

Dashcam-Videos als Kontext im Mechanikunterricht

Max Dittewig, Thomas Wilhelm

Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
max.dittewig@gmx.de; wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Dashcams sind digitale Videokameras, die im Straßenverkehr eingesetzt werden, um Aufnahmen von Unfällen zu machen und diese vor Gericht als Beweismittel nutzen zu können. Durch deren zunehmende Verbreitung steht eine große Anzahl an Videos zur Verfügung, die in vielfältiger Weise als Kontext im Mechanikunterricht verwendet werden können, z.B. zur Verkehrserziehung. Obwohl sie nicht für diesen Zweck aufgenommen wurden, ist es mit einigen Tricks, die in diesem Artikel gezeigt werden, möglich, sie mit Videoanalyseprogrammen wie *measure dynamics* auch quantitativ zu analysieren und als Grundlage von Berechnungen zu verwenden. Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit wurden Unterrichtsbeispiele zum Einsatz von Dashcam-Videos im Physikunterricht entwickelt.

1. Motivation

1.1. Kontextorientierter Physikunterricht

In Bezug auf einen kontextorientierten Physikunterricht wird das Thema Verkehrssicherheit häufig als geeignet angesehen, um das Interesse der Schülerinnen und Schüler zu wecken und deren Bereitschaft zu stärken, sich mit Inhalten aus der Mechanik auseinanderzusetzen [1]. Duit und Mikelskis-Seifert nennen nicht nur die Verkehrssicherheit, sondern auch die digitale Videoanalyse als Beispiele für die Einbettung von Inhalten aus den physikalischen Gebieten Dynamik und Kinematik in sinnstiftende Kontexte [2]. Die Videoanalyse wird dabei als eine geeignete Methode gesehen, um Alltagsphänomene zu analysieren und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen einzuüben. So können u.a. reale Abläufe in den Bereichen Verkehr und Sport untersucht werden, bei denen die Messwertaufnahme ohne Videoanalyse schwieriger ist. In Bezug auf einen kontextorientierten Unterricht zum Thema Verkehrssicherheit wird häufig empfohlen, Messungen an Fahrzeugen wie Fahrrädern und Autos durchzuführen [1], wobei es hierzu auch schon einige Ansätze für den Einsatz von digitaler Videoanalyse gibt.

1.2. Verkehrserziehung im Physikunterricht

Zusätzlich zu der gesteigerten Motivation der Schülerinnen und Schüler durch den Alltagsbezug wird als ein weiterer Vorteil eines kontextorientierten Physikunterrichts zum Thema Verkehrssicherheit die Möglichkeit gesehen, einen Beitrag zur Verkehrserziehung leisten zu können. In Bezug auf die Frage, wieweit sich der Physikunterricht zur Verkehrserziehung eignet, wird hauptsächlich davon ausgegangen, dass das Schulfach Physik dazu beitragen kann, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, Gefahren zu erkennen und zu vermeiden [3]. Das Ausmaß der von Westphal beschriebenen Mög-

lichkeiten, Gefahren zu erkennen, bezieht sich hierbei auf das Lernen der Fähigkeit, wahrgenommene Situationen interpretieren zu können [3]. In Bezug auf das Vermeiden von Gefahren, weist Westphal darauf hin, dass der Physikunterricht zusätzlich zu der Vermittlung der Fertigkeiten, die hierzu benötigt werden, auch die Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler fördern sollte, diese verantwortungsvoll anzuwenden. Sowohl in Hinsicht auf das Erkennen als auch auf das Vermeiden von Gefahren wird davon ausgegangen, dass der Physikunterricht „die notwendige Übung im Realfall weder bereitstellen noch ersetzen [kann]“ [3]. Der Beitrag, den Physikunterricht zur Verkehrserziehung leisten kann, besteht daher hauptsächlich darin, dass „gerade [in diesem] oft physikalische Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten besprochen werden und so die Schüler weg von subjektiver Einschätzung hin zu einer objektiven Abwägung gebracht werden“ können [4].

Dashcams sind digitale Videokameras, die im Straßenverkehr eingesetzt werden, um Aufnahmen von Unfällen zu machen und diese vor Gericht als Beweismittel nutzen zu können. Durch deren zunehmende Verbreitung steht eine große Anzahl an Videos zur Verfügung, die in vielfältiger Weise als Kontext im Mechanikunterricht verwendet werden können. Ein Vorteil von Dashcam-Videos kann besonders darin gesehen werden, dass diese Verkehrssituationen aus der Perspektive von Verkehrsteilnehmern zeigen, wodurch Aussagen über deren Möglichkeiten zur Erkennung und Vermeidung von Gefahren gemacht werden können.

1.3. Fachliche Inhalte

Bei der Auswahl von Dashcam-Videos für die Unterrichtsbeispiele wurden die Themen Anhalteweg, Überholvorgang und Kurvenfahrt ausgewählt, ähnlich wie im Nachbereitungskonzept zum Projekt

„Crash Kurs NRW“, welches von Dreisbach im Rahmen ihrer Staatsexamensarbeit entwickelt wurde [5]. In einen kontextorientierten Physikunterricht kann hier auch auf sogenannte „Faustregeln“ eingegangen wurde, mit denen es Verkehrsteilnehmern möglich ist, Gefahren zu erkennen und zu vermeiden.

Weitere fachliche Inhalte, die in einem kontextorientierten Unterricht zum Thema Verkehrssicherheit vermitteln werden können, sind z.B. Stoßprozesse und die Einwirkung von Kräften im Raum. Diese lassen sich aber besser am Beispiel von Crashtests thematisieren. Hier war u.a. das Ziel, den Schülerinnen und Schülern als angehende Verkehrsteilnehmer Möglichkeiten an die Hand zu geben, Zusammenstöße zwischen Fahrzeugen und damit auch die mit diesen verbundenen meist schwerwiegenden Folgen zu verhindern. Deshalb werden in diesem Artikel vorwiegend Inhalte aus der Kinematik behandelt.

2. Informationsgewinnung aus Dashcam-Videos

2.1. Arten von Informationen

Bei den Informationen, die aus Dashcam-Videos über die in diesen gezeigten Verkehrssituationen gewonnen werden können, handelt es sich sowohl um akustische als auch um optische. Akustische Informationen, wie z.B. Rufen, Hupen sowie Geräusche von Motor und Bremse, können auf die Reaktionen von Verkehrsteilnehmern hinweisen. Optische Informationen, die sich schon beim Betrachten eines Videos ergeben, können auf die Beeinflussung und Regelung des Straßenverkehrs durch Verkehrsschilder und Fahrbahnmarkierungen, auf die Straßen-, Verkehrs-, Sicht- und Wetterverhältnisse sowie auf die Zeit und den Ort, an denen ein Dashcam-Video aufgenommen wurde, hinweisen.

Optische Informationen, die sich erst bei der Analy-

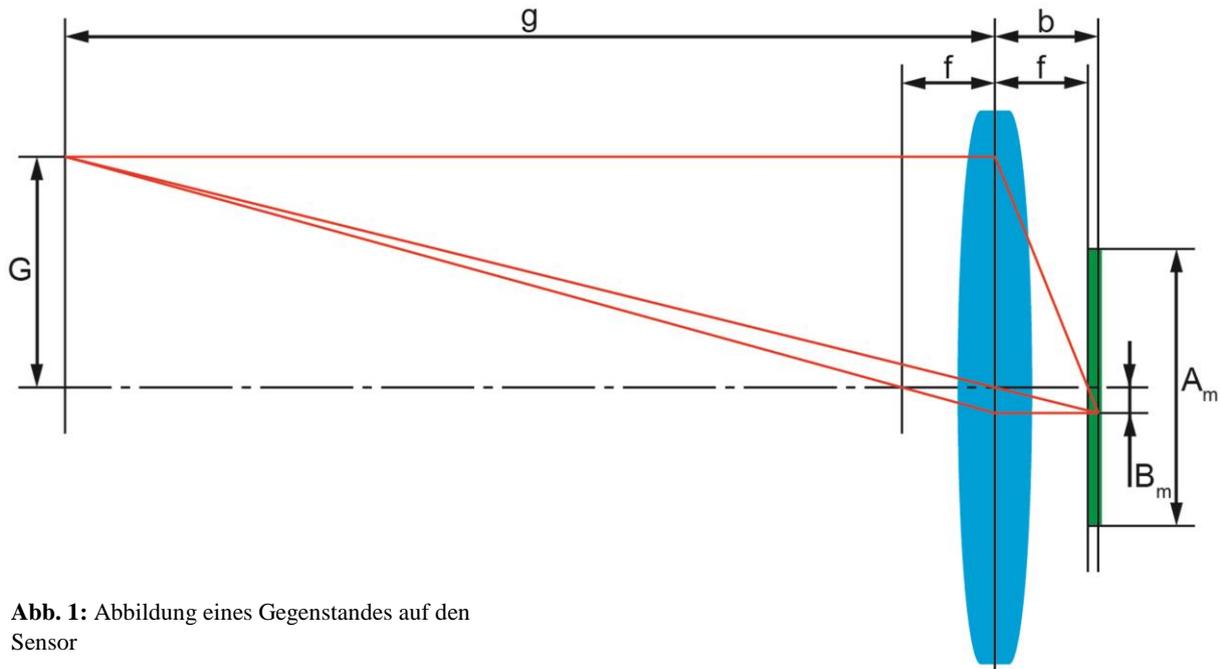


Abb. 1: Abbildung eines Gegenstandes auf den Sensor

se eines Videos ergeben, können auf die Position, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung von Fahrzeugen hinweisen. Durch Anwendung des Strahlensatzes und der sogenannten Linsen-Abbildungsgleichung können die Abstände zu Gegenständen mit bekannter Größe wie z.B. Fahrzeugen und Verkehrsschildern für verschiedene Zeiten bestimmt werden.

2.2. Herleitung der Gleichung

Gesucht ist quasi die Gegenstandsweite g eines Gegenstandes vor der Linse der Kamera. Die Gegenstandsweite g verhält sich zu Bildweite b wie die Gegenstandsgröße G zur Bildgröße B . Daraus folgt:

$$g = b \cdot \frac{G}{B}$$

Wenn $g > 20 \cdot f$ ist, ist $b \approx f$ und es folgt:

$$g = f \cdot \frac{G}{B}$$

Der betrachtete Gegenstand könnte z.B. die Verbindungslinie der beiden Schlussleuchten eines anderen Autos sein.

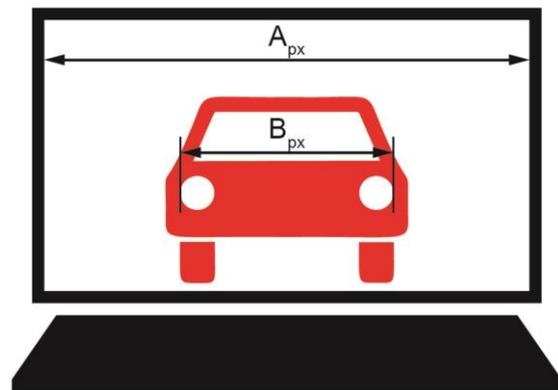


Abb. 2: Größen im Video

Die Bildgröße B_m in Metern auf den Sensor verhält sich zur Gesamtbreite des Sensors A_m in Metern wie die Bildgröße B_{px} in Pixeln zur Gesamtbreite des Sensors A_{px} in Pixeln. Daraus folgt (siehe Abb. 1+2):

$$B_m = B_{px} \cdot \frac{A_m}{A_{px}}$$

Dies in obige Gleichung eingesetzt ergibt:

$$g = f \frac{G}{B_{px}} \frac{A_{px}}{A_m}$$

Dabei gelten folgende Werte für die meisten in Russland verwendeten Dashcams (siehe Abschnitt 4):

- Brennweite des Objektivs: $f = 0,0028$ m
- Gesamtbreite des Sensors in Metern: $A_m = 0,0062$ m
- Gesamtbreite des Sensors in Pixeln: $A_{px} = 1280$ px

Die Bildgröße B_{px} in Pixeln ergibt sich durch die Pixelkoordinaten des Anfangspunktes ($x_1; y_1$) und des Endpunktes ($x_2; y_2$):

$$B_{px} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Allerdings kann man nicht in jedem Videoanalyseprogramm mit Pixelkoordinaten rechnen. Alternative könnte man auch alle Pixelkoordinaten gleich vom Videoanalyseprogramm in Metern umrechnen lassen, indem man die Skalierung des Videoanalyseprogrammes nutzt. Das ergibt allerdings sehr keine Zahlen für die Bildgrößen B_m in Metern auf den Sensor. Dann gilt:

$$g = f \frac{G}{B_m}$$

Dabei rechnet das Videoanalyseprogramm intern z.B.:

$$B_m = B_{px} \cdot \frac{A_m}{A_{px}} = B_{px} \cdot 4,85 \cdot 10^{-6} \frac{m}{px}$$

Um zu verhindern, dass die Koordinaten sehr kleine Werte sind, können auch alle Pixelkoordinaten vom Videoanalyseprogramm durch einen beliebig gewählten Maßstab in Metern umgerechnet werden (z.B. mit $C = 1,75$ m), so dass intern berechnet wird:

$$B_m = B_{px} \cdot \frac{C}{A_{px}} = B_{px} \cdot 4,85 \cdot 10^{-6} \frac{1}{px}$$

Dies muss dann bei der Abstandbestimmung wieder korrigiert werden:

$$g = f \frac{G}{B_m} \cdot C$$

In jedem Falle muss die Größe G des Gegenstandes bekannt sein, dessen Abstand ermittelt werden soll. Dazu kann z.B. der Abstand zwischen den Rücklichtern eines vorausfahrenden Autos verwendet werden.

2.3. Test des Messverfahrens

Die Qualität dieses Messverfahrens wurde getestet, indem auf einem Schulgelände eine alltägliche Ver-

kehrssituation, das Anhalten eines fahrenden hinter einem stehenden Auto, nachgestellt und mit zwei digitalen Videokameras aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen wurde.

Die erste, an einem Stativ befestigte Kamera wurde in einem Abstand für eine übliche Videoanalyse so aufgestellt, dass die Situation mit Blickrichtung senkrecht zur Bewegungsrichtung des fahrenden Autos (Länge 4,3 m) aufgenommen werden konnte (siehe Abb. 3). Außerdem wurde ihre Brennweite auf Normalbrennweite eingestellt, um einen Abbildungsfehler durch Verzeichnung zu verhindern. Die zweite Kamera wurde so an der Innenseite der Windschutzscheibe des fahrenden Autos befestigt, dass mit dieser aus der Perspektive einer Dashcam aufgenommen werden konnte (siehe Abb. 4). Betrachtet wurde hier der Abstand der äußeren Kanten der Rücklichter des stehenden Autos (1,50 m).



Abb. 3: Messung des Abstandes der Autos mit einer üblichen Videoanalyse



Abb. 4: Messung des Abstandes zum stehenden Auto und zum Stoppschild über deren Pixelgröße im Video

Nach dem Einschalten der beiden Kameras, wurde die Hupe des fahrenden Autos betätigt, um die Videos über deren Audiospuren zu synchronisieren und um die durch die digitale Videoanalyse mit measure Dynamics erhaltene Ergebnisse miteinander vergleichen zu können.

Weil bei der Analyse der beiden Videos jeweils der Abstand zwischen der zweiten Kamera und den Rücklichtern des stehenden Autos bestimmt werden sollte (siehe Abb. 3), wurde ein farbiges Tonpapierquadrat an der vorderen linken Tür des fahrenden Autos befestigt (vertikal gleiche Position wie die zweite Kamera). Der Ursprung des Koordinatensystems wurde auf das linke Rücklicht des stehenden Autos gelegt und dann der Ort des Tonpapierquadra-

tes bestimmt. Der Abstand zwischen der zweiten Kamera und den Rücklichtern des stehenden Autos wurde gemäß Abschnitt 2.2 berechnet. Zusätzlich wurde noch der Abstand des fahrenden Autos zu einem Stoppschild bestimmt, das von der lokalen Straßenmeisterei zur Verfügung gestellt wurde (siehe Abb. 4). Die Breite des Stoppschildes ist 0,81 m und es stand 4,6 m weiter weg als die Autorücklichter.

Die Zeit-Abstandkurve ergibt für beide Messmethoden für den Abstand zum stehenden Auto in etwa das Gleiche (siehe Abb. 5). Nur für große Abstände (in der ersten Sekunde) gibt es leichte Abweichungen. Der Abstand des Stoppschildes ist immer 4,6 m größer. Die deutlich kleinere Anzahl von Pixeln führt hier allerdings zu größeren Messfehlern.

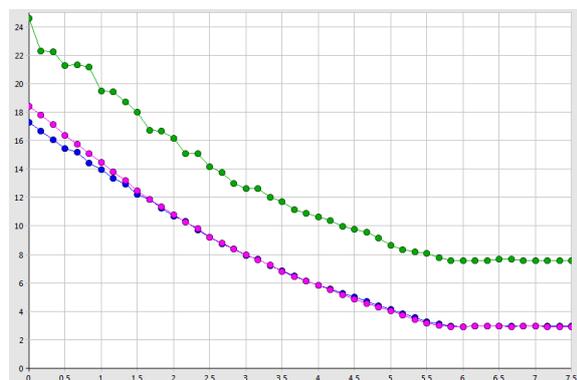


Abb. 5: Abstand des fahrenden Autos zum stehenden Auto, gemessen mit normaler Videoanalyse (rosa) und aus dem fahrenden Fahrzeug (blau), sowie Abstand des fahrenden Autos zum Stoppschild (grün)

3. Unterrichtsbeispiele

Bei den drei hier dargestellten Beispielen kann im Unterricht anfangs ein Problem formuliert werden und die physikalischen Größen können genannt werden, die zu dessen Lösung bestimmt werden müssen. Die hierfür benötigten Daten werden dabei durch die Videoanalyse zur Verfügung gestellt. Abschließend kann in Bezug auf das jeweilige Beispiel noch auf die Möglichkeiten zur Erkennung und Vermeidung von Gefahren eingegangen werden.

3.1. Anhalteweg

Das Dashcam-Video, das als Beispiel zum Thema Anhalteweg dient, zeigt ein Ausweichmanöver als Reaktion auf das Erscheinen eines Hindernisses in Form eines Auffahrunfalls, an dem zwei vorausfahrende Fahrzeuge beteiligt sind (siehe Abb. 6) (www.youtube.com/watch?v=TIWDT603tQI, ab 4:75 Minuten). Das vor dem Auto mit Dashcam fahrende Auto fährt auf einen Lieferwagen auf und kommt schlagartig zum Stehen. Der Fahrer des nachfolgenden Autos mit Dashcam muss nun entscheiden, ob er bremst oder ausweicht, wobei er sich in diesem Fall für ein Ausweichmanöver entschieden hat.

Im Unterricht könnte bei diesem Beispiel durch Berechnung des Anhaltewegs die Frage beantwortet

werden, ob es auch durch Abbremsen möglich gewesen wäre, einen Zusammenstoß zu verhindern. Hierfür werden durch die Videoanalyse das Anfangstempo und der Abstand zum stehenden Hindernis bestimmt.



Abb. 6: Dashcam-Video zum Thema Anhalteweg: Das vorausfahrende Auto fährt auf den Lieferwagen und wird plötzlich zum stehenden Hindernis (Quelle: YouTube)

Der Abstand zwischen den äußeren Grenzen der Rücklichter des vorausfahrenden Auto wird hier als bekannt angenommen (= Gegenstandsgröße $G = 1,5$ m). Damit kann wie in Abschnitt 2.2 beschrieben der Abstand zu ihm für die Zeit bis zum Ausweichen bestimmt werden. An dem Zeit-Abstands-Diagramm (siehe Abb. 7) ist zu sehen, dass der Abstand zunächst fast konstant ist und nach dem Auffahrunfall, wenn das vorausfahrende Auto steht, linear mit der Zeit abnimmt. Das bedeutet, das filmende und dann ausweichende Auto bewegt sich in der letzten Phase mit konstanter Geschwindigkeit auf das stehende Auto zu, ohne zu bremsen. Das Tempo kann hier durch zurückgelegte Strecke dividiert durch benötigte Zeit bestimmt werden, wobei sich ein Wert von ungefähr $v_0 = 8,3$ m/s = 30 km/h ergibt.



Abb. 7: Abstand zum vorausfahrenden Auto in Abhängigkeit von der Zeit

Um den theoretisch zu erwartenden Reaktionsweg s_r , den Bremsweges s_b und den Anhaltewegs s_a zu berechnen, werden die bekannten Formeln verwendet:

$$\begin{aligned} s_r &= v_0 t_r \\ s_b &= \frac{v_0^2}{2a} \\ a &= \mu_H g \\ s_a &= s_r + s_b \end{aligned}$$

Als Reaktionszeit der Fahrerin bzw. des Fahrers (einschließlich Reaktionszeit des Bremssystems) wird $t_r = 1$ s angenommen und die Bremsverzögerung a wird aus der maximalen Haftkraft und damit aus dem Haftreibungskoeffizient $\mu_H = 0,8$ und der Schwerebeschleunigung der Erde $g = 9,81$ m/s² berechnet. Somit ergibt sich ein Reaktionsweg $s_r = 8,3$ m, ein Bremsweg $s_b = 4,3$ m und damit ein theoretisch zu erwartender Anhalteweg von $s_a = 12,6$ m.

Der tatsächliche Abstand zum Hindernis bei Bremsbeginn wird ermittelt, indem der Zeitpunkt, an dem im Video eine Reaktion der Fahrerin bzw. des Fahrers beobachtet werden kann, bestimmt wird. Diese Reaktion, die hier das Ausweichen vor dem Hindernis darstellt, beginnt im Videobild der Abbildung 8, weil von diesem bis zum nächsten Einzelbild eine Richtungsänderung festgestellt werden kann. Dazu wird der Punkt beobachtet, an dem sich die Fahrbahnmarkierung und der Scheibenwischer schneiden (Spitze des roten Pfeils); dieser verschiebt sich im Video bei Richtungsänderung. An diesem Ort beträgt der Abstand zum Hindernis und damit der zur Verfügung stehende Bremsweg ungefähr 8 m, also doppelt so viel wie nötig wäre.



Abb. 8: Zur Feststellung einer Änderung der Bewegungsrichtung wurde der Punkt beobachtet (Spitze des roten Pfeils), an dem sich die Fahrbahnmarkierung und der Scheibenwischer schneiden.



Abb. 9: Ausschnitt aus dem Einzelbild, in dem ein Einschalten der Bremslichter des vorausfahrenden Autos beobachtet werden kann

In dem Einzelbild, das eine Sekunde früher aufgenommen wurde (siehe Abb. 9), kann ein Einschalten der Bremslichter des vorausfahrenden Autos beobachtet werden. Dies passt genau zur Annahme, dass die Reaktionszeit $t_r = 1$ s ist. Der Fahrer des Dashcam-Autos hat also vermutlich durch die Bremslich-

ter das Hindernis erkannt und mit Ausweichen reagiert.

Im Unterricht könnte an diesem Punkt dazu übergegangen werden, einige Aussagen über die Möglichkeiten zur Erkennung und Vermeidung von Gefahren zu machen. Hierfür bietet es sich an, zuerst den Anhalteweg für verschiedene Tempo zu berechnen, um zu zeigen, wie sich der quadratische Einfluss des Tempos in der Formel für den Bremsweg auswirkt [5], um anschließend auf einige Methoden zur Bestimmung des Sicherheitsabstands in Form von sogenannten „Faustregeln“ einzugehen.

Nach der häufig als „halbe Tacho-Regel“ bezeichneten Methode wird der Sicherheitsabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug dann eingehalten, wenn der Abstand zu diesem in Metern mindestens halb so groß ist wie das Tempo des eigenen Fahrzeugs in Kilometern pro Stunde. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das vorausfahrende Fahrzeug einen ungefähr gleich großen Bremsweg hat wie das eigene, so dass dieser vernachlässigt werden kann und der Sicherheitsabstand ungefähr gleich dem Reaktionsweg ist - mit einer zur Erhöhung der Sicherheit verhältnismäßig langen Reaktionszeit von zwei Sekunden. Wenn der Sicherheitsabstand über die „halbe Tacho-Regel“ bestimmt wurde, dann kann z.B. durch das Abzählen von Leitpfosten am Fahrbahnrand überprüft werden, ob dieser auch eingehalten wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Sicherheitsabstands ist das Abzählen von Sekunden. Nach der häufig als „zwei Sekunden-Regel“ bezeichneten Methode wird der Sicherheitsabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug dann eingehalten, wenn ein zuvor von diesem passierter Punkt von dem eigenen Fahrzeug erst nach einer Zeit von mindestens zwei Sekunden passiert wird.

Dies kann in diesem Video angewandt werden, da ein Baum seinen Schatten auf die Straße wirft. Im Video wird das Bild gesucht, in dem der Schatten auf das vorausfahrende Auto fällt, und das Bild, in dem der Schatten auf das filmende Auto fällt, wodurch das Armaturenbrett abgedunkelt erscheint. So erhält man eine Zeitdifferenz von 1,3 s, was bei diesem geringen Tempo als Sicherheitsabstand ausreichend war.

Im Unterricht sollte aber darauf hingewiesen werden, dass ein über die „halbe Tacho-Regel“ oder „zwei Sekunden-Regel“ bestimmter Sicherheitsabstand für den Fall, dass das vorausfahrende Fahrzeug (wie bei der in dem Dashcam-Video gezeigten Verkehrssituation) innerhalb kürzester Zeit zum Stillstand kommt, abhängig vom Tempo des eigenen Fahrzeugs nicht immer ausreichen wird, um durch Abbremsen einen Zusammenstoß zu verhindern. Auch sollte berücksichtigt werden, dass sich die maximal mögliche Haftreibungskraft und damit auch der Anhalteweg mit dem Straßenzustand ändert, so dass für den Haftreibungskoeffizienten nur dann wie

bei diesem Beispiel $\mu_H = 0,8$ angenommen werden kann, wenn die Haftung zwischen Reifen und Straße nicht durch z.B. Nässe oder Glätte verringert wird.

3.2. Überholvorgang

Das Dashcam-Video, das als Beispiel zum Thema Überholvorgang dient, zeigt das Überholen von zwei hintereinander fahrenden Lastern bei Gegenverkehr (www.youtube.com/watch?v=cQJXM7CxFfs, ab 0:50 Minuten) (siehe Abb. 10). Beim Überholen des ersten Lasters, ist auf dem entgegen gerichteten Fahrstreifen ein Auto zu sehen, das beim Überholen des zweiten Lasters ausweicht, um einen Zusammenstoß zu verhindern. Nach dem gesamten Überholvorgang kommt es zu einem Abkommen des Dashcam-Autos von der Fahrbahn durch zu schnelles Einscheren.



Abb. 10: Dashcam-Video zum Thema Überholvorgang (Quelle: YouTube)

Die Breite des zu überholenden zweiten Lasters wird hier als bekannt angenommen (2,55 m). Damit kann wie in Abschnitt 2.2 beschrieben der Abstand zu ihm berechnet werden. Genauso kann aus dem Abstand der Scheinwerfer des entgegenkommenden Autos (1,5 m) dessen Abstand berechnet werden. Daraus können viele Schlüsse gezogen werden.

Im Unterricht kann das Video zuerst nur bis zu dem Punkt gezeigt werden, an dem ein Einscheren ohne den zweiten Überholvorgang noch möglich ist, um anschließend zu fragen, ob der Abstand zu dem entgegenfahrenden Auto auch für ein zweites Überholmanöver ausreicht. Die Antwort ist durch Berechnung des relativen Überholwegs s_{rel} und der Überholzeit t möglich, wofür die folgenden Formeln verwendet werden:

$$s_{rel} = s_v + s_n + l_1 + l_2$$

$$t = \frac{s_{rel}}{v_{rel}}$$

Der Abstand vor dem Überholen, an dem ein Einscheren noch möglich gewesen ist, ist $s_v = 6,0$ m. s_n ist der Abstand zu dem zu überholenden zweiten Laster nach dem Überholen, also der Sicherheitsabstand für das angenommene Tempo des Lasters. Die Fahrzeuglänge des zu überholenden Lasters ist $l_1 = 12$ m, die Fahrzeuglänge des überholenden Autos ist $l_2 = 4,5$ m. v_{rel} ist das relative Tempo der beiden Fahrzeuge.

Bei der Videoanalyse wird der Abstand zum zweiten Laster und zum entgegenkommenden Auto bis zu dem Punkt bestimmt, an dem ein Einscheren ohne den zweiten Überholvorgang noch möglich gewesen wäre. Das relative Tempo des Lasters und des entgegenkommenden Autos in Bezug zum überholenden Auto kann aus der Steigung im Abstandsdiagramm (siehe Abb. 11) ermittelt werden.

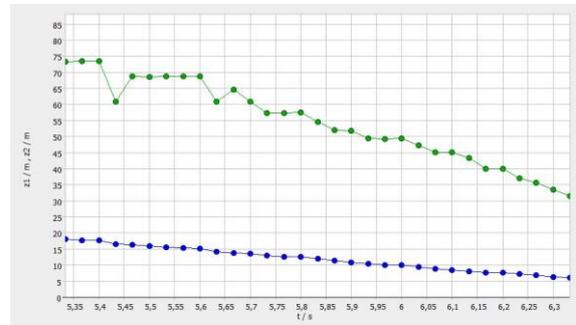


Abb. 11: Abstand zum zweiten Laster (blau) und zum entgegenfahrenden Auto (grün) in Abhängigkeit von der Zeit

Dabei ergibt sich für das relative Tempo des Lasters $v_{rel} = 12,0$ m/s = 43,3 km/h und für das relative Tempo des Autos $41,9$ m/s = 151 km/h. Nimmt man an, dass beide Autos das gleiche Tempo haben, ergibt sich ein absolutes Tempo der Autos von je $v = 20,9$ m/s = 75,4 km/h. Der Laster hat damit ein Tempo von nur $8,91$ m/s = 32,1 km/h. Der Sicherheitsabstand zu dem zu überholenden Laster nach dem Überholen sollte also $s_n = 16$ m sein. So ergibt sich ein relativer Überholweg $s_{rel} = 39$ m und die Überholzeit beträgt $t_{rel} = 3,2$ s.

An dem Punkt, an welchem ein Einscheren ohne den zweiten Überholvorgang noch möglich ist, beträgt der Abstand zu dem entgegenkommenden Auto 31,4 m, der bei dem zuvor bestimmten relativen Tempo nach einer Zeit von 0,75 s zurückgelegt wird. Weil dieser Zeitpunkt noch innerhalb der Überholzeit liegt, müsste es zu einem Zusammenstoß kommen, was aber durch ein Ausweichmanöver des entgegenfahrenden Autos verhindert werden kann (siehe Abb. 12).



Abb. 12: Zeitpunkt, an dem es zu einem Zusammenstoß gekommen wäre

Die Entwicklung von Methoden zur Bestimmung des Sicherheitsabstands zu entgegenkommenden

Fahrzeugen ist nur eingeschränkt möglich [6], so dass sich besonders in Bezug auf das Thema Überholvorgang zeigt, dass der Unterricht zwar dazu beitragen kann, „die Schüler weg von subjektiver Einschätzung hin zu einer objektiven Abwägung“ [4] zu bringen, jedoch „die notwendige Übung im Realfall weder bereitstellen noch ersetzen“ [3] kann.

Bei der in dem Dashcam-Video gezeigten Verkehrssituation handelt es sich um ein sogenanntes zügiges Überholen, bei dem das gesamte Überholmanöver mit gleichbleibender Geschwindigkeit relativ zu dem zu überholenden Fahrzeug durchgeführt wird [6]. Ein anderer und häufigerer Fall ist das sogenannte beschleunigte Überholen, bei der das überholende Fahrzeug zuerst mit einer zur Geschwindigkeit des zu überholenden Fahrzeugs gleichen Geschwindigkeit hinter diesem herfährt, um anschließend auf die Geschwindigkeit zu beschleunigen, mit der das Überholmanöver durchgeführt wird [6]. Weil die Zeit und damit auch die Strecke, die hierfür benötigt wird, von der jeweiligen Beschleunigung des überholenden Fahrzeugs abhängt, kann das beschleunigte anders als das zügige Überholen „nicht durch eine einfache Formel beschrieben werden“ [5].

Für den Unterricht wäre es denkbar, Sicherheitsabstände zum Gegenverkehr für das zügige Überholen verschiedener Fahrzeuge auf Land- und Kreisstraßen zu bestimmen wie z.B. für das Überholen eines Kleinkraftrads (45 km/h), eines Traktors mit Anhänger (25 km/h oder 60 km/h) und eines Lasters (80 km/h) bei einem Tempo von jeweils 100 km/h für das überholende sowie für das entgegenfahrende Fahrzeug. Dadurch kann zumindest für diese speziellen Fälle, z.B. durch das Abzählen von Leitpfosten am Fahrbahnrand, überprüft werden, ob der Sicherheitsabstand auch eingehalten wird. Allgemein kann eine derartige Beschäftigung mit dem Überholvorgang zu der Erkenntnis beitragen, dass die Überholstrecke in vielen Fällen häufig als sehr viel kürzer eingeschätzt wird, als sie ist [6].

In Bezug auf das Dashcam-Video kann noch auf die Beeinträchtigung beim Führen von Fahrzeugen durch psychische Belastung eingegangen werden, die mit der gezeigten Verkehrssituation verbunden ist. Dies zeigt sich besonders darin, dass es nach dem Überholen zu einem Abkommen von der Fahrbahn durch zu schnelles Einscheren kommt, obwohl keine Gefahr mehr besteht, mit dem Gegenverkehr zusammenzustoßen.

3.3. Kurvenfahrt

Das Dashcam-Video, das als Beispiel zum Thema Kurvenfahrt dient, zeigt das Fahren durch eine Kurve mit zu großem Tempo, wodurch das Fahrzeug, ein Auto mit Fahrer und Beifahrer, von der Fahrbahn abkommt und in einem Fluss landet (siehe Abb. 13) (www.youtube.com/watch?v=gKzpV_rs9Ec, ab 1:49 Minuten). Bei diesem Beispiel bietet es sich an, sowohl das Tempo zu bestimmen, das das Auto kurz vor der Kurve hatte, als auch das maximale Tempo,

mit der das Fahren durch diese Kurve noch möglich gewesen wäre.



Abb. 13: Dashcam-Video zum Thema Kurvenfahrt (Quelle: YouTube)

Das Auto fährt auf der Strecke vom Anfang des Videos bis zur Kurve an zwei Verkehrsschildern vorbei, die jeweils die zulässige Höchstgeschwindigkeit anzeigen (60 km/h und 40 km/h). Die Breite der Verkehrsschilder ist jeweils 0,6 m. Um die Messfehler zu reduzieren, wurde für die Abstandbestimmung nicht die Breite der Schilder, sondern die Länge der Rohrpfosten verwendet, um auch bei größerem Abstand eine größere Anzahl an Pixeln zu haben. Hierzu wurden aus Einzelbildern, in denen das jeweilige Verkehrsschild gut zu sehen ist, aus der bekannten Schilderbreite ermittelt, dass der erste Rohrpfosten eine Länge von 1,5 m und der zweite Rohrpfosten eine Länge von 1,65 m hat (siehe Abb. 14).



Abb. 14: Bestimmung des Länge des ersten Rohrpfostens, wobei die Breite des Schildes zur Skalierung verwendet wurde.

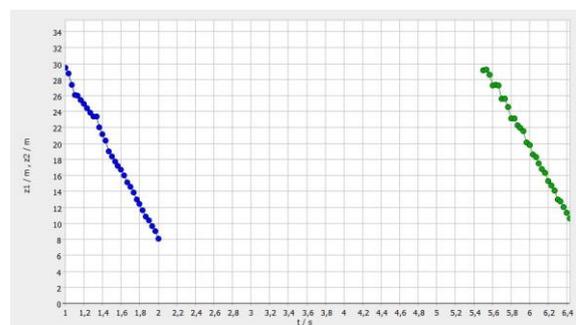


Abb. 15: Abstand zum ersten (blau) und zum zweiten Verkehrsschild (grün) in Abhängigkeit von der Zeit

So kann der Abstand zu den beiden Verkehrsschildern bestimmt werden (siehe Abb. 15). Aus den Abständen wird das Tempo des Autos bestimmt, das in beiden Fällen über der Tempobegrenzung liegt (77 km/h bzw. 71 km/h). Zwischen den beiden Verkehrsschildern verringert sich das Tempo des Autos nur wenig, was auch an den annähernd gleichen Steigungen der in Abbildung 15 gezeigten Geraden zu sehen ist.

Beim maximalen Tempo v_{max} , mit dem das Fahren durch die Kurve noch möglich ist, wird die für die Kurve nötige Zentripetalkraft durch die maximale Haftkraft ausgeübt:

$$m \cdot \frac{v_{max}^2}{r} = \mu_H m g$$

Daraus folgt

$$v_{max} = \sqrt{r \mu_H g}$$

Dabei ist r der Kurvenradius, $\mu_H = 0,8$ der Haftreibungskoeffizient und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ die Schwerkbeschleunigung der Erde.



Abb. 16: Bestimmung des Abstandes zwischen der ersten Richtungstafel und dem Auto (z-Komponente)

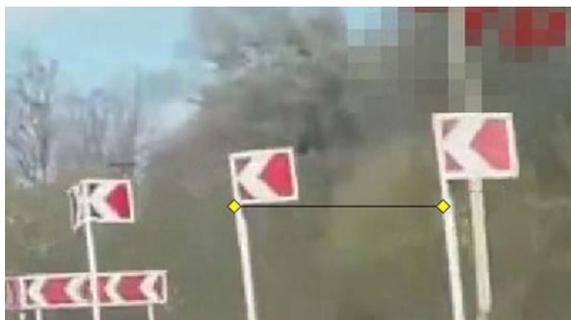


Abb. 17: Bestimmung der seitlichen Abstandskomponente zwischen der ersten und zweiten Richtungstafel (x-Komponente)

Bei diesem Beispiel kann der Kurvenradius sowohl über die Positionen der Richtungstafeln am äußeren Kurvenrand als auch mit einem Screenshot aus Google Maps bestimmt werden. Die Positionen der Richtungstafeln am äußeren Kurvenrand werden bestimmt, indem vom Abstandsvektor zwischen zwei Richtungstafeln sowohl die Komponente in Fahrtrichtung des Autos als auch die seitliche Komponente bestimmt wird (siehe Abb. 16 und 17). Die Höhe der Richtungstafeln kann als bekannt ange-

nommen werden (0,5 m) und damit der Abstand zu ihnen bestimmt werden (siehe Abb. 16).

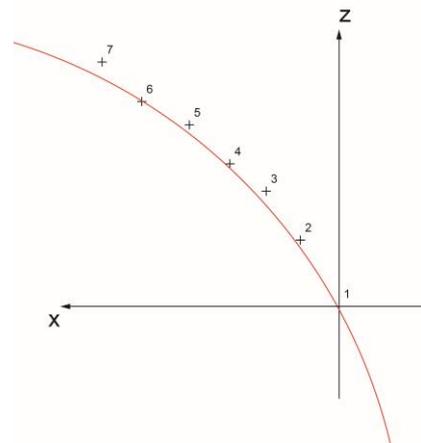


Abb. 18: Positionen der Richtungstafeln (nummeriert von der ersten bis zur letzten Richtungstafel) am äußeren Kurvenrand mit einem an diesen anliegenden Kreis

Die Bestimmung des Kurvenradius mit einem Screenshot aus Google Maps ist bei diesem Beispiel dadurch möglich, dass in dem Video ein Hinweis auf den Unfallort in Form eines Verkehrsschildes zu sehen ist. Darauf ist der Fluss angegeben, in dem das Fahrzeug am Ende des Videos landet. So kann die Kurve in Google Maps gefunden werden. Durch Anfüllen eines am äußeren Kurvenrand anliegenden Kreises in den Screenshot eines Satellitenbildes (siehe Abb. 19) kann aus dessen Radius und dem Kartenmaßstab der Kurvenradius berechnet werden.

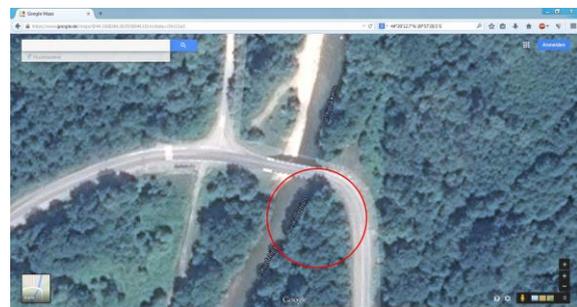


Abb. 19: Screenshot eines Satellitenbildes in Google Maps mit einem am äußeren Kurvenrand anliegenden Kreis

Bei beiden verwendeten Methoden zur Bestimmung des Kurvenradius ergibt sich ein ungefähren Wert von $r = 30 \text{ m}$, sodass das maximale Tempo, mit dem das Fahren durch die Kurve noch möglich gewesen wäre, bei ungefähr 56 km/h liegt. Das gefahrene Tempo von ca. 70 km/h ist also deutlich zu hoch.

Bei diesem Beispiel sollte berücksichtigt werden, dass eine Beschäftigung mit der Kurvenfahrt, wie sie bis zu diesem Punkt im Unterricht erfolgt ist, die Risikobereitschaft der Schülerinnen und Schüler im Straßenverkehr steigern könnte, weil diese dadurch annehmen könnten, dass es allgemein möglich ist, Kurven mit einem Tempo zu durchfahren, das bis zu

ungefähr 15 km/h größer sein kann als die behördlich angeordnete Höchstgeschwindigkeit, die hier 40 km/h ist. Dass diese Annahme nicht verallgemeinerbar ist, aber auch ein bloßes Einhalten der Verkehrsregeln nicht in jedem Fall zur Vermeidung von Gefahren ausreicht, kann durch Berechnung des maximalen Tempos für verschiedene Straßenzustände gezeigt werden. Das Durchfahren dieser Kurve ist z.B. bei Glatteis nur noch mit ungefähr 20 km/h möglich. Auch in diesem Fall ist es vor Gericht nicht möglich, sich darauf zu berufen, die Verkehrsregeln eingehalten zu haben, weil von den Verkehrsteilnehmern immer ein bestimmtes Maß an Verantwortung erwartet wird. Dies kann auch an dem Auszug aus §3 Geschwindigkeit (1) StVO gezeigt werden: „Wer ein Fahrzeug führt, darf nur so schnell fahren, dass das Fahrzeug ständig beherrscht wird. Die Geschwindigkeit ist insbesondere den Straßen-, Verkehrs-, Sicht- und Wetterverhältnissen sowie den persönlichen Fähigkeiten und den Eigenschaften von Fahrzeug und Ladung anzupassen“ [7].

Für den Beitrag, den dieses Unterrichtsbeispiel zur Verkehrserziehung leisten kann, sind besonders die in dem Dashcam-Video enthaltenen akustischen Informationen von Bedeutung. So kann z.B. festgestellt werden, dass der Fahrer mit dem Beifahrer redet, wodurch dieser wahrscheinlich abgelenkt wird und die Gefahr eines zu hohen Tempos nicht früh genug erkennen kann. Beim Fahren durch die Kurve ist außerdem ein deutliches Bremsgeräusch zu hören, so dass in diesem Zusammenhang das Bremsen in Kurven besprochen werden kann: Weil dabei zwischen Reifen und Straße zusätzlich zu der Zentripetalkraft noch eine Bremskraft wirken muss, kann es dazu kommen, dass die durch die Haftreibung bedingte Grenze überschritten wird; dann wirkt nur noch Gleitreibung und das Fahrzeug bewegt sich geradlinig in Richtung seiner momentanen Geschwindigkeit weiter [5].

4. Download der Beispielvideos

Die Videos der drei hier aufgezeigten Videos aus Russland sind als Zusatzmaterialien in der PhyDid-B abrufbar, wobei es sich um Ausschnitte aus den angegebenen Videolinks handelt. Dabei wurde das Symbol des YouTube-Channels „Vodka Video“, das in diesen am rechten oberen Bildrand zu sehen ist, durch Verpixeln unkenntlich gemacht, weil dieses im Unterricht zur Ablenkung der Schülerinnen und Schüler führen könnte.

Ein großer Teil der Dashcam-Videos, die im Internet zu finden sind, werden von Personen aus Russland zu Unterhaltungszwecken in Form von Zusammenschnitten veröffentlicht und zeigen Szenen aus dem russischen Straßenverkehr. Ein Grund hierfür ist unter anderem, dass die Veröffentlichung von Dashcam-Videos in Russland nicht verboten ist.

Zwar finden sich auf Internet-Videoportalen vereinzelt auch Dashcam-Videos, die von deutschen Nutzern veröffentlicht wurden, jedoch sollte auch dann

von deren Einsatz im Unterricht abgesehen werden, weil die Veröffentlichung von Bildern und Videos, auf denen Personen identifiziert werden können, in Deutschland nach §22 KunstUrhG nur mit deren Zustimmung erlaubt ist [8]. Diese Identifizierung ist z.B. über die Kfz-Kennzeichen von Fahrzeugen möglich.

Bei YouTube-Videos sind die Nutzungsbedingungen von YouTube zu berücksichtigen. Demnach dürfen auch Derivate der Videos (Veränderungen) erstellt und veröffentlicht werden, wenn wie bei den hier verwendeten eine Standard-Lizenz vorliegt.

Zusätzlich zu den im jeweiligen Staat geltenden juristischen Einschränkungen sollten bei der Auswahl von Dashcam-Videos für den Unterricht auch deren Qualität berücksichtigt werden.

Weiterhin muss bekannt sein, welche Dashcam zur Aufnahme eines Videos verwendet wurde, um die richtigen Werte für die Brennweite und die Breite des Bildsensors der Kamera zu verwenden. Weil es bei den Beispielen wie in den meisten Fällen nicht möglich ist, dies herauszufinden, wurde hier stets angenommen, dass alle Videos mit einem in Russland weit verbreiteten Kameramodell mit der OEM-Bezeichnung „GS1000“ aufgenommen wurden, das unter verschiedenen Namen mit verschiedener auf diesen installierter Software vertrieben wird [9].

5. Literatur

- [1] Bell, Th. (2010): Crashtests im Physikunterricht - Verkehrssicherheit als Kontext für die Mechanik. In: Duit, R. (Hrsg.); Mikelskis-Seifert, S.: Physik im Kontext - Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht. Seelze: Friedrich, 2010
- [2] Duit, R.; Mikelskis-Seifert, S.: Piko-Brief Nr. 5 - Kontextorientierter Physikunterricht. In: Duit, R.: Piko-Briefe - Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst, <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf>
- [3] Westphal, W. (1995): Wieweit eignet sich Physikunterricht zur Verkehrserziehung? - In: NiU Physik, 6, Nr. 30, S. 9-11
- [4] Bresges, A.; Weber, J. (2013): Authentische Probleme für authentische Aufgaben im Bereich der Verkehrserziehung - In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Jena 2013, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/465/605>
- [5] Dreisbach, F.: Geschwindigkeit und Geschwindigkeitswahl im Straßenverkehr als Gegenstand eines Kontextorientierten Physikunterrichts in der Mittelstufe und der gymnasialen Oberstufe, http://www.crashkurs-nrw.uni-koeln.de/repository.php?ref_id=119&cmd=sendfile
- [6] Berge, O. E. (1995): Elemente der Verkehrsphysik. - In: NiU Physik, 6, Nr. 30, S. 12-15

[7] §3 Geschwindigkeit StVO, http://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/_3.html

[8] §22 KunstUrhG, http://www.gesetze-im-internet.de/kunsturhg/_22.html

[9] GS1000, <http://dashcamtalk.com/gs1000/>