

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2446

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Prof. Dr. -Ing. Werner Leins
Dipl. -Ing. Horst Karrenberg

Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau
der Rhein. -Westf. Techn. Hochschule Aachen

Der Einfluß von Wind auf die
Sicherheit im Straßenverkehr



Westdeutscher Verlag 1974

© 1974 by Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen
Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

ISBN-13: 978-3-531-02446-2 e-ISBN-13: 978-3-322-88259-2
DOI: 10.1007/978-3-322-88259-2

V o r w o r t

In der Statistik der Straßenverkehrsunfälle wird die Unfallursache Seitenwind nicht gesondert aufgeführt. Wenn auch Unfälle infolge Seitenwind zahlenmäßig nicht sehr häufig sind, so sind die Unfälle, an denen Seitenwind beteiligt ist, wegen der hohen umgesetzten Energien - nur bei hohen Fahrgeschwindigkeiten ereignen sich Seitenwindunfälle - sehr schwer. Daraus leitet sich in Verbindung mit den heute üblichen hohen Fahrgeschwindigkeiten die Forderung zur Verminderung dieser Verkehrsgefahr ab.

Das Problem des Einflusses von Wind auf die Sicherheit im Straßenverkehr ist bereits in mehreren Arbeiten behandelt worden; ich verweise insbesondere auf die Untersuchungen von Bitzl. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die vielfältigen Erscheinungsformen des Windes, insbesondere der Windfeinstruktur, zu untersuchen. Die Windfeinstruktur umschreibt die Kennwerte der kurzfristigen Böigkeit. Des weiteren soll versucht werden, ein Verfahren zu entwickeln, das es gestattet, die bisher qualitativ vermuteten Strömungsverhältnisse im Straßenraum quantitativ zu erfassen, um darauf aufbauend bereits im Entwurfsstadium Straßenabschnitte latenter Seitenwindgefährdung zu erkennen. Auf diese Weise soll angestrebt werden, durch geeignete Trassierung seitenwindgefährdete Straßenabschnitte gar nicht erst entstehen zu lassen, oder, wenn dies nicht möglich ist, frühzeitig Schutzmaßnahmen einzuleiten.

Die vorliegende Arbeit wurde durch einen Forschungsauftrag des Ministers für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert, dessen Referenten und Mitarbeitern ich für ihre Unterstützung danke.

Professor Dr.-Ing. W. Leins

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Einführung	1
2. Stand der Erkenntnisse - Grundlagen	3
2.1 Kybernetisches Regelkreismodell Mensch - Fahrzeug - Fahrbahn - Umwelt	3
2.2 Die Umwelt - Windverhältnisse in Mitteleuropa	4
2.21 Einführung	4
2.22 Grobstruktur	7
2.22.1 Allgemeine Windverhältnisse in Mitteleuropa	7
2.22.2 Jahreszeitliche Verteilung der mitt- leren Windgeschwindigkeiten	8
2.22.3 Täglicher Gang der mittleren Windge- schwindigkeiten	8
2.22.4 Sturmhäufigkeit und größte Windstärken	9
2.22.5 Vertikales Windgeschwindigkeitsprofil	10
2.22.6 Lokale Einflüsse	12
2.23 Feinstruktur	13
2.23.1 Ungestörte Böigkeit	13
2.23.2 Gestörte Böigkeit	19
2.3 Der Mensch - Reaktionsverhalten und Reaktions- zeit	20
2.4 Das Kraftfahrzeug und die Fahrbahnoberfläche	25
2.41 Anforderungen an das Fahrverhalten	25
2.42 Luftkräfte und -momente am Fahrzeug	29
2.42.1 Entstehung	29
2.42.2 Größe	31
2.43 Seitenführungskräfte am Fahrzeug	40
2.43.1 Kraftschluß Reifen-Fahrbahnoberfläche	40

	Seite	
2.43.2	Schräglauf	42
2.44	Fahrbewegungen nach Seitenwind- angriff	44
2.44.1	Stand der Erkenntnisse	44
2.44.2	Eigene Untersuchungen	46
2.45	Stabilisierungsmaßnahmen	51
3.	Aufgabenstellung und Zielsetzung	57
4.	Meß- und Auswerteprogramm	59
4.1	Allgemeine Windverhältnisse	59
4.2	Böigkeit des ungestörten Freilandwindes	59
4.3	Windströmungsverhältnisse im Straßenraum	60
5.	Windverhältnisse in Nordrhein-Westfalen	61
5.1	Unterlagen	61
5.2	Häufigkeit der Windstärken	61
5.3	Jahreszeitliche Verteilung der Stürme	63
5.4	Jahreszeitliche Häufigkeit der Windstärken und Windrichtungen	64
5.5	Lokale Abweichungen	69
5.6	Ergebnisse	70
6.	Böigkeit des ungestörten Freilandwindes	72
6.1	Meßeinrichtung	72
6.2	Auswerteverfahren	73
6.3	Ergebnisse	76
6.31	Frequenz	76
6.31.1	Böenstöße	76
6.31.2	Böenstoßfolgen	76
6.32	Korrelationen zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit und den Böigkeits- kennwerten	77
6.32.1	Grundlagen	77

	Seite	
6.32.2	Korrelation der mittleren Windgeschwindigkeit w_m mit dem Bögigkeitsfaktor $\frac{\max w_o}{w_m}$ bei Böenstößen	78
6.32.3	Korrelation zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit und der maximalen und mittleren Beschleunigung sowie Verzögerung der Böen	79
6.32.31	Böenstöße	79
6.32.32	Böenstoßfolgen	80
6.32.4	Korrelation zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit und den Seitenkräften	81
6.32.41	Grundlagen	81
6.32.42	Korrelation der mittleren Windgeschwindigkeit mit dem Verhältnis des maximalen zum mittleren erforderlichen seitlichen Kraftschlußbeiwert	82
6.32.43	Korrelation des mittleren erforderlichen seitlichen Kraftschlußbeiwertes mit dem Verhältnis des maximalen zum mittleren erforderlichen seitlichen Kraftschlußbeiwert	85
6.33	Zusammenfassung	87
7.	Strömungsverhältnisse im Straßenraum	90
7.1	Aufgaben und Meßstrecke	90
7.2	Geräte	90
7.3	Meßverfahren	91
7.4	Auswertung	92
7.5	Bestimmung von Gefahrenpunkten infolge gestörter Bögigkeit	95
7.6	Ergebnisse	96

	Seite
8. Windschutzanlagen an Straßen	100
8.1 Geometrische Trassierung	100
8.2 Anforderungen an die Windschutzanlagen	103
8.3 Wirkungsweise der Windschutzanlagen	104
8.31 Grundsätzliches	104
8.32 Natürliche Windschutzanlagen	105
8.33 Künstliche Windschutzanlagen	112
8.4 Aufstellort	113
8.5 Länge	119
9. Zusammenfassung	123
9.1 Inhalt	123
9.2 Künftige Aufgaben	124
Literaturverzeichnis	126
Abbildungsverzeichnis	135
Tabellenverzeichnis	139
Anlagenverzeichnis	140

FORMELZEICHEN UND INDIZES

1. Allgemein

A	kp	Auftriebskraft
α	$^{\circ}$,rad	Schräglaufwinkel
b	Torr	Luftdruck
β	$^{\circ}$	1. Einfallwinkel des Windes zur Fahr- richtung 2. Lenkeinschlagwinkel
c	-	1. Beiwert für Luftkräfte und -momente 2. Rechenkonstante
D	-	Druckmittelpunkt von W
d	mm	Wasserfilmdicke auf Fahrbahnoberfläche
e_N	m	Abstand zwischen D und SP
F	m^2	Fahrzeugstirnfläche (größter Spantquer- schnitt
f_2	-	seitlicher Kraftschlußbeiwert (auch radialer Kraftschlußbeiwert, Seiten- führungsbeiwert)
G	kp	Fahrzeuggewicht
L	mkp	Rollmoment (auch Wankmoment genannt)
l	m	Achsabstand (Radstand)
M	mkp	Nickmoment
N	mkp	Giermoment
p	‰	Schrägneigung der Fahrbahnoberfläche
q	‰	Querneigung der Fahrbahnoberfläche
q	kp/m^2	Staudruck in Richtung von W
q_r	kp/m^2	resultierender Staudruck in Richtung von v_r

R	m	Radius
ρ	$\text{kp} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$	Luftdichte
S	kp	1. Seitenwindkraft quer Fahrtrichtung 2. Seitenführungskraft
SP	-	Schwerpunkt
T	kp	Luftwiderstand in Fahrzeuglängsachse
t	s	Zeitspanne
τ	°	resultierender Anströmwinkel
V	km/h	Fahrgeschwindigkeit
V_E	km/h	Entwurfsgeschwindigkeit
v	m/s	Fahrgeschwindigkeit
v_r	m/s	resultierende Anströmgeschwindigkeit aus Fahr- und Windgeschwindigkeit
W	kp	gesamte horizontal am Fahrzeug angrei- fende Luftkraft
w	m/s	Windgeschwindigkeit
w_b	m/s	bezogene Windgeschwindigkeit im Stra- ßenraum: $w_b = \frac{w_G}{w_F} \cdot w_K$
w_F	m/s	ungestörte Freilandwindgeschwindigkeit
w_G	m/s	durch Hindernisse gestörte Windgeschwin- digkeit
w_K	m/s	kritische Windgeschwindigkeit (untere Grenze latenter Seitenwindgefährdung)
w_m	m/s	mittlere Windgeschwindigkeit (=Quotient aus Windweg und betrachteter Zeitspanne)
y	m	Spurabweichung von Sollspur
-	Beaufort	Windstärke

2. Bögigkeitskennwerte (s. auch Bild 26)

2.1 Böenstöße

t	s	Teilzeitspanne einer Messung (in der Regel etwa 5 Min.)
w_m	m/s	mittlere Windgeschwindigkeit während der Teilzeitspanne t (= Quotient aus Windweg und Teilzeitspanne t)
f	s^{-1}	Frequenz der Böenstöße
o,u	-	Index für oberen bzw. unteren Windgeschwindigkeitswert
max w_o	m/s	
min w_o	m/s	maximaler bzw. minimaler oberer
max w_u	m/s	bzw. unterer Windgeschwindigkeitswert
min w_u	m/s	
+, -	-	Kennzeichnung der Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit
b_m	m/s^2	arithmetisches Mittel der Beschleunigungen aller Böenstöße
maxb	m/s^2	maximale, positive bzw. negative,
minb	m/s^2	Beschleunigung eines Böenstoßes

2.2 Böenstoßfolgen (Abweichungen und Ergänzungen zu den Zeichen für Böenstöße)

S	kp	Seitenwindkraft quer zur Fahrtrichtung
max S_o	kp	maximale bzw. minimale Seitenwindkräfte
min S_u	kp	einer Böenstoßfolge
t	-	Index für einen über die Dauer einer Böenstoßfolge berechneten Mittelwert