



# ÜBER DIE BEDEUTUNG DES RUCKES UND DER ZEITLICHEN ÄNDERUNG DER BESCHLEUNIGUNG DER SCHIENENFAHRZEUGE

Von

K. HORVÁTH

Lehrstuhl für Schienenfahrzeuge, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 21. August 1971)

Die Bedeutung des Ruckes ist nicht nur den Verkehrstechnikern, sondern auch den Fahrgästen bekannt, denn z. B. das »glatte« Anfahren und Bremsen der Fahrzeuge kann letzten Endes durch die Herabsetzung der im Betrieb vorkommenden Ruckwerte erreicht werden. Seine Bedeutung ist auch bei der Prüfung anderer dynamischer und verkehrstechnischer Probleme offensichtlich. Trotzdem befaßte sich die traditionelle technische Mechanik noch nicht mit dem Begriff des Ruckes; die diesbezüglich durchgeführten Untersuchungen nahmen erst im Laufe der jüngsten Jahre ihren Anfang. Dies ist der Grund dafür, daß der Begriff des Ruckes auch in den Sprachen technisch hochentwickelter Völker nicht eindeutig bestimmt wurde [2—4].

## Begriffsbestimmung der zeitlichen Änderung der Beschleunigung und des Ruckes

Um diesen wichtigen Begriff möglichst klar darzustellen, müssen wir die zeitliche Änderung der Beschleunigung

$$\frac{db}{dt} \quad (1)$$

und die zeitliche Änderung des Beschleunigungs- bzw. Trägheitskraft

$$m \cdot \frac{db}{dt} \quad (2)$$

unterscheiden. Von einigen Verfassern (z. B. Prof. Dr.-Ing. Grassmann [6]) wurde die Größe nach Gl. (1), von anderen (z. B. Auberlen [2]) die nach Gl. (2) als Ruck bezeichnet.

Unserer Auffassung nach ist der Ruck die zeitliche Änderung der auf eine Masse wirkenden Kraft, d. h.

$$R = \frac{dF}{dt}. \quad (3)$$

Der Ruck ist nach Gl. (1) ein *kinematischer*, nach Gl. (2) und (3) ein *kinetischer* Begriff. Auch zwischen letzteren besteht ein wesentlicher Unterschied, da die Größe nach Gl. (2) nur die zeitliche Änderung der *Beschleunigungskraft*, die nach Gl. (3) hingegen die zeitliche Änderung jeder auf eine Masse wirkenden *Kraft* bedeutet.

Die Bewegungsgröße nach Gl. (3) pro Mengeneinheit

$$r = \frac{R}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dF}{dt} \quad (4)$$

kann *spezifischer Ruck* genannt werden.

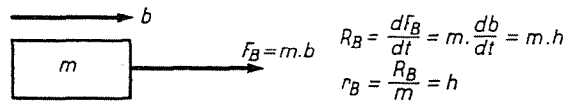


Abb. 1. Zum Begriff des spezifischen Ruckes

Aus Abb. 1 ist ersichtlich, daß die spezifische Änderung der Beschleunigungskraft (der sog. spezifische Ruck) gleich der zeitlichen Änderung der Beschleunigung ist. Auf Grund der Gleichungen in Abb. 1 kann festgestellt werden, daß die von uns eingeführte Definition nach Gl. (3) *allgemeinere Gültigkeit* hat und, daß die nach Gl. (2) nur für die Beschleunigungs- bzw. Massenkräfte angewandte *spezielle Form* des Ruckes darstellt. Mit der zeitlichen Differenzierung der Weg—Zeit-Funktion können die kinematischen Kennwerte der Bewegung bestimmt werden und deren Multiplizierung mit der Masse des bewegten Körpers ergibt die kinetischen Kennwerte. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß sich die eingeführten Definitionen dem System dieser Kennwerte organisch anschließen. Die Tabelle enthält auch die Maßeinheiten der einzelnen Größen gemäß dem technischen und dem internationalen (SI) Maßsystem. Die Maßeinheiten der zeitlichen Änderung der Beschleunigung ( $m/s^3$ ) und der Kraft ( $kp/s$  bzw.  $N/s$ ) weisen klar auf den wesentlichen Unterschied der beiden Begriffe hin. Bisher wurde stillschweigend vorausgesetzt, daß der betrachtete Körper, z. B. ein Fahrzeug, geradlinig fortbewegt wird. Der Einfachheit halber betrachten wir den Körper als einen einzigen Massenpunkt.

Tabelle 1

Kinematische und kinetische Kennwerte für geradlinige Bewegung

Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI	Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI
		Maßeinheit				Maßeinheit	
Weg	$s$	$m$	$m$	—	—	—	—
Geschwindigkeit	$v = \frac{ds}{dt}$	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$	Bewegungsgröße oder -impuls	$m \cdot v$	$\frac{kp \cdot s^2}{m} \cdot s = \frac{kp \cdot s^3}{m}$	$kg \cdot \frac{m}{s} = N \cdot s$
Beschleunigung	$b = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{m}{s^2}$	Beschleunigungs-kraft	$m \cdot b = F_B$	$\frac{kp \cdot s^2}{m} \cdot \frac{m}{s^2} = kp$	$kg \cdot \frac{m}{s^2} = N$
				Spezifische Beschleunigungs-kraft	$\frac{F_B}{m} = f_B$	$\frac{kp}{kp \cdot s^2} = \frac{m}{s^2}$	$\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{kg} = \frac{N}{kg} = \frac{m}{s^2}$
Zeitliche Änderung der Beschleunigung	$h = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3s}{dt^3}$	$\frac{m}{s^3}$	$\frac{m}{s^3}$	Ruck	$m \cdot h = R$	$\frac{kp \cdot s^2}{m} \cdot \frac{m}{s^3} = \frac{kp}{s}$	$kg \cdot \frac{m}{s^3} = \frac{N}{s}$
				Spez. Ruck	$\frac{R}{m} = r$	$\frac{kp}{s} = \frac{m}{kp \cdot s^2} = \frac{m}{s^3}$	$\frac{kg \cdot \frac{m}{s^3}}{kg} = \frac{N}{kg} = \frac{m}{s^3}$

BEDEUTUNG DES RUCKES

Dann gilt nach Abb. 2 für das Gleichgewicht der in Bahnrichtung wirkenden Kräfte

$$Z + W_B + W_0 = 0.$$

Da sich  $W_0$  einerseits aus dem um den Beschleunigungswiderstand  $W_B$  verminderten Gesamtwiderstand  $W_G$  ergibt, also

$$W_0 = W_G - W_B$$

und andererseits

$$W_B = W_B(t) = \text{konst} \cdot v(t)$$

gilt, kann  $W_0$  nun als der Geschwindigkeit proportional betrachtet werden.

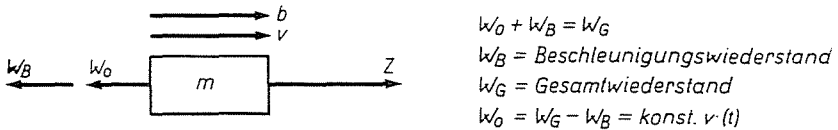


Abb. 2. Kräftegleichgewicht in Bahnrichtung

Die Bewegungskennwerte und die Kräfte sind in Abhängigkeit von der Zeit in den Abb. 3a und 3b für einen Anfahrvorgang dargestellt, der durch

$$h = \frac{db}{dt} = \text{konstant}$$

gekennzeichnet wird. Es ist ersichtlich, daß die zeitlichen Änderungen der Zug-, Widerstands- und Trägheitskräfte (also die Funktionen  $R_Z(t)$ ,  $R_0(t)$  und  $R_B(t)$ ) voneinander abweichen und die *zeitliche Änderung der Beschleunigung  $h(t)$  nur für die der Trägheitskraft bezeichnend ist.*

Zu ähnlichen Feststellungen führten die Prüfungen, die unter Zugrundelegung von den von obigen abweichenden Widerständen  $W_0(v)$  und zeitlichen Änderungen der Beschleunigung  $h(t)$  durchgeführt wurden.

Falls sich der Körper auf einer kurvenförmigen Bahn bewegt, kann die Änderung der Zentripetalbeschleunigung  $h_c$  und Zentripetalkraft  $R_c$  sinngemäß definiert werden (s. Abb. 4). Definition und Maßeinheiten der entsprechenden Bewegungsgrößen sind in Tabelle 2 enthalten.

Bei der Drehbewegung eines Körpers kann die Änderung der Winkelbeschleunigung, der Beschleunigungs-, Widerstands- und Drehmomente in

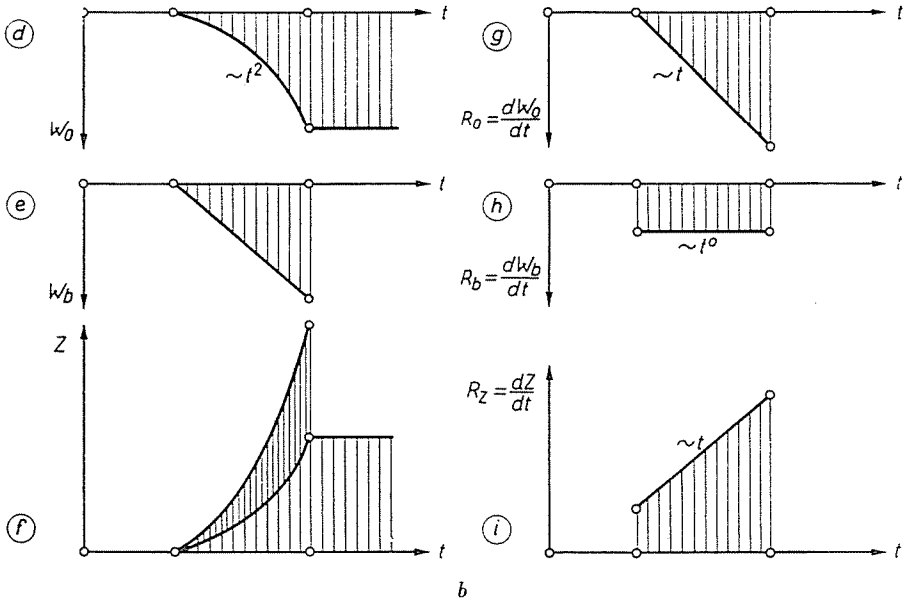
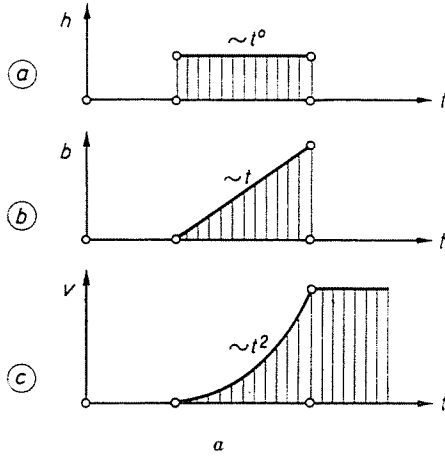


Abb. 3a und 3b. Bewegungsgröße und Kräfte in Bahnrichtung bei  $h = db/dt = \text{konstant}$

ähnlicher Weise definiert werden (s. Abb. 5). Die diesbezüglichen Begriffsbestimmungen sind in Tabelle 3 enthalten.

Die resultierende zeitliche Änderung der Beschleunigung und der Kraft bzw. des Drehmomentes läßt sich durch vektorielle Summierung der einzelnen Komponenten bestimmen (s. Abb. 6) [2].

**Tabelle 2**  
Kinematische und kinetische Kennwerte für Kreisbewegung

Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI	Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI	
		Maßeinheit				Maßeinheit		
Zentripetale	Beschleunigung	$a_c = \frac{v^2}{\rho}$	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{m}{s^2}$	Beschleunigungskraft	$m \cdot b = F_c$	$\frac{kp \cdot s^2}{m} \frac{m}{s^2} = kp$	$kg \frac{m}{s^2} = N$
					Spezifische Beschleunigungskraft	$\frac{F_c}{m} = f_c$	$\frac{kp}{kp \cdot s^2} = \frac{m}{s^2}$	$\frac{kg \frac{m}{s^2}}{kg} = \frac{N}{kg} = \frac{m}{s^2}$
	Zeitliche Änderung der Beschleunigung	$h_c = \frac{db_c}{dt}$	$\frac{m}{s^3}$	$\frac{m}{s^3}$	Ruck	$m \cdot h_c = R_c$	$\frac{kp \cdot s^2}{m} \frac{m}{s^3} = \frac{kp}{s}$	$kg \frac{m}{s^3} = \frac{N}{s}$
					Spez. Ruck	$\frac{R_c}{m} = r_c$	$\frac{\frac{kp}{s}}{kp \cdot s^2} = \frac{m}{s^3}$	$\frac{kg \cdot \frac{m}{s^3}}{kg} = \frac{N}{kg} = \frac{m}{s^3}$

**Tabelle 3**

Kinematische und kinetische Kennwerte für rotierende Körper

Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI	Benennung	Bezeichnung u. Definition	Technische	SI
		Maßeinheit				Maßeinheit	
Winkelverdrehung	$\varphi$	—	—	—	—	—	—
Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	$\frac{l}{s}$	$\frac{1}{s}$	Drall	$J \cdot \omega$	$kp \cdot s^2 \cdot m \frac{1}{s} = kp \cdot s \cdot m$	$kg \cdot m^2 \frac{1}{s} = N \cdot s \cdot m$
Winkelbeschleunigung	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{1}{s^2}$	Beschleunigungsmoment	$J \cdot \varepsilon = M_e$	$kp \cdot s^2 \cdot m \frac{1}{s^2} = kp \cdot m$	$kg \cdot m^2 \frac{1}{s^2} = N \cdot m$
				Spez. Beschleunigungsmoment	$\frac{M_e}{J}$	$\frac{kp \cdot m}{kp \cdot s^2 m} = \frac{1}{s^2}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2} = \frac{1}{s^2}$
Zeitliche Änderung der Winkelbeschleunigung	$h = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d^2\omega}{dt^2} = \frac{d^3\varphi}{dt^3}$	$\frac{1}{s^3}$	$\frac{1}{s^3}$	Zeitliche Änderung der Beschleunigungsmomente	$J \cdot h_e = R_e$	$kp \cdot s^2 \cdot m \frac{1}{s^3} = \frac{kp \cdot m}{s^3}$	$kg \cdot m^2 \frac{1}{s^3} = \frac{N \cdot m}{s}$
				Spez. zeitliche Änderung der Beschleunigungsmomente	$\frac{R_e}{J} = r_e$	$\frac{kp \cdot m}{s} = \frac{1}{s^3}$	$\frac{N \cdot m}{s} = \frac{1}{s^3}$

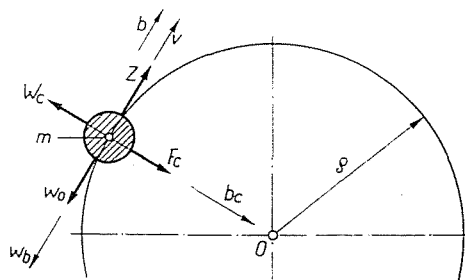


Abb. 4. Bewegung auf einer kreisförmigen Bahn

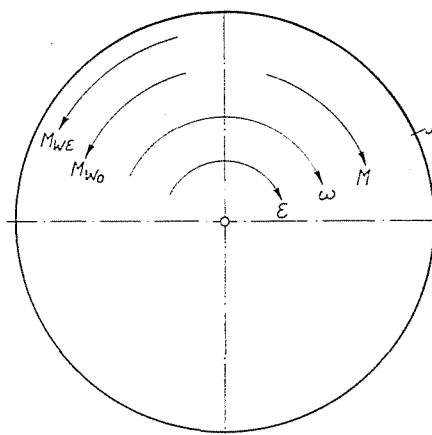


Abb. 5. Drehbewegung eines Körpers

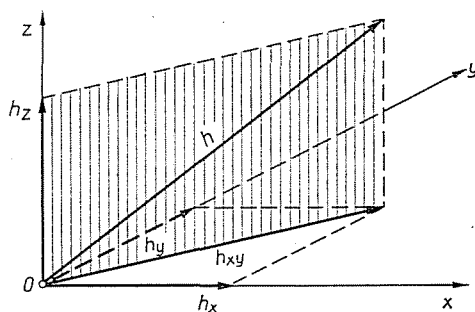


Abb. 6. Zur Bestimmung der resultierenden zeitlichen Änderung der Beschleunigung



### Bedeutung der Beschleunigungsänderung und des Ruckes im Betrieb der Schienenfahrzeuge

Nach diesem kurzen Überblick über die wichtigsten Grundbegriffe soll der Einfluß der zeitlichen Änderung der Beschleunigung auf das Weg—Zeit-Diagramm eines Fahrzeuges näher untersucht werden. Die Teilabschnitte eines allgemeinen Fahrdiagramms nach Abb. 7 sind:

- Anfahren (gleichmäßig beschleunigte Bewegung),
- Bewegung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit,
- Auslauf (gleichmäßig verzögerte Bewegung) und
- Bremsen (gleichmäßig verzögerte Bewegung).

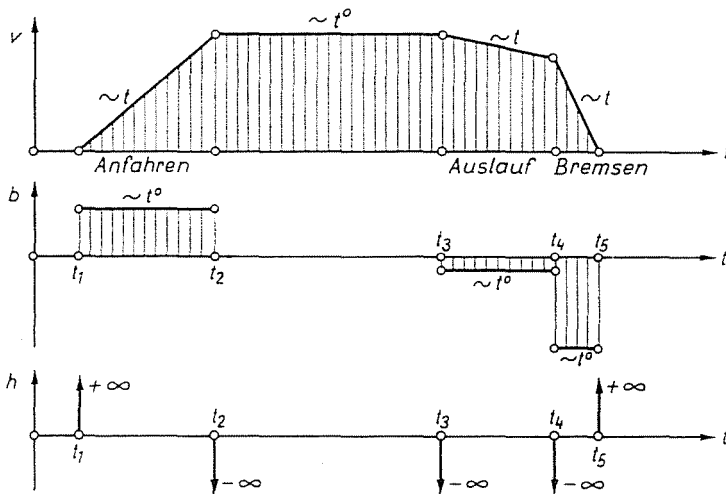


Abb. 7. Allgemeines Fahrdiagramm

Die Größe der auf die Fahrgäste wirkenden Trägheitskraft ist konstant und den Ordinaten in den einzelnen Abschnitten der  $b(t)$ -Kurve proportional; die Maximalwerte  $b$  werden durch die konstruktiven Gegebenheiten des Fahrzeuges (Leistung, Festigkeitsverhältnisse), durch die Reibungsverhältnisse und durch die von den Fahrgästen ausgeübten Festhalte- und Stützkräfte eingeschränkt. Aus dem  $h, t$ -Diagramm geht hervor, daß an der Grenze der einzelnen Teilabschnitte unendlich große zeitliche Änderungen der Beschleunigungs- bzw. Trägheitskräfte auftreten. Für die im Diagramm dargestellte Fahrt ist dies fünfmal der Fall. Die Ursache dafür ist, daß sich die Beschleunigung  $b$  theoretisch während einer Zeitdauer  $t = 0$  um einen bestimmten endlichen Wert ändert. Dieser Umstand gefährdet sowohl die Fahrgäste — da sie während einer Zeitdauer  $t = 0$  die erforderliche Kraft nicht entfalten können — wie auch die Konstruktionsteile des Fahrzeuges.

Die erwähnten Nachteile werden zum Teil durch den in Abb. 8 dargestellten Fahrverlauf beseitigt [4], für den kennzeichnend ist, daß am Anfang des Anfahr- bzw. Bremsvorganges die Beschleunigung während einer *endlichen* Zeitdauer jenen Wert  $b_0$  erreicht, der dann andauernd wirkt. (Das Auslaufen wurde einfachheitshalber nicht angeführt.) Im ersten Abschnitt des Anfahrens ist die Beschleunigungsänderung  $h$  eine lineare, die Beschleunigung  $b$  eine quadratische und die Geschwindigkeit  $v$  eine kubische Funktion der Zeit; im zweiten Abschnitt ist  $h$  konstant,  $b$  linear und  $v$  quadratisch. Wie aus der

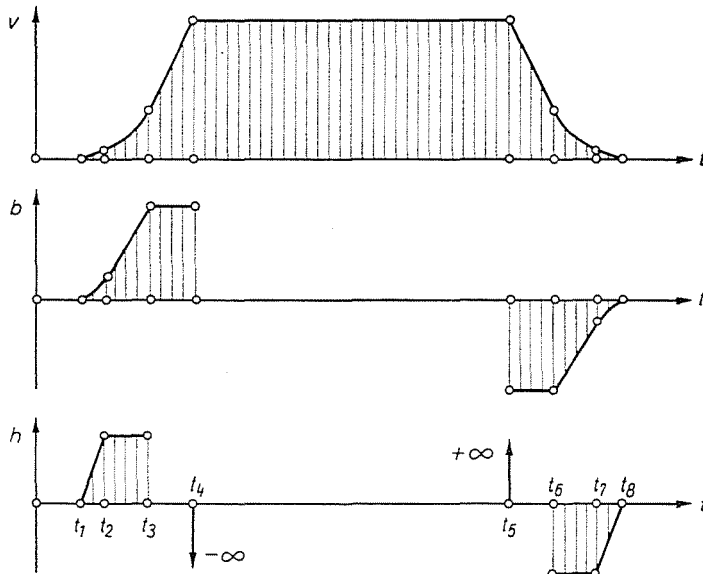


Abb. 8. Fahrdiagramm nach H. Rheinfeld

Abbildung hervorgeht, verläuft der Bremsvorgang analog zum Anfahrvorgang. Die teilweise Beseitigung der mit der unendlich großen Beschleunigungsänderung verbundenen Nachteile ist jedoch nicht leicht, weil

a) die Entfaltung der Zug- bzw. Bremskraft derartig zu steuern ist, daß sich das Fahrzeug dem Weg—Zeit-Diagramm entsprechend fortbewegt; dazu reicht jedoch die Handsteuerung in der Regel nicht aus und es wird eine Automatik erforderlich. Das Problem ist mit Hilfe der modernen Rechen-technik zu lösen;

b) die mittlere Beschleunigung  $b_m$  geringer als die Dauerbeschleunigung  $b_0$  ist und dies letzten Endes eine Verlängerung des Anfahr- und Bremsweges und der Fahrzeit ergibt.

Ein Nachteil der Fahrt gemäß Abb. 8 ist, daß am Ende des Anfahr- und am Anfang des Bremsvorganges auch weiterhin unendlich hohe  $h$ -Werte mit

den bereits erwähnten schädlichen Folgen auftreten. Dies wird durch das von uns vorgeschlagene Weg—Zeit-Diagramm (Abb. 9) beseitigt, das dadurch gekennzeichnet ist, daß nicht nur am Anfang, sondern auch am Ende des Anfahr- und Bremsvorganges die unendlich großen  $h$ -Werte und die damit verbundenen Nachteile beseitigt werden. Es liegt auf der Hand, daß diese Vorteile eine weitere Verlängerung des Anfahr- und Bremsweges und der Fahrzeit mit sich bringen. Bei gegebenen maximalen Werten von  $v_0$ ,  $b_0$  und  $h_0$  ist der Fahrzeit-

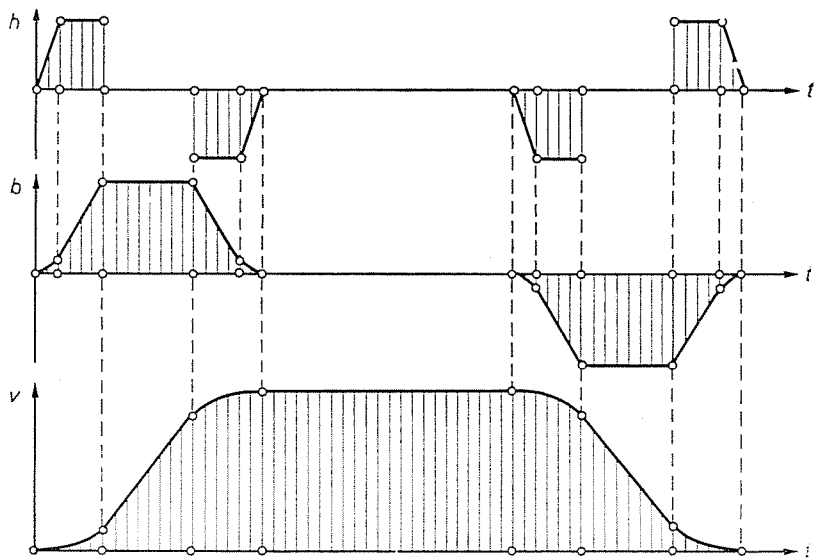


Abb. 9. Fahrtdiagramm nach Verfasser

zuwachs von der Dauer des ersten und des letzten Abschnitts des Anfahrens und des Bremsens abhängig, d. h. von der Größe des Wertes

$$\frac{dh}{dt}$$

[5]. Der Einfluß der Beschleunigungsänderung auf die Fahrzeit ist insbesondere bei den häufig anhaltenden Stadt- und Nahverkehrsmitteln von ganz besonderer Wichtigkeit.

Beschleunigungsänderungen gewisser Größe lösen erfahrungsgemäß im menschlichen Organismus unangenehme, an die Symptome der Seekrankheit erinnernde physiologische Reaktionen aus. Die Empfindlichkeit ist unterschiedlich. Es ist zu bemerken, daß der Mensch den in verschiedenen Richtungen auftretenden Beschleunigungsänderungen gegenüber nicht gleich empfindlich ist.

Die Beschleunigungsänderung ist von den Haupt- und Nebenbewegungen des Fahrzeugs (Längs-, Quer- und auf die Fahrbahnebene senkrechte Bewegungen) abhängig, auf die neben der Fahrgeschwindigkeit auch die schwingungstechnischen Eigenschaften des Fahrzeuges, die Linienführung der Strecke und die Gleisunebenheiten erheblichen Einfluß ausüben.

Daraus ergibt sich die Grundforderung, beim Fahrbahn- und Fahrzeugbau und auch im Fahrzeugbetrieb zulässige Beschleunigungsänderungen  $h_{zul}$  vorzusehen, die im gesunden menschlichen Organismus keine unangenehmen Reaktionen auslösen. Der Wert  $h_{zul}$  kann durch Versuche mit gesunden Versuchspersonen ermittelt werden. Auch die Erfahrungen der Flugzeug- und Raketentechnik könnten sicherlich vorteilhaft verwendet werden.

Hinsichtlich der Sicherheit der Fahrgäste und des Fahrpersonals sind geringe Beschleunigungsänderungen vorteilhafter. Bei großen Beschleunigungsänderungen tritt nämlich die auf den Fahrgast wirkende Trägheitskraft plötzlich auf und kann — eben infolge des plötzlichen Auftretens — vom Menschen (durch Festhalten oder bessere Abstützung des Körpers und der Füße) auch dann nicht ausgeglichen werden, wenn die Größe der Kraft dies sonst ermöglichen würde.

Die vom Menschen durch Festhalten oder Stützen entfaltbare Kraft kann mit einem bestimmten Wert  $F_0$  festgelegt werden. Daraus folgt, daß Größe und Zeitdauer des Ruckes

$$R \cdot \Delta t = F_0 = \text{konstant}$$

miteinander in Verbindung stehen, d. h. je geringer der Ruck ist, umso länger ist dieser zulässig. Die Sicherheit der Umgebung des Fahrzeuges erfordert jedoch einen kurzen Bremsweg, d. h. daß die mittlere Verzögerung  $b_m$  die durch sonstige Faktoren bestimmte Verzögerung  $b_0$  möglichst annähern soll;

$$b_m \rightarrow b_0,$$

wenn am Anfang und Ende des Bremsens

$$h \rightarrow \infty.$$

Die Sicherheit der Fahrgäste und der Umgebung stellen demgemäß hinsichtlich der zulässigen Beschleunigungsänderungen in Fahrtrichtung einander widersprechende Forderungen; die Erzielung eines befriedigenden Kompromisses ist also keine leichte Aufgabe.

Der Ruck — als eine spezielle Form der dynamischen Beanspruchung — beeinflußt auch die Ermüdungs- und Zugfestigkeit der Fahrzeugteile. Dieser Einfluß wurde bisher nicht genügend untersucht und beachtet.

Für die zulässigen Werte des Ruckes sind uns keinerlei Vorschriften bekannt.

Für die zulässigen Höchstwerte der Beschleunigungsänderungen in Fahrt- und Querrichtung sind mehrere Empfehlungen und Vorschriften vorhanden (s. Tabelle 4).

Tabelle 4

## Zulässige Höchstwerte der Beschleunigungsänderung

In Fahrtrichtung		
Bei automatisch gesteuerten Fahrzeugen der Untergrundbahn	0,5 m/s <sup>3</sup>	nach Prof. Grassmann [6]
Bei neuen Fahrzeugen im Nahverkehr	≈ 0,5 m/s <sup>3</sup>	nach BVB Pflichtenheft [7]
Bei der Rekonstruktion von älteren schienenengebundenen Nahverkehrsfahrzeugen	0,8 bis 1,0 m/s <sup>3</sup>	nach BVB Pflichtenheft [7]
Für schienengebundene Nahverkehrsfahrzeuge bei $b_{zul} = 1,2 \text{ m/s}^2$ jedoch in jedem Falle	$\approx 0,5 \text{ m/s}^3$ $< 1,0 \text{ m/s}^3$	nach TU Budapest [3]
In Querrichtung		
Bei Eisenbahnen	1,0 m/s <sup>3</sup>	nach DR [1]
Bei Straßenfahrzeugen	0,8 m/s <sup>3</sup>	nach R. Schwanter [9]

Es ist zu bemerken, daß z. Z. der Abfassung dieser Vorschriften und Empfehlungen noch keine ausreichenden Erfahrungen und Meßergebnisse zur Verfügung standen.

Zur wissenschaftlich begründeten Bestimmung der Werte  $h_{zul}$  stehen verhältnismäßig wenig Meßergebnisse zur Verfügung und ein Teil der gemessenen  $h$ -Werte überschreitet die in Tabelle 4 empfohlenen Werte in bedeutendem Maße.

Von den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Schienenfahrzeuge der TU Budapest wurden im Auftrag des Budapester Verkehrsunternehmens (Budapesti Közlekedési Vállalat) an einem zweiteiligen elektrischen Straßenbahnzug Typ UV Beschleunigungs- und Beschleunigungsänderungsmessungen durchgeführt. Während der Messungen hielten sich im Zug nur der Triebwagenführer und das Meßpersonal auf.

*Fahrzeugdaten*

Typ	UV
Fassungsvermögen	133 Personen
Wagengewicht	20 000 kp
Dauerleistung der Motoren	4 × 37 kW
Maximale Geschwindigkeit	50 km/h
Schaltvorrichtung	Schützensteuerung
Betätigung	mit Handkontroller
Anzahl der Fahrstufen	Reihenschaltung 12 Parallelschaltung 10 Feldschwächung 2
Bremssystem	Widerstand- u. Schienenbremse
Anzahl der Bremsstufen	16
Anpreßkraft der Schienenbremsen	8 × 5,5 Mp

Die mit dem Oszillographen aufgenommenen Meßkurven  $b(t)$  und  $h(t)$  sind für den Anfahrvorgang in Abb. 10 und für den Bremsvorgang in Abb. 11 dargestellt.

Aus den Abbildungen sind die folgenden wichtigen Ergebnisse abzulesen:

Anfahren	Bremsen
$b_{\max} = +1,48 \text{ m/s}^2$	$b_{\max} = -3,43 \text{ m/s}^2$
$h_{\max} = +6,2 \text{ m/s}^3$	$h_{\max} = +10,98 \text{ m/s}^3$
$h_{\max}^* = -7,05 \text{ m/s}^3$	$h_{\max}^* = -17,65 \text{ m/s}^3$

Die Werte  $h^*$  beziehen sich auf die Reihen-Parallelumschaltung der Fahrmotoren.

An Hand der Kurven sind die einzelnen Stufen der Feldschwächung und die Reihen-Parallelumschaltung der Fahrmotoren gut zu verfolgen. Durch das Ansprechen der Schienenbremsen wird die Verzögerungskurve etwas »geglättet«.

Die Messungen wurden bei schnellem Anfahren und Bremsen durchgeführt. Die außerordentlich hohen Werte der zeitlichen Änderung der Beschleunigung wurden mit einem Analogrechner sorgfältig kontrolliert.

Das Ziel des Vortrags war, die Grundbegriffe der zeitlichen Änderung der Beschleunigung und der Kräfte näher zu erörtern. Der Einfluß der beiden mechanischen Größen auf den Anfahr- und Bremsvorgang von Fahrzeugen, auf Reisekomfort, Sicherheit und Festigkeitsbeanspruchung wurde analysiert. Abschließend wurden die zugänglichen Empfehlungen und Vorschriften und einige Meßergebnisse bekanntgegeben.

Es zeigt sich, daß die vorhandenen Kenntnisse noch nicht ausreichen und auf diesem Gebiete weitere Forschungstätigkeit erforderlich ist.

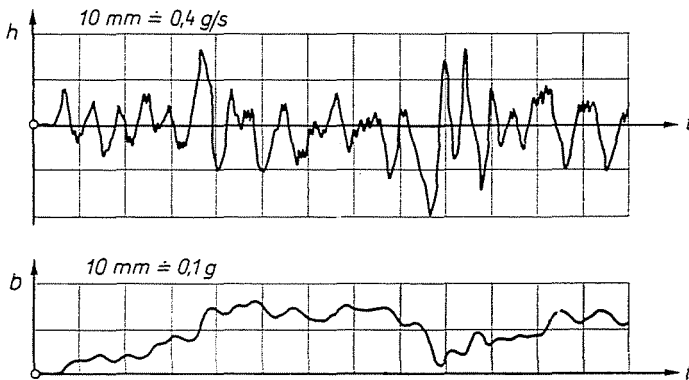


Abb. 10. Oszillogramm eines schnellen Anfahrvorganges

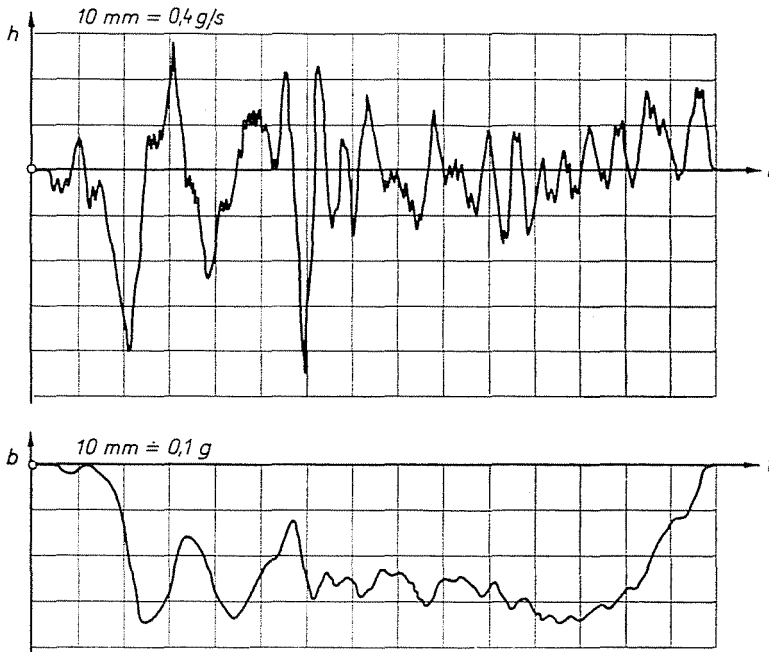


Abb. 11. Oszillogramm eines schnellen Bremsvorganges

### Zusammenfassung

Der Beitrag erörtert den Unterschied zwischen den Begriffen der zeitlichen Änderung der Beschleunigung und des Ruckes und gibt für den letzteren eine allgemeingültige Definition. Der Einfluß der beiden mechanischen Größen auf den Anfahr- und Bremsvorgang von Schienenfahrzeugen, auf den Reisekomfort, die Sicherheit der Umgebung sowie auf die Festigkeitsbeanspruchung des Fahrzeuges wird analysiert. Abschließend werden die zulässigen Werte der zeitlichen Beschleunigungsänderung und einige Meßergebnisse bekanntgegeben. Ein Teil dieser Ermittlung ist nicht nur für Schienenfahrzeuge, sondern auch für Straßenfahrzeuge gültig.

### Bezeichnungen

$b$	Beschleunigung	$r$	spezifischer Ruck
$F$	Kraft	$s$	Weg
$f$	spezifische Kraft	$t$	Zeit
$h$	zeitliche Änderung der Beschleunigung	$v$	Geschwindigkeit
$J$	Massenmoment zweiter Ordnung	$W$	Widerstand
$M$	Drehmoment	$\varepsilon$	Winkelbeschleunigung
$m$	Masse	$\varphi$	Winkelverdrehung
$R$	Ruck	$\rho$	Krümmungsradius

### Literatur

1. HOCHMUTH, A.—WENDE, D.: Fahrdynamik der Landfahrzeuge. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1968.
2. AUBERLEN, R.: Vom Schwung der Fahrt zur Form der Straße. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen. Neue Folge, Heft 25. Kirschbaum-Verlag, Bielefeld 1956.
3. HORVÁTH, K.: A gyorsulásváltozás és a ruck jelentősége a közúti vasúti járművek üzemében. Budapest 1969, Forschungsbericht (Über die Bedeutung der Beschleunigungsänderung und des Ruckes im Betrieb der Straßenbahnfahrzeuge).
4. REINFELD, H.: Einfluß des Ruckes auf den Anfahr- und Bremsweg. Verkehr und Technik Bd. 21 (1968) S. 330 bis 334.
5. HORVÁTH, K.: A gyorsulásváltozás befolyása az indítási és a fékezési folyamatra (Über den Einfluß der zeitlichen Änderung der Beschleunigung auf den Anfahr- und Bremsvorgang). Unveröffentlichtes Manuskript am Lehrstuhl für Schienenfahrzeuge der Technischen Universität Budapest.
6. GRASSMANN, E.: Fahrdynamische Erfordernisse für den Nahschnellverkehr von Schienenbahnen. Herausgegeben in Zusammenarbeit mit der TU Berlin, Fakultät für Bauingenieurwesen, vom Bauverlag GmbH, Wiesbaden—Berlin 1966.
7. Pflichtenheft für Neukonstruktionen im Nahverkehr. BVB, Berlin 1966.
8. Helyi közforgalmú vasúti személyszállító járművek tervezési és korszerűsítési irányelvei. (Entwicklungstendenzen bei der Neu- bzw. Rekonstruktion der schienengebundenen Fahrzeuge des Stadtverkehrs). Forschungsbericht des Lehrstuhls für Schienenfahrzeuge der Technischen Universität Budapest, 1969.
9. SCHWANTER, R.: Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ruck und Übergangsbogen. Wirtschaftliche und Technische Schriftenreihe im Verlag Ernst Arnold, Dortmund 1962. Heft 6.

Prof. Dr. Károly HORVÁTH, 1502 Budapest, Postfach 91, Ungarn