

# Amphibienschutz durch Geschwindigkeitsbegrenzung – eine aerodynamische Studie

*Amphibian conservation through speed limits: An aerodynamic study*

Dietrich Hummel

## 1 Einleitung

Auf ihren Wanderungen zu und von den Laichgewässern sind viele Amphibien – vor allem Kröten und Molche – gezwungen, Straßen zu überqueren. Dabei werden zahlreiche Individuen Opfer des Verkehrs. In vielen Fällen schaffen so genannte „Krötenzäune“ beiderseits der Straße oder aufwändige Tunnel- und Röhrenkonstruktionen Abhilfe. Bei sehr langen Straßenabschnitten mit teilweise stark wechselndem Aufkommen an Amphibien behilft man sich oft mit Hinweisschildern und Geschwindigkeitsbegrenzungen.

Aus der Sicht des Autofahrers kommt es beim Auftreten von Amphibien auf der Straße darauf an, die Tiere mit den Rädern nicht zu überrollen. Dies führt

dazu, dass die kleinen Objekte auf der Straße zwischen die Räder genommen werden und, falls es der Verkehr erlaubt, eine gewisse Slalomfahrt durchgeführt wird. Dabei wird dann der Geschwindigkeitsbegrenzung nur noch wenig Beachtung geschenkt, weil ja die Tiere durch diese schonende Fahrweise nicht überrollt werden.

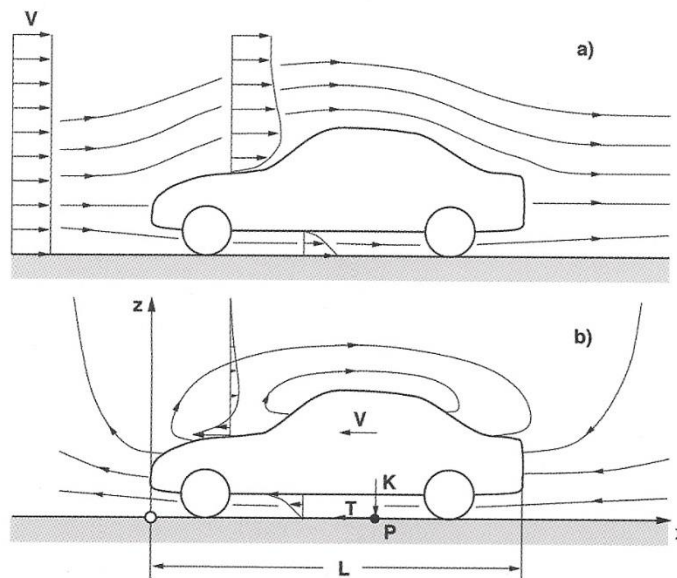
Erfahrene Amphibienschützer und Betreuer von Straßenabschnitten mit „Krötenzäunen“ (LÜTHI & LÜTHI 1998) haben nun aber die Beobachtung gemacht, dass viele der von den Rädern der Fahrzeuge nicht überrollten Amphibien trotzdem eines grausamen Todes sterben: Ihr Körper erleidet offenbar so große Belastungen, dass die inneren Organe aus den Körperöffnungen, insbesondere aus dem Mund, austreten. Untersuchun-

gen an solcherart getöteten Individuen über die genaue Todesursache befinden sich noch in Arbeit.

Als Grund für die ungewöhnliche Belastung der Tierkörper kommt natürlich die Umströmung der Fahrzeuge und ihre Auswirkung auf die Verhältnisse am Boden in Frage. Deshalb sollen im Folgenden mögliche aerodynamische Effekte des Fahrzeugs auf die bodennahe Strömung untersucht werden.

## 2 Aerodynamische Wirkungen des Fahrzeugs auf die Fahrbahn

Die Umströmung von Fahrzeugen ist von HUCHO (1994) umfassend dargestellt worden. Bei der Bewegung eines Fahrzeugs mit der Fahrgeschwindigkeit  $V$  nach Abb. 1 entsteht eine Umströmung. In der Umgebung des Fahrzeugs wird eine Geschwindigkeitsverteilung und damit eine Druckverteilung induziert. Die Fahrbahn stellt die Begrenzung des Strömungsfeldes des Fahrzeugs nach unten dar, und auch dort wird von dem Fahrzeug eine Druckverteilung hervorgerufen. Betrachtet man die Umströmung des Fahrzeugs in einem mit dem Fahrzeug mitbewegten Koordinatensystem (Abb. 1a), so bewegt sich der Boden unter dem Fahrzeug mit der konstanten Fahrgeschwindigkeit  $V$ , und die Strömung ist stationär. Betrachtet man dieselbe Strömung in einem fahrbahnfesten Koordinatensystem (Abb. 1b), so bewegt sich das Fahrzeug mit der Geschwindigkeit  $V$  über die ruhende Fahrbahn hinweg. Die Strömung ist also instationär, aber sie lässt sich durch eine Betrachtung im mitbewegten Koordinatensystem auf eine stationäre Strömung zurückführen. Untersucht man einen Punkt  $P$  auf der Fahrbahn, über den ein Fahrzeug hinwegfährt, so lassen sich dort grundsätzlich zwei Wirkungen feststellen. Diese sind (Abb. 1b):



**Abb. 1:** Umströmung eines Fahrzeugs (schematisch)  
a) Fahrzeugfestes Koordinatensystem  
b) Fahrbahnfestes Koordinatensystem

**Fig. 1:** Air flow around a vehicle (schematic)  
a) Vehicle-fixed coordinate system  
b) Road-fixed coordinate system

1 Zwischen dem Fahrzeugboden und der Fahrbahn stellt sich eine Geschwindigkeitsverteilung ein, die von dem Wert  $V$  am Fahrzeugboden auf Null an der Fahrbahn abfällt. Infolge des Geschwindigkeitsgradienten wird

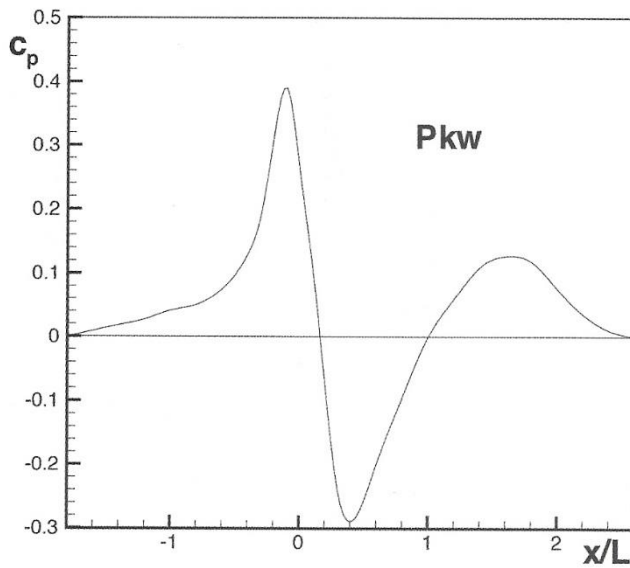


Abb. 2: Verteilung des Druckbeiwertes  $c_p$  auf der Fahrbahn unter einem Pkw (Pers. Mitteilung von U. Brennenstuhl, VW-AG Wolfsburg)

Fig. 2: Distribution of the pressure coefficient  $c_p$  on the road underneath a passenger car

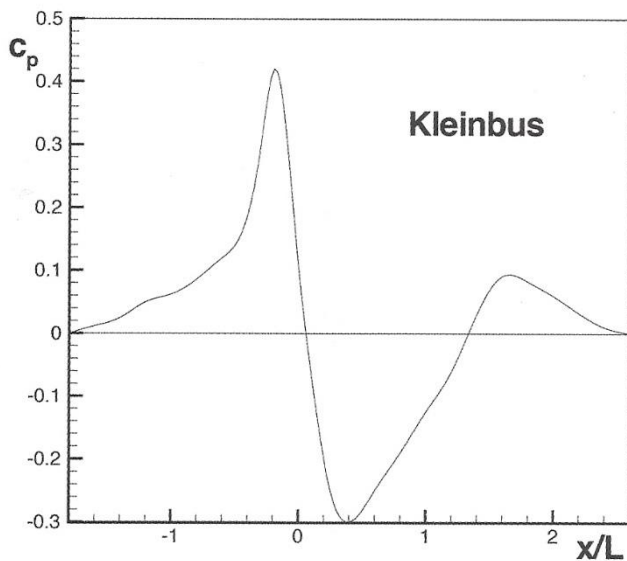


Abb. 3: Verteilung des Druckbeiwertes  $c_p$  auf der Fahrbahn unter einem Kleinbus (Pers. Mitteilung von U. Brennenstuhl, VW-AG Wolfsburg)

Fig. 3: Distribution of the pressure coefficient  $c_p$  on the road underneath a mini-bus

von der durch das Fahrzeug mitgerissenen Luft eine Schubspannung auf die Fahrbahn übertragen. Ein dort befindlicher Körper erfährt also eine Tangentialkraft  $T$  in Richtung der Fahrzeugbewegung. Eine grobe Abschätzung zeigt, dass bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $V = 50$  [km/h] und einem Bodenabstand von  $h = 0,2$  [m] ein mittlerer Geschwindigkeitsgradient von  $50/3,6 \cdot 0,2 = 69,5$  [1/sec] vorliegt, der bei Luftströmung mit einer dynamischen Zähigkeit von  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$  [Ns/m<sup>2</sup>] zu einer Schubspannung an der Fahrbahn von  $\tau = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 69,5 = 1,25 \cdot 10^{-3}$  [N/m<sup>2</sup>] führt. Ein Körper mit einer Grundrissfläche von  $100$  [cm<sup>2</sup>] =  $10^{-2}$  [m<sup>2</sup>] erfährt dann eine Tangentialkraft von  $T = 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} = 1,25 \cdot 10^{-5}$  [N]. Diese Tangentialkraft in Richtung der Fahrzeugbewegung ist damit so klein, dass sie als Ursache für die tödlichen Verletzungen der Amphibien nicht in Frage kommt.

Das Fahrzeug induziert auf der Fahrbahn eine Druckverteilung, die sich mit der Geschwindigkeit des Fahrzeuges über den betrachteten Punkt  $P$  hinwegbewegt. Diese Druckverteilung ist jeweils für den Fahrzeugmittelschnitt in Abb. 2 für einen typischen Pkw und in Abb. 3 für einen typischen Kleinbus dargestellt. Aufgetragen ist jeweils der dimensionslose Druckbeiwert  $c_p$  über der dimensionslosen Längskordinate  $x/L$  (vgl. Abb. 1). Dabei bezeichnen  $x/L = 0$  den Bug und  $x/L = 1$  das Heck des Fahrzeuges. Der Druckbeiwert ist definiert als

$$c_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{\rho}{2} V^2} \quad (1)$$

wobei  $p$  den Druck,  $p_\infty$  den Umgebungsdruck weit weg vom Fahrzeug,  $\rho$  die Luftdichte und  $V$  die Fahrgeschwindigkeit bedeuten. Für beide Fahrzeugtypen ergibt sich folgendes Bild: Vor dem Fahrzeug,  $x/L < 0$ , steigt der Druckbeiwert auf der Fahrbahn gegen das Fahrzeug hin an und erreicht kurz vor dem Fahrzeug ein Maximum. Im vorderen Bereich des Fahrzeuges fällt dann der Druckbeiwert stark ab. Unter dem Fahrzeug liegen auf der Fahrbahn im Bereich  $0,2 \leq x/L \leq 1,0$  Unterdrücke vor, und hinter dem Fahrzeug,  $x/L > 1$ , beobachtet man einen Druckanstieg und ein weiteres relatives Maximum des Druckbeiwertes. Die Beträge der vom Kleinbus auf der Fahrbahn induzierten Druckbeiwerte sind etwas größer als die von einem Pkw verursachten.

Bei beiden Fahrzeugen erstreckt sich der Bereich des vom Umgebungsdruck abweichenden Drucks auf der Fahrbahn von  $x/L = -1,8$  bis  $x/L = 2,6$ , also auf insgesamt 4,4 Fahrzeuglängen  $L$ . Ähnliche Druckverteilungen entstehen auch, wenn ein Eisenbahnzug an einem festen Ort vorbeifährt (MACKRODT & PFIZENMAIER 1987).

Die vom Fahrzeug auf der Fahrbahn induzierte Druckverteilung bewegt sich nun mit der Fahrgeschwindigkeit  $V$  über einen Punkt  $P$  auf der Fahrbahn hinweg. Aus Gleichung (1) ergibt sich, dass die Druckerhöhung im Punkt  $P$  gegenüber dem Umgebungsdruck

$$\Delta p = p - p_{\infty} = c_p \frac{\rho}{2} V^2 \quad (2)$$

dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit  $V$  proportional ist. Je schneller sich also das Fahrzeug bewegt, desto größer ist die Druckänderung. Hinzu kommt noch, dass die Zeit, in der die über 4,4 Fahrzeuglängen modifizierte Druckverteilung über den Punkt  $P$  hinweggeht, mit wachsender Fahrgeschwindigkeit immer kürzer wird. Die zeitlichen Druckgradienten wachsen also mit wachsender Fahrgeschwindigkeit ebenfalls an. Basierend auf den Druckverteilungen nach den Abb. 2 und 3 lassen sich die Druckerhöhungen  $\Delta p$  für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten  $V$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  berechnen. Das Ergebnis ist in Abb. 4 für den Pkw und in Abb. 5 für den Kleinbus dargestellt. In beiden Fällen ergibt sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit, dass die in einem Punkt auf der Fahrbahn auftretende Druckerhöhung stark anwächst, während die Zeit für den Durchlauf der Druckstörung immer kleiner wird. Auf Grund der stärkeren Störung sind die Druckspitzen beim Kleinbus etwas höher als beim Pkw.

### 3 Diskussion

Die aus der Druckverteilung am Boden resultierende Belastung des Körpers eines Amphibiiums lässt sich folgendermaßen abschätzen: Beim Kleinbus ergibt sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $V = 50$  [km/h] eine maximale Druckerhöhung vor dem Fahrzeug von  $\Delta p = 50$  [N/m<sup>2</sup>]. Bei einer angenommenen Grundrissfläche des Amphibiiums von  $100 \text{ cm}^2 = 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$  folgt daraus als Belastung (s. Abb. 1b, S. 530) eine Kraft  $K = 50 \cdot 10^{-2} = 0,5$  [N] =  $0,051$  [kp] =  $51$  [p]. Der Amphibiienkörper erleidet also eine Belastung von  $51$  [p], die sich in etwa  $0,5$  [sec] aufbaut. Diese stoßartige Belastung des Körpers dürfte die Ursache

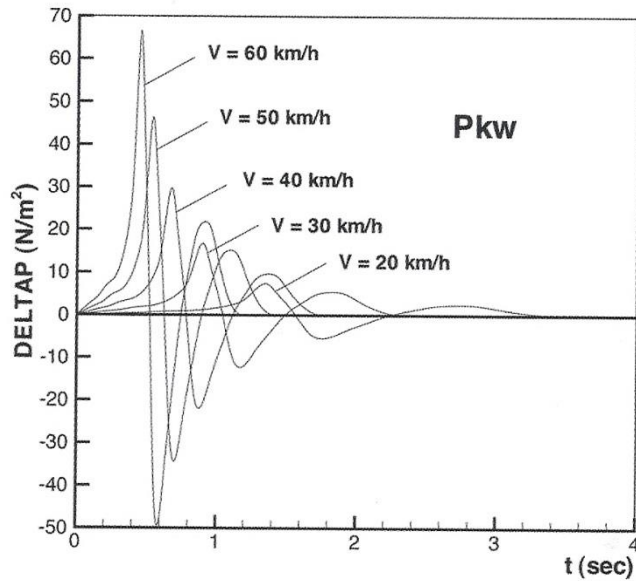


Abb. 4: Druckerhöhung  $\Delta p$  auf der Fahrbahn unter einem Pkw bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten

Fig. 4: Pressure increase  $\Delta p$  on the road underneath a passenger car for various speeds of the vehicle

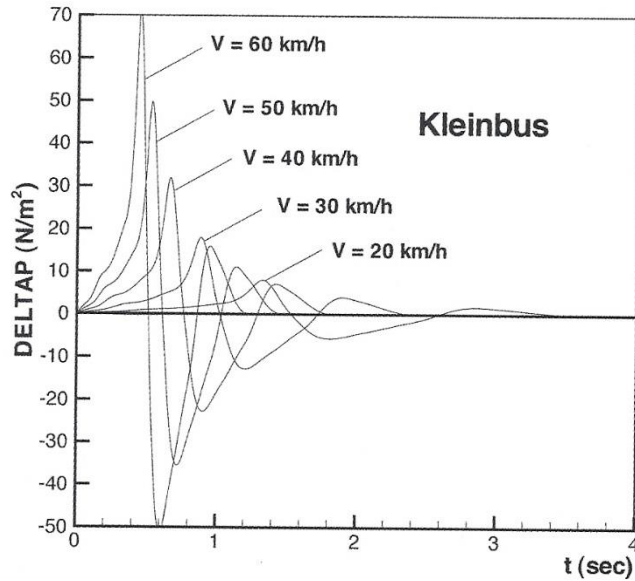


Abb. 5: Druckerhöhung  $\Delta p$  auf der Fahrbahn unter einem Kleinbus bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten

Fig. 5: Pressure increase  $\Delta p$  on the road underneath a mini-bus for various speeds of the vehicle

für den Tod der Amphibien sein. Die plötzliche Erhöhung des Druckes presst den ganzen Organismus zusammen, und als Folge treten die inneren Organe aus den Körperöffnungen aus.

Die Abhängigkeiten der Druckerhöhungen  $\Delta p$  von der Fahrgeschwindigkeit  $V$  gehen aus den Abb. 4 und 5 hervor. Wie groß die Belastungen sind, die ein Amphibienkörper unbeschadet überstehen kann, sind unbekannt. Dabei ist auch unklar, ob lediglich die Höhe der Druckbelastung oder vielleicht auch die Plötzlichkeit ihres Auftretens, also die zeitlichen Druckgradienten  $dp/dt$ , für den Tod der Tiere verantwortlich ist. Beide Parameter hängen ausschließlich von der Fahrgeschwindigkeit ab. Deshalb besteht der einzig wirksame Schutz der Tiere darin, dass bestimmte Fahrgeschwindigkeiten nicht überschritten werden. Geschwindigkeitsbegrenzungen müssen also strikt eingehalten werden.

Die Angabe der Höhe der maximal zulässigen Geschwindigkeit ist wegen der unbekannt biologischen Belastungsgrenzen schwierig. Man kann für die hier untersuchten Fahrzeugtypen aber davon ausgehen, dass bei einer strikten Einhaltung einer Geschwindigkeit von  $V = 30$  [km/h] viele Amphibien überleben würden.

Die aerodynamische Belastung, die über die Tiere hinweggeht, besteht nach den Abb. 2 und 3 aus einem Überdruck vor dem Fahrzeug und aus einem Unterdruck unter dem Fahrzeug. Dabei ist der Betrag des Überdruckes größer als der des Unterdruckes. Man kann also davon ausgehen, dass es die Überdruckbelastung ist, die den Tod der Tiere herbeiführt. Die geschilderten Umstände sprechen dafür. Es gibt aber auch Sportfahrzeuge mit niedrigem Widerstand und sehr kleinem Bodenabstand. Auch bei solchen Fahrzeugen ist zu erwarten, dass sich auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug Überdrücke ausbilden, weil dort in allen Fällen ein Aufstau der Strömung erfolgen muss. Unter dem Fahrzeug werden jedoch bei kleineren Bodenabständen sehr viel größere Unterdrücke bewirkt. Ihre Beträge können die der Überdrücke übersteigen, und sie könnten dann für das Überleben der Tiere ausschlaggebend sein. Sollten die Amphibien den vorausgegangenen Überdruck überstanden haben, so könnte auch die nachfolgende Unterdruckbelastung zum Tode führen. In diesem Fall würden keine Organe aus den Körperöffnungen austreten, sondern die Körper würden zerplatzen.

#### 4 Zusammenfassung

In der vorliegenden aerodynamischen Studie wurde gezeigt, dass beim Passie-

ren eines Fahrzeugs eine Druckverteilung über jeden Punkt der Fahrbahn hinweggeht. Vor dem Fahrzeug werden Überdrücke und unter dem Fahrzeug Unterdrücke hervorgerufen, die mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit  $V$  anwachsen. Je schneller das Fahrzeug fährt, desto stoßartiger wird die aus dieser Druckverteilung resultierende Belastung. Abschätzungen der an einem Amphibienkörper auftretenden Kräfte ergaben, dass die Tangentialkräfte in Richtung der Fahrzeugbewegung vernachlässigbar klein sind, dass aber die Druckkräfte bei höheren Fahrgeschwindigkeiten Belastungen eines Amphibienkörpers bewirken, die zum Tode führen können. Dies bedeutet, dass infolge dieser aerodynamischen Belastung auch solche Amphibien zu Tode kommen können, die nicht von den Reifen des Fahrzeugs überrollt worden sind. Daraus ergibt sich, dass ein wirksamer Amphibienschutz nur durch eine Geschwindigkeitsbegrenzung und deren strikte Einhaltung gewährleistet werden kann.

#### Summary

The present aerodynamic study has shown that around a moving car there is a pressure field which passes the road with the speed of the vehicle. In front of the car high pressures and underneath the vehicle low pressures are induced. These pressures increase with the square of the speed of the car. Similarly, the resulting loading at each point on the road

becomes more sudden with growing vehicle speed. Estimations of the forces acting on the body of an amphibian show that the tangential forces in the direction of vehicle motion are negligibly small. However, the pressure forces at higher velocities of the car lead to loadings on the body of an amphibian which can be lethal. This means that this kind of aerodynamic loading may also kill such individuals which have not been hit by the tires. Consequently, effective conservation of amphibians on roads can only be achieved by a speed limit which is strictly monitored.

#### 5 Literatur

HUCHO, W.-H. (Hrsg., 1994): Aerodynamik des Automobils. 3. Aufl. VDI Verlag Düsseldorf. 751 S. (vgl. auch „Aerodynamics of Road Vehicles“. 1998. 4th Ed. SAE. Warrendale. 918 S.).

LÜTHI, M. & LÜTHI, B. (1998): Amphibienschutzaktion 1998 Schübelweiler und Rumensee in Küssnacht. Bericht der Amphibienbetreuung der Gemeinde Küssnacht, Schweiz. Unveröffentlichtes Manuskript.

MACKRODT, P.-A. & PEIZENMAYER, E. (1987): Aerodynamik und Aeroakustik für Hochgeschwindigkeitszüge. Physik in unserer Zeit 18: 65–76.

#### Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. Dietrich Hummel  
Institut für Strömungsmechanik  
TU Braunschweig  
Bienroder Weg 3  
38106 Braunschweig  
E-Mail: D.Hummel@tu-bs.de

Ein Stück Natur zurückgeholt

**re:natur**<sup>®</sup>

Öko-Dächer  
Sumpfbeet-Klärstufen  
Teiche und Wasserpflanzen  
Biologischer Pflanzenschutz  
NEU Zäune

Besuchen Sie uns oder fordern Sie Infos an:

**re:natur**<sup>®</sup> 24601 Ruhwinkel · Tel. 04323-90 10 0 · Fax-33  
www.re-natur.de