

TU Dresden, Fakultät für Maschinenwesen
Institut für Werkstoffwissenschaft
Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe und Elastomertechnik
(Prof. Gert Heinrich)

Verarbeitung von Polymerwerkstoffen

Teil 2:

Verarbeitung von Elastomeren

Der Pkw-Reifen als Prototyp eines komplexen
Hochleistungsverbundkörpers: Eigenschaften und
Charakteristika

Prof. Dr. Gert Heinrich
gheinrich@ipfdd.de
Tel.: 0351 4658 360

Fahrzeugreifen

- Entwicklung, Produktion und Eigenschaften -

Unter dankenswerter Verwendung von Unterlagen von Prof. Heinrich Huinink (Garbsen / Hannover)





Reifenaufbau für einen typischen Pkw-Reifen

Hauptbauelemente:

Reifenwulst, Karkasse, Gürtel, Laufstreifen.

Bauteile:

- (1) Laufstreifen, (2) Spulbandagen, (3) Stahlcord Gürtellagen,
(4) Textilcord Karkasse, (5) Innenschicht, (6) Seitenstreifen,
(7) Kernprofil, (8) Kern, (9) Wulstverstärker

Perfekte Bodenhaftung ist angeboren. Oder eingebaut.

„Unsere Spielräume werden enger“

So oder so. Perfekte Bodenhaftung haben beide. Nur in einem Punkte unterscheiden sie sich: Der Audi A4 als quattro ist besonders bei Regen und Kälte in seinem Element. Einem Wetter, bei dem der Gecko lieber zu Hause bleibt.

Perfekte Bodenhaftung ist angeboren. Oder eingebaut. Der Audi A4 quattro.

Audi 
Vorsprung durch Technik

Der Reifen als Bindeglied zwischen Fahrbahn und Kraftfahrzeug

Mobilität

Zum Ursprung, zur Grundlage der räumlichen und geistigen Mobilität ein Zitat von Stefan Zweig: "Alle Bewegung auf Erden beruht im wesentlichen auf zwei Erfindungen des menschlichen Geistes: die Bewegung im Raume auf der Erfindung des rollenden, seine Achse heiß umschwingenden Rades, die geistige Bewegung auf der Entdeckung der Schrift. Jener namenlose Mensch, der irgendwo und irgendwann als erster das harte Holz rund zur Felge bog, hat die ganze Menschheit die Ferne zwischen Ländern und Völkern überwinden gelehrt."

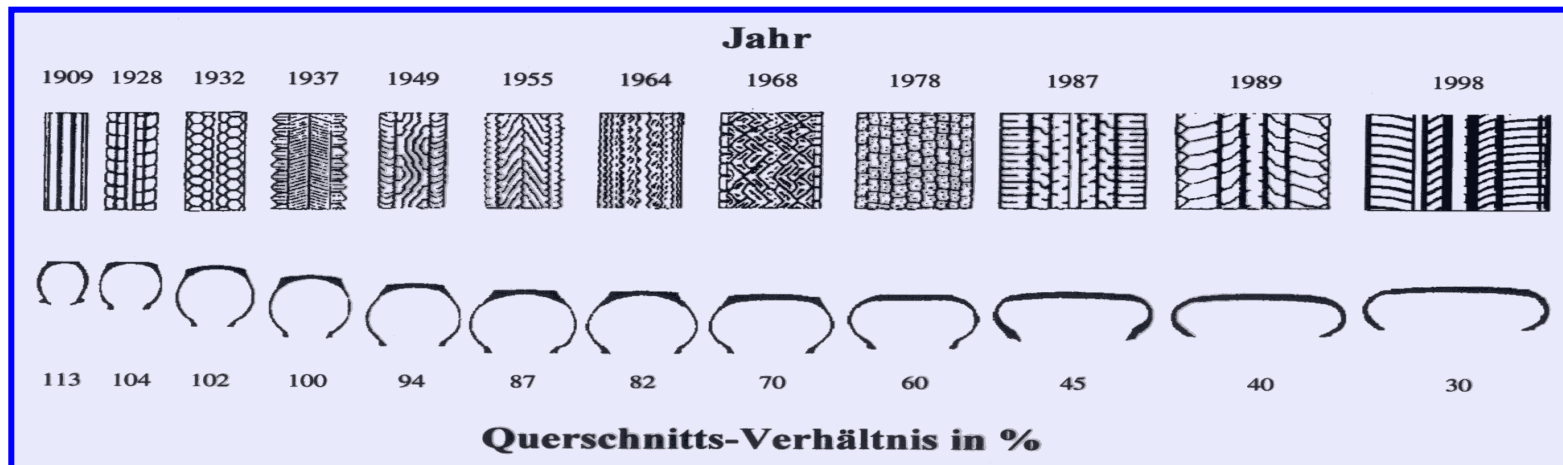
Mit dem luftgefüllten Reifen gelang ein entscheidender Schritt in der Weiterentwicklung des Rad/Reifensystems in seiner Bedeutung für Fahrverhalten und Bodenkontakt von Fahrzeugen.

Die älteste bekannte Darstellung eines Holzrades der Sumerer ist etwa 4600 Jahre alt.

Rückblick

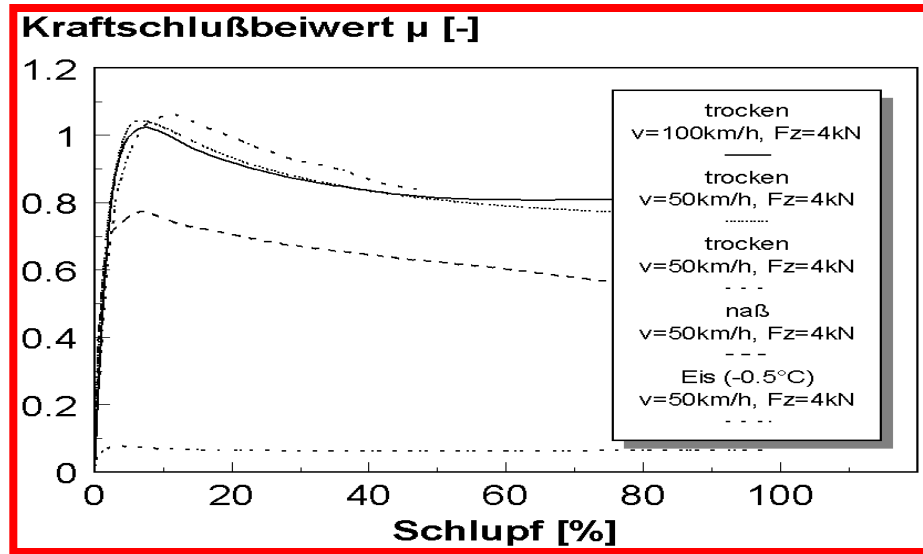
Im Jahre 1845 erhielt Robert William Thomson das britische Patent 10990 auf einem elastischen luftgefüllten Reifen aus gummiertem Gewebe und Leder bereits viele Ansätze - z.B. Nuten als Gleitschutz, Einsatz als Tragreifen für Schienenfahrzeuge, die erst sehr viel später umgesetzt wurden. Thomson war seiner Zeit weit voraus - sein Patent kam nicht zur Anwendung.

1888 wird der Luftreifen durch John Boyd Dunlop zum "zweiten" Mal erfunden und in England zum Patent angemeldet.

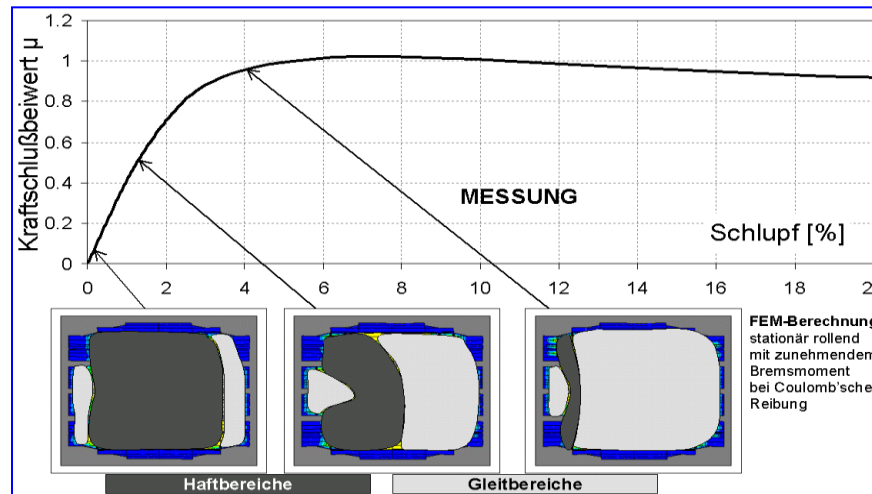


Gliederung

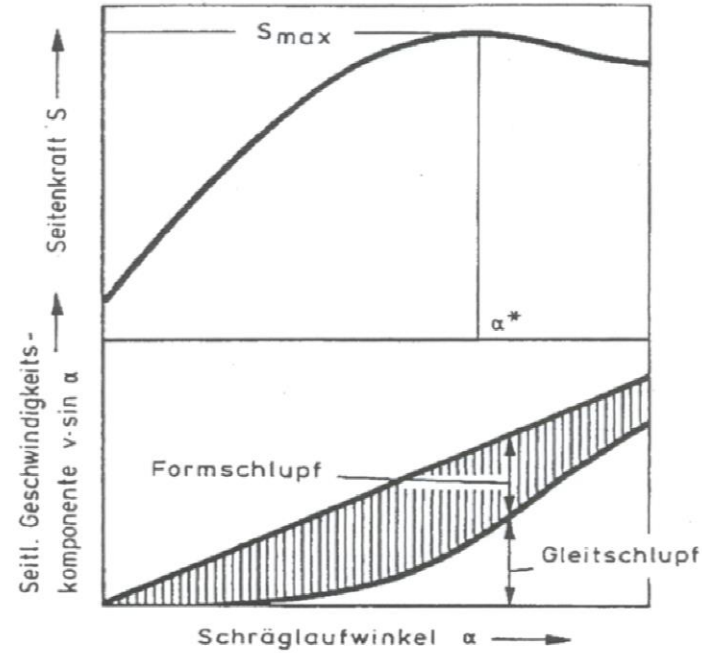
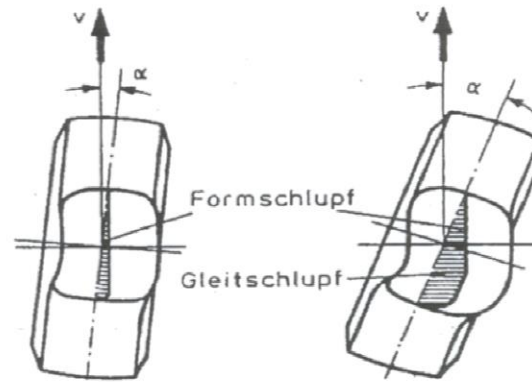
1. Tyre-Road Friction and Tyre Slip
2. Aufbau von Reifenführungskräften
3. Rollendes Rad
4. Reifen unter Quer- und Längsbelastung
5. Reifen auf nasser und winterlicher Fahrbahn
6. Fahrbahn-Reifen-Akustik und Komfort

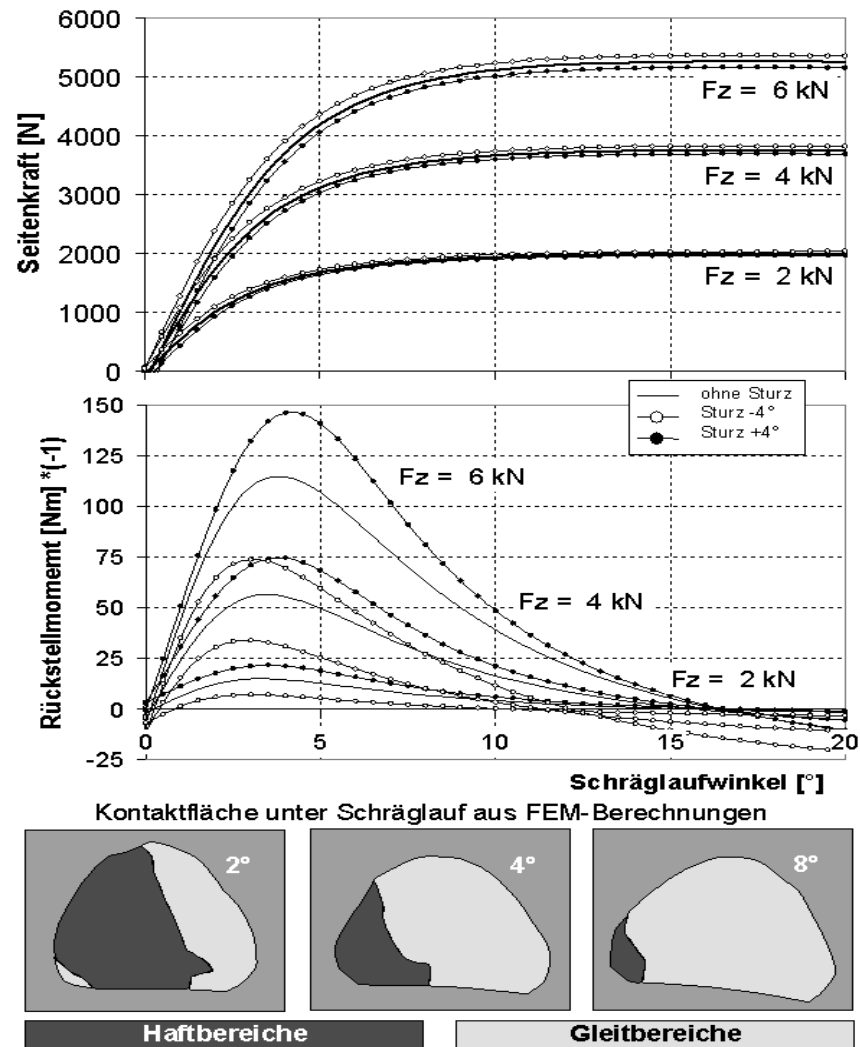


Kraftschlußbeiwert μ bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen und Einsatzbedingungen.

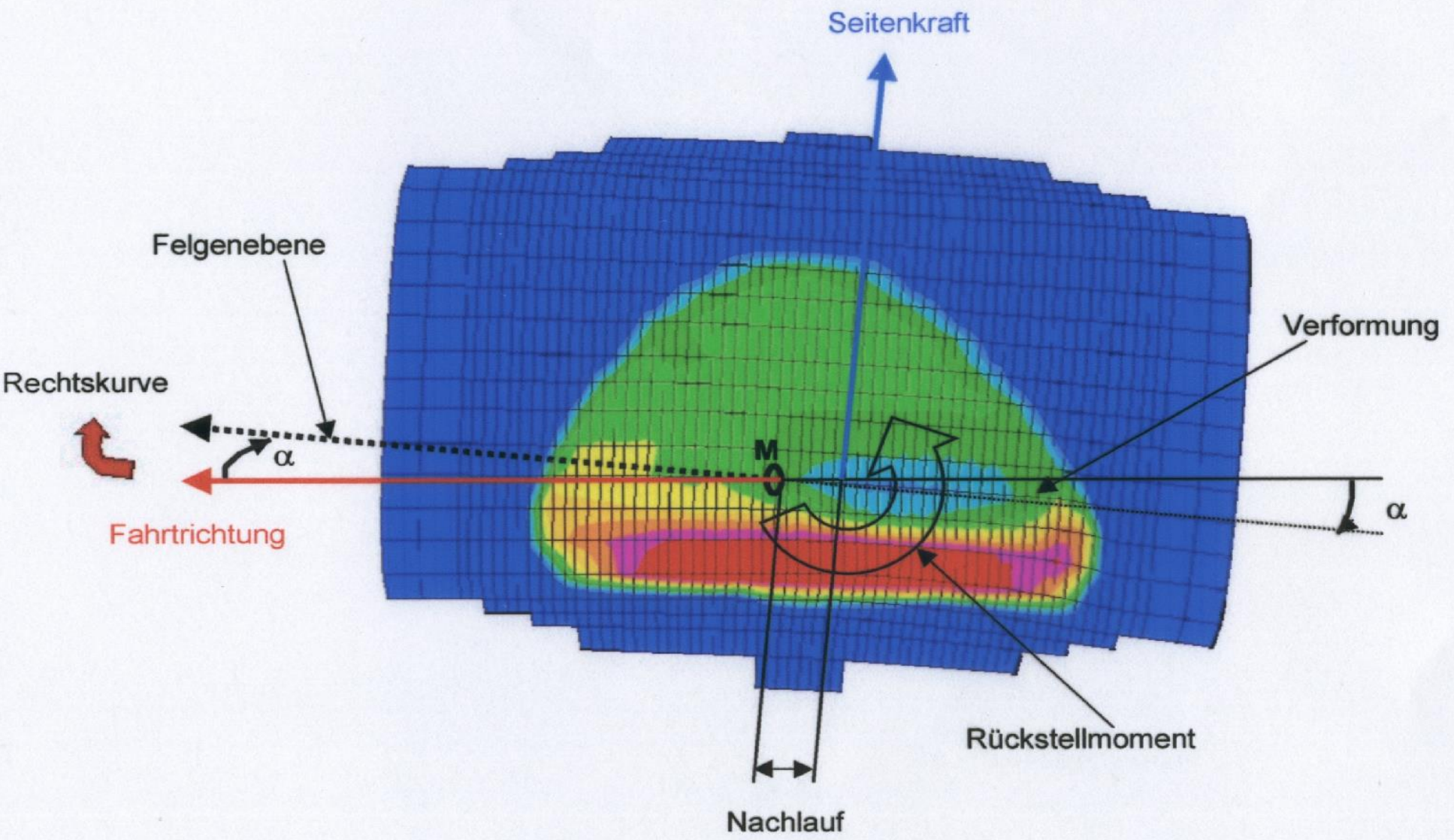


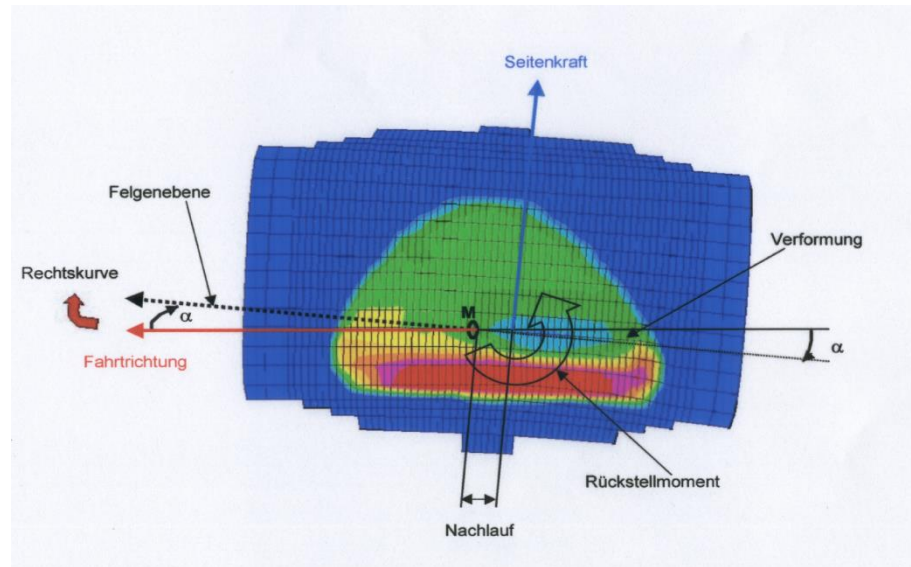
Haft- und Gleitzonen in der Bodenaufstandsfläche eines Reifens beim Bremsen bei unterschiedlichem Radschlupf aus FEM Berechnungen (links: Einlauf, rechts: Auslauf)



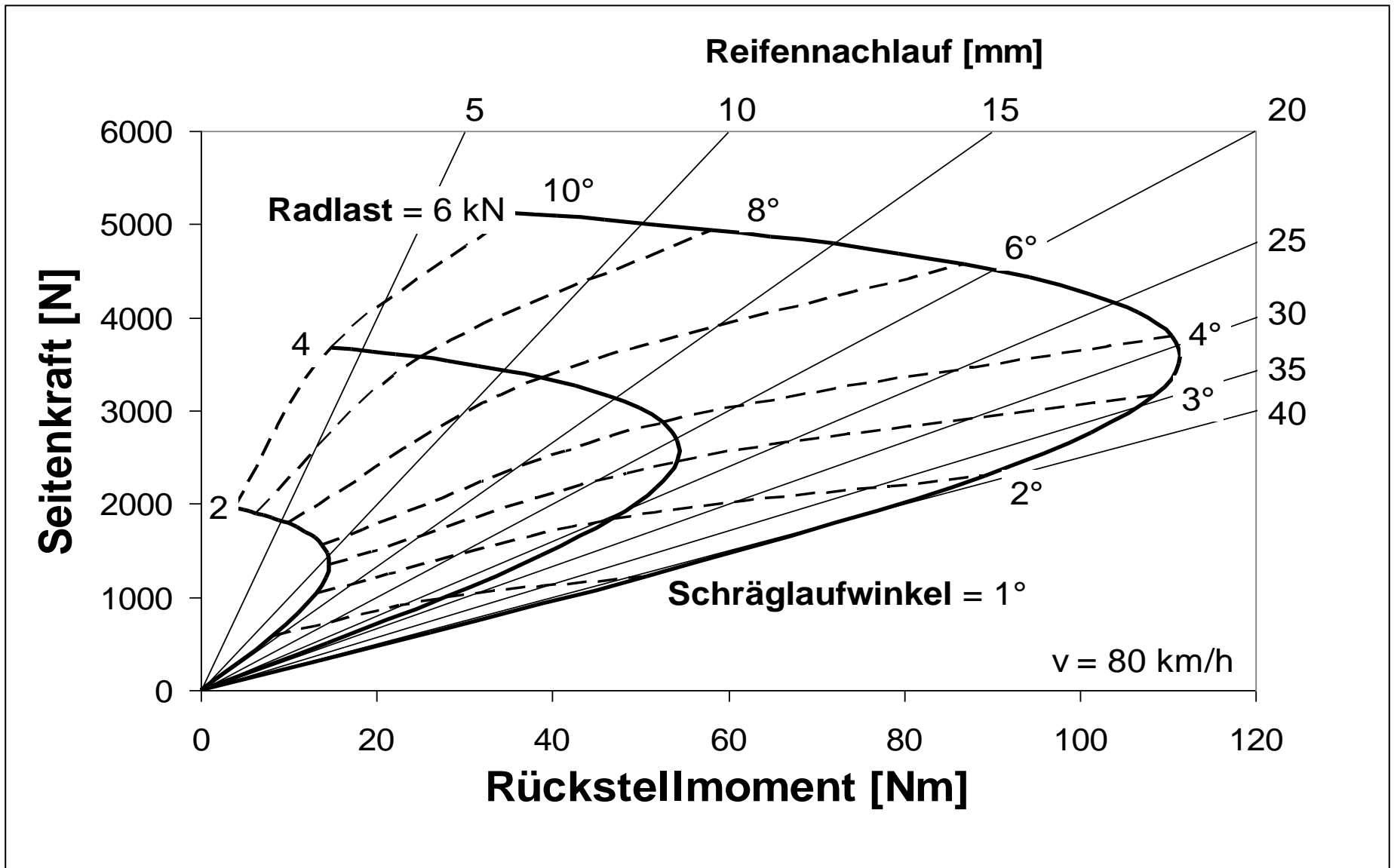


Seitenkraft und Rückstellmoment über Schräglaufwinkel für einen typischen Pkw-Reifen bei unterschiedlichen Radlasten mit zugehörigen Kontaktbereichen bei 2°, 4° und 8° Schräglaufwinkel.



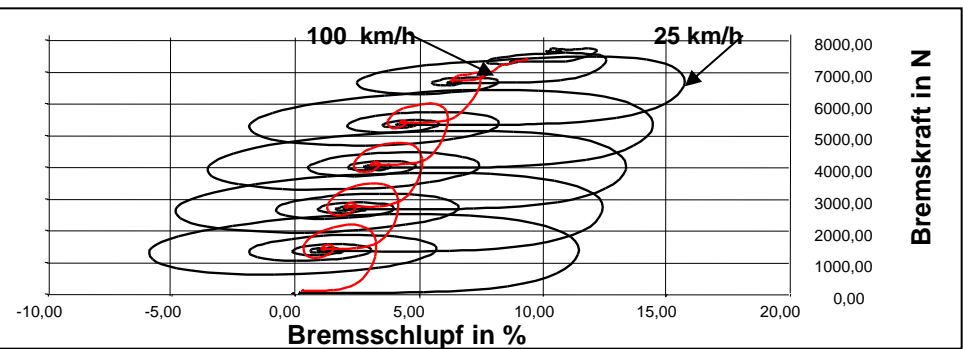
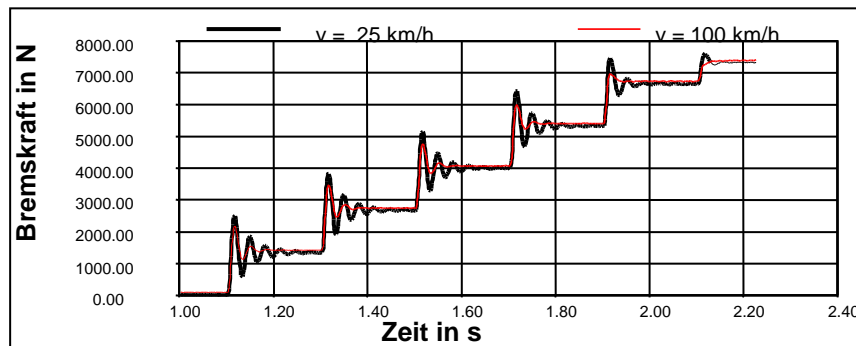
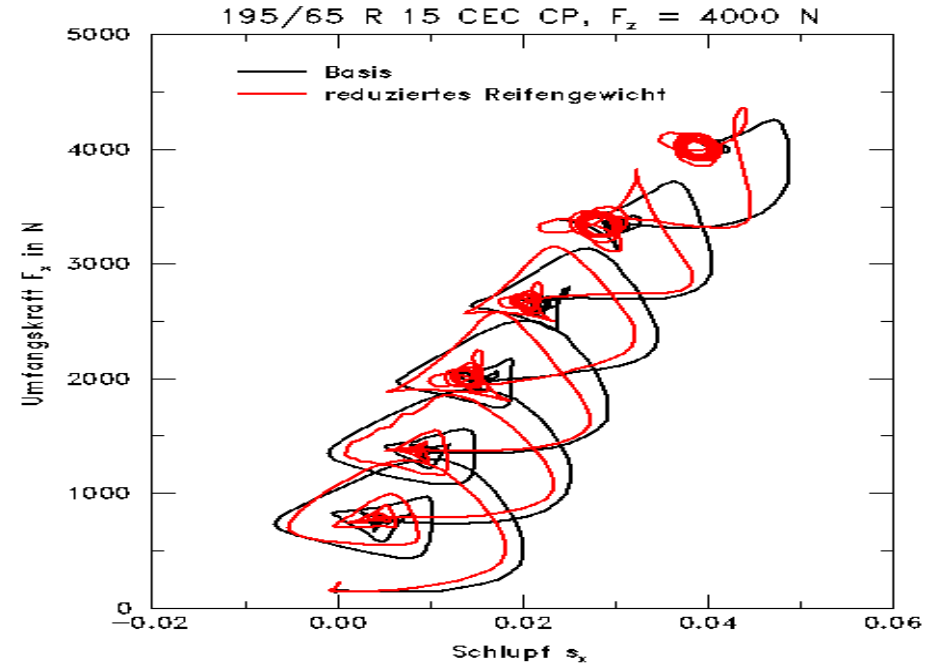
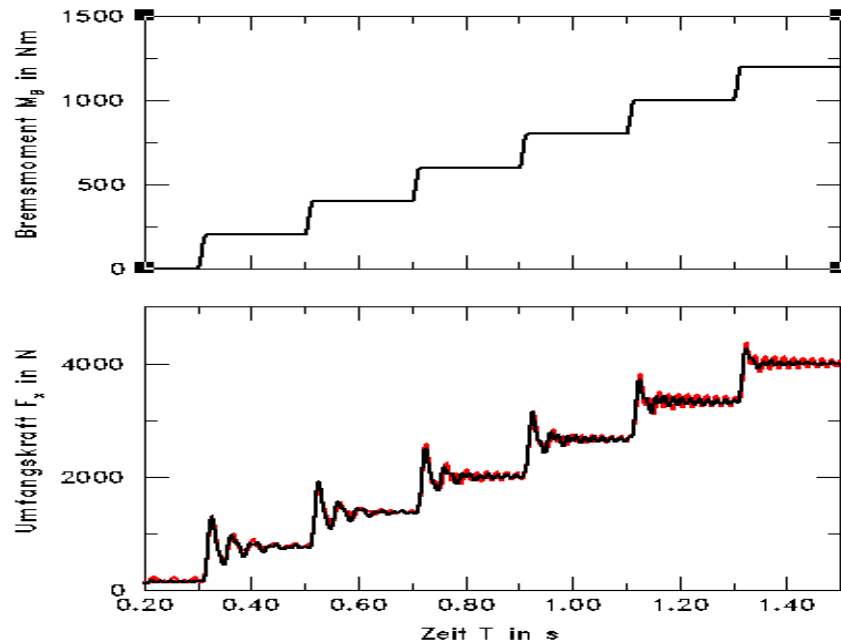


Der rollende Gummireifen hat unabhängig von dem fahrwerksgeometrischen Nachlauf einen eigenen Reifennachlauf. Die Reifenaufstandsfläche (Reifenlatsch) verformt sich bei Querkraft (Seitenführungskraft). Bei einem rollenden Reifen läuft jedoch immer ein Stück unverformte Reifenlauffläche (das noch keinen Bodenkontakt hat) in den Bereich ein, der Bodenkontakt hat. Dabei verformt sich dieses Stück nicht plötzlich, sondern wird beim Einlaufen in die Reifenaufstandsfläche erst langsam, dann stärker verformt. Beim Auslaufen aus der Reifenaufstandsfläche nimmt die Verformung wieder ab, bis kein Kontakt mehr zur Fahrbahn vorhanden und der Reifen wieder unverformt ist. Der Verlauf der Verformung nimmt langsamer zu als er abnimmt und die Seitenkraft hängt mit dem Grad der Verformung (nicht-linear) zusammen. **Damit liegt der Schwerpunkt der Seitenkraft hinter der Mitte des Radaufstandspunkts.** Dieser Versatz bildet den Reifennachlauf, der als Hebelarm zusammen mit der Reifenseitenkraft ein Rückstellmoment des Reifens bildet.



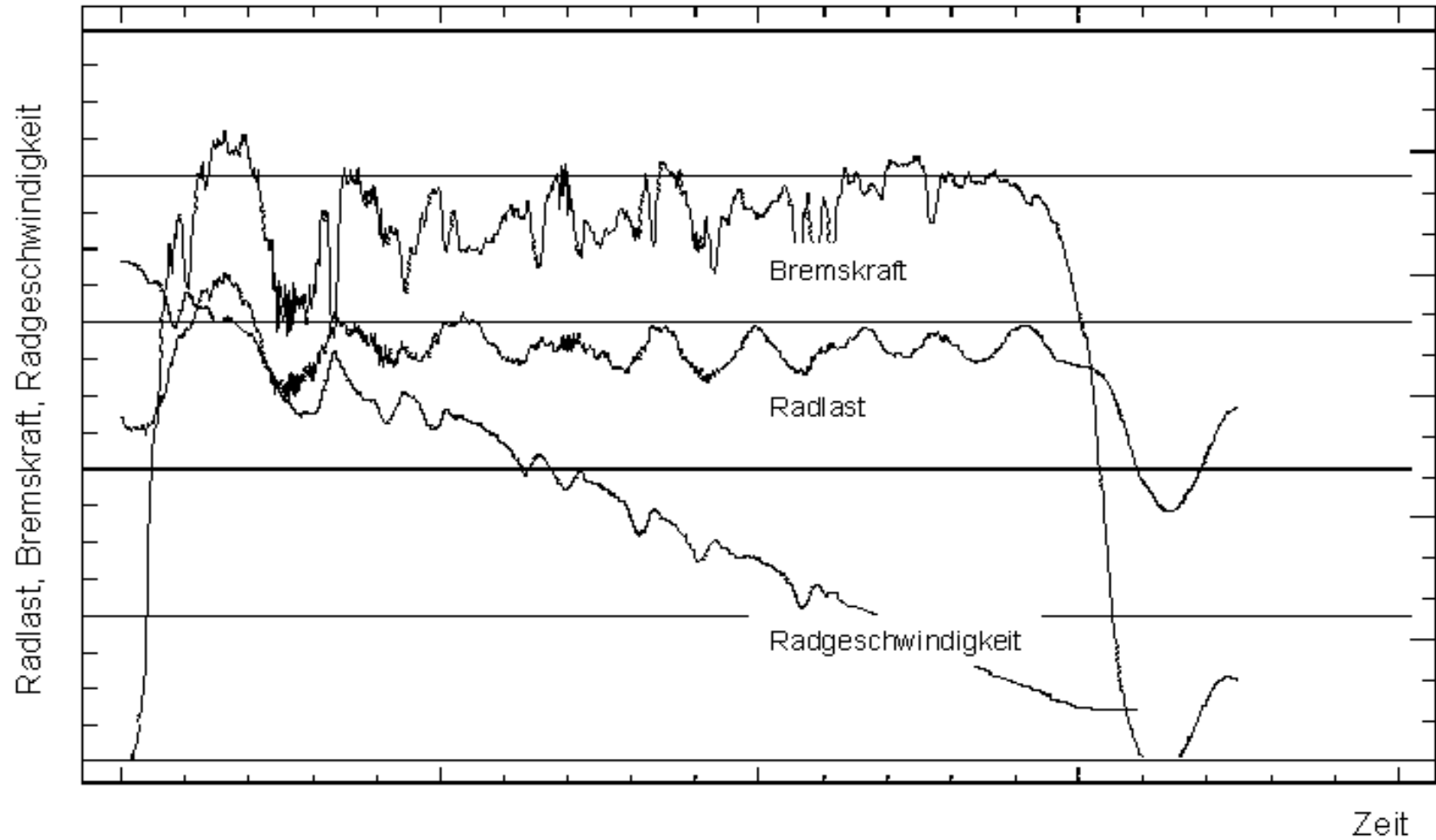
Gough-Diagramm für einen typischen Pkw-Reifen

Dynamisches Bremskraftverhalten auf trockener Straße

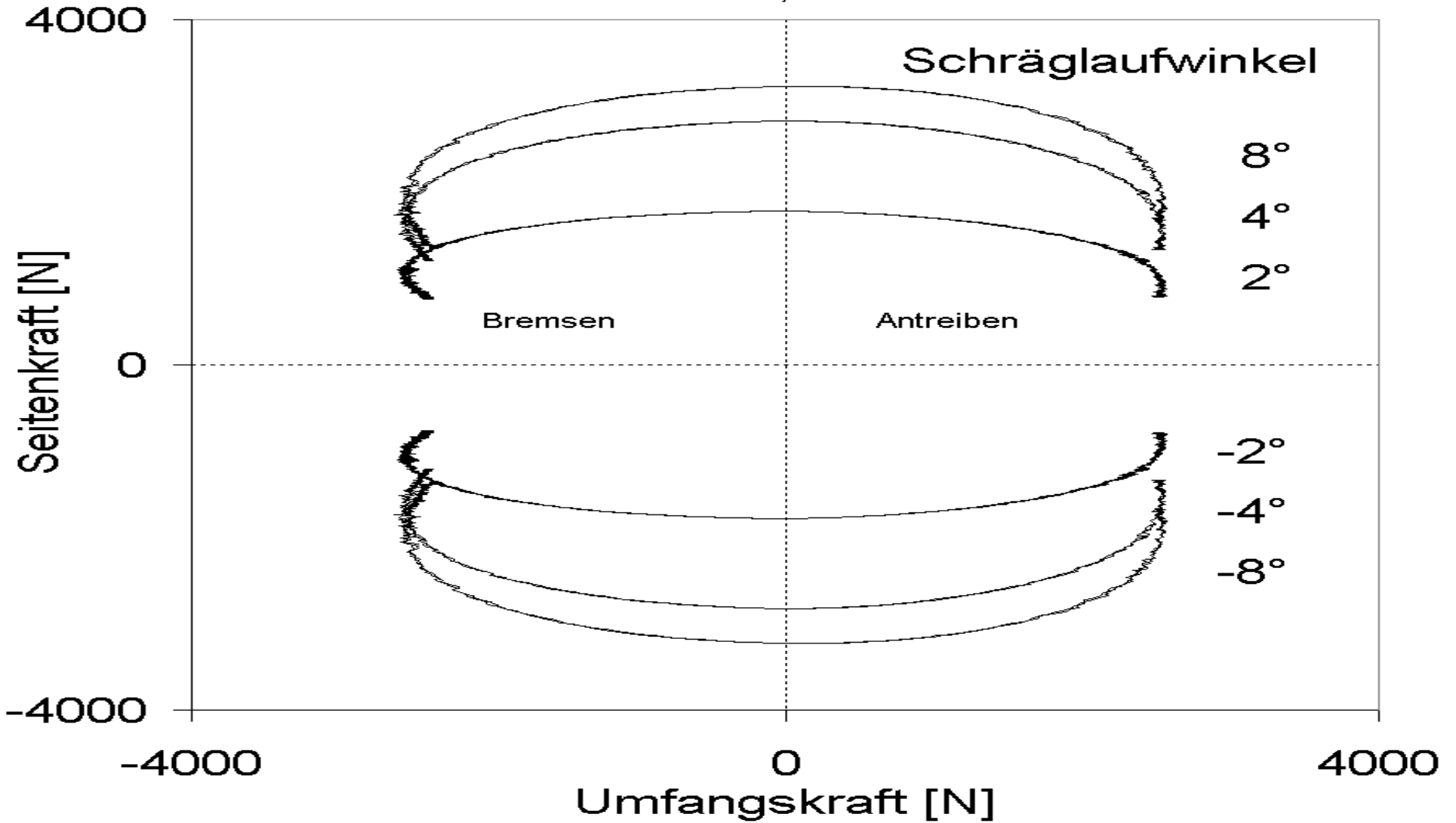


Dynamische Bremskraft bei stufenweise erhöhtem Bremsmoment (berechnet mit FTire)

Bremskraft, Radlast und Radgeschwindigkeit an einem Rad der Vorderachse während einer ABS-Bremmung



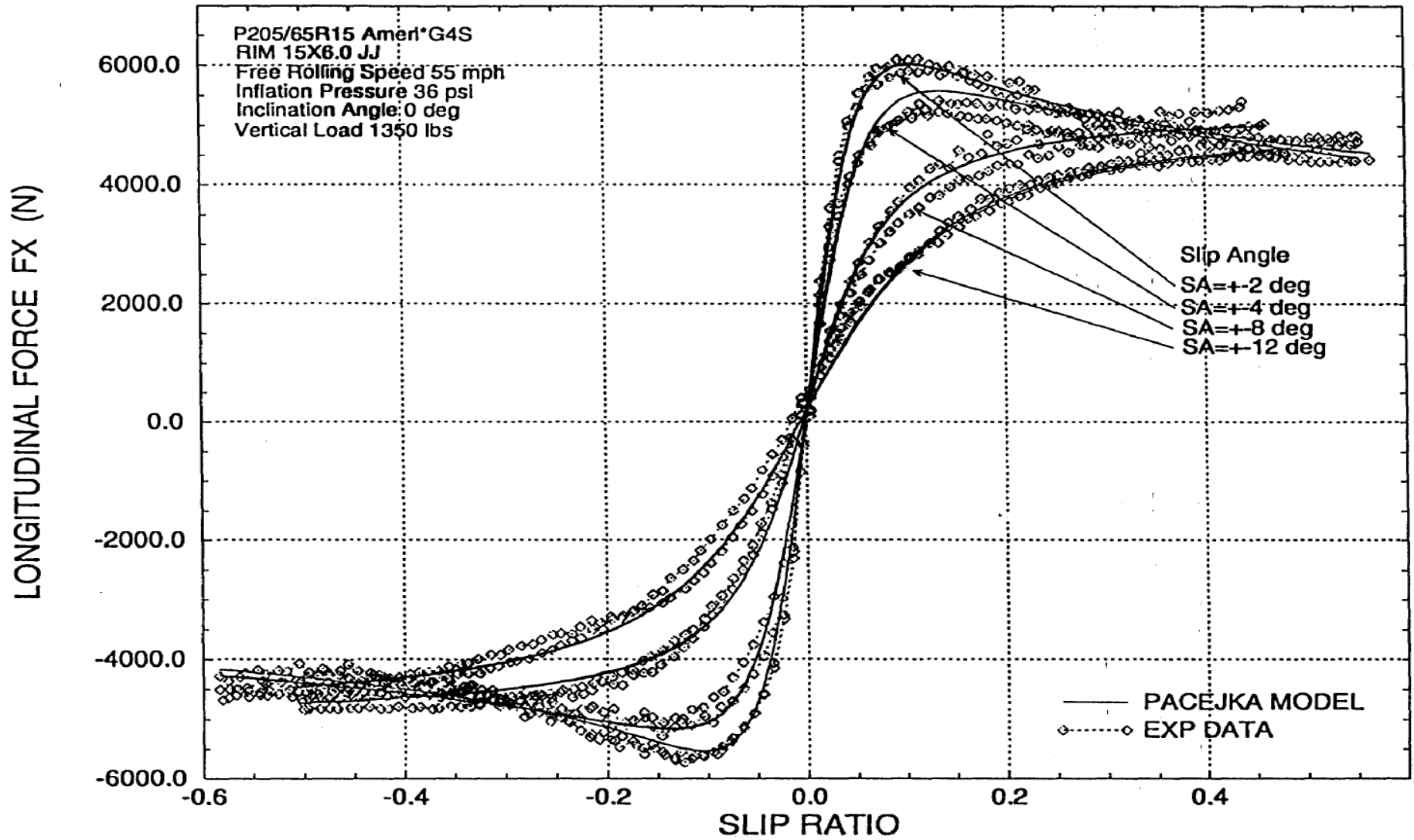
225 / 60 R 15, $F_z = 2800 \text{ N}$



Kraftschlußpotential bei kombinierter Reibkraft durch Seiten- und Umfangskraft.

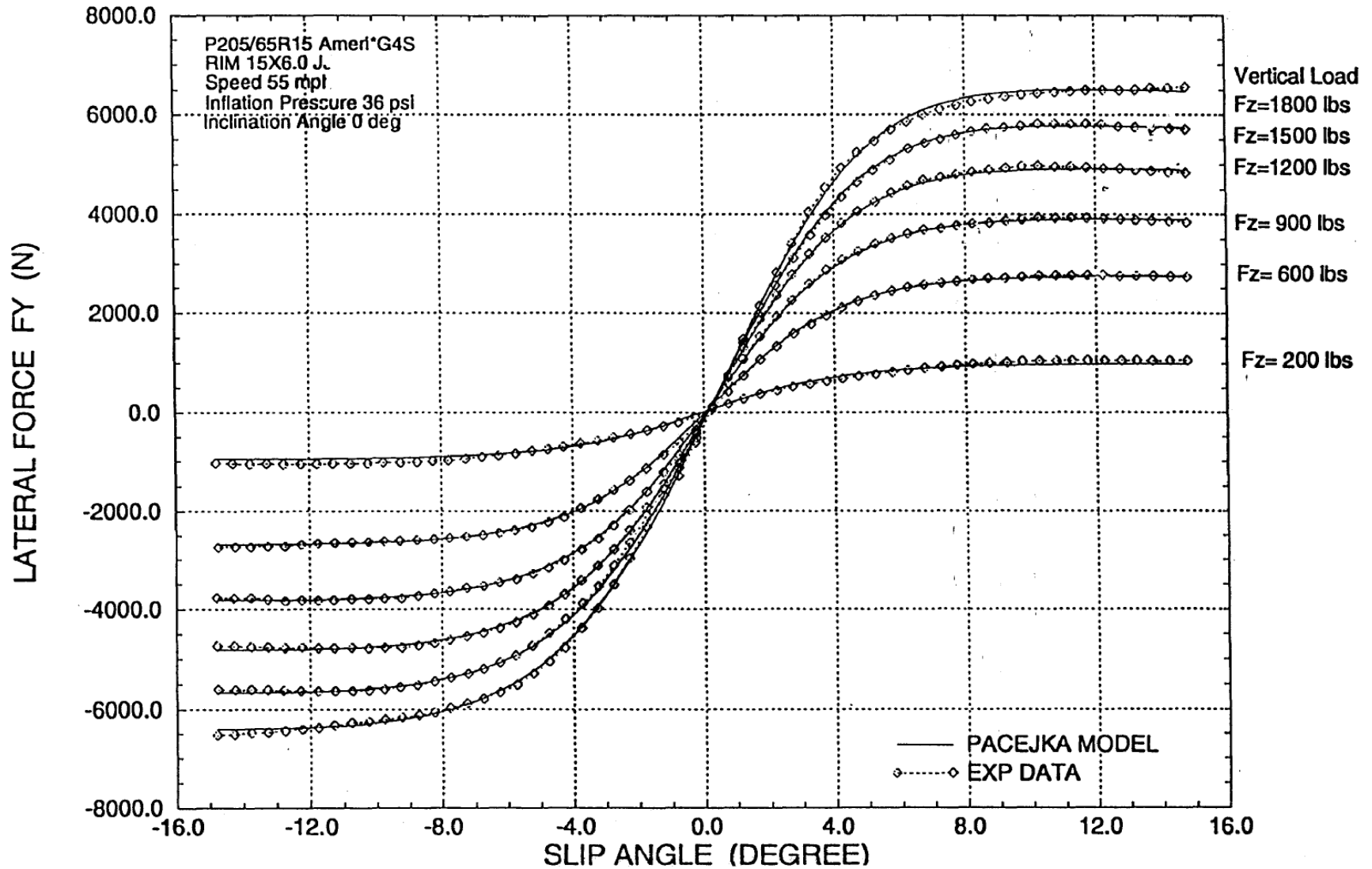
LONGITUDINAL FORCE COMPARISON

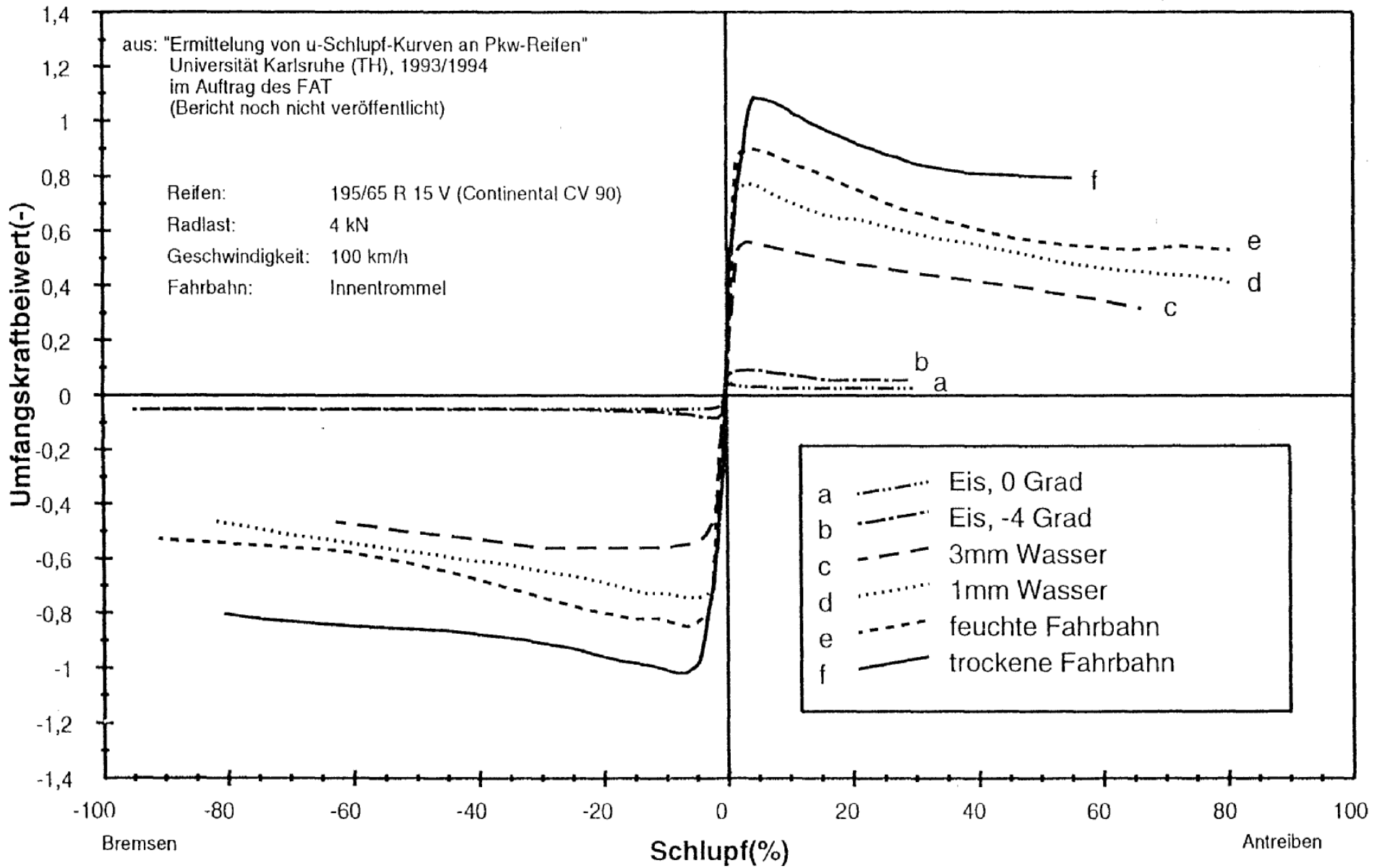
Pacejka Model vs. Experimental Data

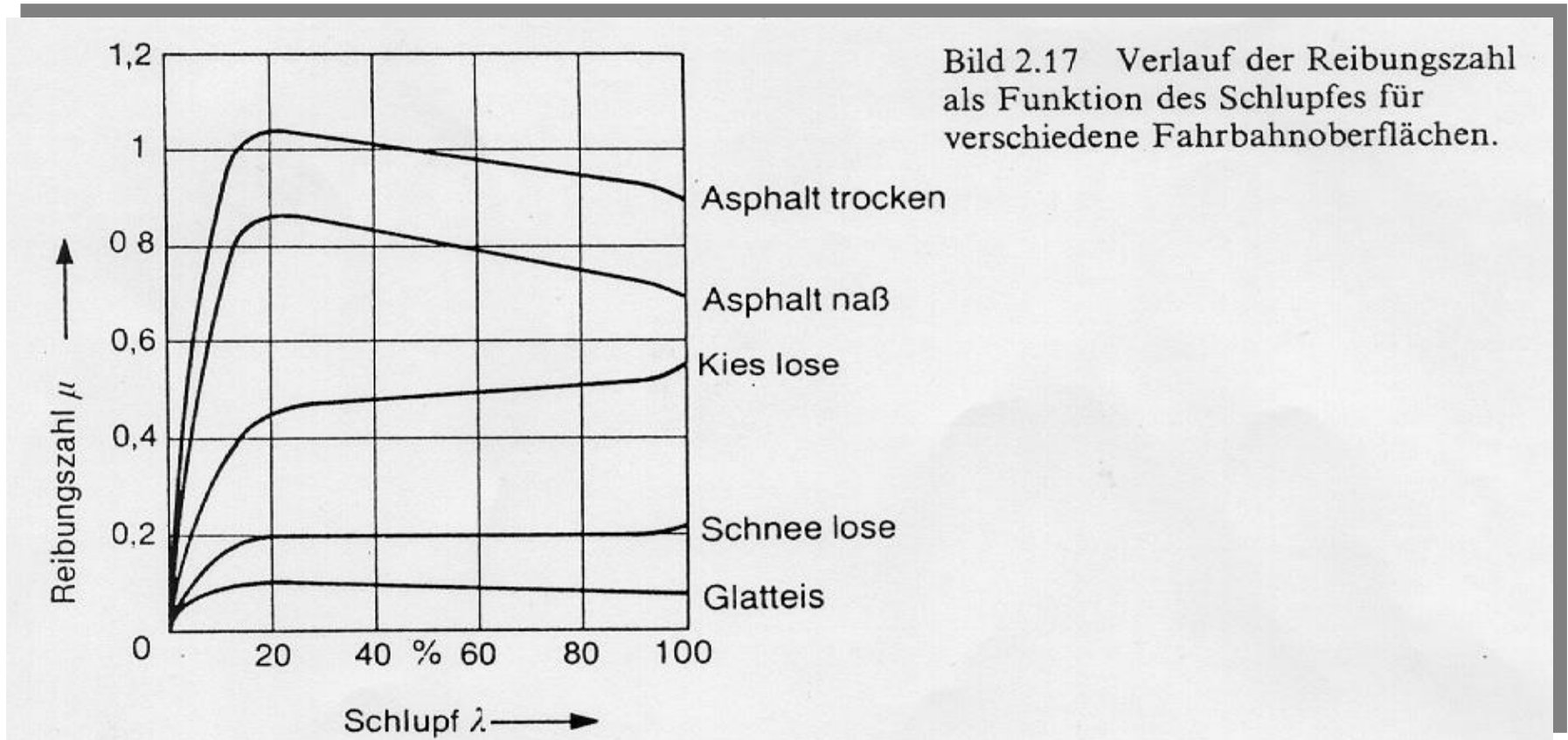


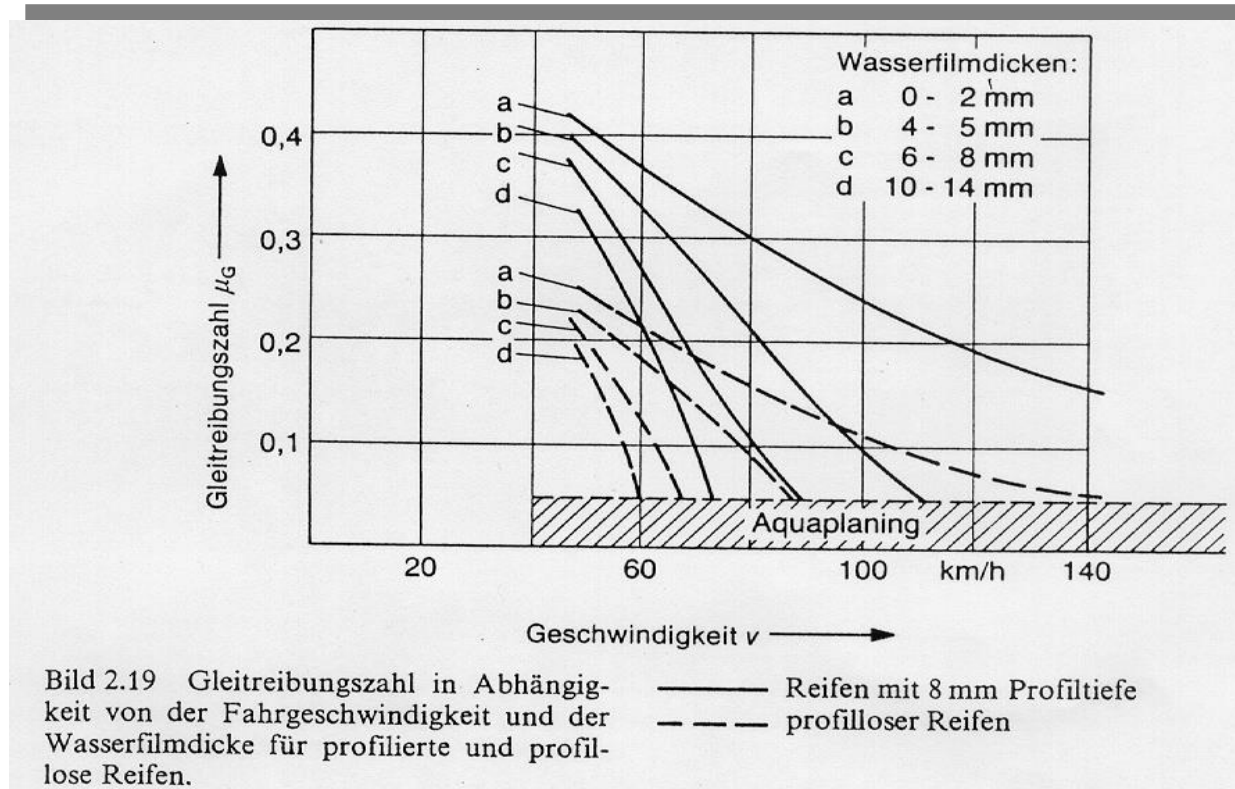
LATERAL FORCE COMPARISON

Pacejka Model vs. Experimental Data

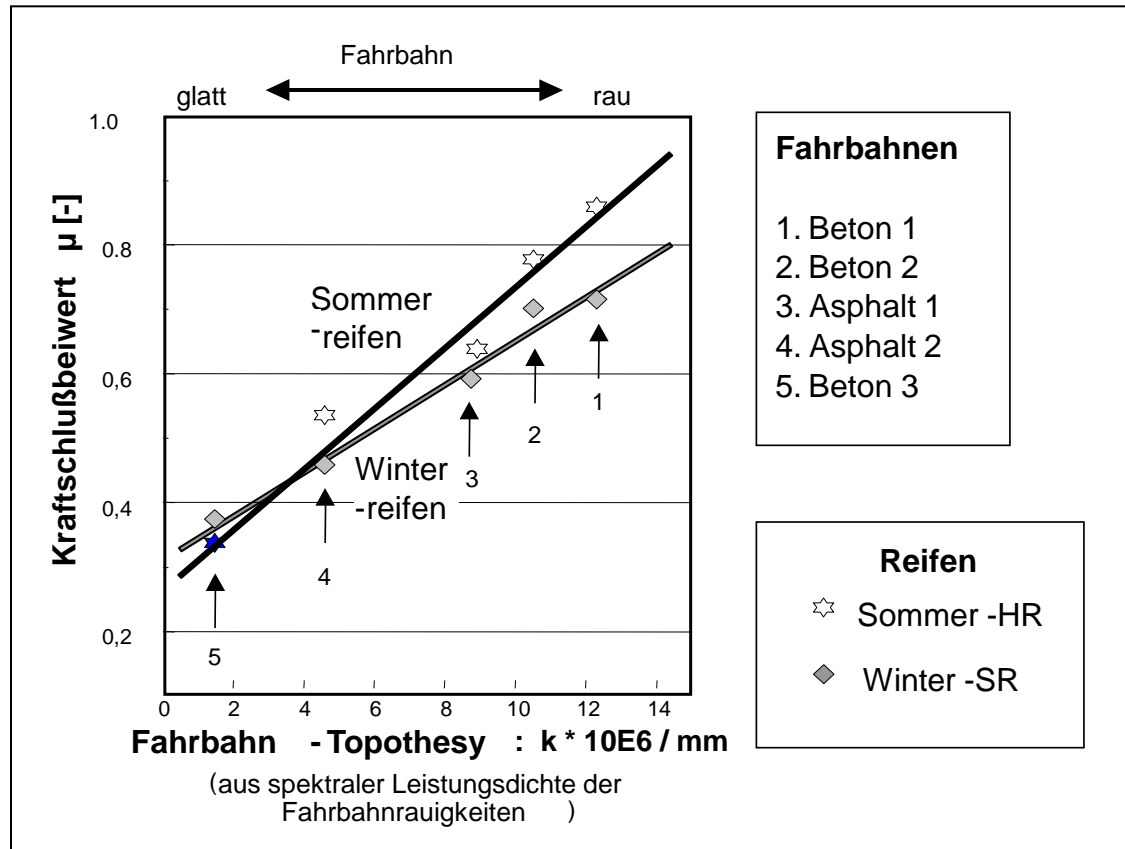








Materialeigenschaften der Lauffläche/ Kraftschluss



Fahrbahn-Topothesy und Kraftschluss

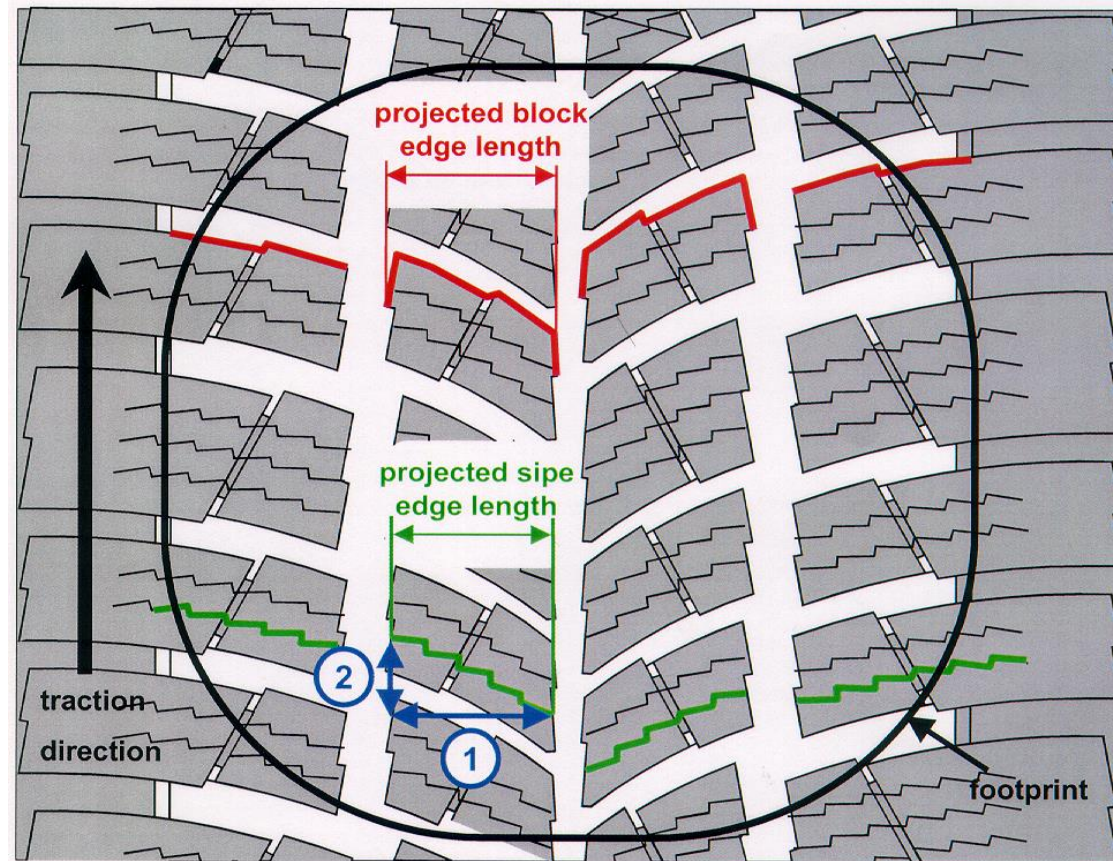
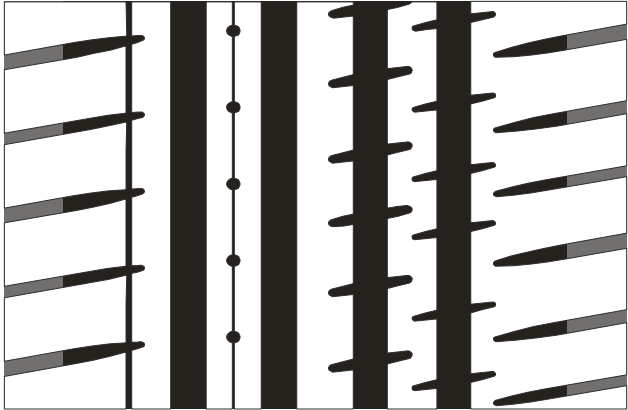
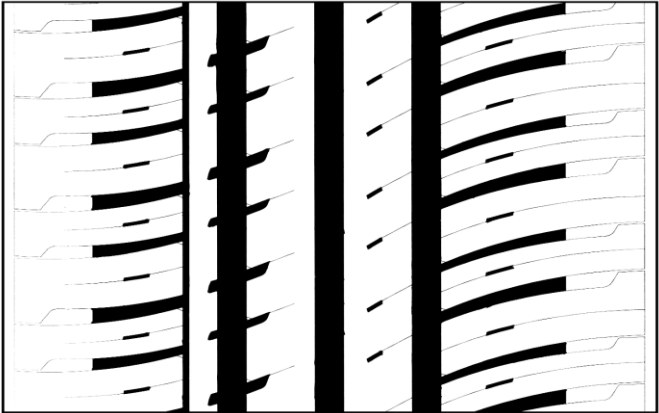


Figure 1: Traction Index calculation method: average sum of projected edge lengths inside the footprint - in longitudinal (1) and transverse (2) directions [Mühl].

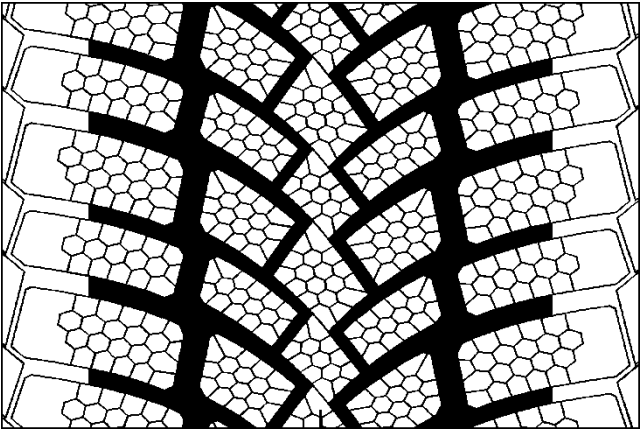
Vergleich Sommer- Winterprofile



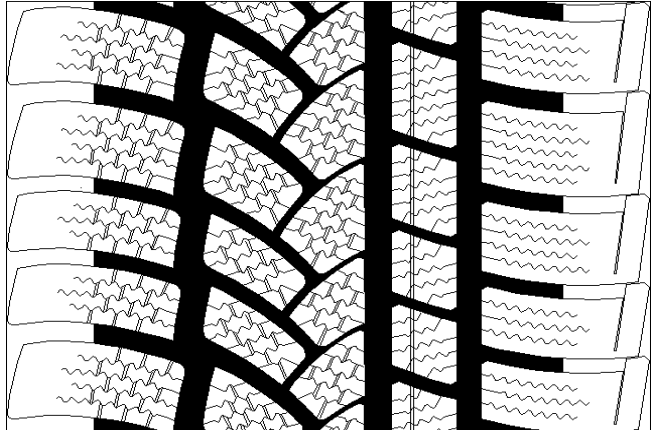
ContiSportContact 2



ContiEcoContact 3

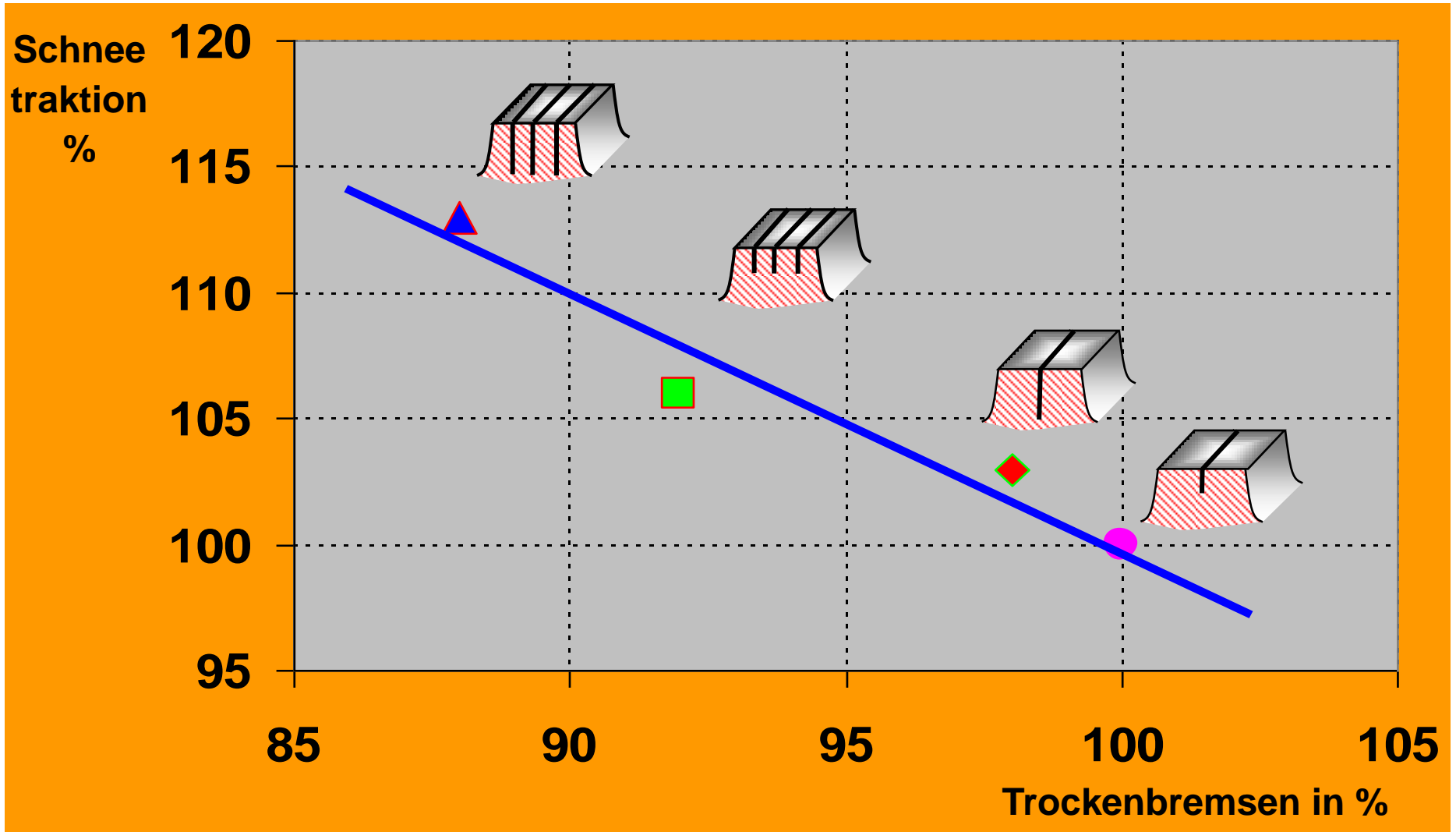


TS 780

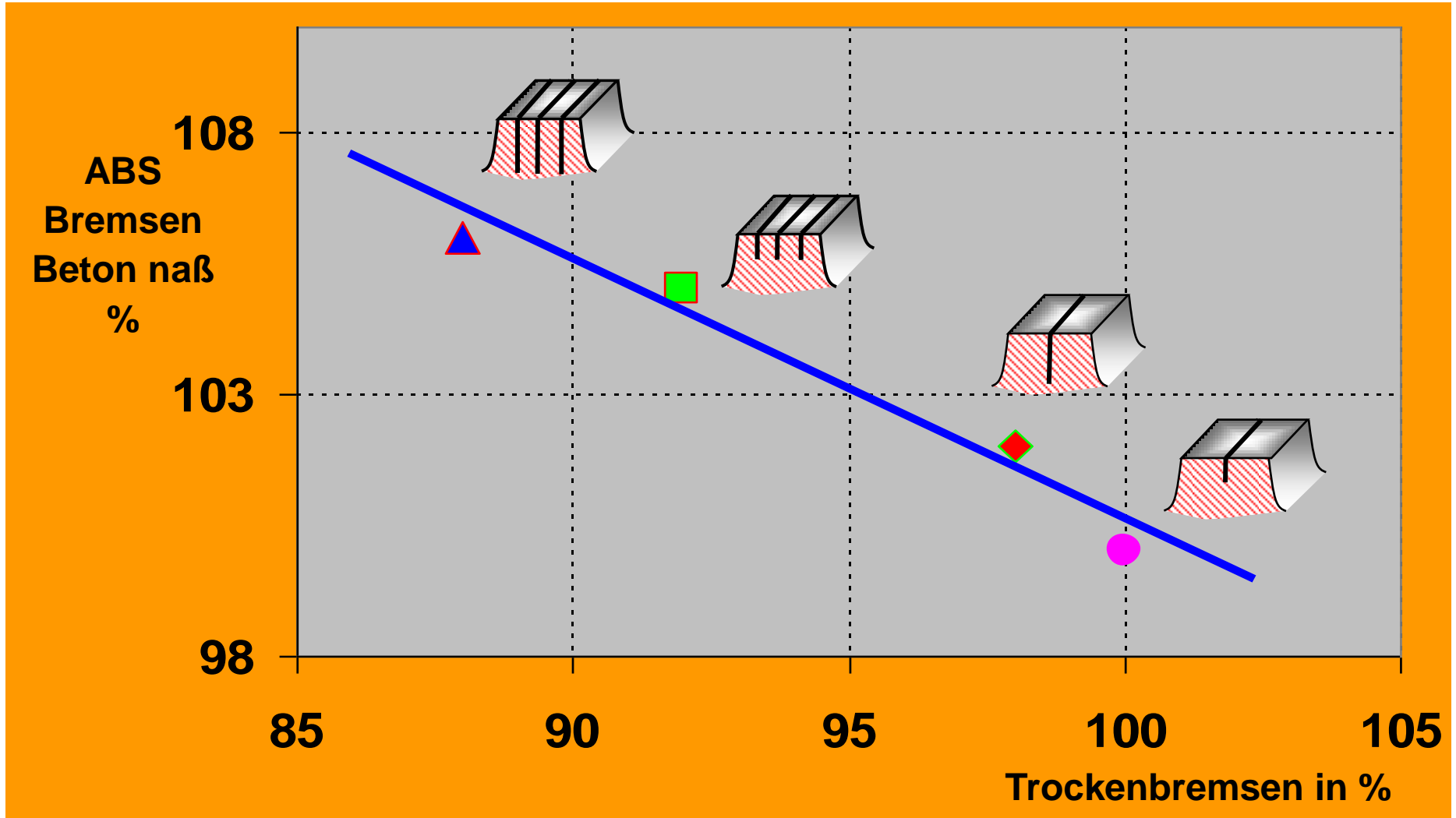


TS 790

Einfluß der Lamellenauslegung auf den Zielkonflikt Schneetraktion - Trockenbremsen

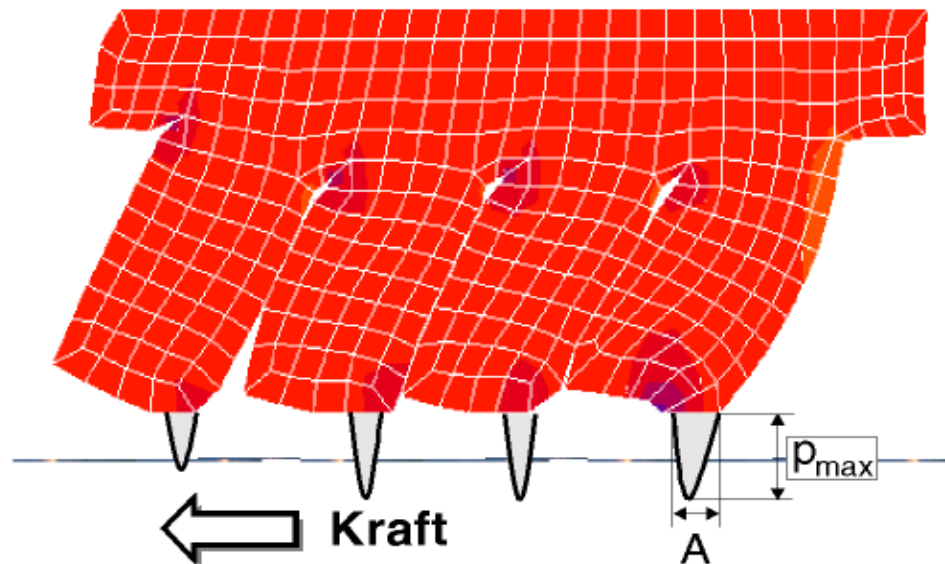


Einfluß der Lamellenauslegung auf den Zielkonflikt Nassbremsen - Trockenbremsen



Ausbildung von Griffkanten (FEM-Berechnung)

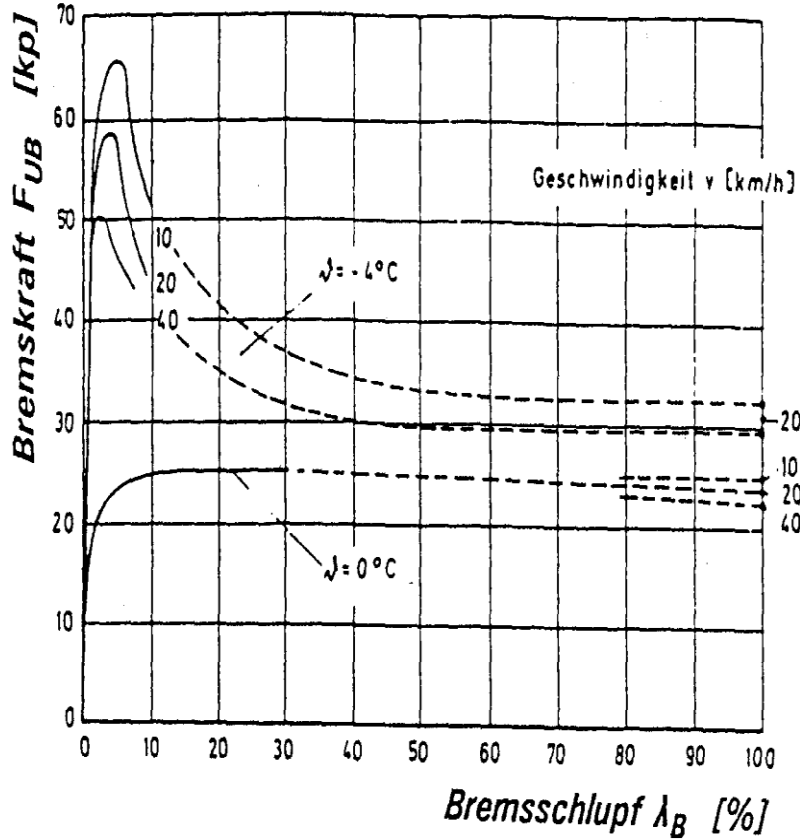
Lamellen führen zur Ausbildung von “**Griffkanten**”
und somit zu



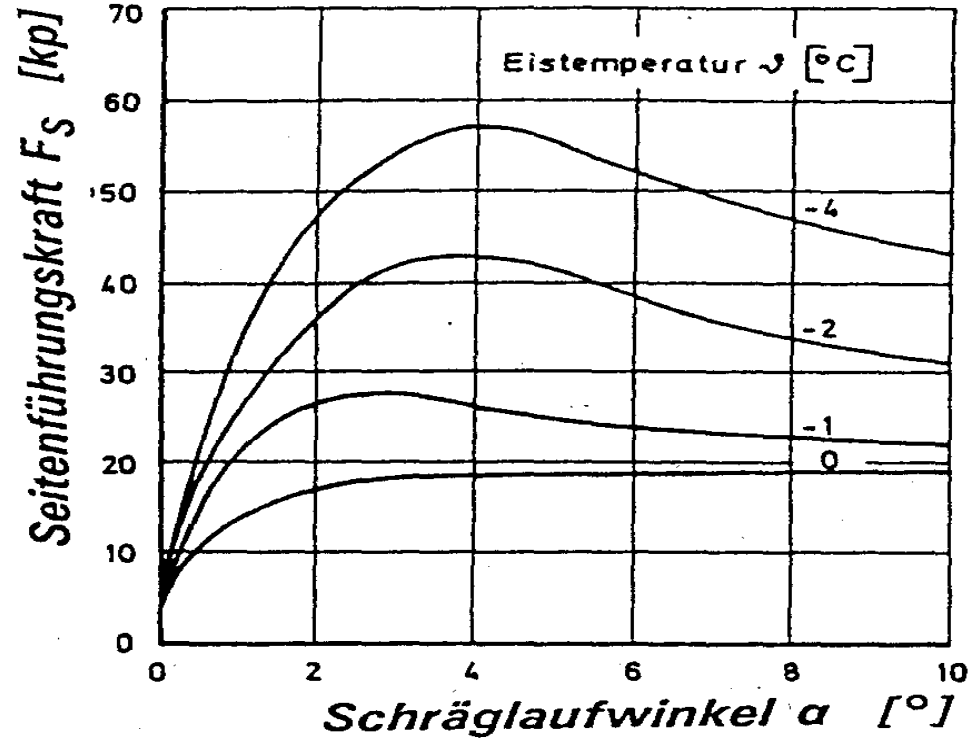
- erhöhten Druckspitzen p_{max}

⇒ **Schneetraktion**

Spiegeleis Einfluss der Eisoberflächentemperatur

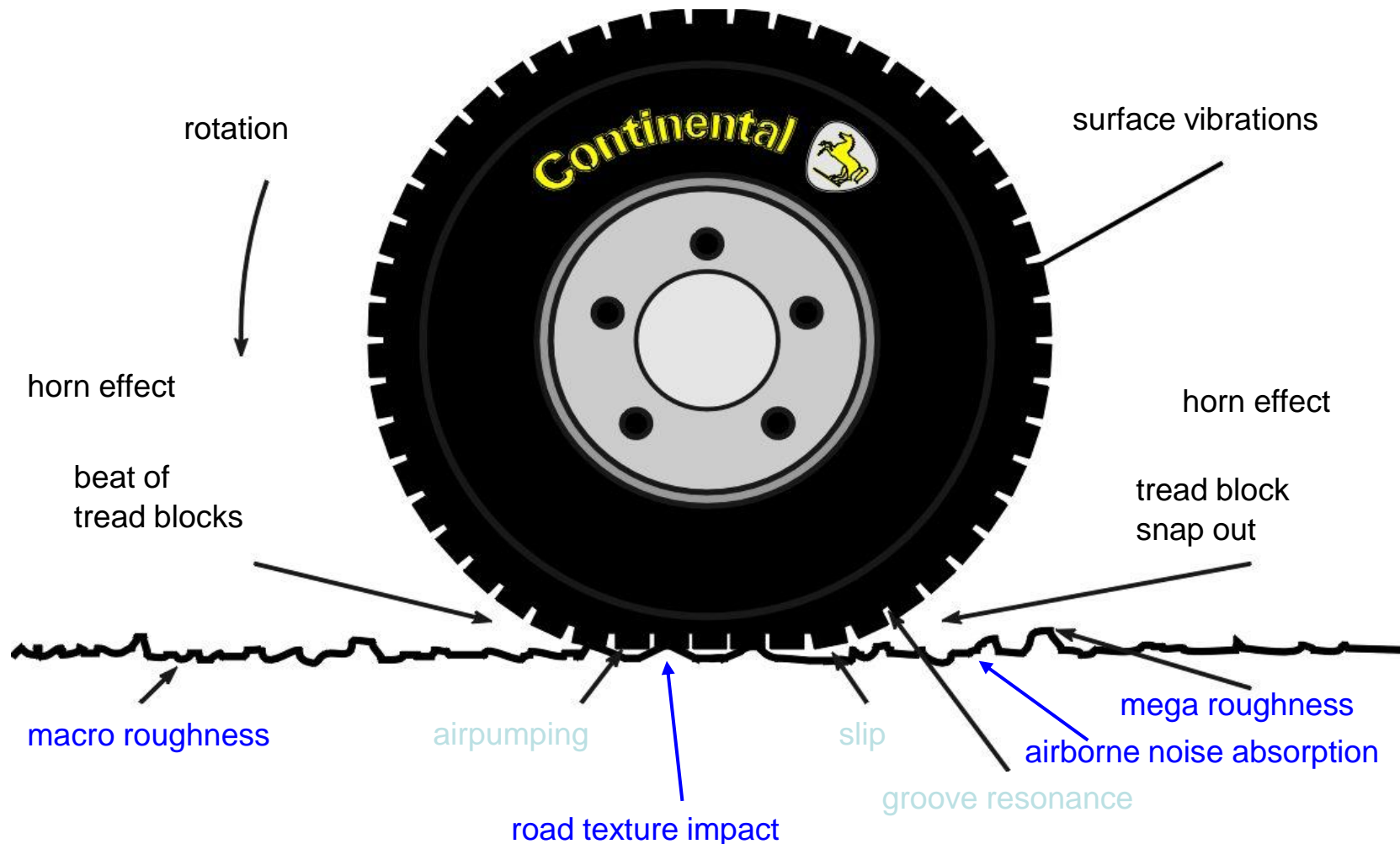


Die Bremskraft im gesamten Schlupfbereich bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Eisstemperaturen (Reifen 165 R 15 M+S, Radlast $F=250$ kp, Reifendruck $p=1,5$ bar)

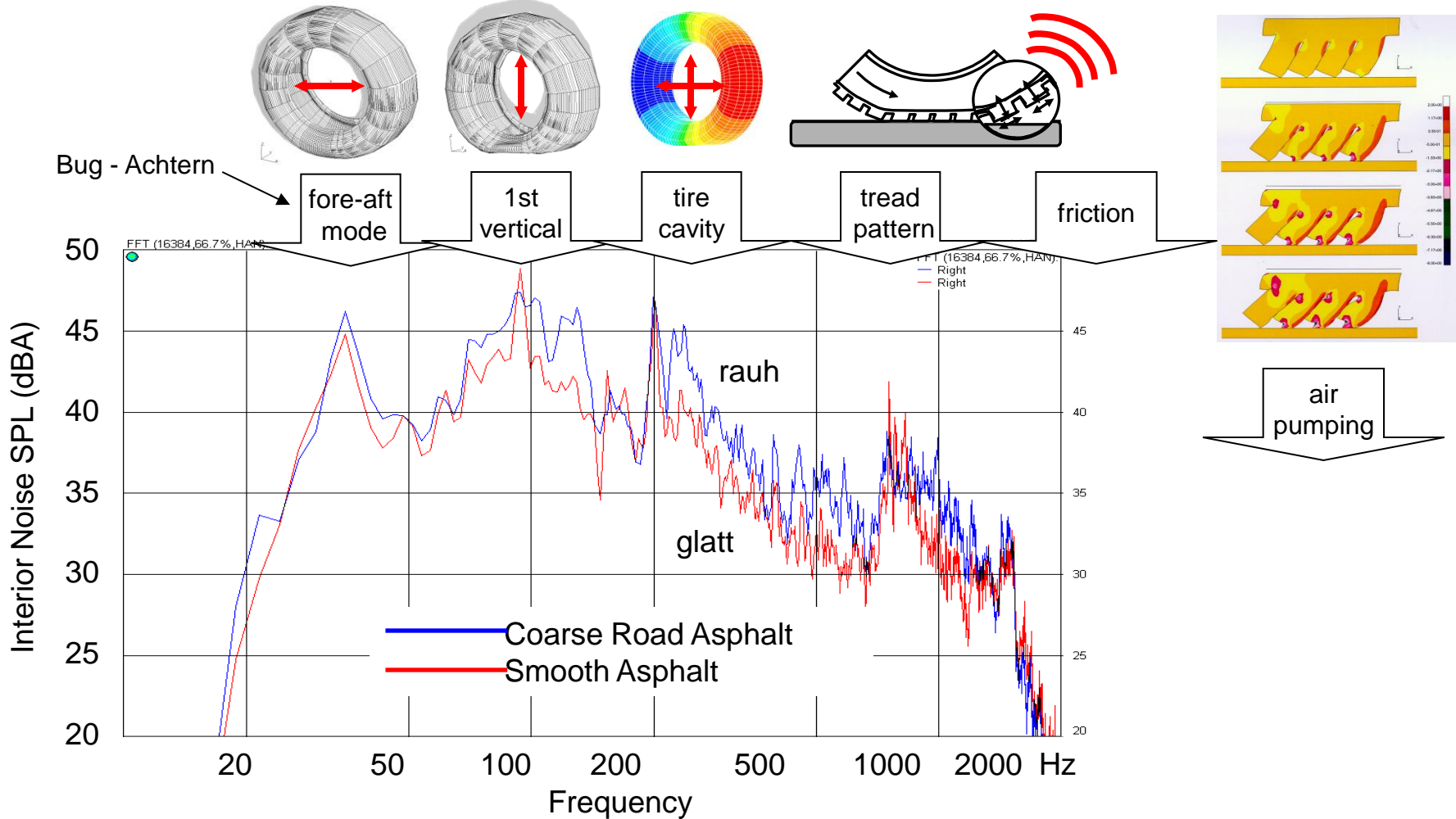


Die Seitenkraft über dem Schräglaufwinkel bei verschiedenen Eisstemperaturen (Reifen 165 R 15 M+S, Radlast $F_z=250$ kp, Reifendruck 1,5 bar, Geschwindigkeit $v=10$ km/h)

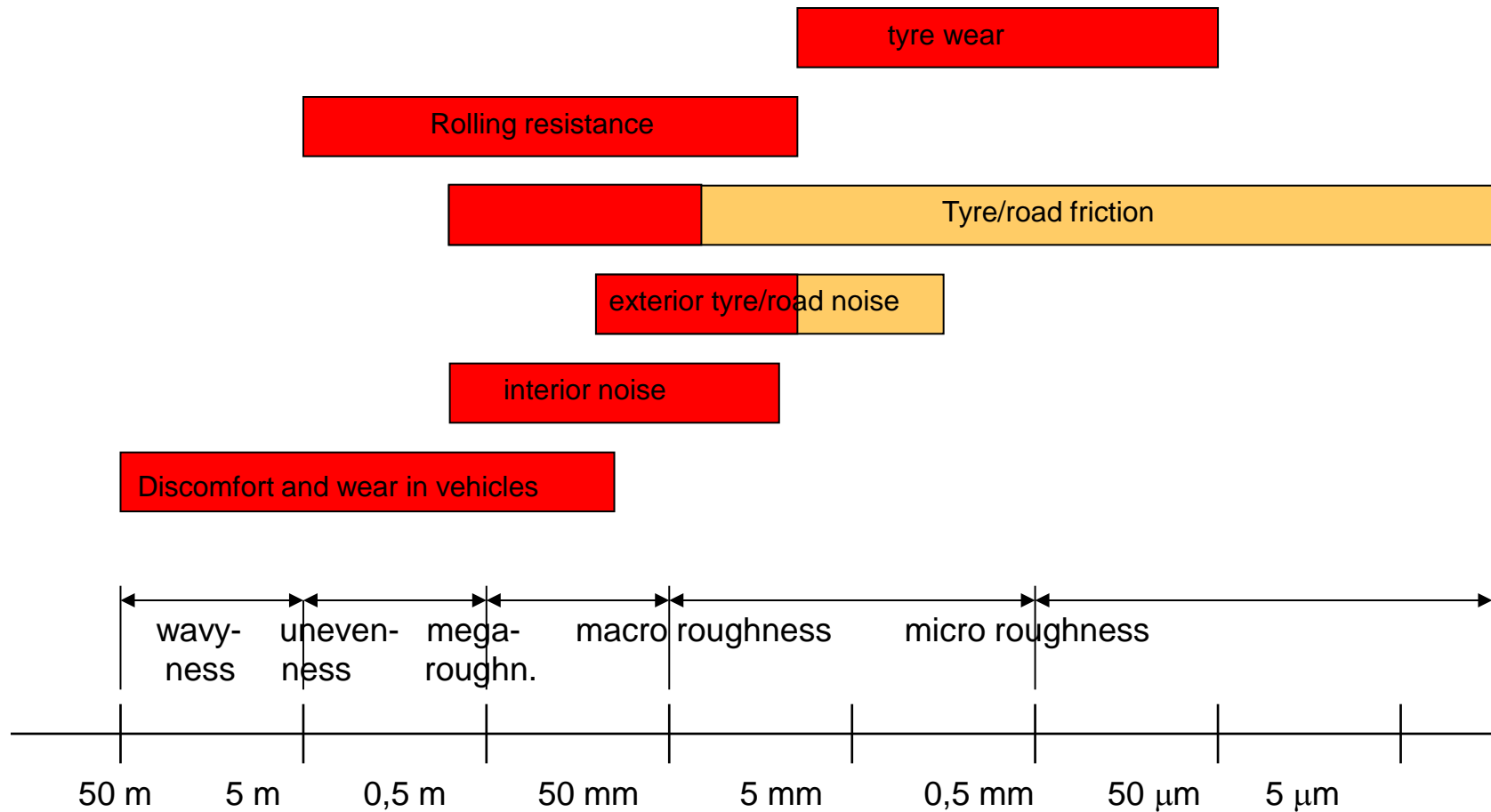
Tire/Road Noise Sources



Tire/Road Noise Transfer into the Vehicle

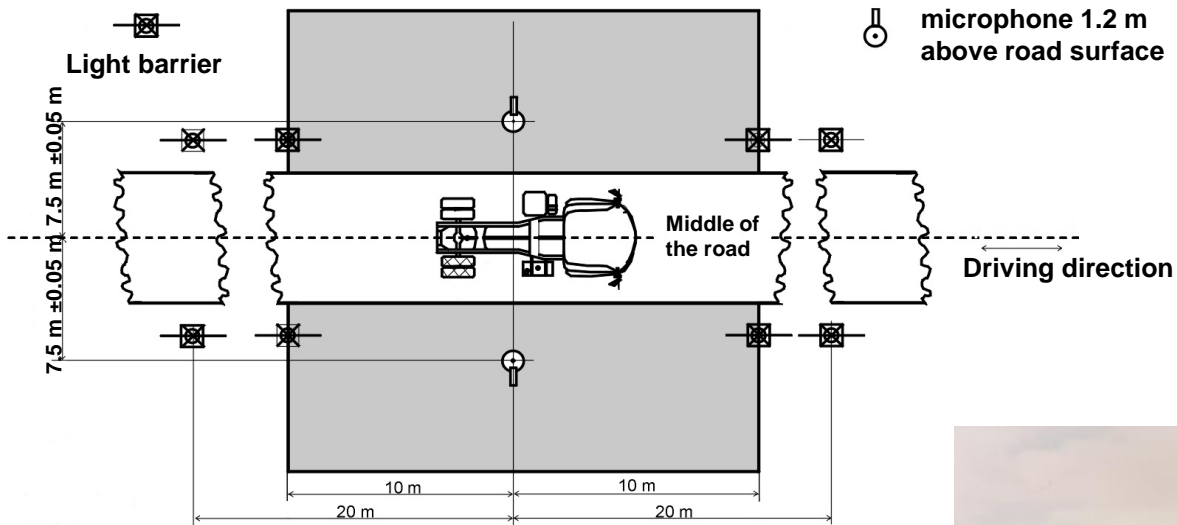


Influence of Road Texture



Yellow shade means a favourable effect of texture over this range, while red shade means an unfavourable

Measurement of tire road noise



**Test track
according to ISO 10844 (including heating
device)**

Contidrom



Frequenzbereiche des Reifen/ Fahrbahngeräusches

Fahrbahn

Rauh

Reifen/Fahrzeug Vibrationen
angeregt durch Rauigkeit der
Fahrbahn Oberfläche
(Stochastisches Geräusch)



Glatt

Reifen/Fahrzeug
Vibrationen angeregt durch
Harmonische des Reifens
(tonhaltig) Profilgeräusch
(Frequenz=f(v))
Rauschen / Zischen
(Breites Frequenzband)

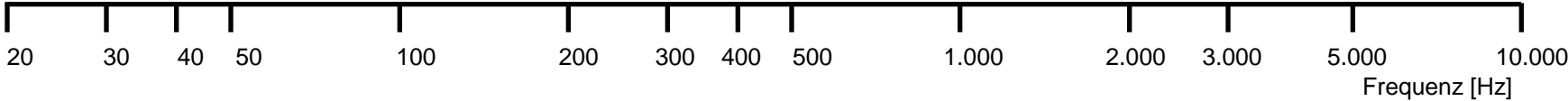
Dröhnen ↔ Heulen



Heulen ↔ Singen



Zischen

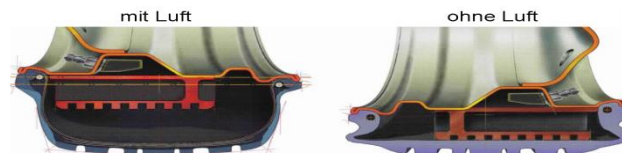




Reifen mit selbsttragender Karkasse



Metallring mit Gummilagerung im Standardreifen als Stützelement beim Pannenlauf (Continental)

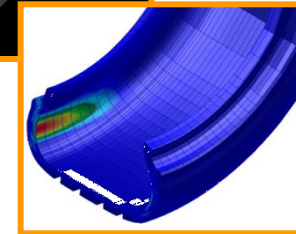


PAX-System mit Stützring (Michelin)

Self Supporting Runflat Tires (SSR)

Runflat System basierend auf einer Standard-Felge

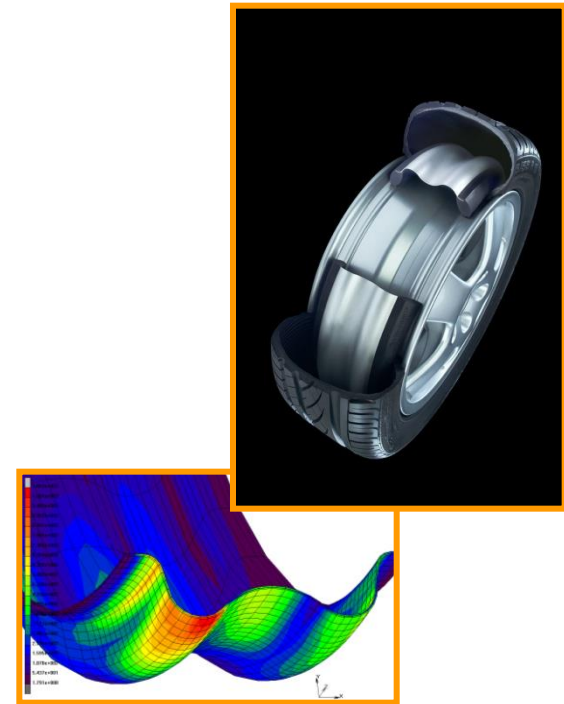
- Das SSR-System ist eine von Continental entwickelte Runflat-Technologie speziell für Niederquerschnittsreifen.
- Das SSR-Prinzip basiert auf einer selbsttragenden, verstärkten Seitenwand. Diese verhindert im Pannenfall ein Einklemmen der Reifenseite zwischen Strasse und Felge sowie ein Abspringen von der Felge.
- Dies ermöglicht eine Weiterfahrt bei reduzierter Geschwindigkeit: je nach Strassenbeschaffenheit und Fahrzeuggewicht bis zu 150 km bei einer maximalen Geschwindigkeit von 80 km/h.
- Bei Normalgebrauch bleibt der Fahrkomfort unverändert.



Extended Mobility Systeme **ContiSupportRing (CSR)**

Runflat System basierend auf einer **Standard-Felge** und einem **Standard-Reifen**

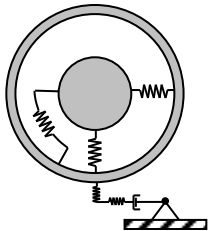
- Das CSR-System ist eine von Continental entwickelte Runflat-Technologie speziell für Reifen mit hohen Seitenwänden.
- Das CSR-System besteht aus einem Metall-Stützring im Reifen auf einer flexiblen Gummilagerung. Bei Druckverlust trägt dieser Stützring die Radlast, verankert den Wulst des Reifens und verhindert so ein Abspringen von der Felge.
- Ein Weiterfahren mit reduzierter Geschwindigkeit von maximal 80 km/h ist bis zu 150 km möglich.
- Im Normalfall ist das Fahrverhalten unverändert komfortabel und wie bei jedem anderen unserer Standard-Reifen.



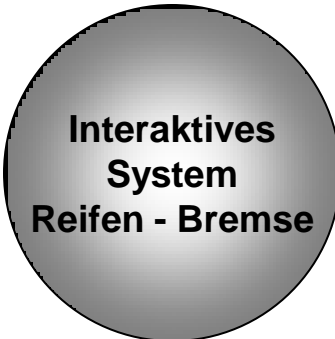
Der Reifen als Komponente im Fahrzeugkontrollsystem

Der Reifen in Fahrzeugkontrollsystemen

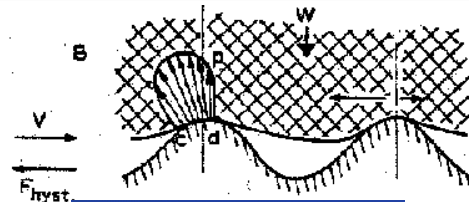
Reifenmodelle:
ABS (trocken/nass) /
Blockierbremsen



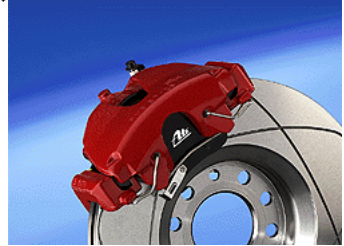
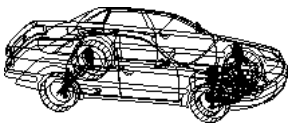
Reibungsmodell
 $\mu = \mu (v, T, p, \text{Schlupf})$



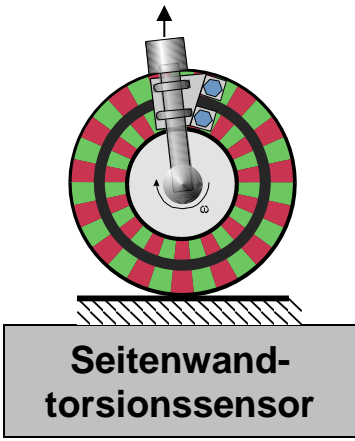
Beschreibung der Oberflächen-
textur der Straße
(fraktales Kontaktmodell)



Wechselwirkung
Reifen - Fahrzeug
(Simulation)



Bremssystem
(Design, Regelung, ...)



Seitenwand-
torsionssensor

Kombination verschiedener F&E Gebiete wie Chemie, Mechanik, Simulation, Sensorik, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Bremsentechnologie, um ein neues interaktives Bremssystem zu entwickeln.

Der Reifen als Komponente im Fahrzeugkontrollsystem

Winterreifen und ABS

Produktoptimierung Reifen/ABS-Regler

PRODUKTOPTIMIERUNG

FRÜHER

Reifen

Elektronik
(ABS-Regelsysteme)



ContiWinterContact
TS 790 V

HEUTE

Reifen

Elektronik
(ABS-Regelsysteme)

Standard-
fahrzeuge
(Bremsysteme)

Standardreifen

Synergiepotenziale nutzen:
Abgestimmte
Entwicklung von
Reifen und Bremsen

Fahrzeughersteller:
Systemintegration
Reifen + Bremse



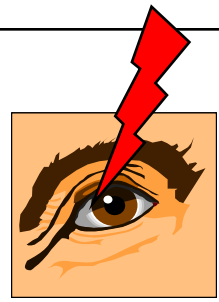
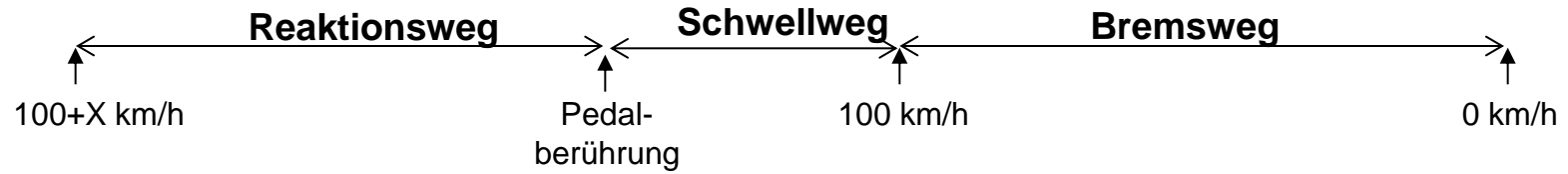
ABS System

Fahrzeughersteller:
Systemintegration
Reifen + Bremse

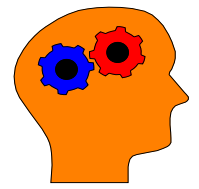
Der Reifen als Komponente im Fahrzeugkontrollsystem

Verkürzter Anhalteweg

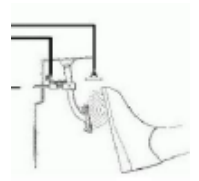
Komponenten des Anhalteweges



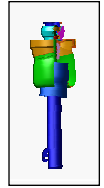
Wahrnehmung



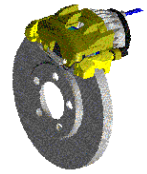
Entscheidung



Betätigung
Bremspedal



Luffeder /
verstellbarer
Dämpfer

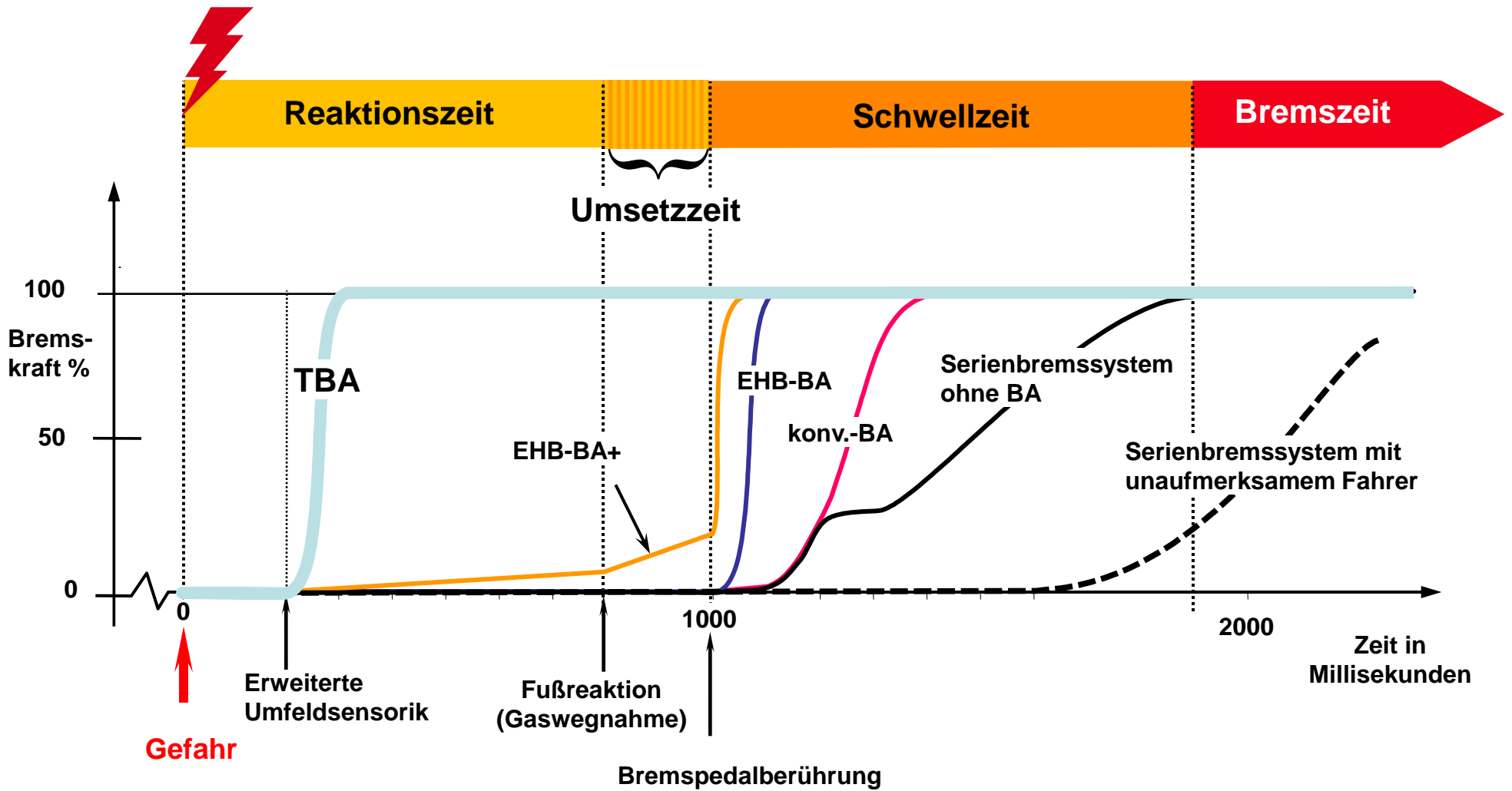


Elektro-
hydraulische
Bremse

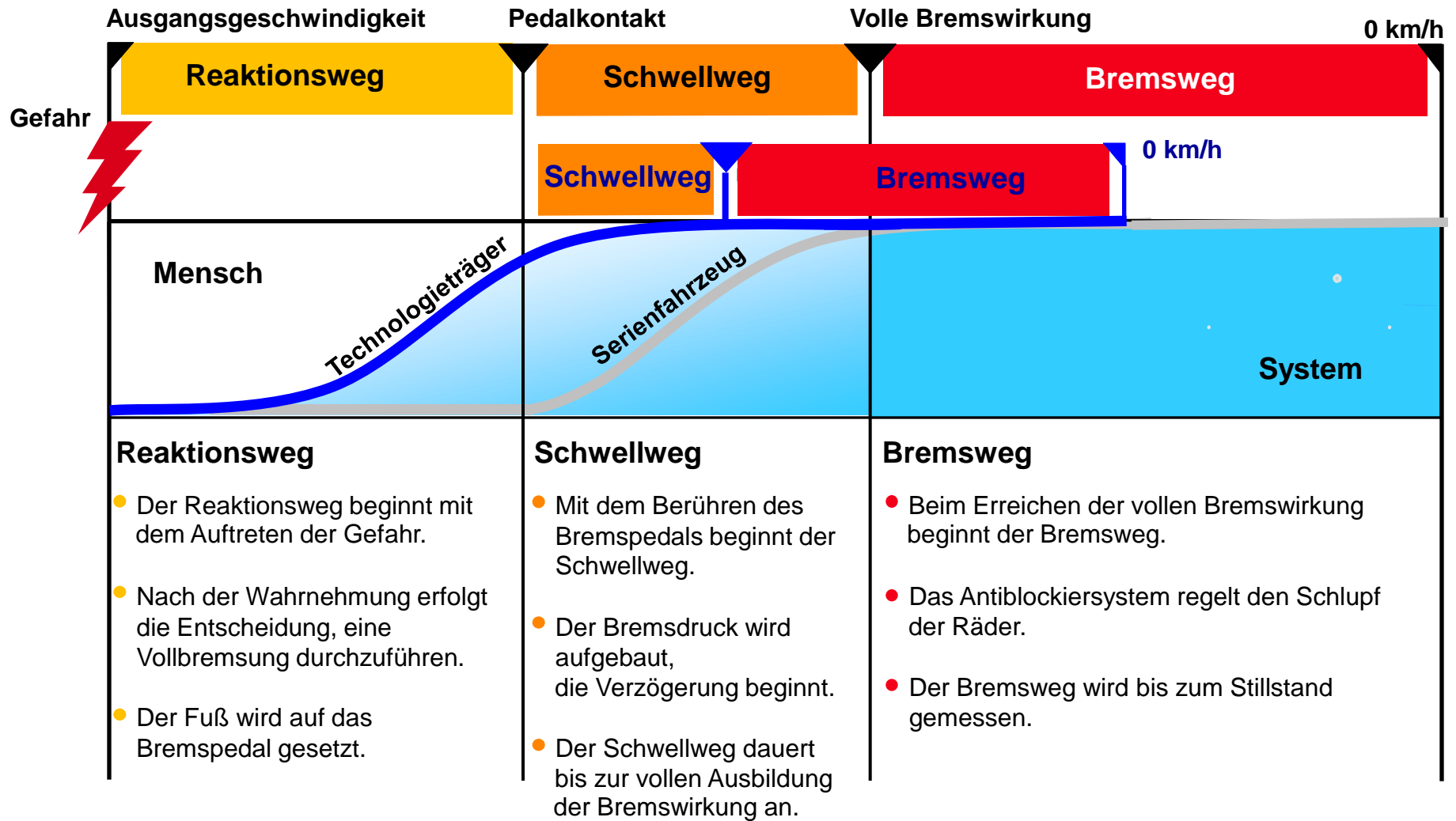


Reifen

Potenzial Totaler Bremsassistent



Phasen des Anhaltewegs



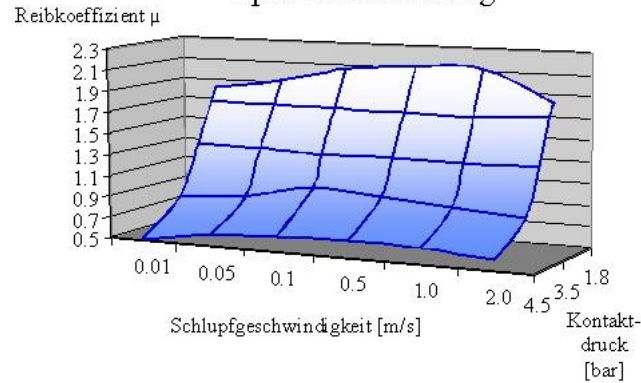
Entwicklung Bremsreifen 225/50 R 16

Bremsreifen

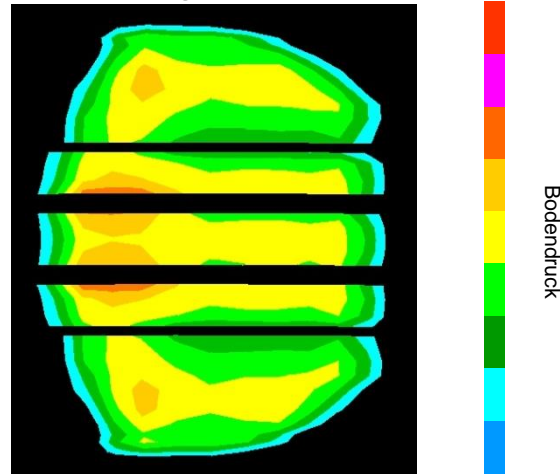


Mischungsreibung

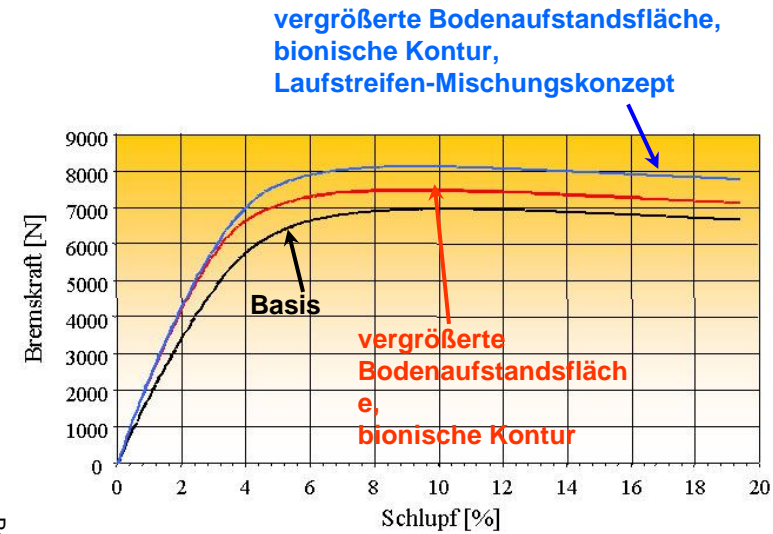
optimierte Mischung



Ausbildung Kontaktfläche



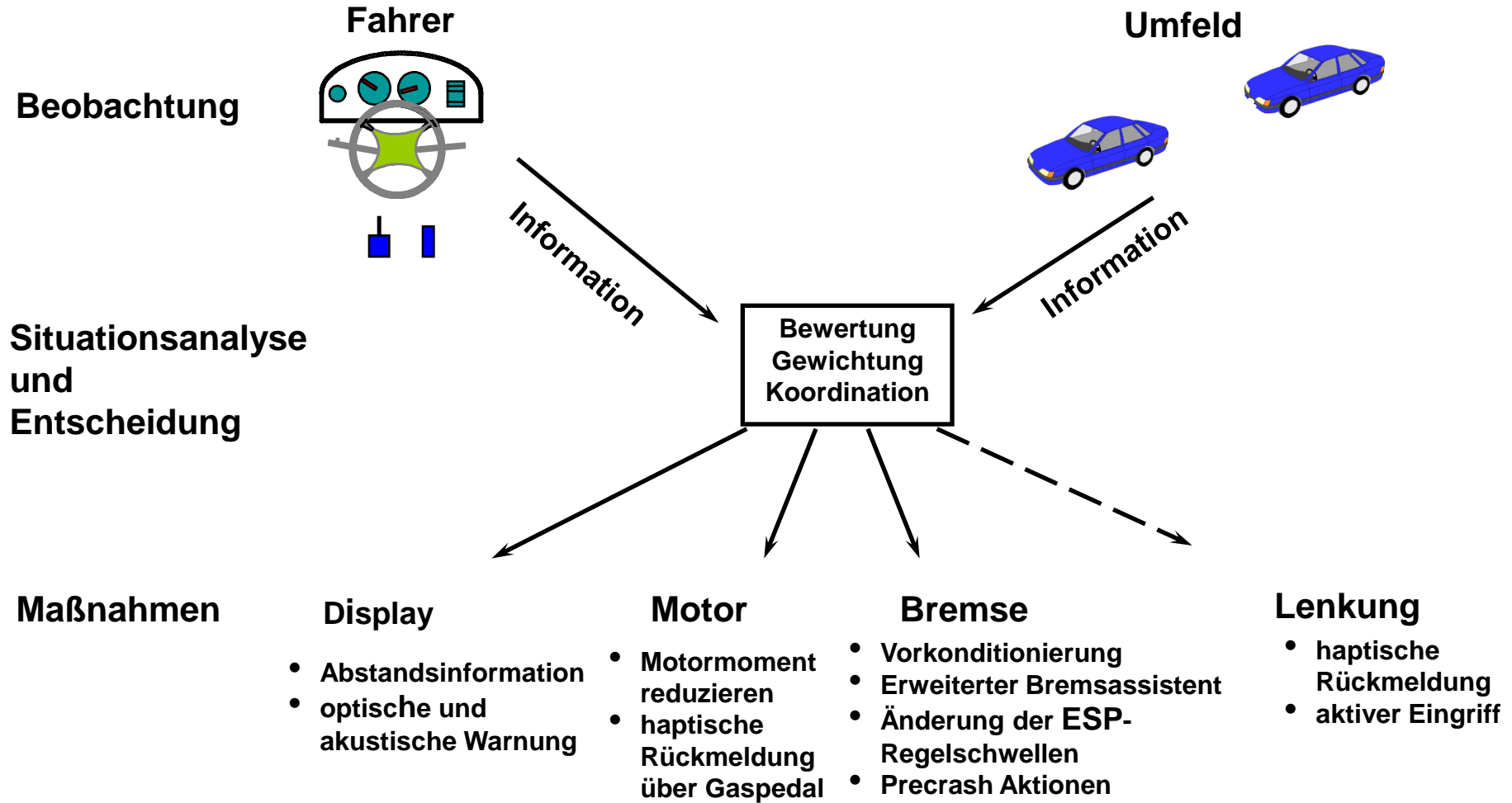
Bremskraft-Schlupf-Kennlinien



Der Reifen als Komponente im Fahrzeugkontrollsystem

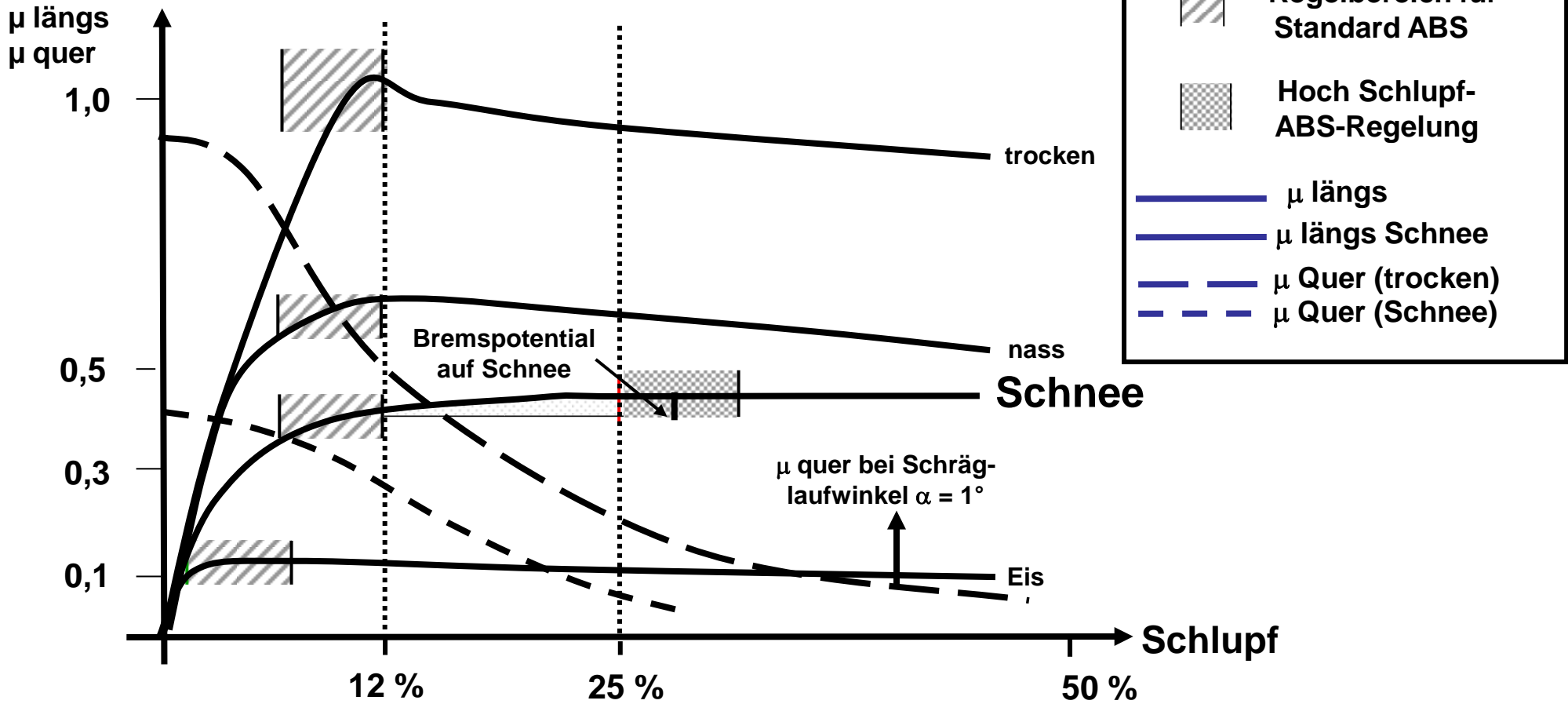
Verkürzter Anhalteweg

Reaktionswegverkürzung (Mensch & System)

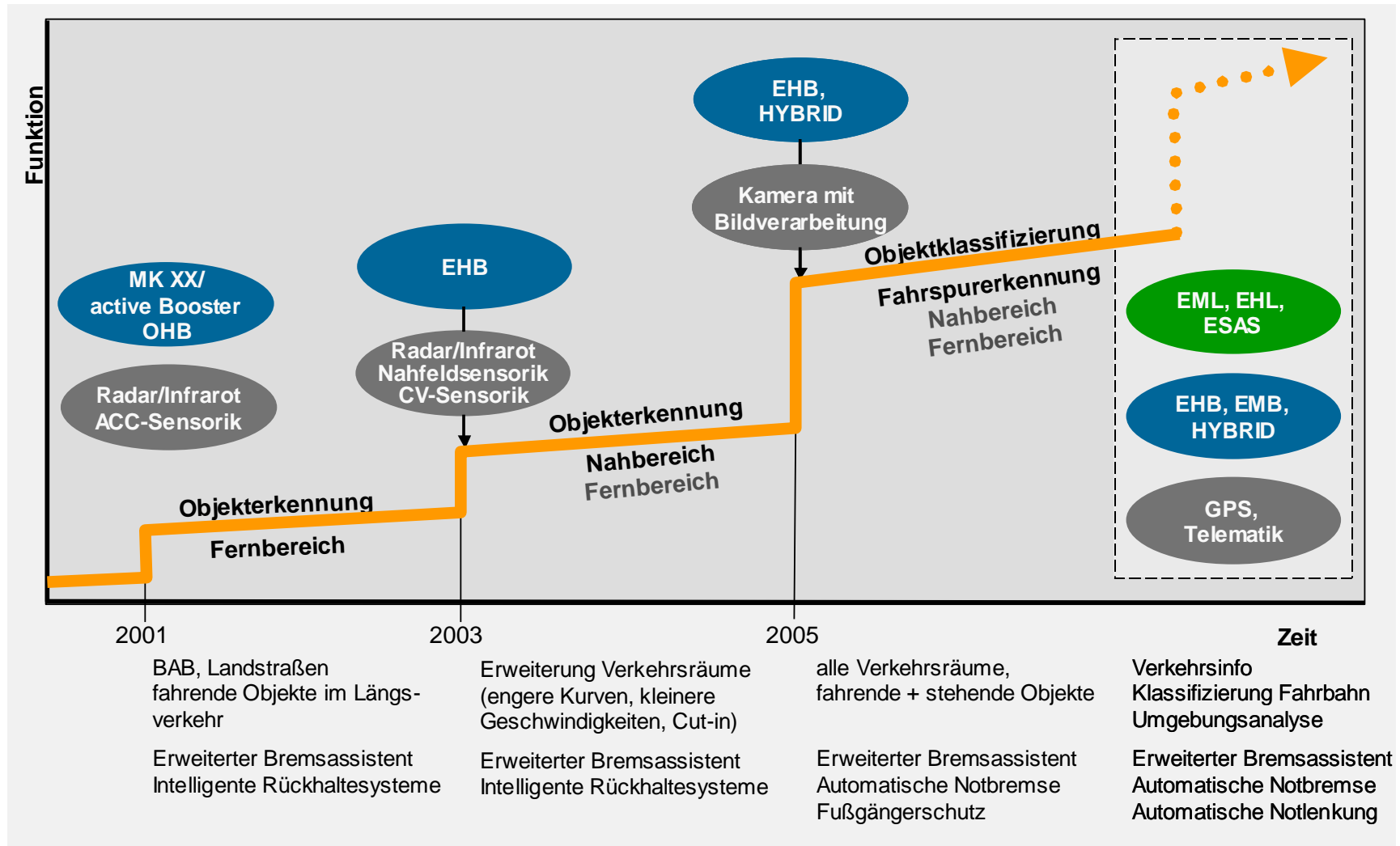


Kraftschluss- beiwert

Winterreifen TS790 H



Auf dem Weg zum unfallvermeidenden Fahrzeug



Der intelligente Reifen

- Allgemeine Konzepte -

Der Reifen wird über seine jetzige Funktion hinaus zum Datenträger und Datengeber beispielsweise zur Erfassung und Bereitstellung von Informationen über

>>>>> seine Identität: Wann wurde er gebaut, Sommer- oder Winter-Reifen...

>>>>> seinen Zustand: Der aktuelle Reifeninnendruck, die Profiltiefe, die Temperatur...

>>>>> den Fahrbahnzustand: Eis, Schnee, Nässe, Aquaplaninggefahr...

>>>>> den Fahrzustand: Die aktuell wirkenden Kräfte, Geschwindigkeit, Beschleunigung...

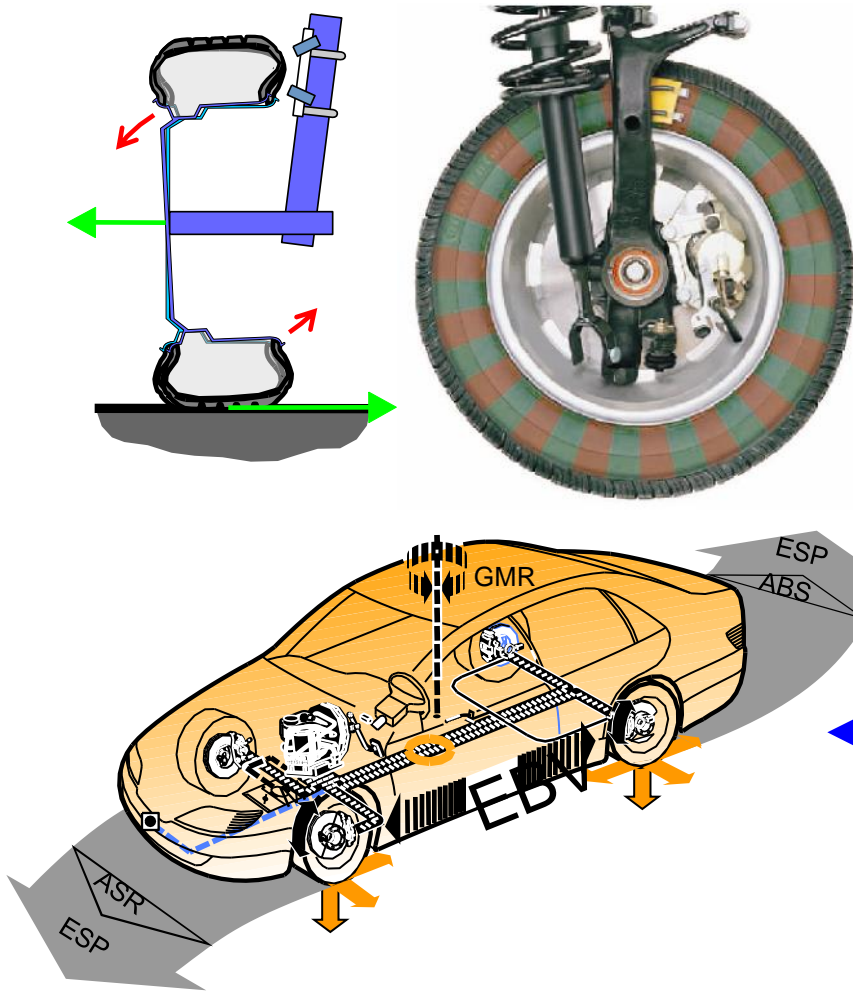
Profilelementverformungs-Sensor

Die dreidimensionale Verformung eines Profilklotzes wird mit einem darin integrierten Sensor ermittelt.

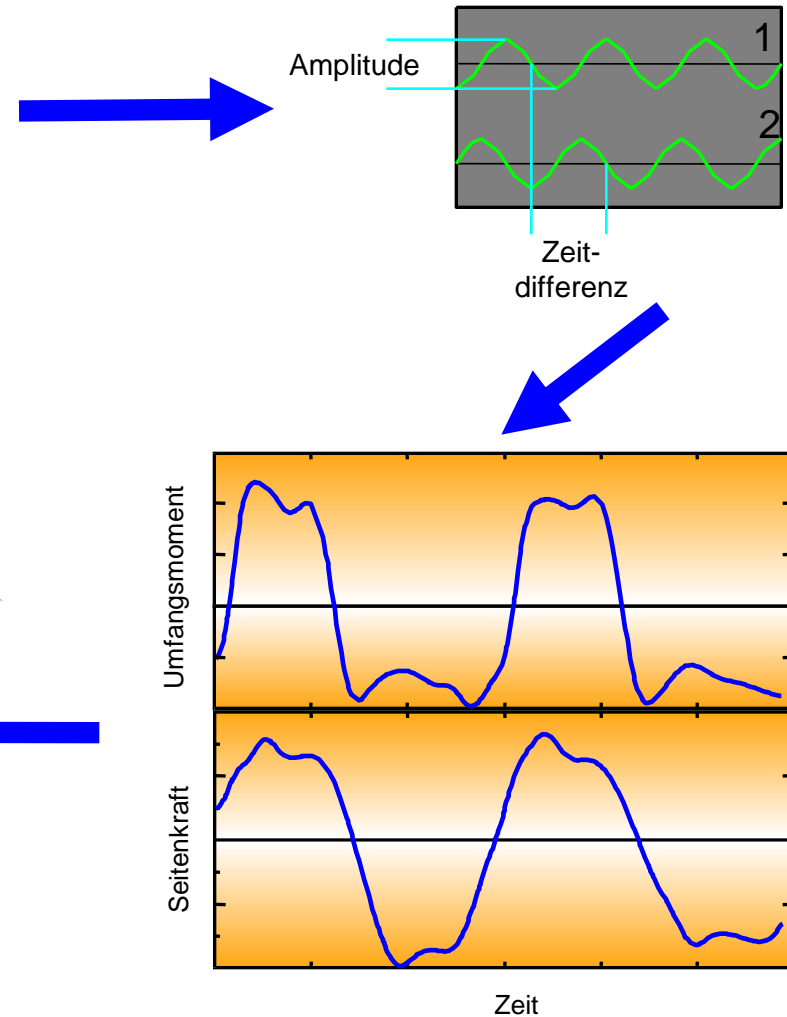
Durch Fahrzeugregelsysteme, die Reifenkräfte als Eingangsgrößen benutzen, können Fahrsicherheit, Fahrkomfort und Wirtschaftlichkeit verbessert werden.

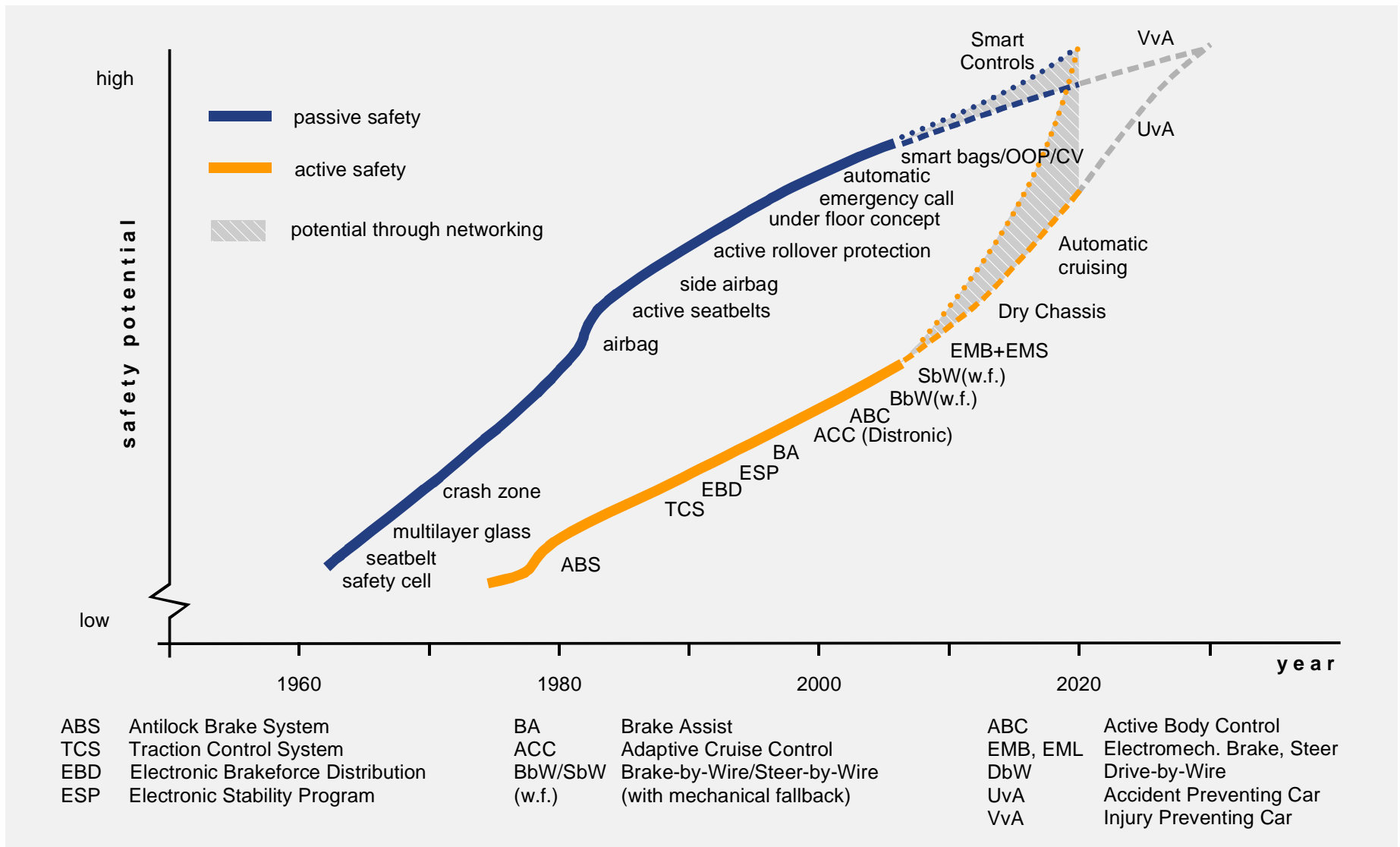


Intelligenter Reifen

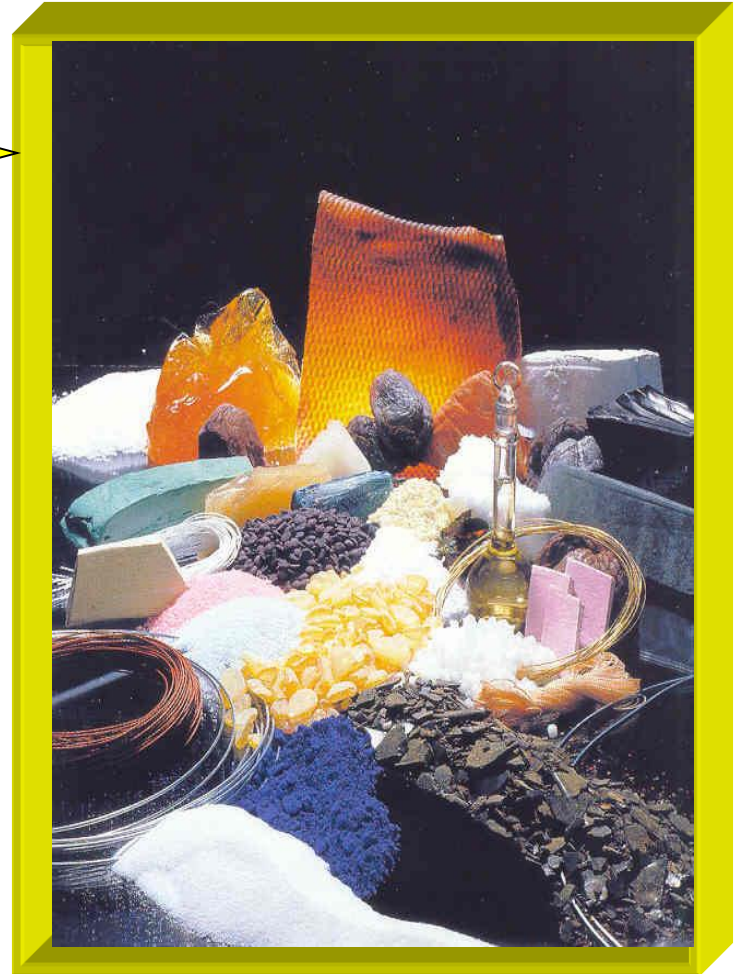
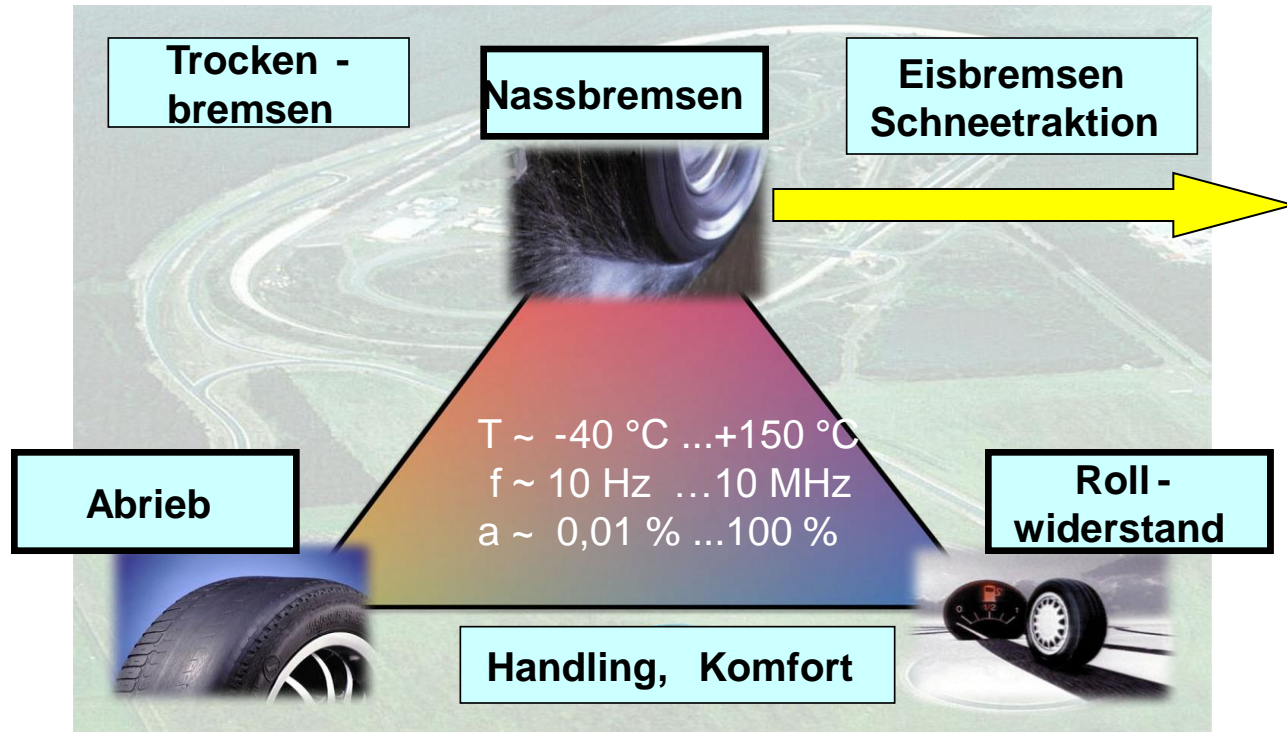


Der Reifen als Informationsquelle





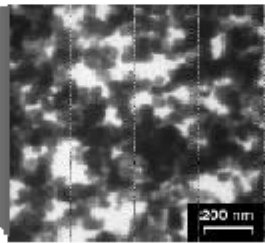
Development scenario safety in the car



Elastomere

Produktion weltweit 20.000.000 t/J
Umsatz in Deutschland 15 Mrd €





Reibung/Haftung

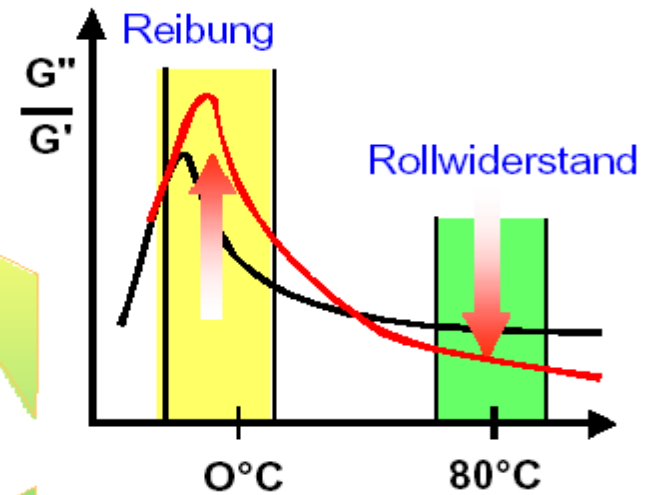
Kautschuknetzwerk
+
Füllstoffnetzwerk

Aufbau der Polymeren
Füllstoffaktivität
spezifische Oberfläche



Rollwiderstand

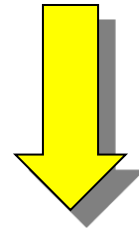
$$\tan \delta = G''/G'$$



Entwicklungsziel

Predictive Testing

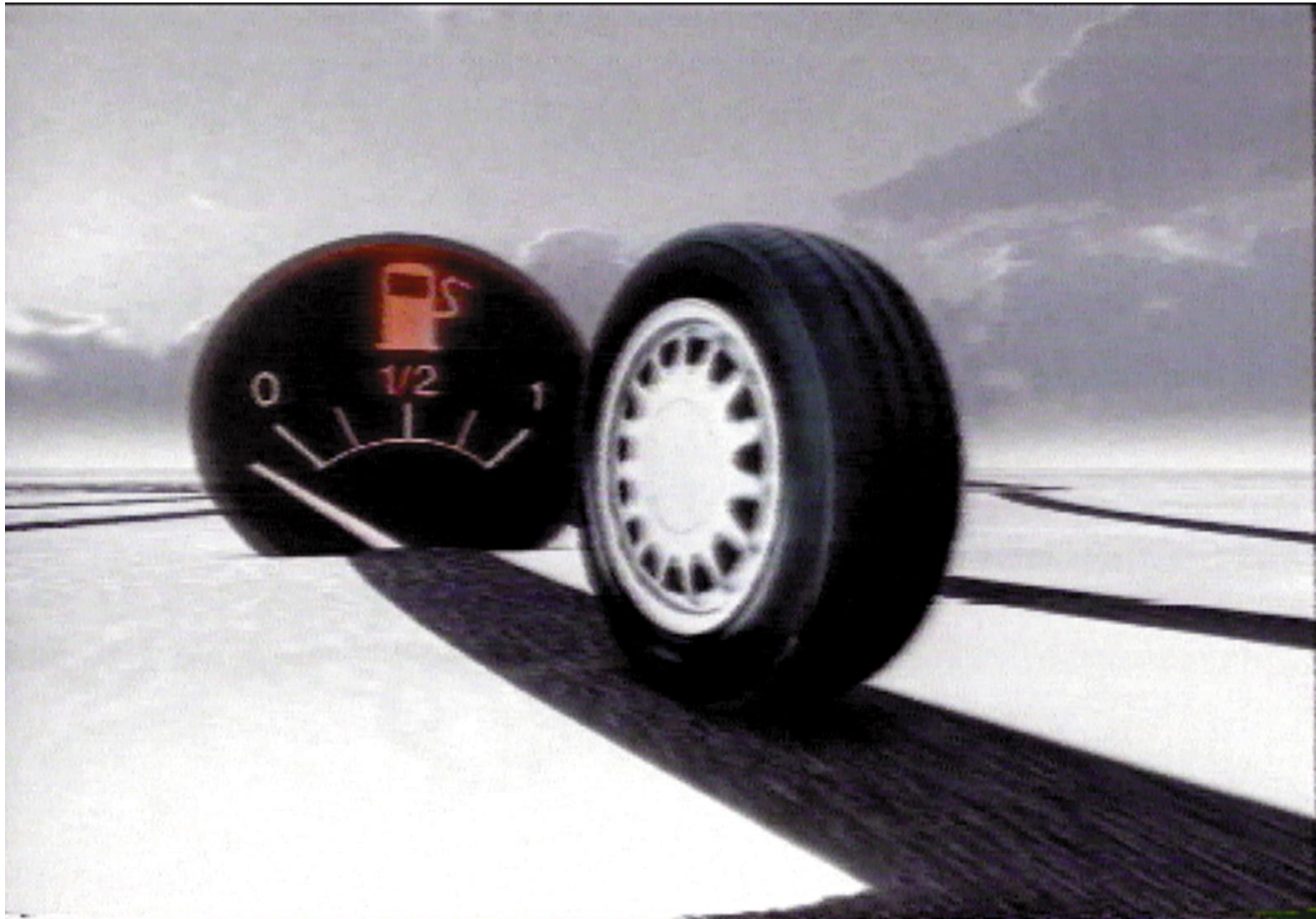
=
physikalische Laborprüfung
unter
optimal betriebsnahen Bedingungen des
Werkstoffeinsatzes



Verbundprojekte (1998 – 2003)

- Continental AG
- Bayer AG
- DIK Hannover

Beispiel Rollwiderstand

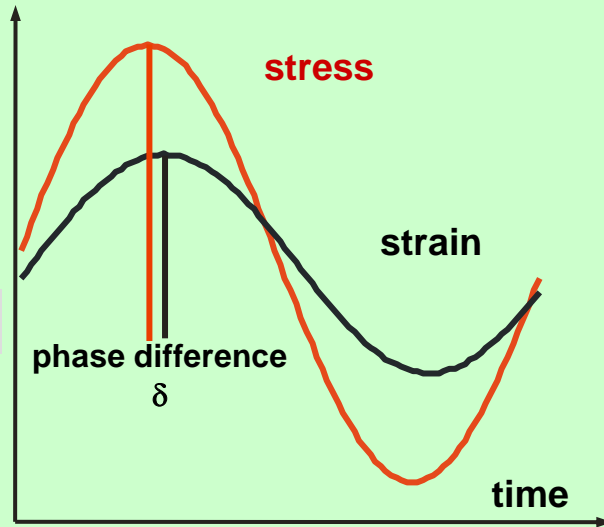
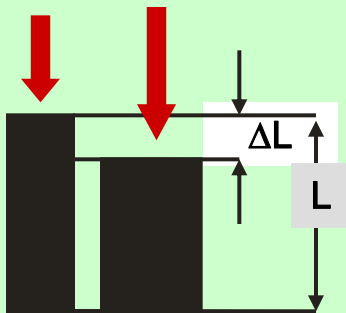


Niedrige Energiedissipation = Niedriger Rollwiderstand

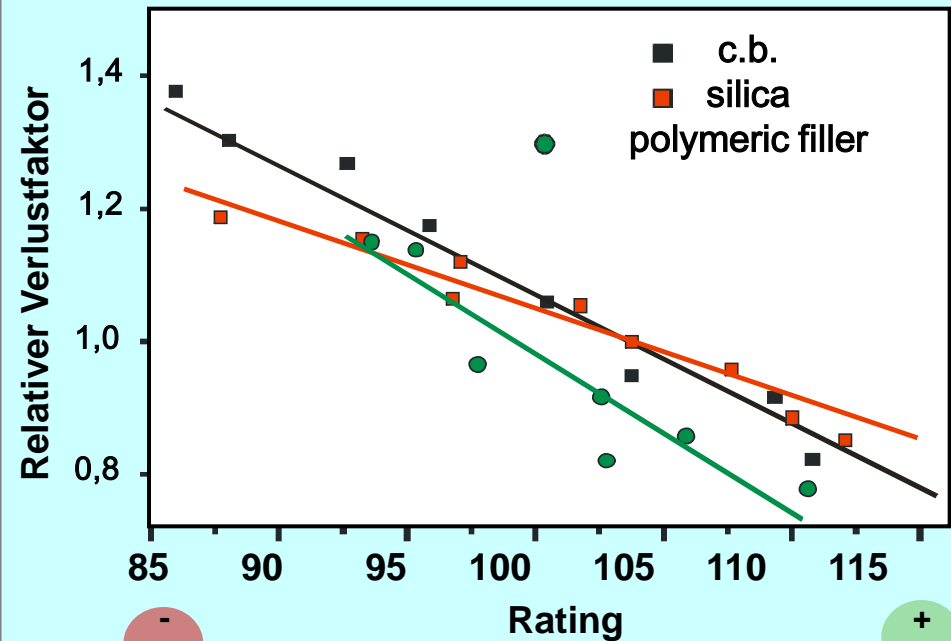


Annahme:
dissipierte Energie
korreliert mit
 $\tan\delta$
bei 10 Hz und RT
(Verformungsamplitude = ?)

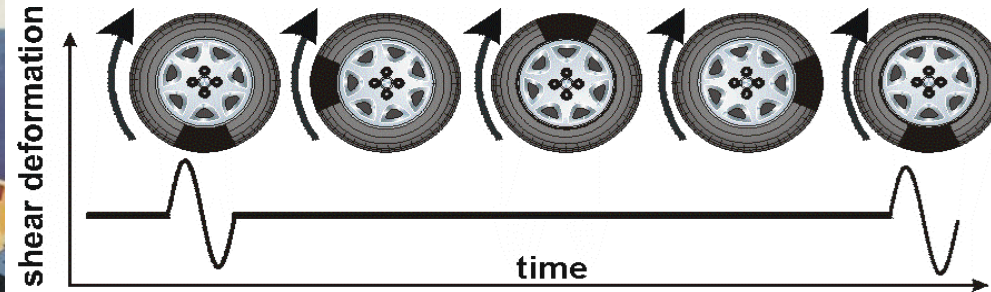
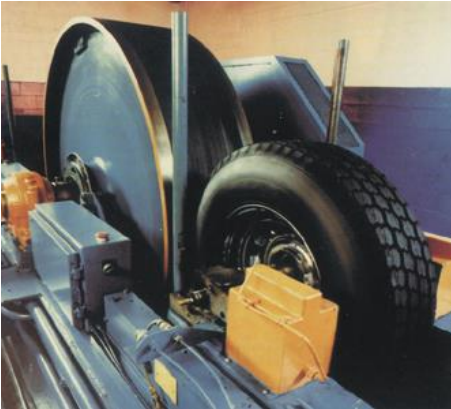
periodische
Verformung



Vorhersage Rowi.



dominanter Beitrag zur Deformation:
gepulste Scherbelastung



characteristischer Frequenzbereich für gepulste Belastung hängt ab von:

Geschwindigkeit



Reifendurchmesser

Kontaktfläche

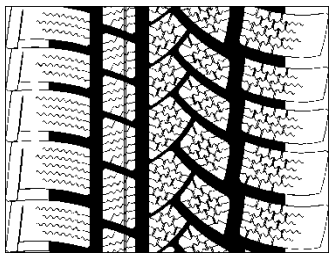
Bedingungen:

Geschwindigkeit ~ 100 km/h:

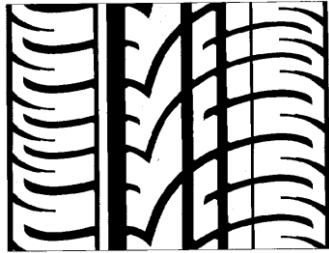
Pulsfrequenz	ca. 50 Hz
Wiederholungsfrequenz	ca. 10 Hz
Scherspannung	ca. 0.2 MPa
Temperatur	ca. 45 °C

Predictive Testing (PT) No.

1	reference	carbon black
2	super winter soft	silica/carbon black
3	super wet-skid hard	silica
4	super wet-skid soft	silica
5	super rolling resistance	carbon black (NA)
6	winter	silica



Winter



Sommer



Rille



Profilsteifigkeit



Größe: 195/65 R 15
total : 18 Varianten

PT

tread compounds

3

super wet-skid hard

70

1

reference

4

super wet-skid soft

6

winter

5

super RR

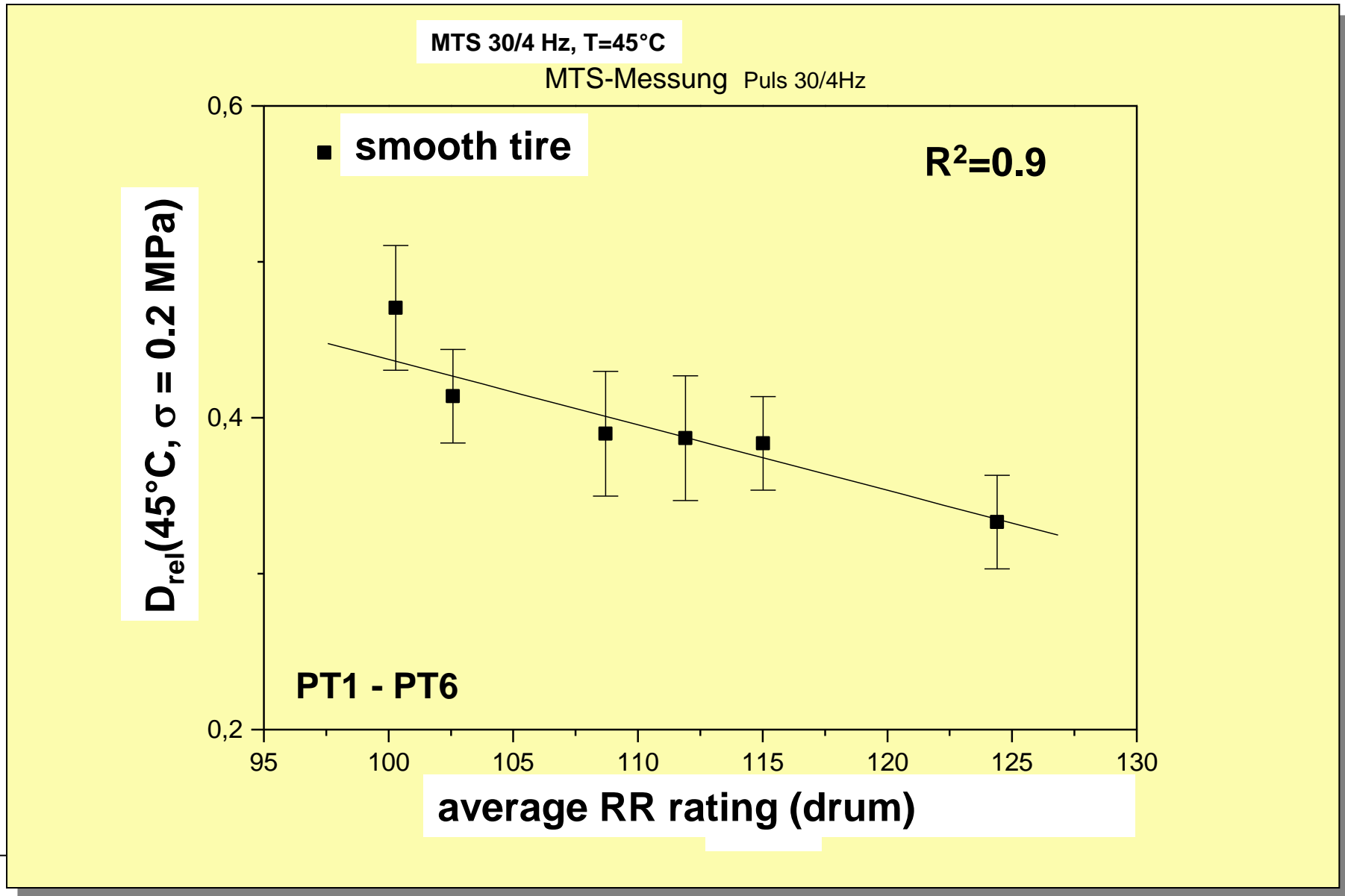
2

super winter soft

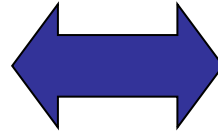
52

ShA (RT)

Rollwiderstand: Korrelation Labor (gepulst) - Reifen



quantitative



Rollwiderstand

Messung der dissipierten
Energy unter gepulsten
Deformationsbedingungen

Vorhersage

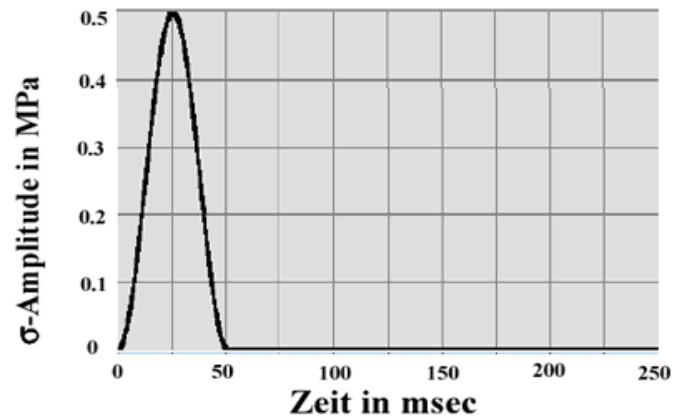


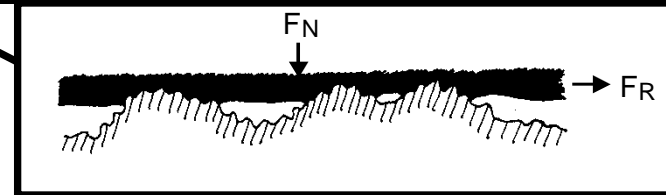
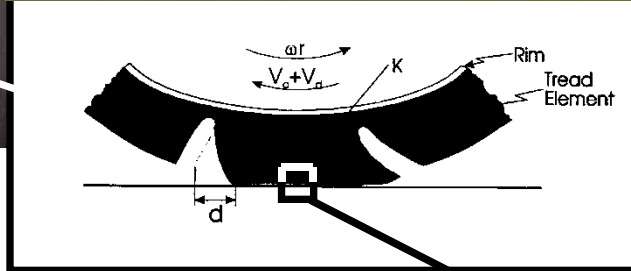
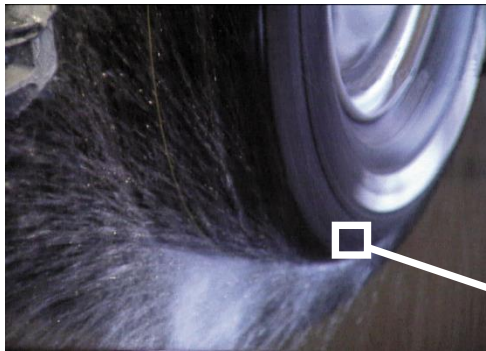
Umsetzung durch

Gabo Qualimeter
Testanlagen GmbH



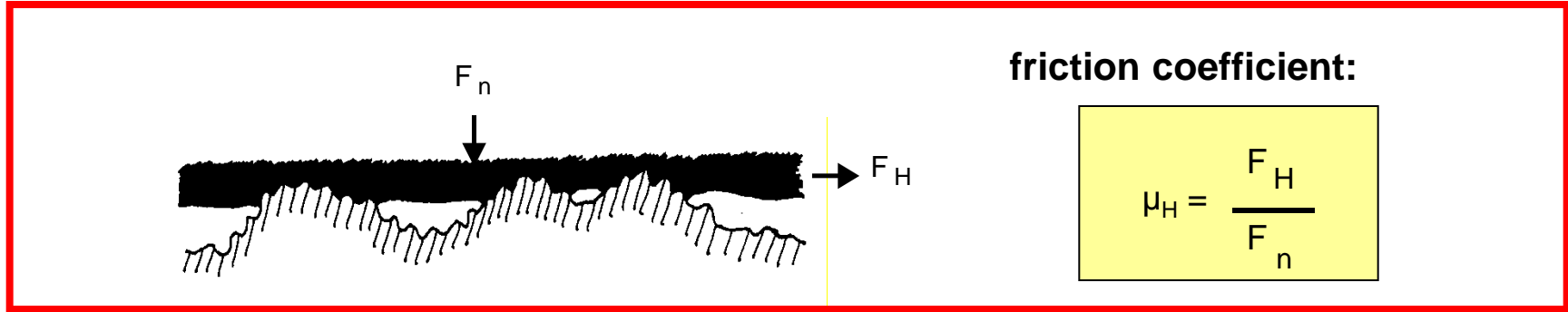
Predictive Testing



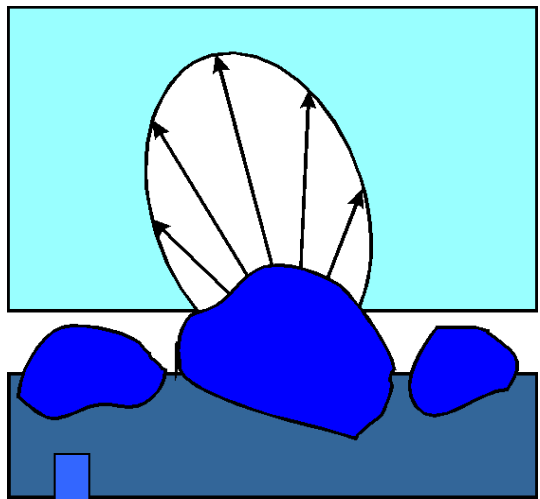


Rauigkeiten auf allen Längenskalen!

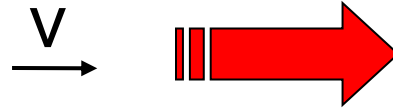
Hysteresereibung von Gummi



asymmetric stress field:

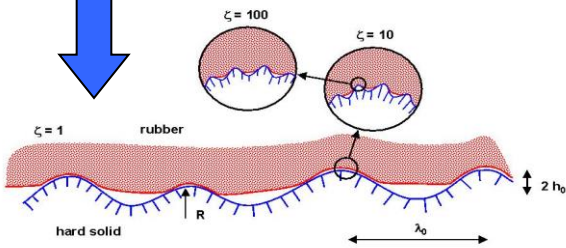
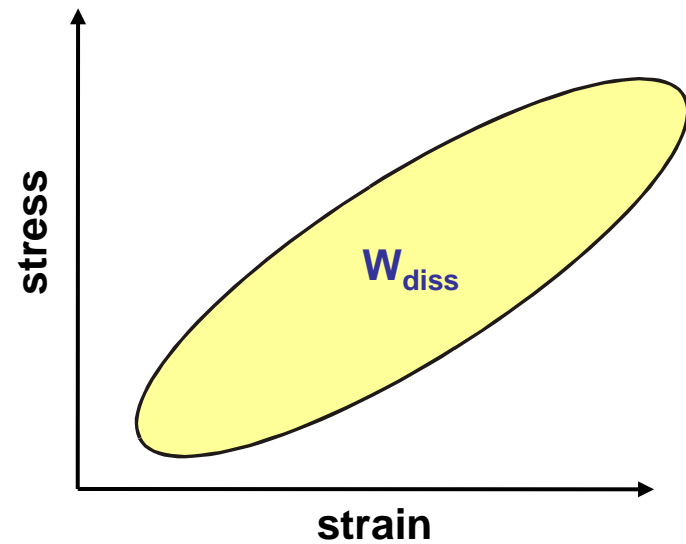


sliding rubber



road

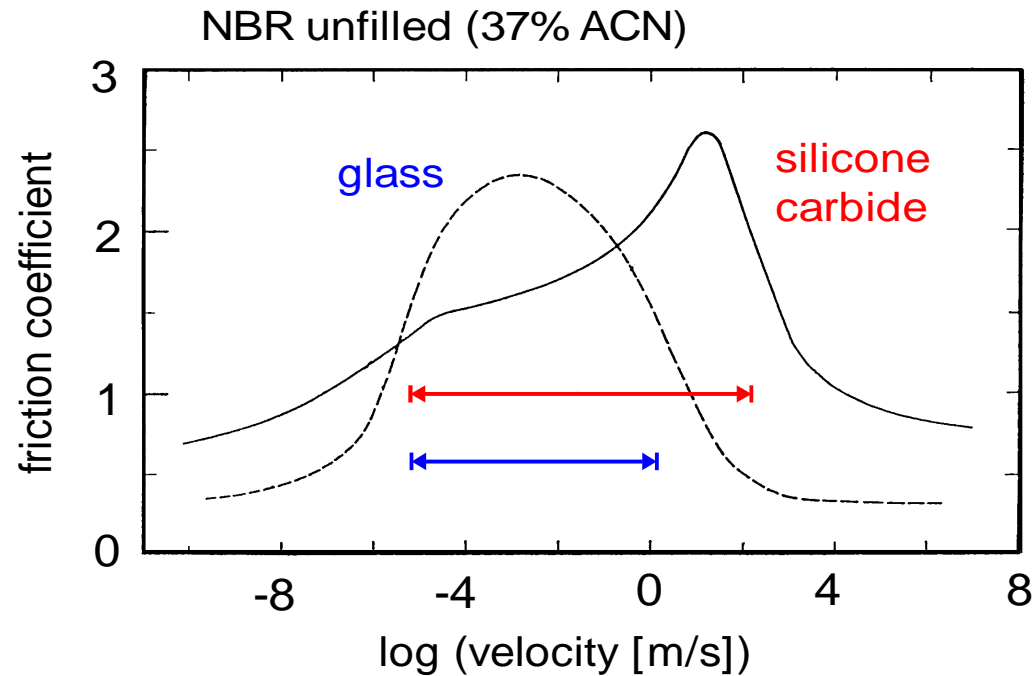
hysteresis cycle:



μ_H depends on:

- road texture
- viscoelasticity
- contact conditions

experimental data (Grosch 1963)



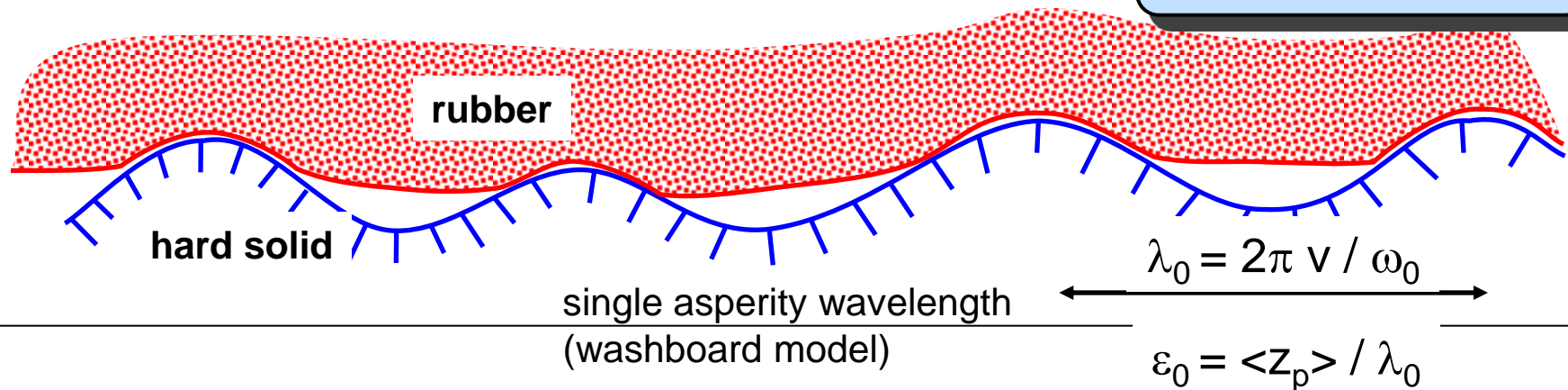
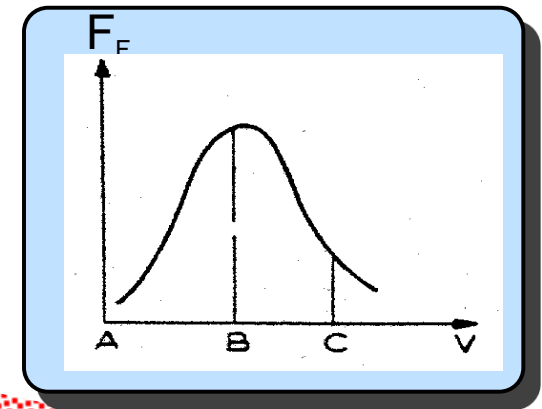
- glass: broad symmetric maximum at low velocity
- silicone carbide: maximum at higher velocity and shoulder

$$\Delta E_{\text{diss}} = \langle \Delta \tilde{E}_{\text{diss}} \rangle = \int_0^v \int_0^T \langle \sigma \cdot \dot{\varepsilon} \rangle dt d^3x$$

frictional power:

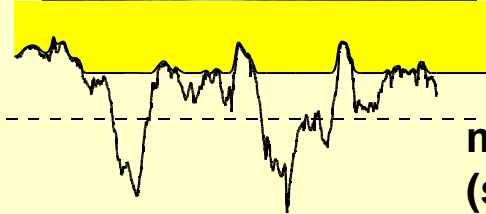
$$F_F \cdot v = \frac{\Delta E_{\text{diss}}}{T}$$

$$\mu \propto \varepsilon_0^2 \frac{G''(\omega_0)}{|G^*(\omega_0)|} \sim 1$$



$$\mu_H = \frac{1}{2(2\pi)^2} \frac{b \langle z_p \rangle}{\sigma_0 v} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \omega G''(\omega) S(\omega) d\omega$$

spectral power density:
 $S(\omega) \sim \omega^{-\beta}$



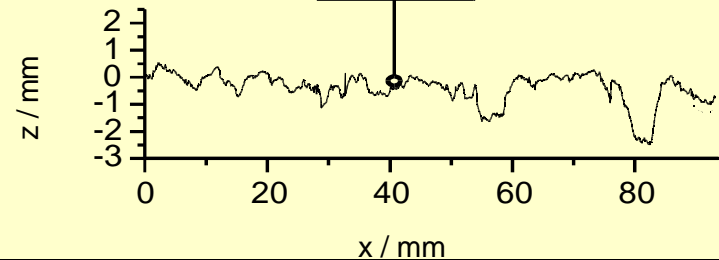
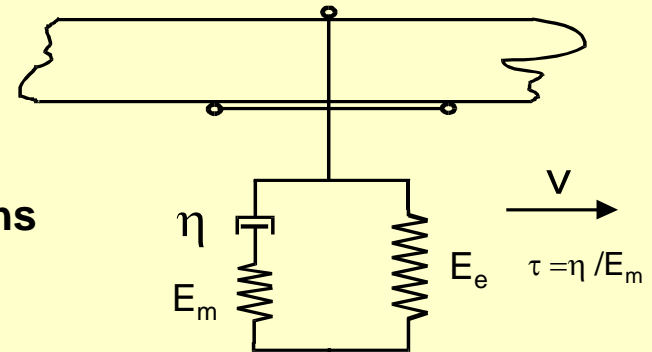
multi-asperity wavelengths
 (self-affine surface)

$$\mu_H = \frac{\langle z_p \rangle \xi_{\perp}^2 E_m (\beta - 1) v}{8\pi \sigma_0 \xi_{\parallel}^3 (3 - \beta) v_1} \times$$

$$\times \left\{ \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{3-\beta} {}_2F_1 \left(1, \frac{3-\beta}{2}; \frac{5-\beta}{2}; -\left(\frac{v}{v_2} \right)^2 \right) - \left(\frac{v}{v_1} \right)^2 {}_2F_1 \left(1, \frac{3-\beta}{2}; \frac{5-\beta}{2}; -\left(\frac{v}{v_1} \right)^2 \right) \right\}$$

Heinrich&Kluppel Theory 1997-2001
 B.N.J. Persson 2000-2003

$G^*(\omega) = G'(\omega) + iG''(\omega)$
Zener Slider



washboard model:

$$S(\omega) = \varepsilon_0^2 \delta(\omega - \omega_0)$$

Beschreibung der Strassenoberfläche: Selbstaffinität

Spektrale Leistungsdichte $S(f)$



Autokorrelationsfunktion:

$$\Gamma_z(\lambda) = \langle z(x+\lambda)z(x) \rangle - \langle z(x) \rangle^2$$

Self -Affine Surfaces :

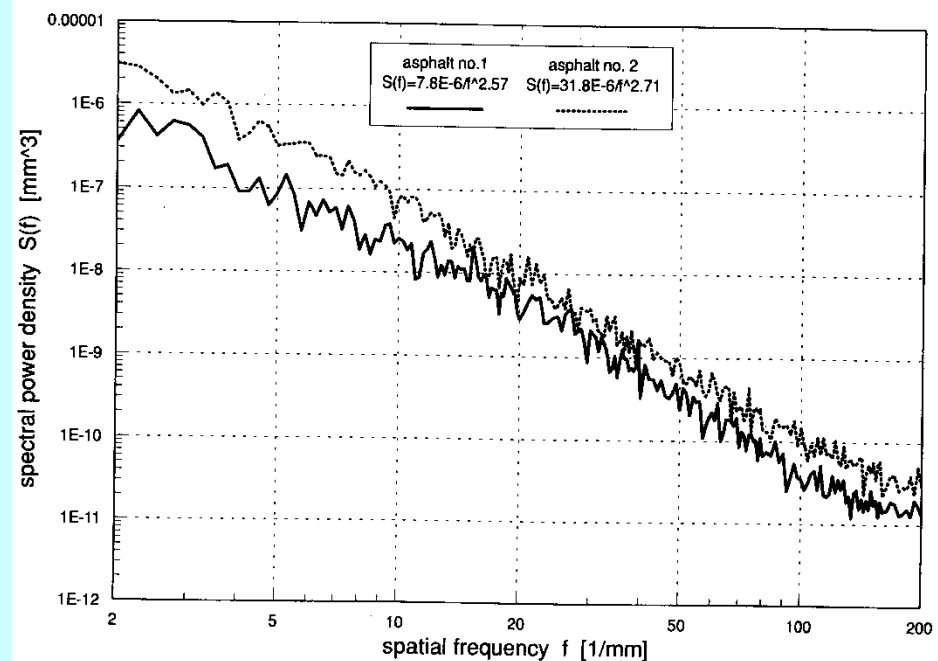
$$S(f) = k \left(\frac{f}{f_{\min}} \right)^{-\beta} \quad \text{for } f > f_{\min}$$

$$k = H \xi_{\perp}^2 \xi_{\parallel}$$

$$\beta = 2H + 1 = 7 - 2D$$

$$f_{\min} = \xi_{\parallel}^{-1}$$

$$\Gamma_z(\lambda) = \int_{f_{\min}}^{\infty} S(f) e^{2\pi i f \lambda} df$$

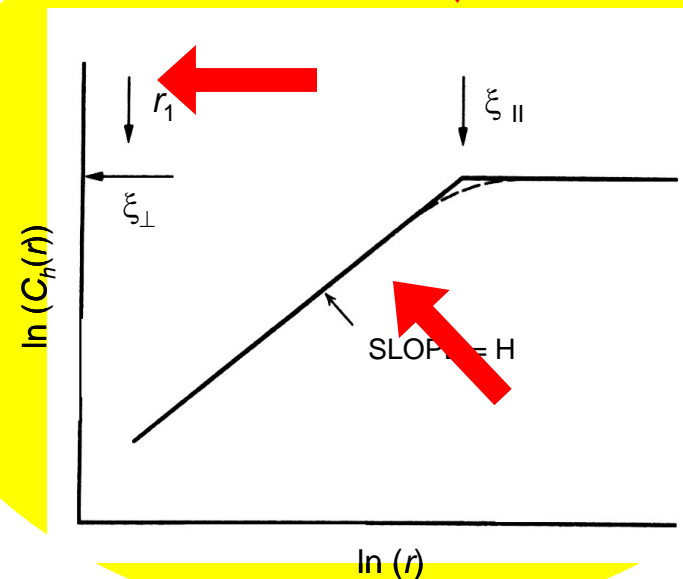
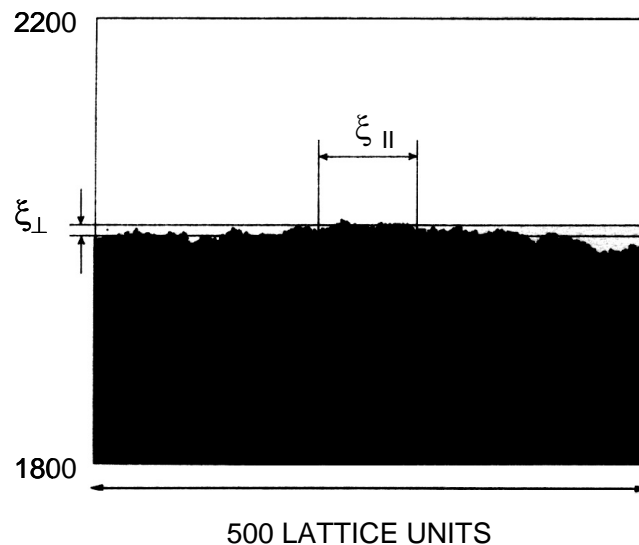


Surface Descriptors (β, k, f_{\min})

Beschreibung der Strassenoberfläche: Selbstaffinität

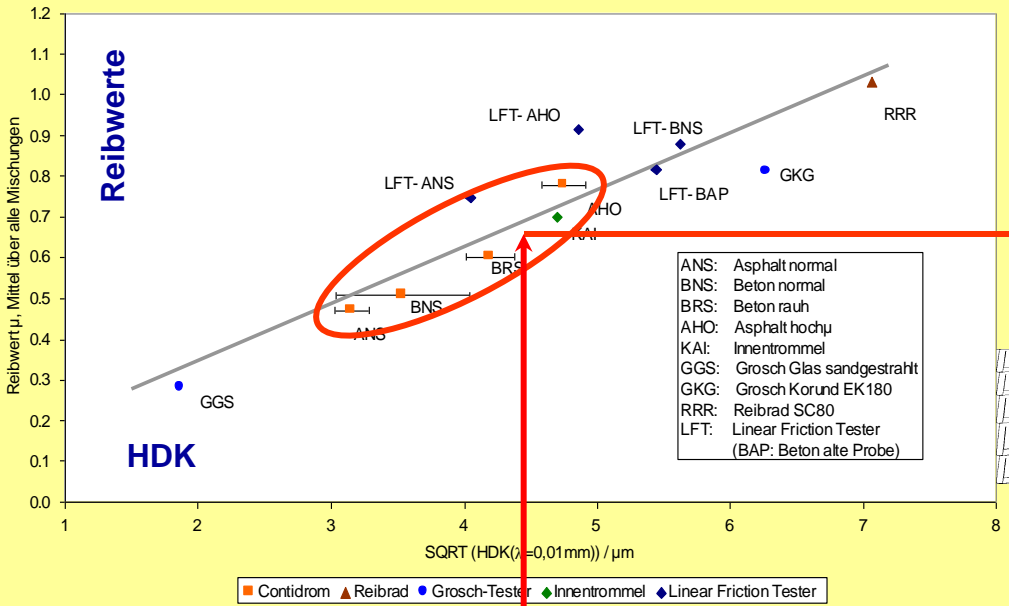
Höhendifferenzkorrelation

- Selbstaffine Oberflächen sind durch zwei Korrelationslängen ξ_{\perp} und ξ_{\parallel} , senkrecht und parallel zur Fläche, sowie die oberflächenfraktale Dimension d_f (bzw. Hurst - Exponent H) vollständig charakterisiert.
 - Die Korrelationslängen ξ_{\perp} und ξ_{\parallel} beschreiben die maximal auftretenden Rauheiten.
 - Die fraktale Dimension d_f ist ein Maß für die Irregularität der Oberfläche.



Schematische Darstellung einer selbstaffinen Oberfläche (links). Die drei Oberflächendescrptoren d_f , ξ_{\perp} und ξ_{\parallel} lassen sich z.B. über die Höhendifferenz-Korrelationsfunktion $C_h(r)$ bestimmen (rechts).

J. Schramm, Dissertation 2002

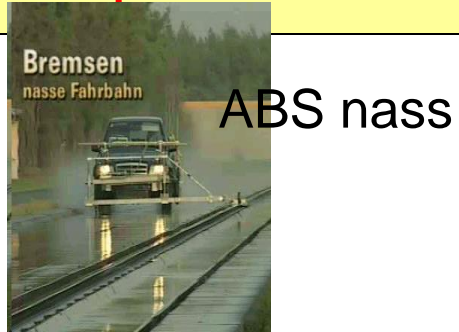


Compound	ShA (RT)
super wet-skid hard	70
reference	
super wet-skid soft	
winter	
super RR	
super winter soft	52

↑

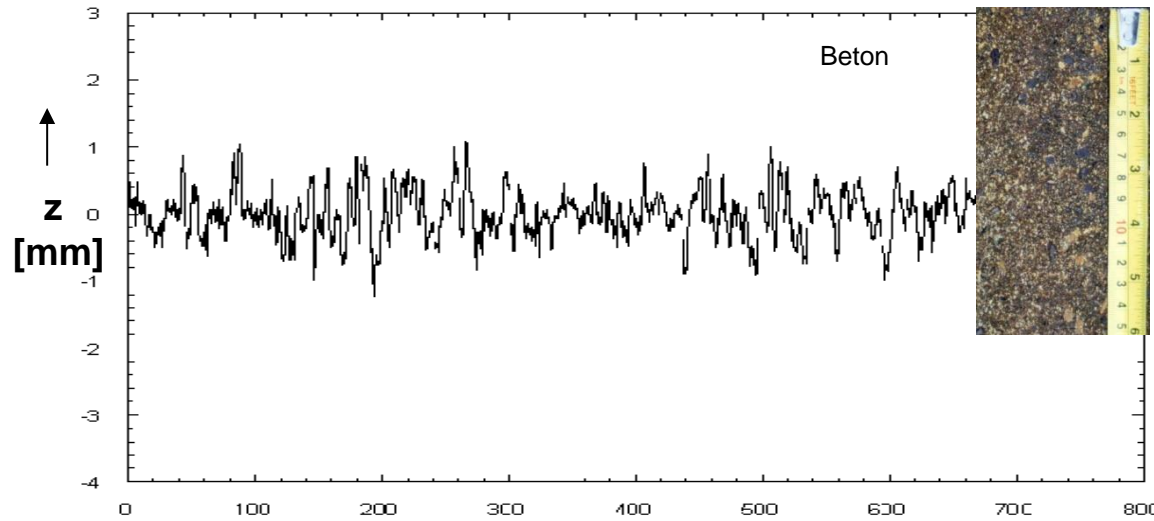
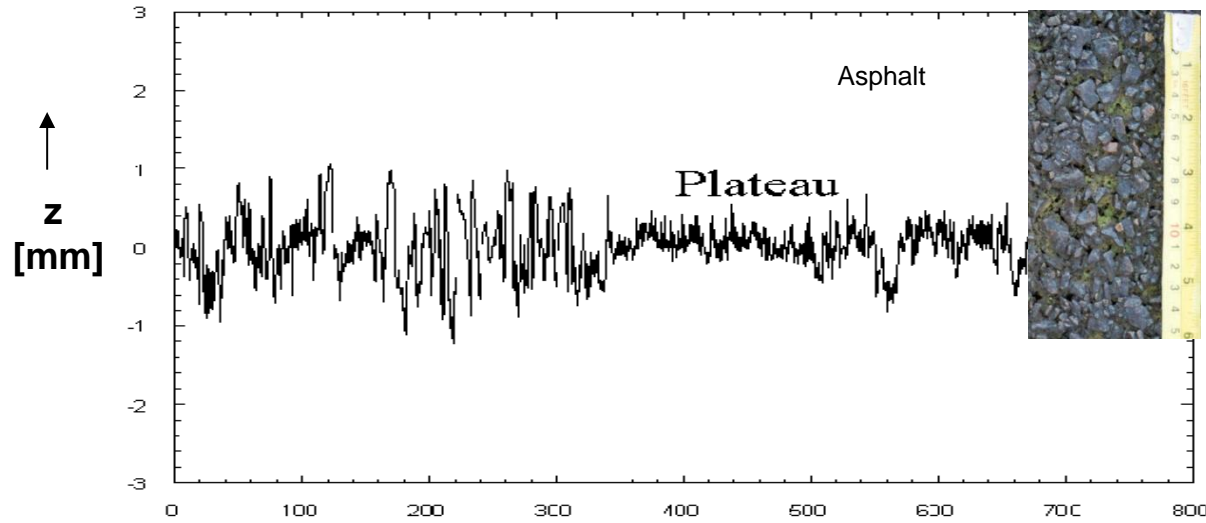
tire size: 195/65 R 15
total : 18 variants

pattern stiffness →

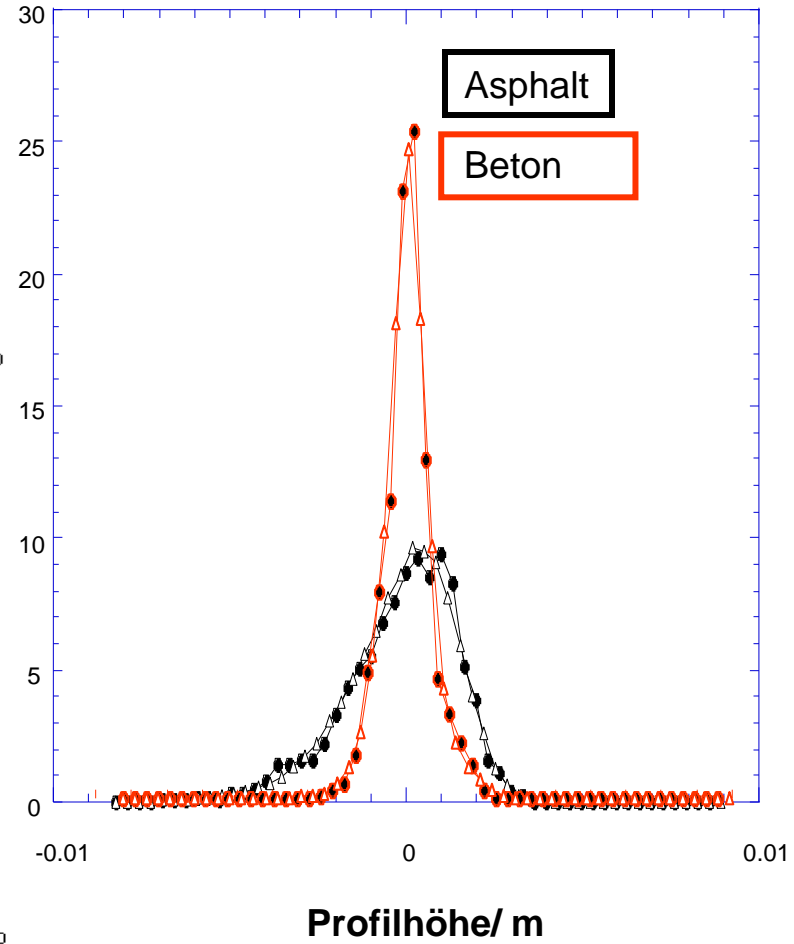


= „Predictive Testing“ der Straßenoberflächeneinflüsse!

Reibwerte und Strassenprofile



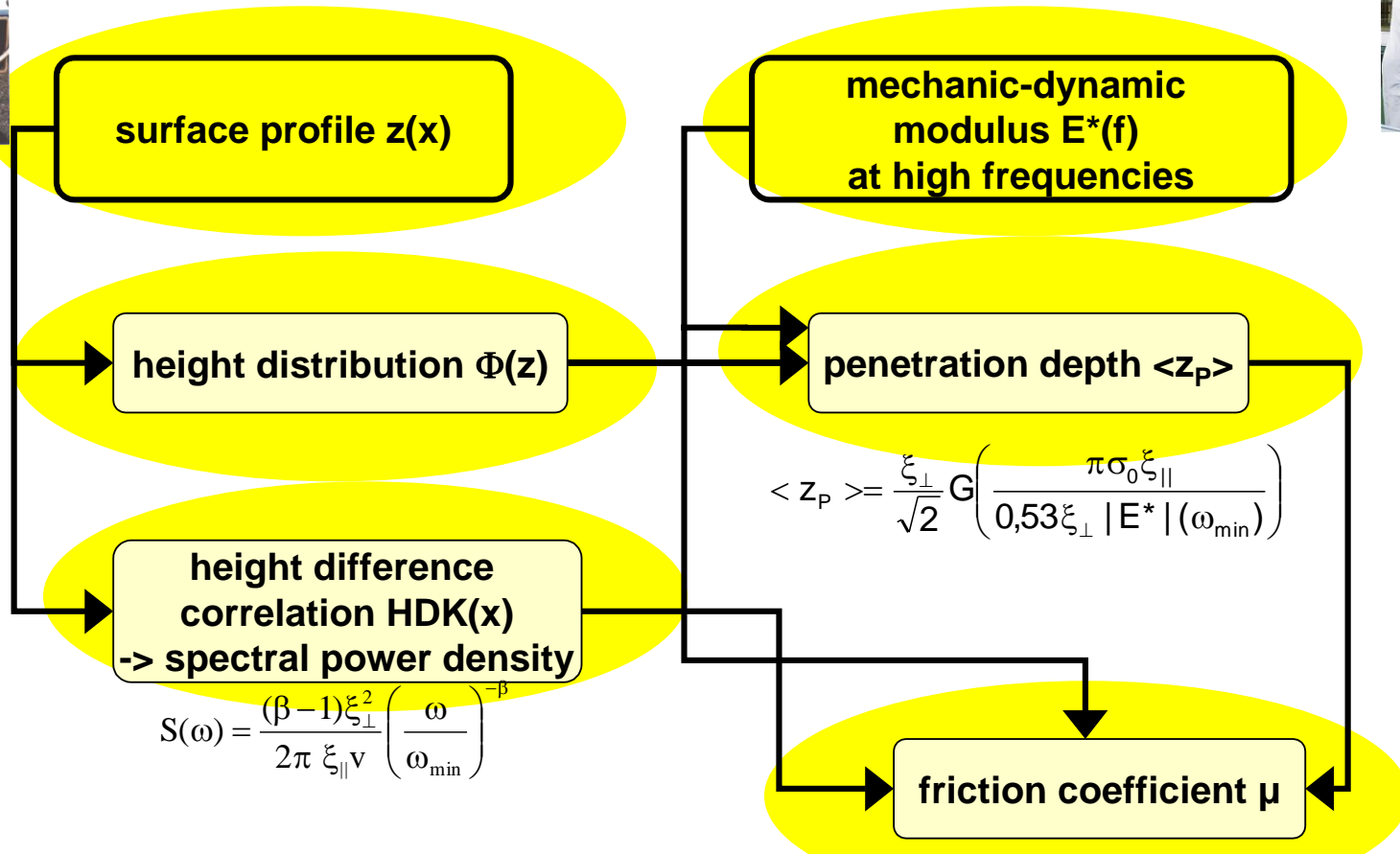
Häufigkeit [%]



x [mm] →



Vorgehensweise



surface profile $z(x)$

mechanic-dynamic modulus $E^*(f)$ at high frequencies

height distribution $\Phi(z)$

penetration depth $\langle z_p \rangle$

$$\langle z_p \rangle = \frac{\xi_{\perp}}{\sqrt{2}} G\left(\frac{\pi \sigma_0 \xi_{\parallel}}{0,53 \xi_{\perp} |E^*|(\omega_{\min})}\right)$$

height difference correlation HDK(x)
-> spectral power density

$$S(\omega) = \frac{(\beta - 1) \xi_{\perp}^2}{2\pi \xi_{\parallel} v} \left(\frac{\omega}{\omega_{\min}}\right)^{-\beta}$$

friction coefficient μ

parameter:

- rubber temperature
- sliding velocity

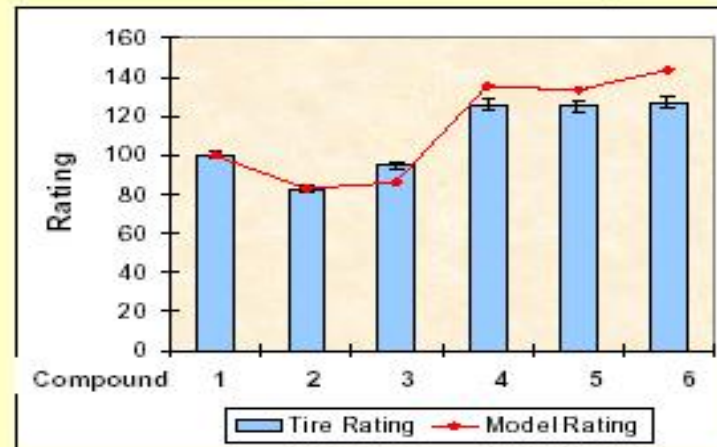
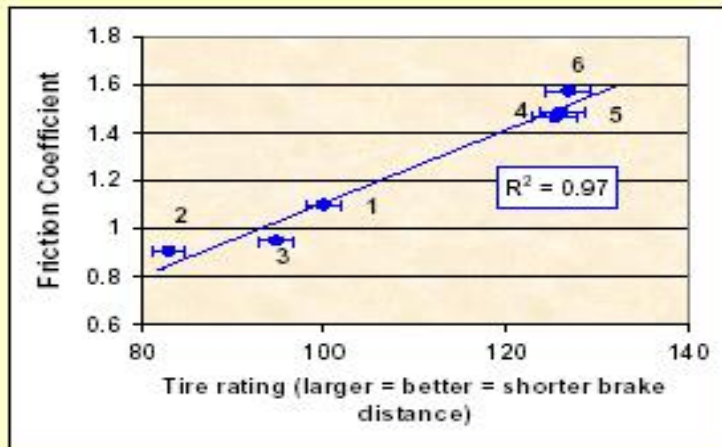
$$\mu_H \equiv \frac{F_H}{F_n} = \frac{1}{2(2\pi)^2} \frac{\langle z_p \rangle}{\sigma_0 v} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} d\omega \omega E''(\omega) \cdot S(\omega)$$



ABS-Wet-Braking Correlation with Model Prediction

Tire Testing at GTC*L proving ground

- Tires: 6 equal constructions
- Rubber: Systematic compound variation to cover full compound range
- Surface: GTC*L skid pad, asphalt



Friction modeling allows for efficient traction evaluation

S. Westermann, F. Petry and G. Thielen
Goodyear Technical Center Luxembourg

Contains Confidential and/or Proprietary Information. May Not Be Copied or Disseminated
Without Expressed Consent of The Goodyear Tire & Rubber Company.



22

Dr. S. Westermann: Vortrag auf Workshop „Tires: Trends and Future Perspectives“,
IPF Dresden, 2. Juni 2005