

# Leicht-Lkw-Kombinationen Unfallgefahr durch Seitenwind

Siegfried Brockmann

Leiter Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Presseveranstaltung

Ulm, 12. Juli 2016



# Leicht-Lkw

## Unfallgeschehen - Sturmtief "Niklas" am 31.03.2015



Unbeladen  
Schaden: ca. 150.000 €



Mit Styropor beladen



Gedreht um 180°  
Beladen mit Sickerrohren  
Fahrer leicht verletzt  
Schaden: ca. 20.000 €



Fahrer unverletzt



Mit Styropor beladen  
Schaden: ca. 20.000 €



Unbeladen  
Fahrer unverletzt



Unbeladen  
Fahrer unverletzt



"In Sachsen-Anhalt riss  
"Niklas" nach vorläufigen  
Angaben 13 Lkw um."

Fahrer verletzt

# Leicht-Lkw

## Technische Randbedingungen

- 12t-Leicht-Lkw-Kombinationen:
  - Gliederzüge mit extrem leichter Bauweise
  - Bis Oktober 2015 konnte so die 2005 für Lkw ab 12 t eingeführte Mautpflicht umgangen werden
  - Auch von Fahrern mit alter Fahrerlaubnis-kategorie 3 zu führen (neu: C1E)
  - Problematisch ist in erster Linie die hohe Windanfälligkeit:
    - > Leicht-Lkw wiegen vollbeladen und bei gleichen Abmessungen immer noch ca. 3 t weniger als übliche Fernlastzüge im leeren Zustand
  - Kombination aus geringem Gewicht und großer seitlicher Windangriffsfläche bereits Ursache zahlreicher Unfälle



# Leicht-Lkw

## Technische Randbedingungen

- 12t-Leicht-Lkw-Kombination im Vergleich zum 40 t-Standard-Gliederzug:



	40 t-Standard-Gliederzug	12 t-Leicht-Lkw-Kombination	
Ladevolumen	120 m <sup>3</sup>	120 m <sup>3</sup>	110 m <sup>3</sup>
Leergewicht	15 t	7 t	
Zuladung	bis 25 t	bis 5 t	
Länge	bis 18,75 m	bis 18,75 m	
Höhe	4 m	4 m	
Laderaumhöhe	3,1 m	3,1 m	3,0 m
Anzahl Achsen	5	3	4

# Leicht-Lkw

## Technische Randbedingungen



- Relevanz im Verkehrsgeschehen:

- Verkehrszählungen an drei Güterverkehrsknotenpunkten im Westen Deutschlands:
  - Anteile von 12t-Leicht-Lkw-Kombination an allen Lkw > 3,5 t: 1% - 2,6%
- Eine BAST- Auswertung der Achslastdaten verschiedener Autobahnmesstellen für den Zeitraum zwischen Januar und Dezember 2014 ergibt:
  - Anteil vermuteter 12t-Leicht-Lkw-Kombination: ca. 2%

⇒ Bestätigung der Ergebnisse der Verkehrszählungen

- Trotz Wegfall der Mautbefreiung stocken einige Logistikdienstleister ihren Leicht-Lkw-Fuhrpark auf:
  - Gründe laut Unternehmen:
    - Bis zu 40% niedrigerer Verbrauch bzw. CO<sub>2</sub>-Ausstoß als schwerere Lkw mit gleichem Ladevolumen



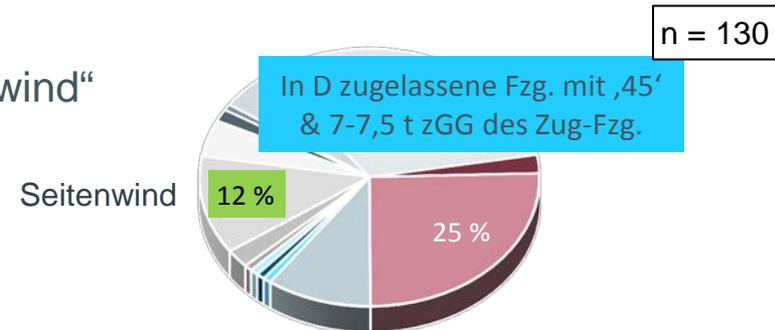
# Leicht-Lkw

## Unfallgeschehen

- Gegenüberstellung DESTATIS-Sonderabfrage und Internet-Recherche für Zeitraum 2010 - 2013:

- Sonderabfrage: 12% mit Unfallursache „Seitenwind“ von 130 Unfallereignissen

⇒ **16 Unfallereignisse** von Anhängerzügen (mit ,45‘, in Deutschland zugelassen, Zugfahrzeug mit 7-7,5 t zGG)



- Internetrecherche: 2010: 1 Meldung  
2011: 6 Meldungen  
2012: 13 Meldungen  
2013: 12 Meldungen

⇒ **32 Unfallereignisse** mit Leicht-Lkw-Kombinationen

Quelle	Datum	Wochentag	Fahrzeit	Region	Bild	Verursach	Stunde	Stundezeit	Ort	Verletzung
Q10	21.01.2010	Di	03:30h	Altler Plaut, Rheinland-Pfalz		Windböe			Lennart	Ausstrahlung
Q10	28.10.2010	Mo		A30 bei Querfel, Sachsen-Anhalt		Sturm	Christen		Bullhead	Ausstrahlung
Q10	28.10.2010	Mo		B75 zwischen Völs und Brixental, Thüringen		Wind			Christen	Bundschuh
	28.10.2010	Mo		B75 zwischen Oberlungwitz und Lugitz					Christen	Schaumstoff für Metzger
Q102	28.10.2010	Mo		bei Selgheim, Niedersachsen		Sturm			Christen	
Q10	28.10.2010	Mo	n/a	A20 zwischen Leer und Faum		Sturm	Christen		Christen	
	04.12.2010	Mo		A0 zwischen Gerz und Borenbach		Sturm	Xaver		Sturmteil über 70km/h am 4.12.10 abkürzender - Klemmer	Ausstrahlung
Q17	04.12.2010	Mo		Verkehrshof allerde A30, Sachsen-Anhalt		Sturm	Xaver		Sturmteil über 70km/h am 4.12.10 abkürzender - Klemmer	Ausstrahlung
Q17	04.12.2010	Mo		Verkehrshof allerde A30, Sachsen-Anhalt		Sturm	Xaver		Sturmteil über 70km/h am 4.12.10 abkürzender - Klemmer	Ausstrahlung
Q13	06.12.2010	Fr	ca. 09:30	Staatstr. 100 bei Lautzen, Thüringen		Sturm	Xaver	Xaver	Sturmteil	
Q105	28.10.2010	Mo	ca. 11:45h	zwischen Leopold und Böberköde, Thür		Sturm	Christen	Christen	Landes	gering

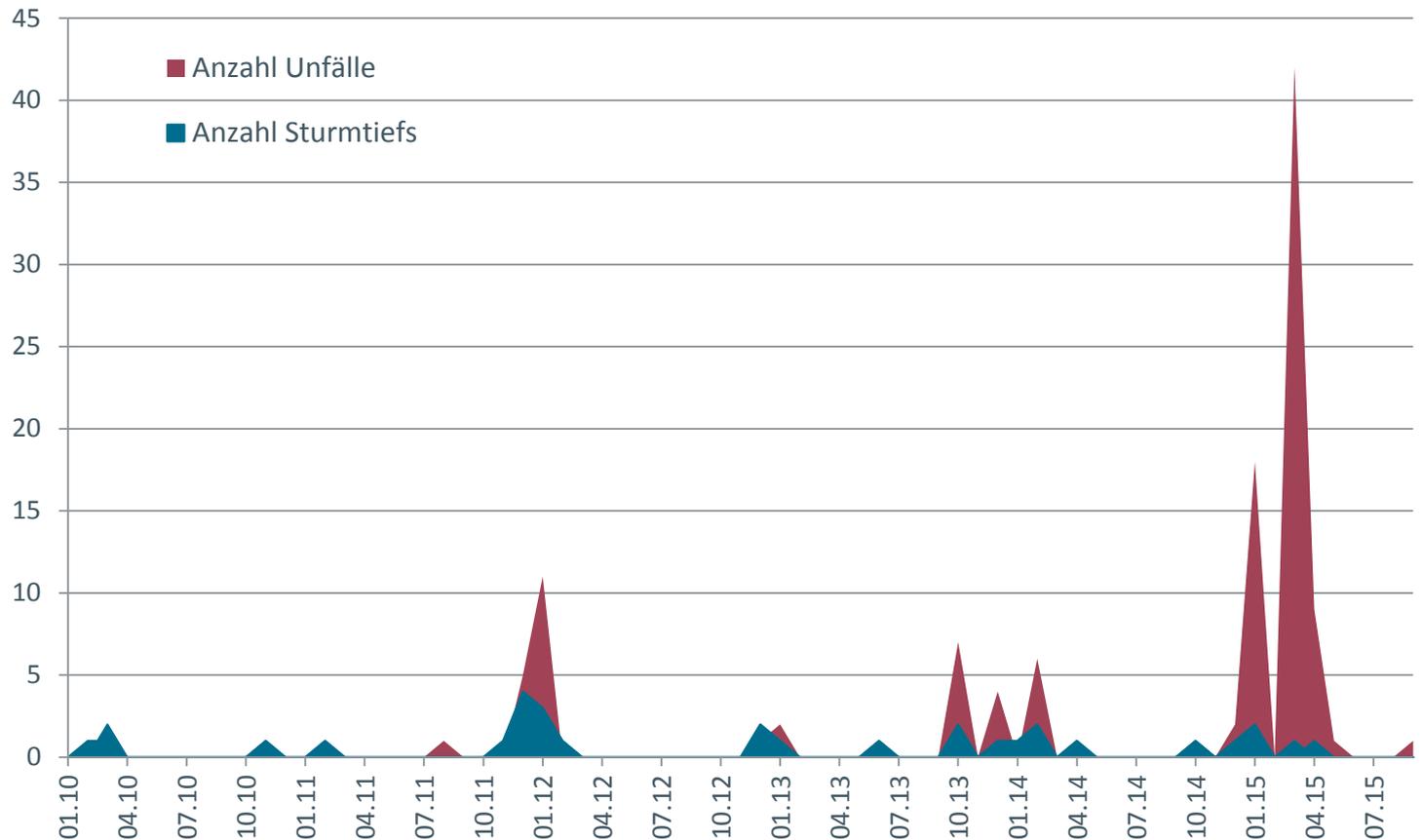
Im Zeitraum 2010 – 2013 geschahen mindestens doppelt so viele Unfälle (nicht unbedingt VUA-relevant) als Sonderauswertung der Unfallstatistik ausweist

# Leicht-Lkw

## Unfallgeschehen

- Recherche zu Leicht-Lkw-Unfällen im Zeitraum 2010 – 2015 (n = 110\*):  
Im Grunde stehen alle Fälle in der Datenbank im Zusammenhang mit Sturmtiefs

*\* Informationen zu älteren Unfällen oftmals nicht mehr zugänglich, daher entfällt ein Großteil auf das Jahr 2015*



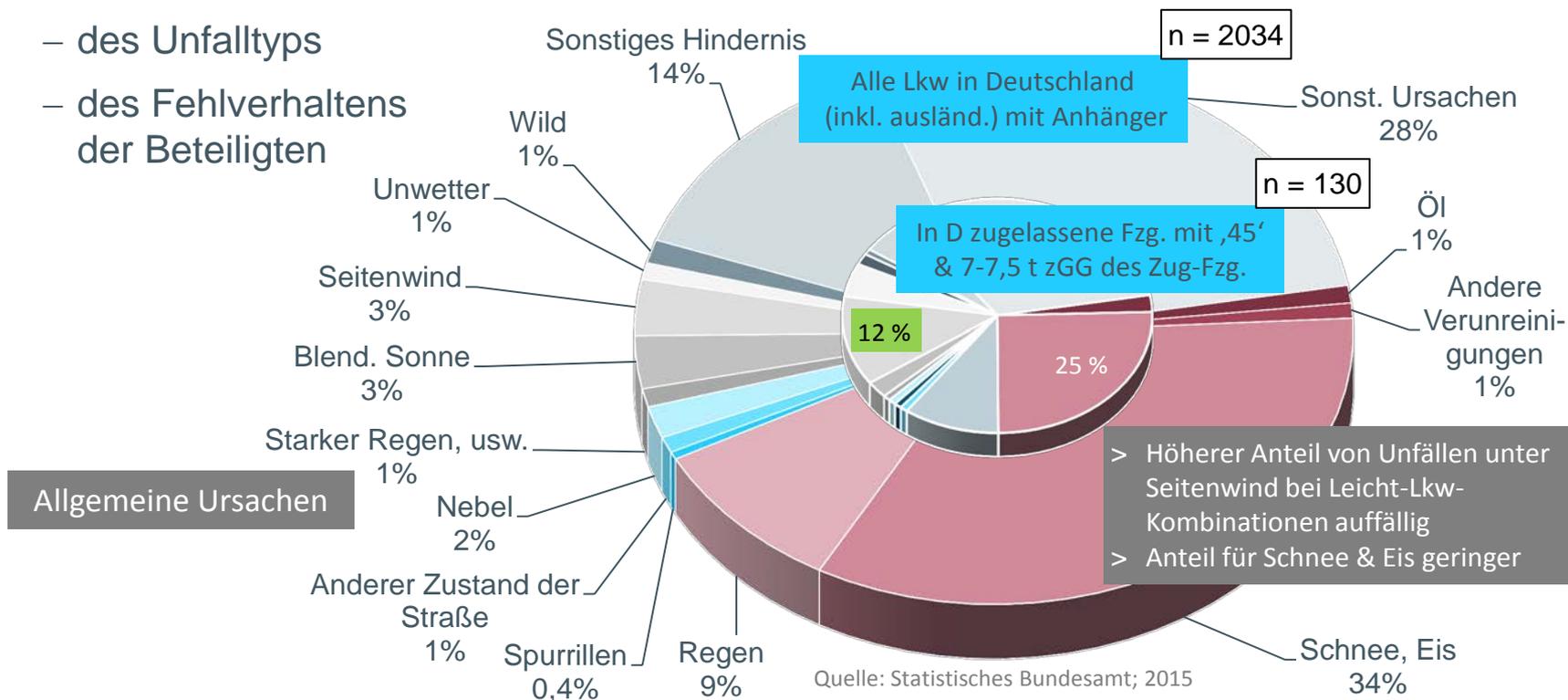
# Leicht-Lkw

## Unfallgeschehen

- DESTATIS Sonderabfrage (2010 - 2013):

- Keine relevanten Unterschiede beim Unfallgeschehen von Leicht-Lkw-Kombinationen im Vergleich zu allen Gliederzügen hinsichtlich ...
  - der Ortslage
  - der Unfallart („Abkommen rechts“ etwas weniger häufig)
  - des Unfalltyps
  - des Fehlverhaltens der Beteiligten

**DESTATIS**  
Statistisches Bundesamt



# Leicht-Lkw

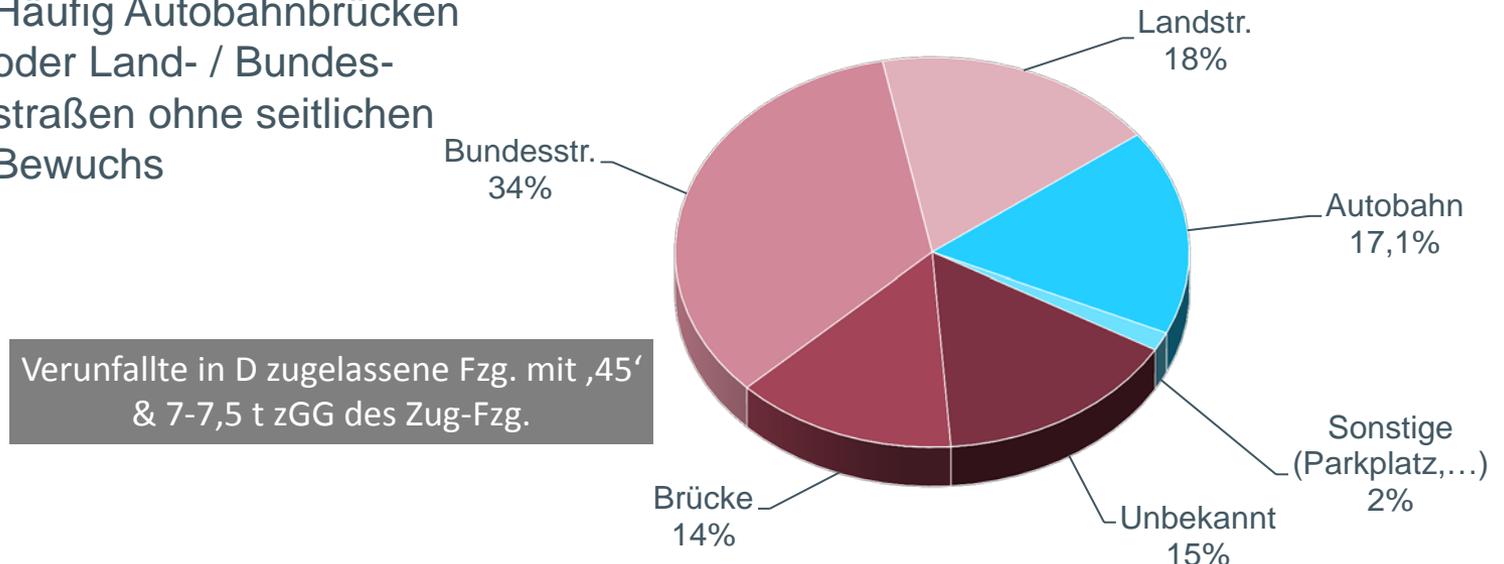
## Unfallgeschehen

### ▪ Internetrecherche zu Leicht-Lkw-Unfällen bei Wind im Zeitraum 2010 – 2015

(n = 110\*):

- Fahrzeuge oft unbeladen, insbesondere der Anhänger
  - Typische Ladung: Styropor
- Unfälle fast ausschließlich tagsüber. In der Regel zwei Szenarien:
  - 1) Nur der Anhänger kippt um und bockt das Zugfahrzeug auf
  - 2) Der Anhänger kippt zuerst um, gefolgt vom Zugfahrzeug
- Ortslage:
  - Häufig Autobahnbrücken oder Land- / Bundesstraßen ohne seitlichen Bewuchs

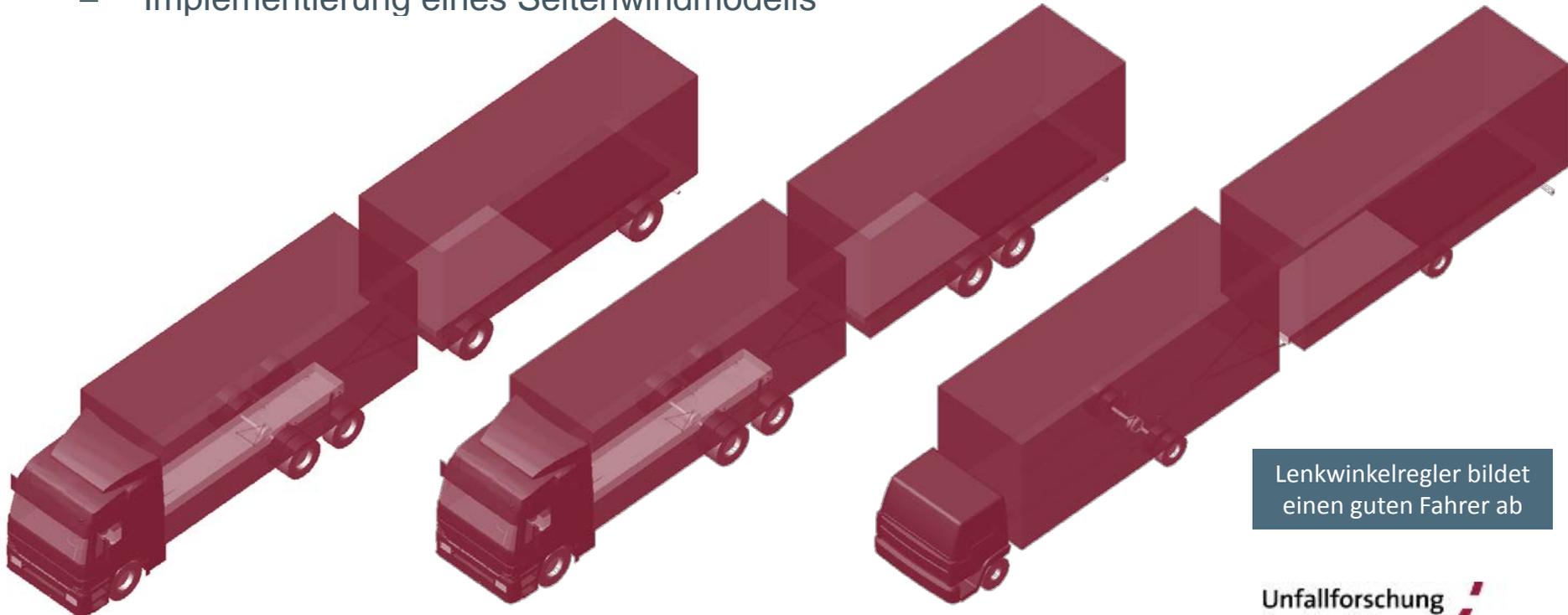
*\* Informationen zu älteren Unfällen oftmals nicht mehr zugänglich, daher entfällt ein Großteil auf das Jahr 2015*



# Leicht-Lkw

## Simulative Betrachtung der Kippstabilität

- Simulationsmodelle:
  - Nutzung eines bestehenden und validierten Modells eines 40 t Gliederzuges
  - Modellaufbau des 12 t Gliederzuges basierend auf Vermessung eines realen Fahrzeuges
  - Implementierung eines Seitenwindmodells



40 t Gliederzug mit Gelenkdeichselanhänger

40 t Gliederzug mit Starrdeichselanhänger

12 t Gliederzug mit Starrdeichselanhänger

Lenkwinkelregler bildet einen guten Fahrer ab

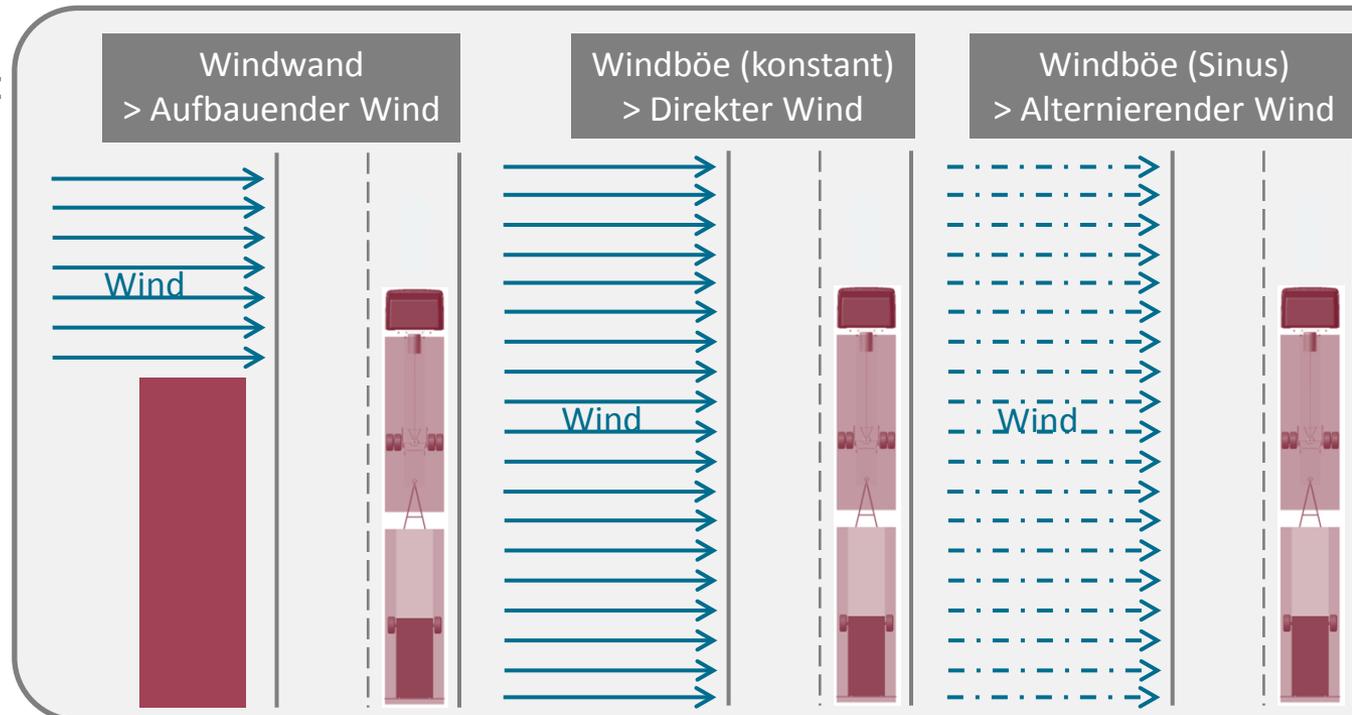
# Leicht-Lkw

## Simulative Betrachtung der Kippstabilität

- Simulationsspektrum:

- Abbildung verschiedener Beladungszustände:
  - Leer, voll beladen, nur Zugfahrzeug beladen, nur Anhänger beladen
- Abbildung verschiedener Seitenwindbelastungen:
  - Aufbauender Wind, direkter Wind → konstant und alternierend
- Abbildung versch. Fahrzeuggeschw.:
  - 30 - 85 km/h
- Abbildung versch. Windgeschw.:
  - 0 - 144 km/h
- Modellparametervariationen

Insgesamt über  
350 Simulationen



# Leicht-Lkw

## Kippgefahr und Windstärke

Windstärke (Bft-Skala)	Windgeschw. (km/h)	Bezeichnung	Auswirkung an Land	
Stärke 4	20 – 28	mäßiger Wind	Zweige bewegen sich, loses Papier vom Boden gehoben	
Stärke 5	29 – 38	frischer Wind	größere Zweige und Bäume bewegen sich	
Stärke 6	39 – 49	starker Wind	dicke Äste bewegen sich	
Stärke 7	50 – 61	starker Wind	Bäume schwanken	
Stärke 8	62 – 74	Sturm	große Bäume werden bewegt, Zweige brechen ab	
Stärke 9	75 – 88	Sturm	Äste brechen, kleinere Schäden an Häusern, Ziegel von Dächern gehoben	
Stärke 10	89 – 102	schwerer Sturm	Bäume werden entwurzelt, Baumstämme brechen	

# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Ergebnisse

- Direkter Wind:
  - 12 t Gliederzug:
    - > *Leer*:  
Kippen ab  $v_{\text{Wind}} = 58 \text{ km/h}$  (Windstärke 7), vorher bereits hohe Spurabweichungen
    - > *Voll beladen*:  
Kippen ab  $v_{\text{Wind}} = 77 \text{ km/h}$  (Windstärke 9)

	Windstärke	$v_{\text{Wind}}$		Direkter Wind	
		[m/s]	[km/h]	Leer	Beladen
$v_{\text{Fahrzeug}} = 85 \text{ km/h}$	5	10	36	$s = 0,37 \text{ m}$	$s = 0,1 \text{ m}$
	7	15	54	$s = 0,98 \text{ m}$	$s = 0,45 \text{ m}$
	7	15,5	55,8	$s = 0,99 \text{ m}$	
	7	16	57,6	$t = 0,12 \text{ s}$	$s = 0,51 \text{ m}$
	8	20	72	$t = 0,12 \text{ s}$	$s = 0,84 \text{ m}$
	9	21	75,6		$s = 0,94 \text{ m}$
	9	21,5	77,4		$t = 1,84 \text{ s}$
	9	22	79,2		$t = 1,82 \text{ s}$

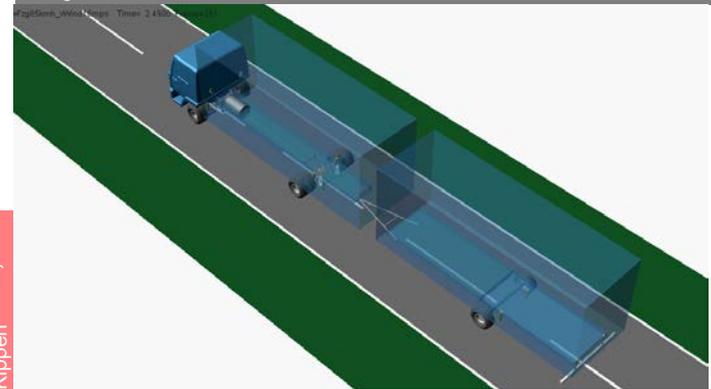
  Unkritisch   
   Kritisch   
   Kippen  
 $s = \text{Spurversatz}$      $t = \text{Zeit bis zum Radlastverlust}$

leer **beladen**

Windböe (konstant) > Direkter Wind

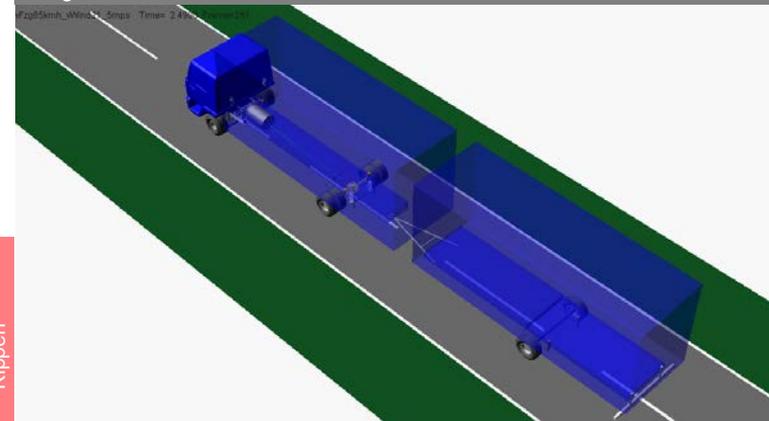


12 t Gliederzug, unbeladen  
 $v_{\text{Fzg}} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Wind}} = 16 \text{ m/s}$  (Windstärke 7)



$\Delta t_{\text{Kippen}} \approx 2,5 \text{ s}$

12 t Gliederzug, voll beladen  
 $v_{\text{Fzg}} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Wind}} = 21,5 \text{ m/s}$  (Windstärke 9)



$\Delta t_{\text{Kippen}} \approx 3 \text{ s}$

# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

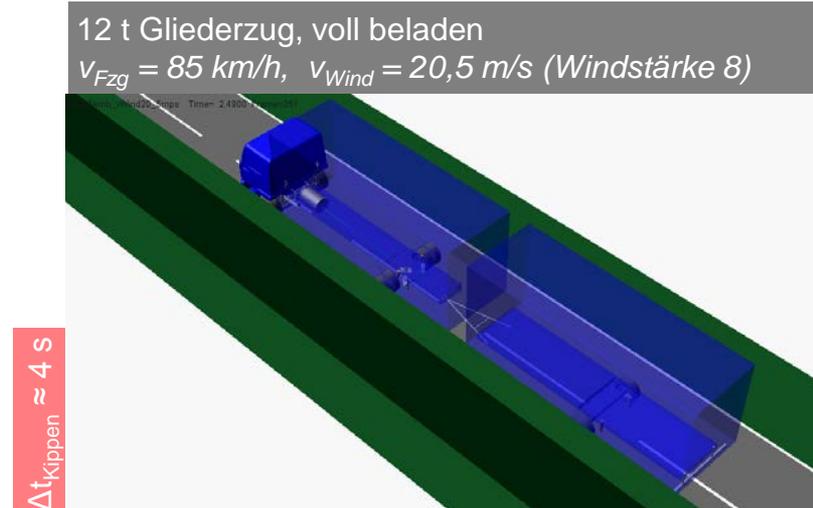
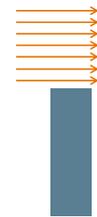
## Ergebnisse

- Aufbauender Wind:
  - 12 t Gliederzug:
    - > *Leer*:  
Kippen ab  $v_{\text{Wind}} = 56 \text{ km/h}$  (Windstärke 7), vorher bereits hohe Spurabweichungen
    - > *Voll beladen*:  
Kippen ab  $v_{\text{Wind}} = 74 \text{ km/h}$  (Windstärke 8)

	Windstärke	$v_{\text{Wind}}$		Aufbauender Wind	
		[m/s]	[km/h]	Leer	Beladen
$v_{\text{Fahrzeug}} = 85 \text{ km/h}$	5	10	36	$s = 0,37 \text{ m}$	$s = 0,1 \text{ m}$
	7	15	54	$s = 0,91 \text{ m}$	$s = 0,44 \text{ m}$
	7	15,5	55,8	$t = 1,47 \text{ s}$	
	7	16	57,6	$t = 1,22 \text{ s}$	$s = 0,5 \text{ m}$
	8	20	72	$t = 1,2 \text{ s}$	$s = 0,84 \text{ m}$
	8	20,5	73,8		$t = 1,58 \text{ s}$
	9	21	75,6		$t = 1,49 \text{ s}$
	9	22	79,2		

  Unkritisch   
   Kritisch   
   Kippen

$s = \text{Spurversatz}$        $t = \text{Zeit bis zum Radlastverlust}$



# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Ergebnisse

		<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></span> <i>Unkritisch</i> <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black;"></span> <i>Kritisch</i> <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FF0000; border: 1px solid black;"></span> <i>Kippen</i>													
Windstärke	$v_{\text{Fahrzeug}}$ 85 km/h		12 t Gliederzug mit Starrdeichselanhänger				40 t Gliederzug mit Gelenkdeichselanhänger				40 t Gliederzug mit Starrdeichselanhänger				
	$v_{\text{Wind}}$		<i>Direkter Wind</i>		<i>Aufbauender Wind</i>		<i>Direkter Wind</i>		<i>Aufbauender Wind</i>		<i>Direkter Wind</i>		<i>Aufbauender Wind</i>		
[Bft]	[m/s]	[km/h]	leer	beladen	leer	beladen	leer	beladen	leer	beladen	leer	beladen	leer	beladen	
3	5	18	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	
5	10	36	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	
7	15	54	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	
7	15,5	55,8	Kritisch	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	
7	16	57,6	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	
8	20	72	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
8	20,5	73,8	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
9	21	75,6	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
9	21,5	77,4	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
9	22	79,2	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
9	23	82,8	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	
9	23,5	84,6	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Kritisch	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	
9	24	86,4	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	
10	25	90	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	Kippen	Unkritisch	
11	30	108	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	
12	35	126	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	
12	40	144	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	Kippen	Kritisch	

# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Parametervariationen

- Einfluss des Fahrerreglers beim 12 t Gliederzug:
  - Standard Adams/Car Fahrermodell entspricht einem gut reagierenden Fahrer (Reaktionszeit: ca. 20 ms)
  - Ein ungeregeltes Modell mit konstantem Lenkwinkel von  $0^\circ$  führt zu höheren Spurabweichungen
    - Das Fahrzeug wird schneller instabil
  - Kippgrenze verschiebt sich für das unbeladene Modell von  $v_{Wind} = 16 \text{ m/s}$  zu  $v_{Wind} = 14 \text{ m/s}$

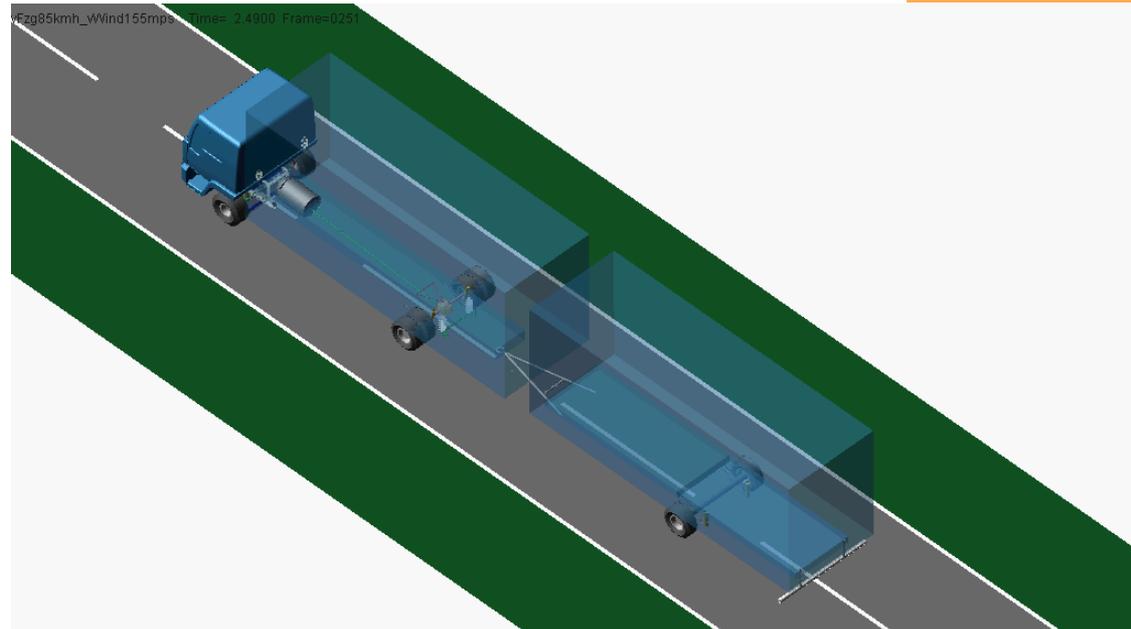
Ohne Regler

leer beladen

Windböe (konstant) > Direkter Wind

Wind

12t Gliederzug, unbeladen  
 $v_{Fzg} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{Wind} = 15,5 \text{ m/s}$



# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Parametervariationen

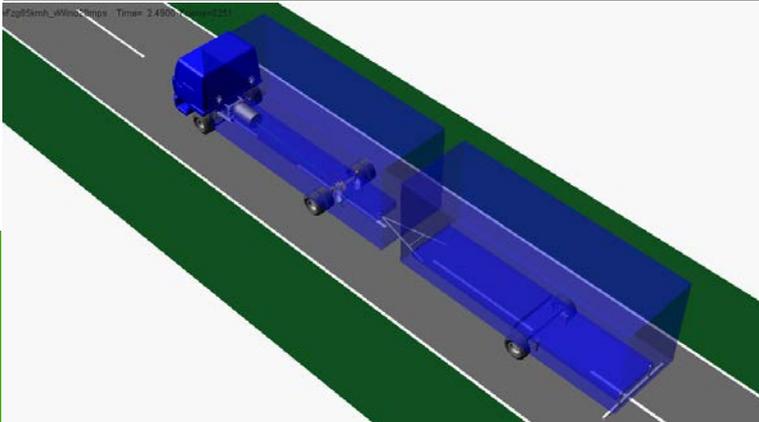
- Einfluss eines ungleichen Beladungszustands beim 12 t Gliederzug:
  - Nur Zugfahrzeug beladen:
    - > Anhänger ähnlich kritisch wie bei komplett unbeladenem Gespann
  - Nur Anhänger beladen:
    - > Kippen ab  $v_{\text{Wind}} = 72 \text{ km/h}$  (Windstärke 8) → Zugmaschine kritisch
    - > Zum Vergleich: Kippen im voll beladenen Zustand ab  $v_{\text{Wind}} = 77 \text{ km/h}$  (Windstärke 9)

leer beladen

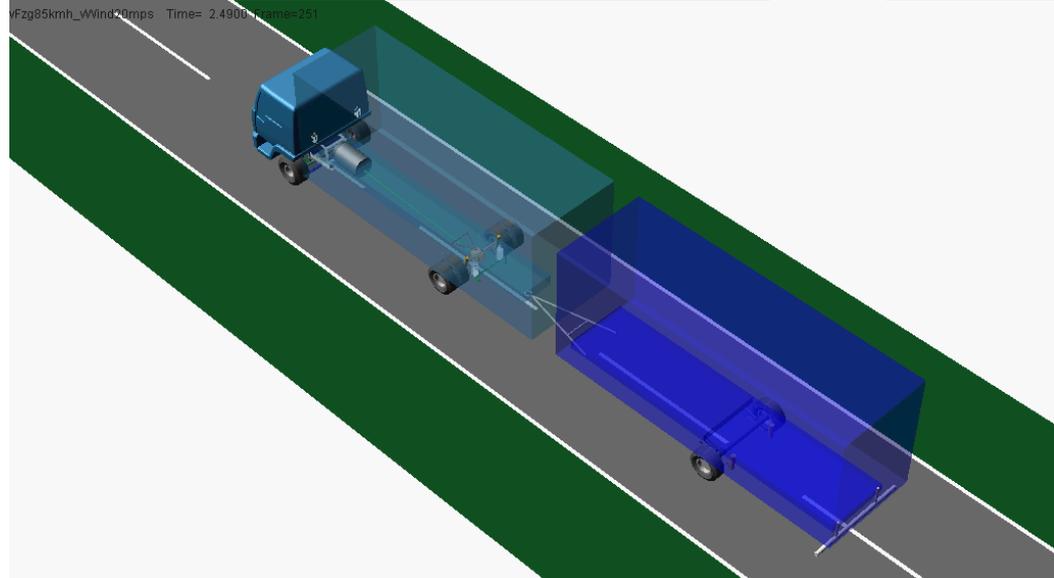
Windböe (konstant) > Direkter Wind

Wind

12 t Gliederzug, voll beladen  
 $v_{\text{Fzg}} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Wind}} = 20 \text{ m/s}$  (Windstärke 8)



12 t Gliederzug, nur Anhänger beladen  
 $v_{\text{Fzg}} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{\text{Wind}} = 20 \text{ m/s}$  (Windstärke 8)



$\Delta t_{\text{Kippen}} \approx 3 \text{ s}$

# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Parametervariationen

### ▪ Schräganströmung:

- Windangriff seitlich von vorne → 30° zur Querrichtung
  - > Zerlegung des Windkraftvektors in eine quer- & eine längsgerichtete Komponente, welche beide jeweils im Flächenschwerpunkt von Zugfahrzeug & Anhänger angreifen
  - > Kippen ab einer Windgeschwindigkeit von 17,5 m/s (63 km/h)
  - > Ohne eventuelle aerodynamische Einflüsse weniger kritisch als reine Queranströmung

leer beladen



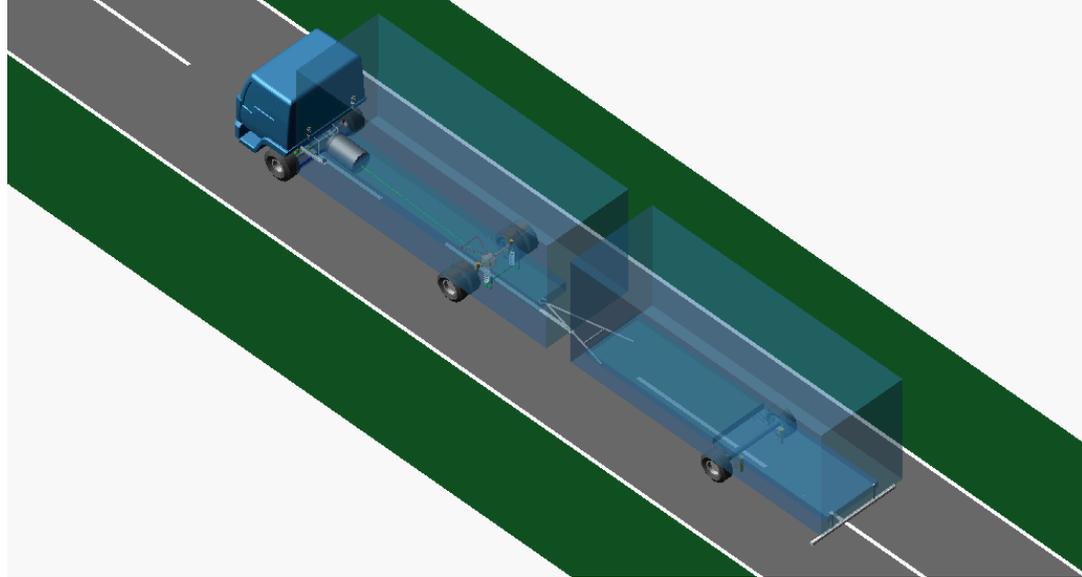
Windböe (konstant) > Direkter Wind

12 t Gliederzug, unbeladen

$v_{Fzg} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{Wind} = 16 \text{ m/s}$  (Windstärke 7),  $\alpha_{Wind} = 60^\circ$

Kein Kippen

vFzg85kmh\_vWind16mps Time= 2.4900 frame=0251

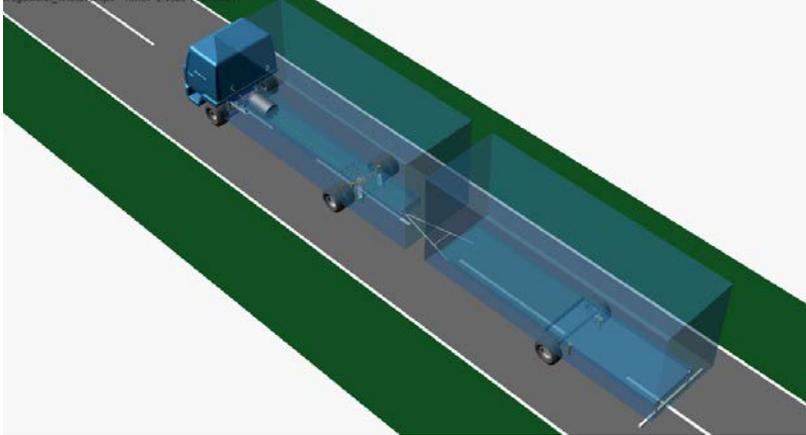


$\Delta t_{\text{Kippen}} \approx 2,5 \text{ s}$

12 t Gliederzug, unbeladen

$v_{Fzg} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{Wind} = 16 \text{ m/s}$  (Windstärke 7)

vFzg85kmh\_vWind16mps Time= 2.4900 frame=0251



# Simulation des Fahrverhaltens von LLkw unter Seitenwind

## Parametervariationen

- Anhänger mit geöffneter Plane:
  - Direkte Windkraft nur auf das Zugfahrzeug des leeren 12 t Gliederzugs
    - > Kippen erst ab einer Windgeschwindigkeit von 22 m/s (79 km/h)
    - > Auch wenn hinsichtlich eines Öffnens der Plane Aspekte wie das Überschreiten der zulässigen Fahrzeugbreite aufgrund der aufgeschobenen Plane oder die Reduzierung der Aufbausteifigkeit zu beachten sind, scheint dies mit Hinblick auf die große Seitenwindanfälligkeit des leeren Anhängers eine diskussionswürdige Maßnahme zu sein

leer
beladen

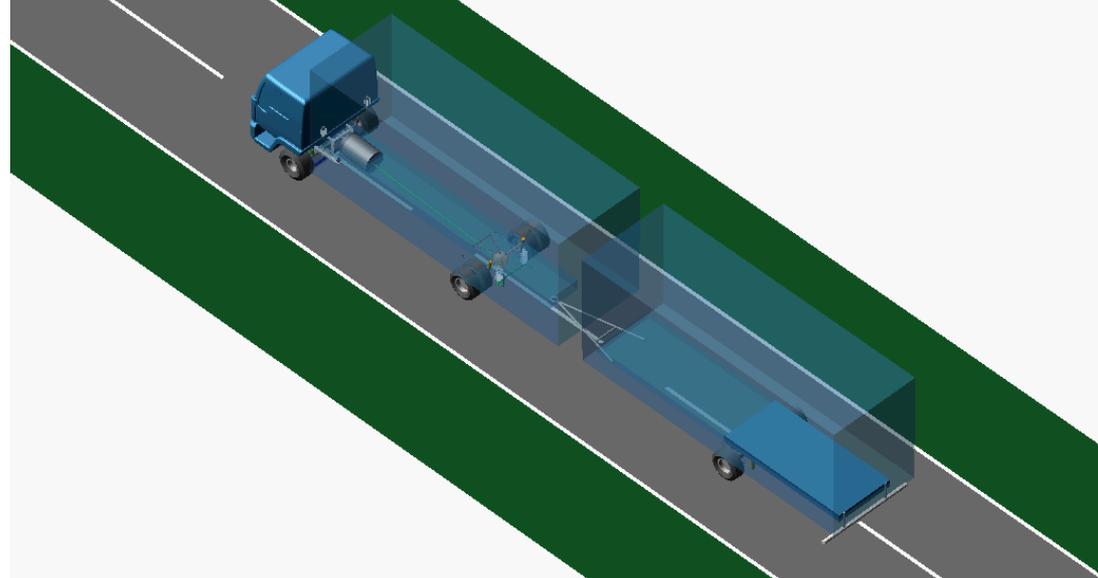
Windböe (konstant) > Direkter Wind



12 t Gliederzug, unbeladen

$v_{Fzg} = 85 \text{ km/h}$ ,  $v_{Wind} = 22 \text{ m/s}$  (Windstärke 9), Windkraft nur auf Zugfzg.

vFzg85kmh\_vWind22mps Time= 2.4800 Frame=250



# Ergebnisse

- Unfallgeschehen von 12 t – Gliederzügen zeigt große Seitenwindprobleme
- Die Simulationen zeigen:
  - Leere 12 t – Gliederzüge sind ab ca. 55 km/h Windgeschwindigkeit gefährlich
  - Für voll beladene 12 t – Gliederzüge gilt dies ab ca. 75 km/h Wind
  - Regiert der Fahrer nicht oder falsch, verschiebt sich die Grenze
  - Auch 40 – Tonner sind gefährdet, aber wesentlich später und nur leer

# Folgerungen

- Sensibilisierung der Fahrer und Spediteure:
  - § 3 StVO: Geschwindigkeit den Wetterverhältnissen anpassen
  
- Ergänzung in § 2 StVO:
  - Gliederzüge mit einer ZGM bis zu 12 t müssen ab einer Windgeschwindigkeit von 75 km/h den nächsten geeigneten Rastplatz ansteuern. Der Spediteur ist mitverantwortlich.

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.  
Unfallforschung der Versicherer  
Wilhelmstraße 43 / 43 G, D-10117 Berlin  
Postfach 08 02 64, D-10002 Berlin  
Tel.: +49 30 2020-5821  
Fax: +49 30 2020-6633

[www.udv.de](http://www.udv.de) |

