr 20.000 €.



© L. Buy4u/E+

Neben der Laserpistole gibt es noch das Laserfernglas zur Geschwindigkeitsmessung. Dieses wird ebenfalls manuell von einem geschulten Polizisten bedient. Laserferngläser sind mit einer Videokamera ausgestattet, um die Überschreitung der zulässigen Maximalgeschwindigkeit bildlich zu dokumentieren, andere hingegen besitzen keine Videokamera. Sofern das Laserfernglas ohne Videokamera ausgestattet ist, muss von der Polizei ebenfalls wieder ein ausführliches Messprotokoll als Dokumentation erstellt werden. Wie bei der Laserpistole auch wird die Geschwindigkeitsmessung durch das Anvisieren eines bestimmten Punktes auf dem Fahrzeug durchgeführt. Das Laserfernglas wird mit diesem anvisierten Punkt in einer Schwenkbewegung mitbewegt. Durch Aussendung von Laserstrahlung, die an dem Auto reflektiert und anschließend von dem Laserfernglas wieder detektiert wird, kann die Geschwindigkeit des Autos ermittelt werden.

Heutzutage werden oft sogenannte Poliscan Speed-Blitzergeräte verwendet. Dies sind fest installierte Blitzersäulen am Straßenrand. Die Blitzersäulen sind meistens grau und besitzen mehrere schwarze Ringe. In den schwarzen Ringen verbirgt sich die Geschwindigkeitsmessung. Dabei ist jeweils ein Ring für die Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen auf einer Spur verantwortlich. Besitzt eine Blitzersäule also drei Ringe, wird normalerweise auf drei Spuren die Geschwindigkeit von den Fahrzeugen ermittelt und bei Bedarf geblitzt. Sind vier Ringe an der Blitzersäule vorhanden, werden meistens zwei Spuren pro Fahrtrichtung geblitzt. Die stationären Blitzersäulen sind in der Regel als ein Blitzgerät verdoppelt, welches das Autokennzeichen und den Fahrer mit einem Foto dokumentiert. Meistens befindet sich die Blitzeinheit direkt in der Blitzersäule, sie kann aber auch einige Meter hinter der Blitzersäule als eigenständige Fotobox aufgestellt sein.

Alle drei vorgestellten Blitzergeräte basieren auf Lasertechnik. Die Lasertechnik wird dabei in der Fachsprache als LiDAR-Technologie bezeichnet. LiDAR steht für „Light Detection And Ranging“. Bei der LiDAR-Technologie kommen Lichtimpulse zum Einsatz. Das Blitzergerät sendet Lichtimpulse in Richtung der Autos aus. Diese Impulse bzw. Strahlen treffen auf die fahrenden Autos. An den Autos werden die Lichtstrahlen reflektiert, zum Blitzer zurückgestrahlt und ein Großteil der Strahlen wird durch Sensoren im Blitzer detektiert. Es kann nun mithilfe der Strahlen ermittelt werden, wie lange die Lichtimpulse gebraucht haben, um vom Blitzergerät ausgesendet zu werden, vom Auto reflektiert und durch den Blitzer wieder detektiert zu werden. Über die Zeit kann die Entfernung eines Fahrzeuges zum Blitzergerät ermittelt werden. Sendet der Blitzer nun permanent Lichtimpulse aus, kann die Entfernung des Objektes zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt werden, woraus anschließend die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ermittelt werden kann.



© Faba-Photography/
Moment

Die Entfernung des Fahrzeuges wird über die umgestellte Geschwindigkeitsformel, geteilt durch den Faktor zwei, ermittelt: $s = t \cdot \frac{v}{2} \rightarrow$ Entfernung $s =$ Zeit \cdot Geschwindigkeit $\cdot \frac{1}{2}$.

Die umgestellte Geschwindigkeitsformel muss durch den Faktor zwei geteilt werden, da sonst die Entfernung vom Blitzer zum Fahrzeug plus die Entfernung vom Fahrzeug zum Blitzer ermittelt werden würde, da die Laserstrahlen erst nach der Reflexion am Fahrzeug wieder am Blitzergerät detektiert werden. Da nur die einfache Entfernung zwischen Blitzergerät und Fahrzeug von Relevanz ist, wird durch den Faktor 2 geteilt. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Lichtimpulse bewegen, ist die Lichtgeschwindigkeit, die gerundet in etwa $300.000.000 \text{ m/s}$ ermittelt.

Wird nun zu mehreren Zeitpunkten die Entfernung eines Fahrzeuges zum Blitzergerät gemessen, kann über das Weg-Zeit-Gesetz die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ermittelt werden.

Hierfür wird die folgende Formel verwendet:

$$v = \frac{(s_2 - s_1)}{(t_2 - t_1)}$$

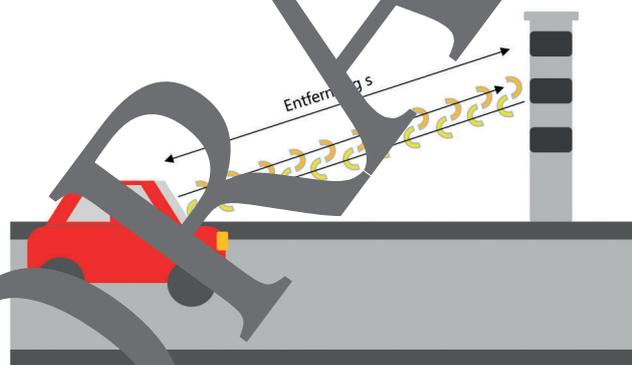


Abbildung: Maureen Götza

Beispiel: Ein auf der LiDAR-Technologie basierender Blitzer sendet permanent Laserstrahlen in Richtung fahrender Fahrzeuge aus. Bei einem Fahrzeug sendet der Blitzer zum Zeitpunkt $t_1 = 0 \text{ s}$ Lichtimpulse aus. Die ausgesendeten Lichtimpulse werden an dem Fahrzeug reflektiert und werden nach $2,5 \mu\text{s}$ durch Sensoren am Laserblitzergerät wieder detektiert. Zum Zeitpunkt $t_2 = 3 \text{ s}$ sendet der Blitzer wieder Laserstrahlen in Richtung des Fahrzeuges aus und detektiert die reflektierten Strahlen nach $1,3 \mu\text{s}$.

Um zu berechnen, mit welcher Geschwindigkeit das Fahrzeug unterwegs ist, werden zuerst die Entfernungen s_1 und s_2 zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 ermittelt.

Der Doppler-Effekt

M 10



Der Doppler-Effekt beschreibt ein physikalisches Phänomen, das sicherlich jeder schon einmal bewusst oder zumindest unbewusst wahrgenommen hat. Wenn zum Beispiel ein Krankenwagen oder ein Polizeiauto mit angeschalteter Sirene auf uns zugefahren kommt, hört sich der Sirenton anders an, als wenn es an uns vorbeigefahren ist und von uns wegfährt. Während das Einsatzfahrzeug noch auf uns zufährt, hört sich der Sirenton sehr hoch an. Nachdem das Einsatzfahrzeug an uns vorbeigefahren ist und sich von uns wegbewegt, hört sich der Sirenton sehr viel tiefer an. Dieses Phänomen nennt man den Doppler-Effekt.

Warum nehmen wir Töne wahr?

Wir nehmen den Sirenton akustisch wahr, da unser Trommelfell durch die vom Einsatzfahrzeug ausgesendeten Schallwellen zum Schwingen angeregt wird. Diese Schwingungen des Trommelfells werden durch das Innenohr in neurologische Signale umgewandelt, die unser Gehirn verarbeiten kann. Dass wir Töne wahrnehmen, liegt also daran, dass an unserem Ohr Schallwellen ankommen, die verarbeitet werden.

Grundlagen zu Wellen

Eine Welle und somit auch eine Schallwelle besitzt immer eine Amplitude y , eine Schwingungsdauer T , eine Wellenlänge λ , eine Ausbreitungsgeschwindigkeit c und eine Frequenz f .

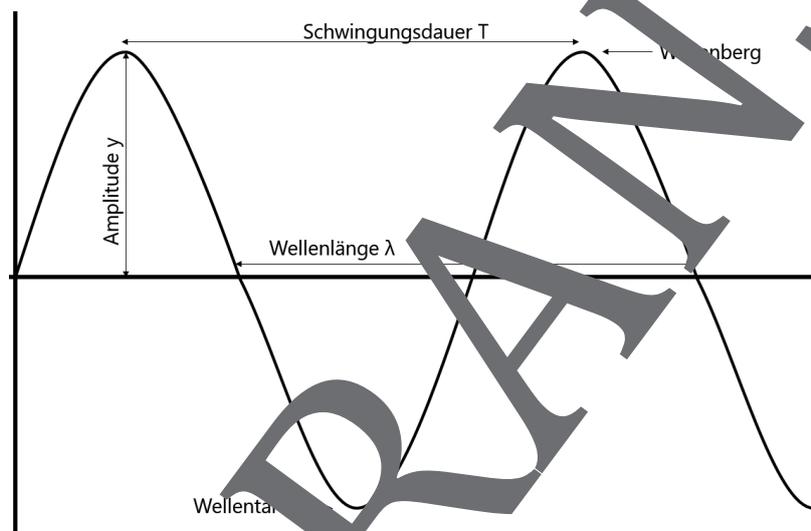
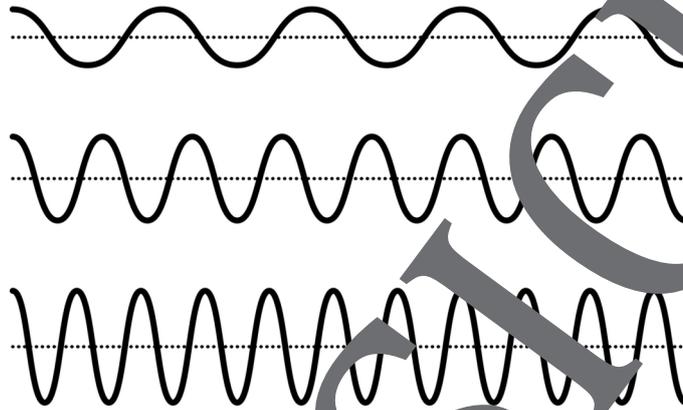


Abbildung: Maureen Götze

Die Amplitude y gibt die Höhe der Welle bzw. der sogenannten Wellenberge und Wellentäler an. Die Schwingungsdauer T gibt die Zeit an, die ein Teilchen benötigt, um eine gesamte Schwingung zu durchlaufen. Die Frequenz f gibt an, wie oft eine Welle pro Sekunde bzw. Zeiteinheit schwingt. Bildlich kann man sich die Frequenz einer Welle als die Anzahl der Wellenberge oder der Wellentäler pro Sekunde vorstellen. Eine Schwingung einer Welle entspricht dabei einem Wellenberg und einem Wellental. Formelmäßig ist die Frequenz $f = \frac{1}{T}$. Die Wellenlänge λ ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilchen, die sich im gleichen Schwingungszustand befinden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c gibt die Geschwindigkeit an, mit der sich die Welle in einem Medium fortbewegt.

Zwischen der Wellenlänge λ , der Ausbreitungsgeschwindigkeit c und der Frequenz f gilt folgender Zusammenhang: $\lambda = \frac{c}{f}$.

In der folgenden Abbildung sind drei verschiedene Wellen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude dargestellt.



© vkulieva/iStock/GettyImages Plus

Die **Amplitude** nimmt in der Abbildung von der ersten Welle bis zur dritten Welle jeweils zu. Da die erste Welle weniger Wellenberge und -täler als die zweite Welle besitzt, ist die Schwingungsdauer und auch die Wellenlänge bei der ersten Welle größer als bei der zweiten Welle. Die dritte Welle besitzt am meisten Wellenberge und -täler. Somit hat die dritte Welle die kürzeste Schwingungsdauer und die kleinste Wellenlänge. Da die Schwingungsdauer bei der dritten Welle am kürzesten ist, hat die dritte Welle die größte Frequenz.

Je nach **Frequenz** der Schallwellen nehmen wir unterschiedliche Tonlagen wahr. Ist die Frequenz der Schallwellen hoch, nehmen wir einen hohen Ton wahr, es gibt also viele Wellenberge und -täler pro Sekunde. Ist die Frequenz der Schallwellen hingegen sehr niedrig, nehmen wir einen tiefen Ton wahr, es gibt also nur wenige Wellenberge und -täler pro Sekunde. Die Einheit der Frequenz wird entweder in s^{-1} oder in Hz (Hertz) angegeben. 1 Hz entspricht dabei einer Schwingung (ein Wellenberg und -tal) pro Sekunde.

Das menschliche Gehör kann Töne etwa zwischen 20 Hz und 20.000 Hz wahrnehmen.

Aber wieso ändert sich die Frequenz der Schwingungen, wenn ein Einsatzfahrzeug auf uns zugefahren kommt? Bevor wir uns die Ausbreitung von Wellen bei bewegten Sendern (Einsatzfahrzeug) anschauen, schauen wir uns das Ganze erst einmal bei einem ruhenden Sender und Empfänger an.

Ruhender Sender und ruhender Empfänger

Sendet ein ruhender Wellensender Schallwellen aus, breiten sich diese gleichförmig in alle Richtungen aus. In der folgenden Abbildung bildet der rote Punkt den ruhenden Wellensender. Die Kreise stellen jeweils die einzelnen Schwingungen der Welle dar (die Wellenberge). Der größte Kreis ist dabei die erste Schwingung, die vom Sender gesendet wurde und sich schon am weitesten in alle Richtungen ausgebreitet hat. Treffen die Schwingungen der Schallwelle nun auf den Empfänger

(grüner Punkt), nimmt dieser die Schwingungen mit der gleichen Frequenz wahr, wie der Sender sie ausgesendet hat, auch wenn diese etwas zeitverzögert beim Empfänger ankommen. Die Schwingungen kommen also alle in gleichen und regelmäßigen Abständen bei dem Empfänger an. Der Ton, der durch die Schallwellen beim Empfänger ankommt, bleibt durchgehend gleich und entspricht der Tonlage (Frequenz), die vom Sender ausgesendet wurde.

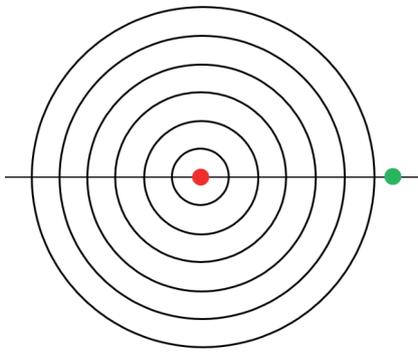


Abbildung: Maureen Götza

Die Formel, mit der die Frequenz des Wellensenders und damit auch die ankommende Frequenz beim Empfänger berechnet werden kann, ist wie folgt: $f = \frac{c}{\lambda}$. Dabei ist c die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle (Schallgeschwindigkeit $c_{\text{Schall}} = 340 \text{ m/s}$) und λ die Wellenlänge.

Beispiel:

Wie groß ist die Frequenz einer sich ausbreitenden Schallwelle, die eine Wellenlänge von $0,2 \text{ m}$ besitzt?

Gegeben sind die Wellenlänge $\lambda = 0,2 \text{ m}$ und die Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = 340 \text{ m/s}$. Somit ergibt sich für die Frequenz

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{(340 \text{ m/s})}{0,2 \text{ m}} = 1700 \text{ Hz}.$$

Die Frequenz der Schallwelle beträgt 1700 Hz , sowohl beim Sender als auch beim Empfänger.

Auf einen ruhenden Empfänger zu bewegendem Sender

Was aber passiert, wenn sich der Sender (rote Punkt) auf den Empfänger (grüner Punkt) zubewegt?

Die einzelnen Schwingungen werden vom bewegten Sender an unterschiedlichen Positionen gesendet. Somit werden die ausgesendeten Schwingungen zum Empfänger hin zeitlich gestaucht. Die folgende Abbildung zeigt diesen Fall. Die leeren roten Punkte zeigen die Positionen, von denen aus der Sender jeweils schon Schallwellen ausgesendet hat. Durch die Bewegung des Senders in Richtung des Empfängers tauchen sich die einzelnen Schwingungen zueinander und der Empfänger (grüner Punkt) wird die



© ollo/E+

Schwingungen mit viel kleinerem Abstand zueinander wahrnehmen, also mit einer viel höheren Frequenz, als eigentlich vom Sender gesendet wurde. Diese Abbildung beschreibt somit den Fall, wenn ein Einsatzwagen mit Sirene noch auf uns zugefahren kommt. Wir nehmen einen höheren Sirenton wahr, als er eigentlich vom Sender ausgesendet wird.

M 11



Geschwindigkeitsmessung durch Abschnittskontrollen

Die sogenannte Abschnittskontrolle ermittelt die Durchschnittsgeschwindigkeit auf einem großen Straßenabschnitt. Anders als bei den meisten vorgestellten Messtechniken wird also nicht nur zu einem Zeitpunkt oder auf einer kleinen Strecke von wenigen Metern die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs ermittelt, sondern auf einem großen Straßenabschnitt. Der Straßenabschnitt umfasst dabei meistens mehrere Kilometer. In den meisten Ländern sind Abschnittskontrollen etwa 3 km lang, es gibt jedoch gerade in Tunneln zum Beispiel auch Abschnittskontrollen, die bis zu 10 km lang sind.

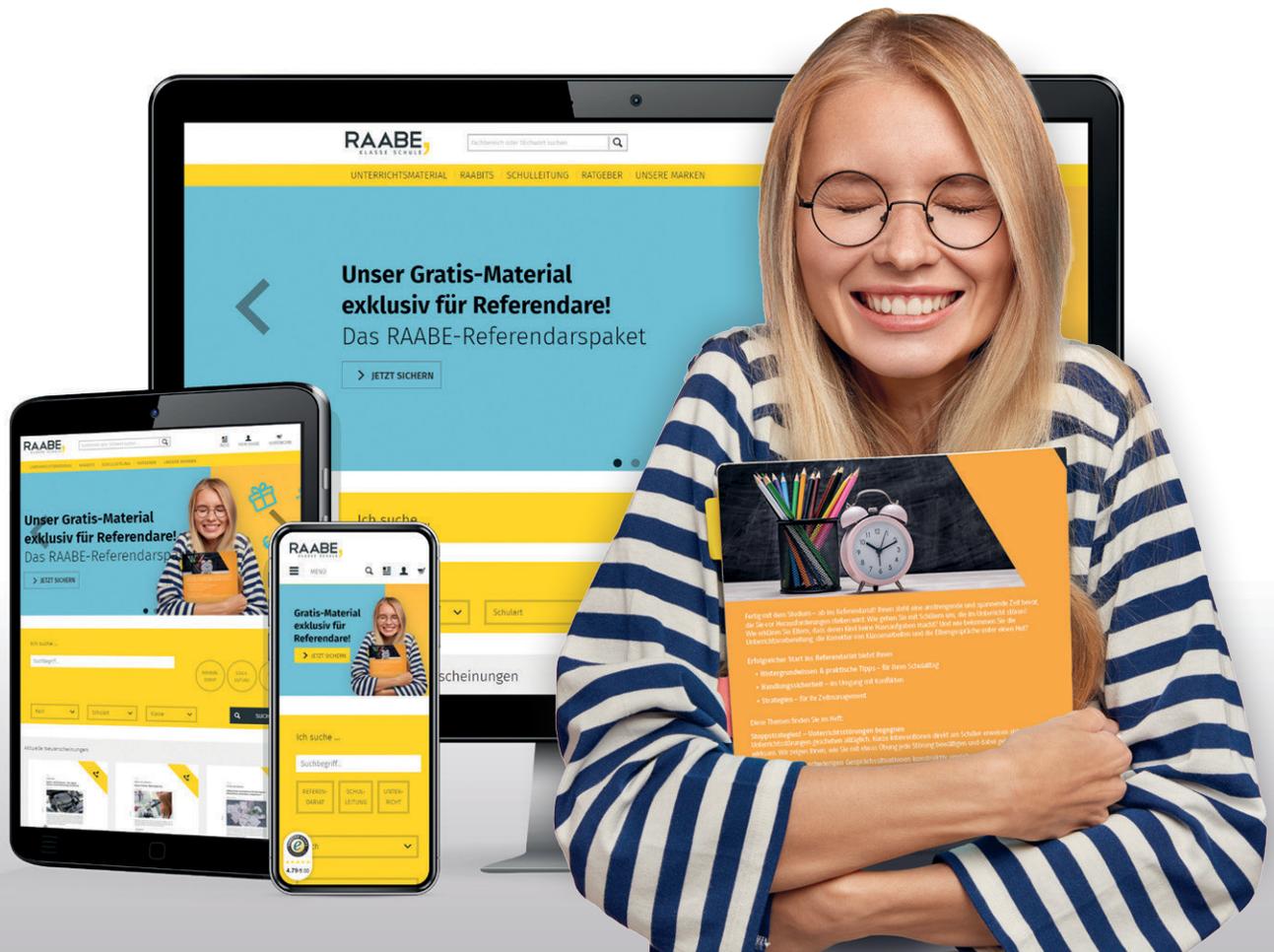
Dafür wird jeweils mindestens eine Kamera am Anfang und am Ende der Abschnittskontrolle installiert. Die Kamera erfasst von jedem Fahrzeug das Kennzeichen, die Fahrtrichtung und die aktuelle Uhrzeit. Am Ende der Abschnittskontrolle erfasst eine weitere Kamera ebenfalls von jedem Fahrzeug das Kennzeichen, die Fahrtrichtung und die aktuelle Uhrzeit. Durch die bekannte Distanz der Abschnittskontrolle kann über das Weg-Zeit-Gesetz die durchschnittliche Geschwindigkeit eines jeden Fahrzeugs auf diesem Abschnitt ermittelt werden. Ist die Durchschnittsgeschwindigkeit schneller als die zulässige Maximalgeschwindigkeit, wird das entsprechende Fahrzeug geblitzt. Seit 2018 gibt es in Deutschland zwischen Gleiditz und Laatz die erste Abschnittskontrolle. Diese musste jedoch im März 2019 vorerst wieder außer Betrieb genommen werden, da die Aufzeichnung von Fahrzeugdaten nicht gesetzlich geregelt war und somit nicht zulässig war. Der Unterschied bei der Abschnittskontrolle im Vergleich zu anderen Blitzermesstechniken ist, dass durch die erste Kamera von jedem Fahrzeug bereits Daten gespeichert werden, unabhängig davon, ob das Fahrzeug zu schnell fährt oder nicht. Denn erst nachdem ein Auto die Abschnittskontrolle durchfahren und die Kamera erneut die Daten aller Fahrzeuge erkannt und ausgewertet hat, kann das System feststellen, ob das Fahrzeug zu schnell war oder nicht. Die Rechtsgrundlage hierfür wurde jedoch im November 2019 geschaffen, wodurch der Betrieb der Abschnittskontrolle wieder aufgenommen werden durfte.



© James Osmond/The Image Bank

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



✓ **Über 5.000 Unterrichtseinheiten**
sofort zum Download verfügbar

✓ **Webinare und Videos**
für Ihre fachliche und
persönliche Weiterbildung

✓ **Attraktive Vergünstigungen**
für Referendar:innen
mit bis zu 15% Rabatt

✓ **Käuferschutz**
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de