

Aquaplaning und Verkehrssicherheit auf Autobahnen

Uni (TH) Karlsruhe – ISE; 9.12.2004



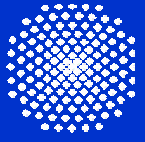
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel

Universität Stuttgart

Institut für Straßen-und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau

Pfaffenwaldring 7 ▪ 70569 Stuttgart ▪ Tel. +49 (0)711 658-6447 ▪ www.uni-stuttgart.de/isv/



Der Aquaplaning-Vorgang: Begriffsdefinition

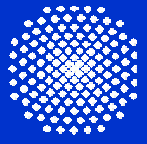
„Unter Aquaplaning – wörtlich Wassergleiten – versteht man das Aufschwimmen des auf nasser Fahrbahn mit sehr hoher Geschwindigkeit rollenden Kraftfahrzeugreifens auf einem Wasserkeil infolge des Entstehens eines hydrodynamischen Drucks, der größer ist als die Flächenpressung in der Reifenaufstandsfläche.“

„Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe“ (Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, 1968)

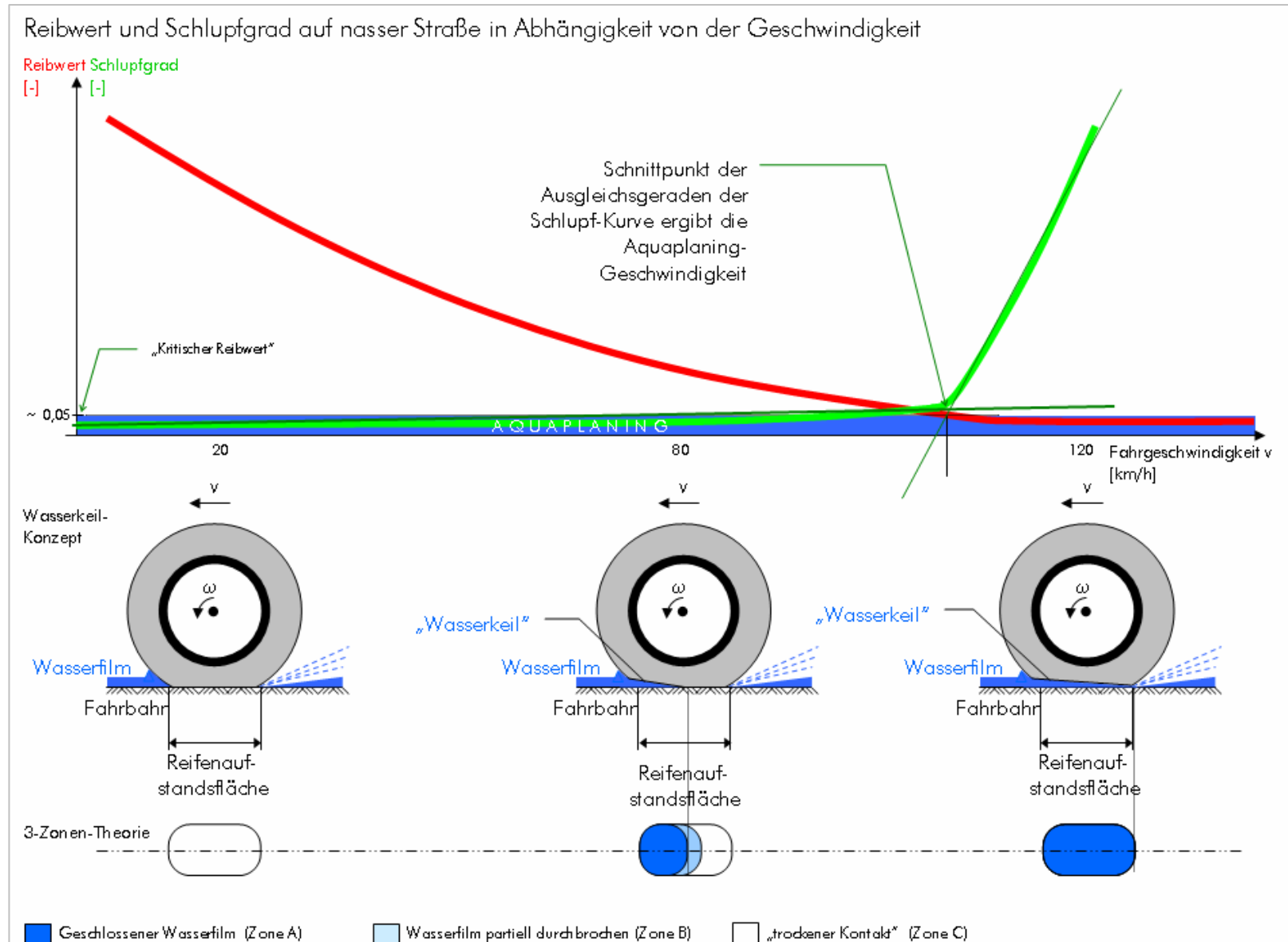
Kurz gesagt ist Aquaplaning die Trennung des Reifens von der Straßenoberfläche durch einen geschlossenen Wasserfilm

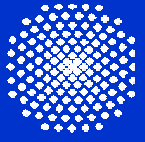
„Hydroplaning, Hydrodynamic Drag, and Vehicle Stability“ (HAYES, G.G.; IVEY, D.L., GALLAWAY, B.M., 1983).

In: ASTM STP Vol. 793, Frictional Interaction of Tire and Pavement, W.E. Meyer and J.D. Walter, Eds., American Society for Testing and Materials, 1983, S. 151-166.

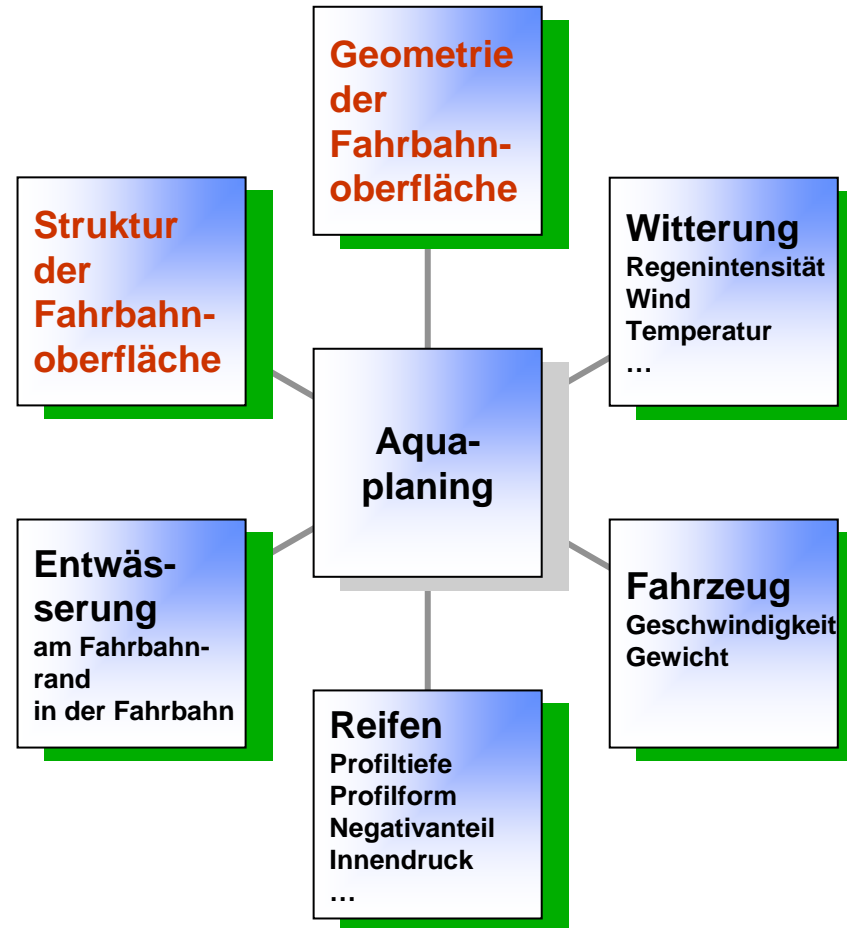


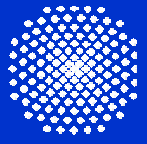
Der Aquaplaning-Vorgang: Modelle und schematische Darstellung





Der Aquaplaning-Vorgang: Einflussfaktoren



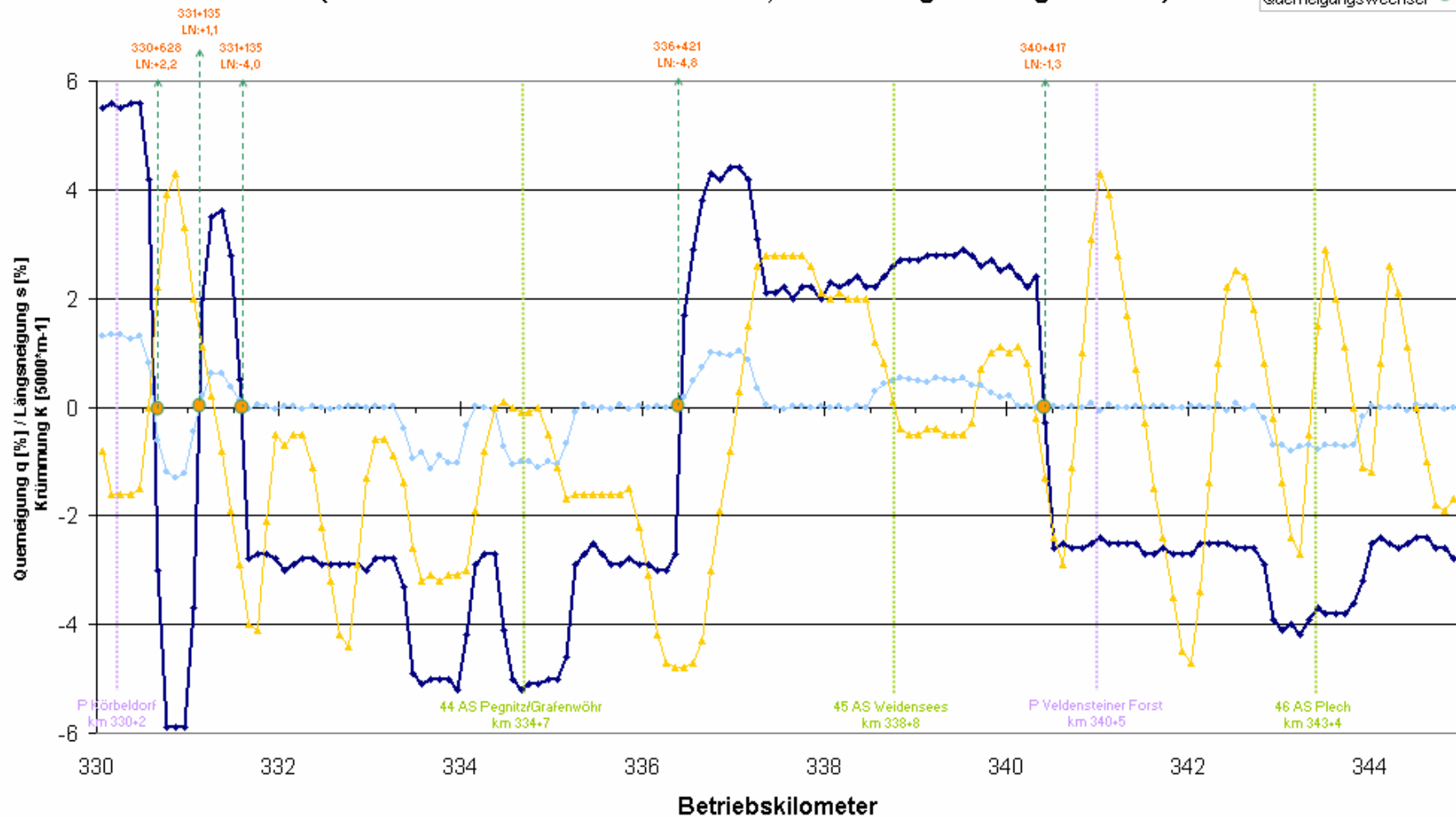


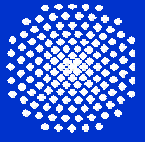
Aquaplaning: Ein Sicherheitsproblem?

9 Bereich 7 (RE)

BAB A9 - Trassierungsdaten (gemessen im 100m-Raster) (Betriebskilometer 330+070 bis 344+915, Fahrrichtung Nürnberg-München)

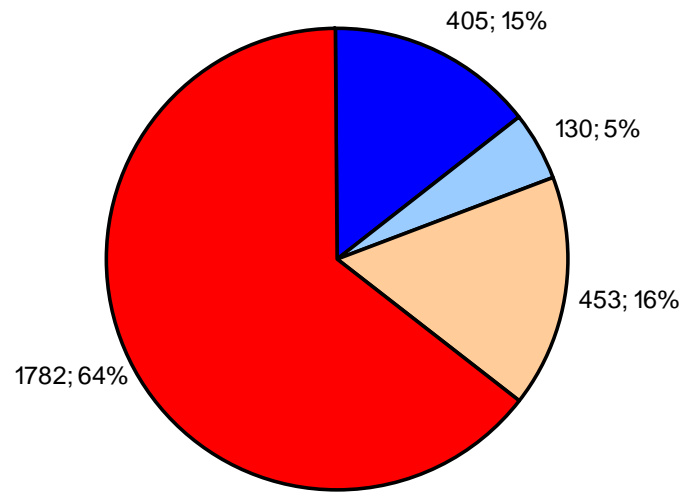
Querneigung q —
Krümmung K —
Längsneigung LN —
Querneigungswechsel ●



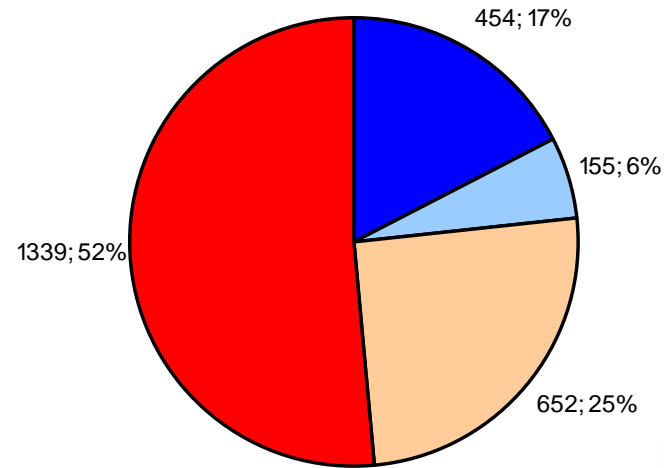


Aquaplaning: Ein Sicherheitsproblem?

100m-Abschnitte

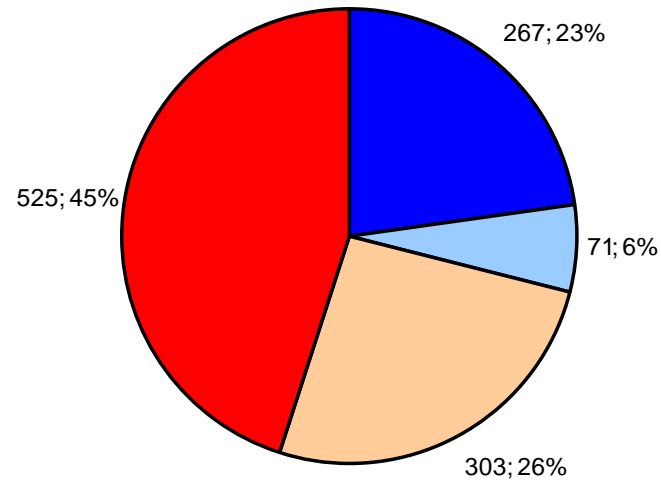


Unfälle

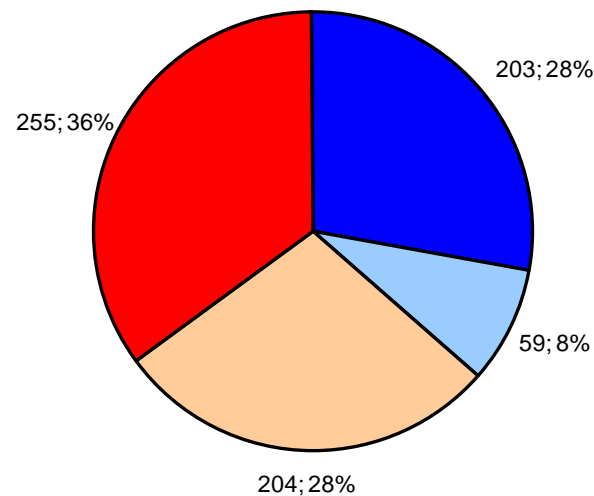


BAB A9
Fahrtrich. Berlin – München;
244+2 bis 521+1 (Bayern)
(n=2770 Str.-absch.);
sämtliche Unfälle der Jahre
2001 und 2002

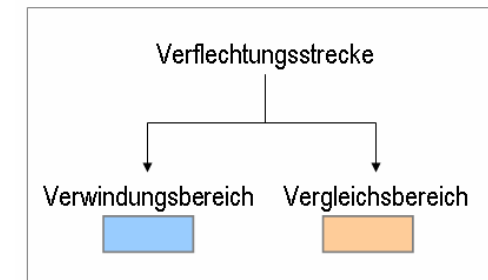
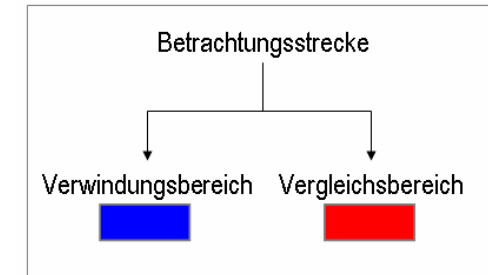
Unfälle bei nasser Fahrbahn

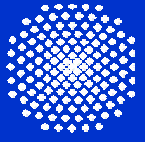


Fahrnfälle bei nasser Fahrbahn

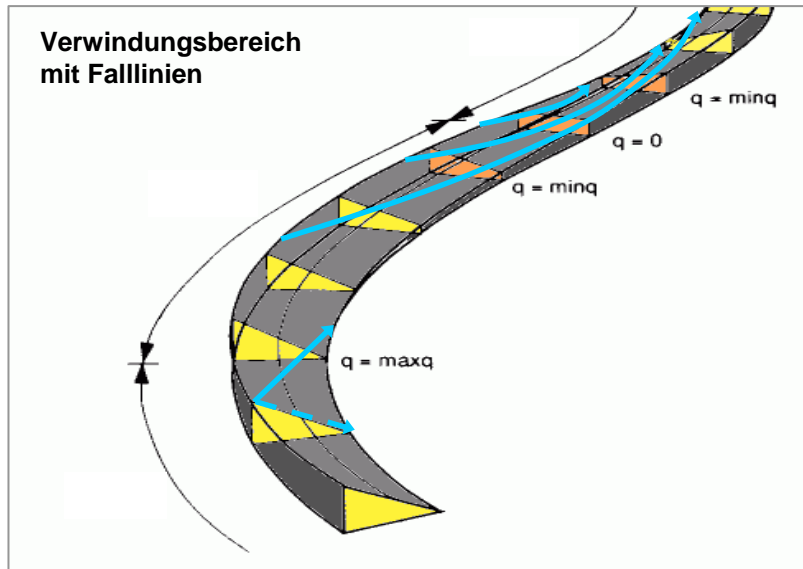


Klassifizierung Untersuchungsabschnitte





Einfluss der Oberflächengeometrie: Fließwege in Verwindungsbereichen

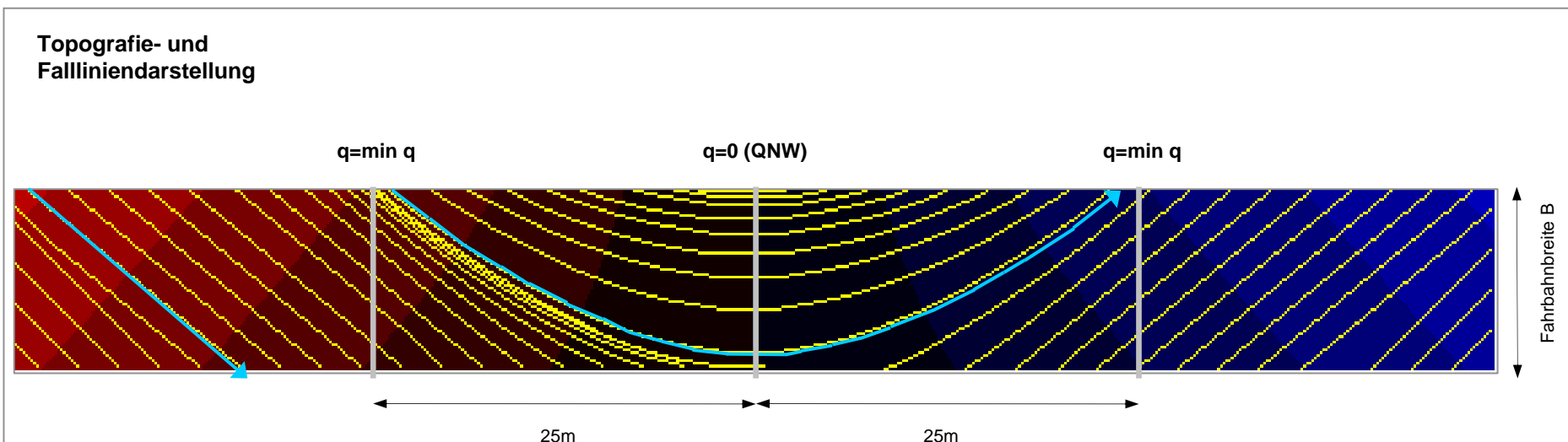


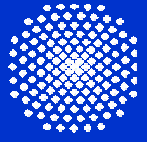
Definition Falllinien:

- Fließwege des oberflächigen Wasserabflusses
- Linien des größten Gefälles
- Stehen immer senkrecht zu den Höhenlinien

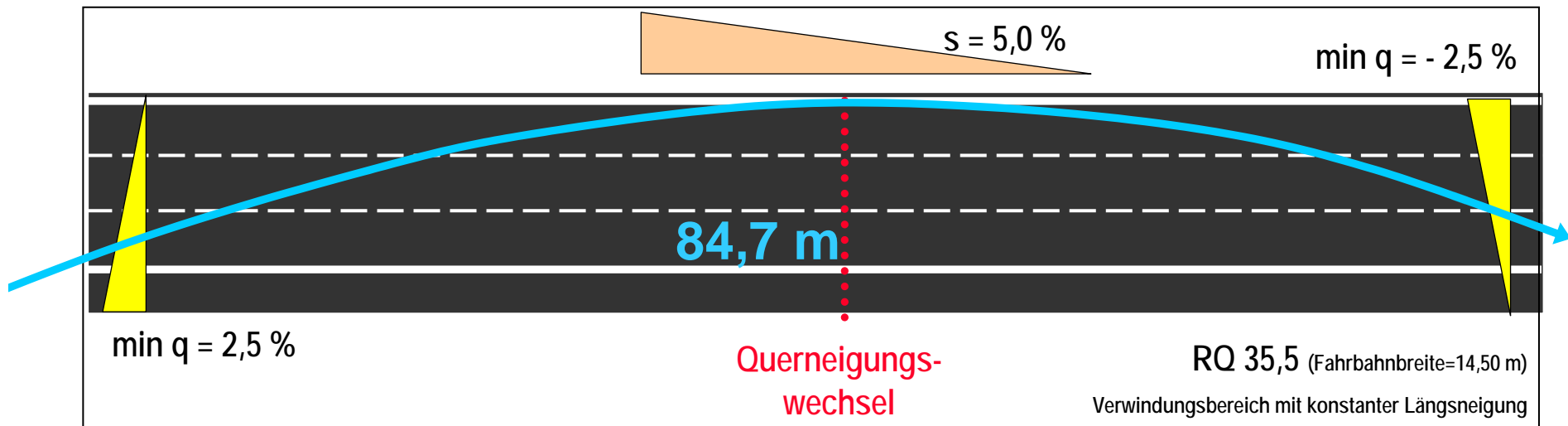
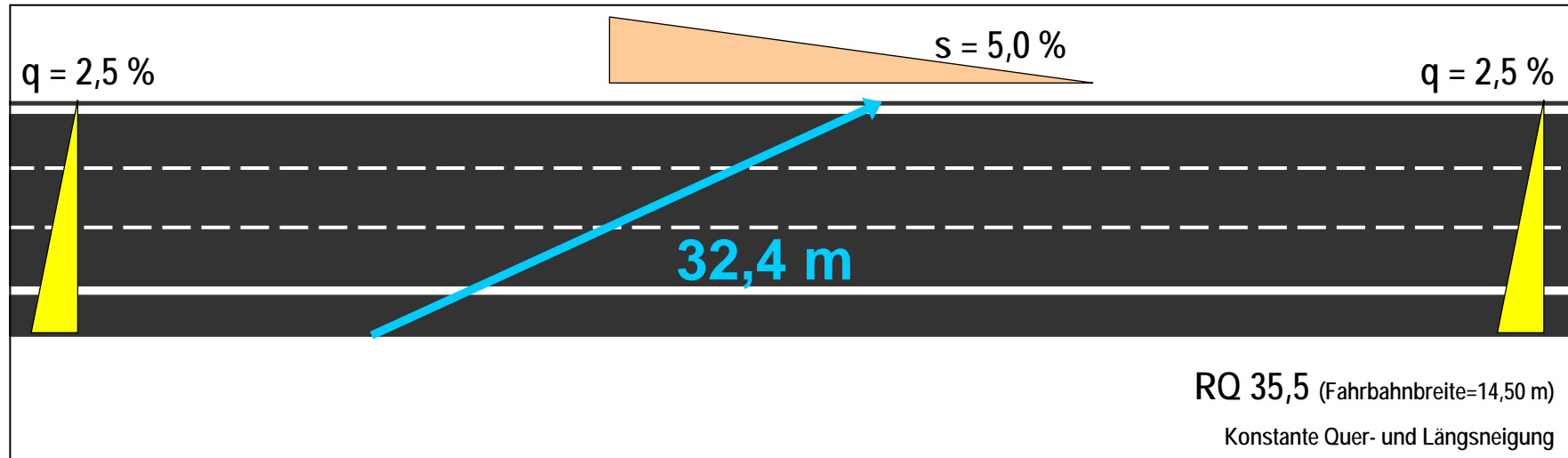
Abb. oben links:
RAS-L 95 (FGSV),
[ergänzt]

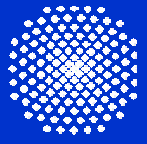
Abb. unten:
Ausgabe
Simulationsprogramm



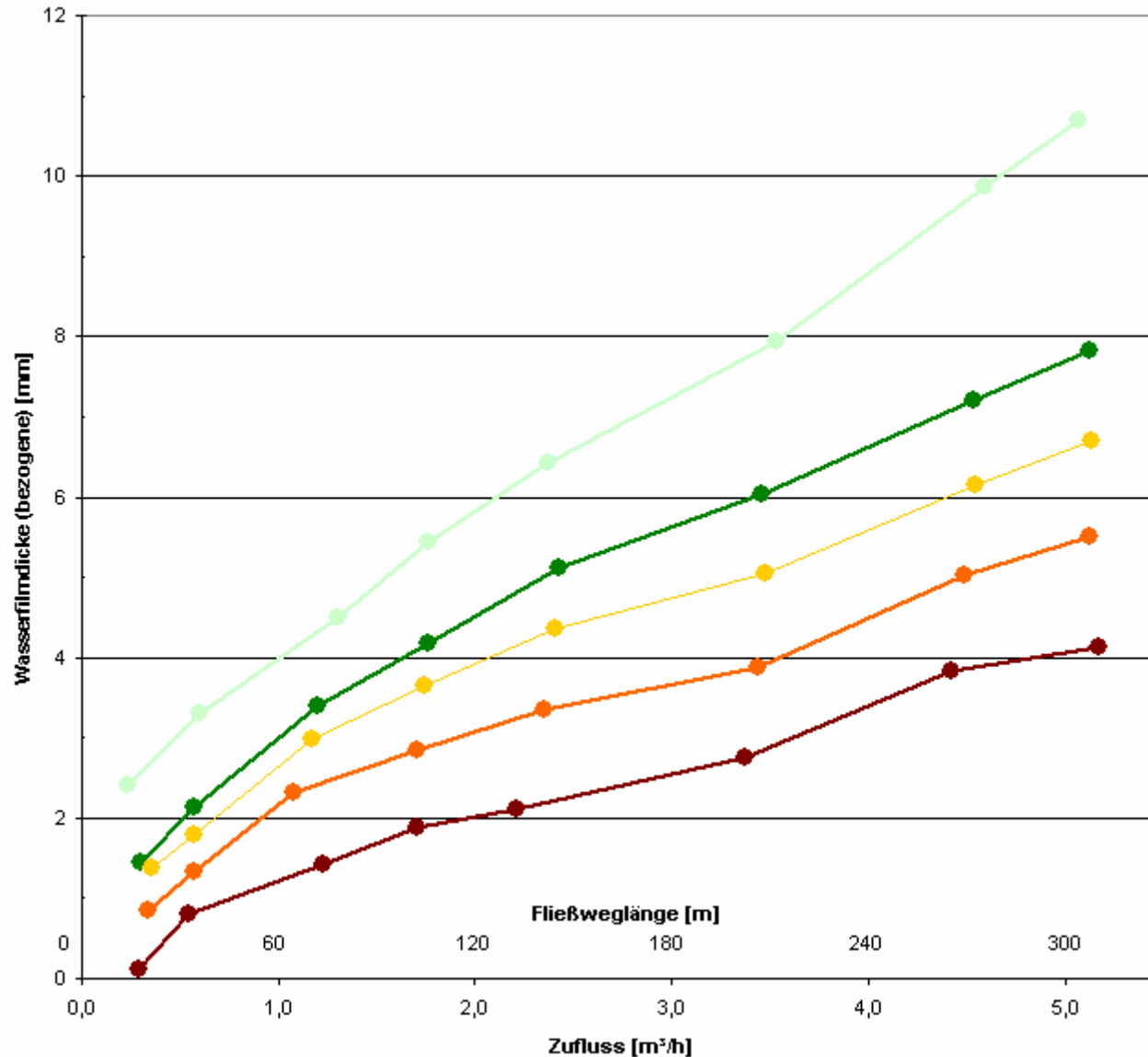


Einfluss der Oberflächengeometrie: Fließwege in Verwindungsbereichen





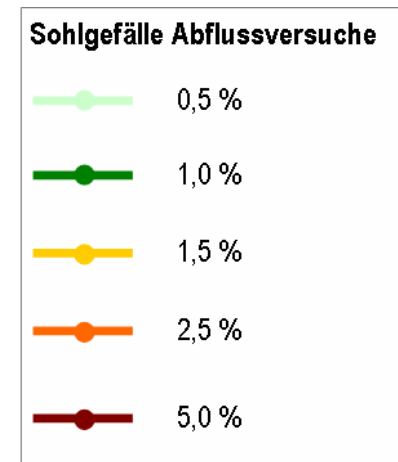
Einfluss der Oberflächengeometrie: Wasserfilmdicken und Fließweglängen (1)

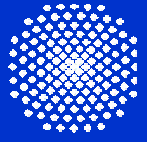


Belag: Gussasphalt 0/8
(mit Splittabstreuung 2/5)

Regenintensität 0,29 mm/min
⇒ Regenhäufigkeit 0,2 /a bei
 $r=125 \text{ l/(s*ha)}$

Wasserfilmdicke: auf die Oberkante der Rauspitzen bezogen
(Definition nach Höcker)





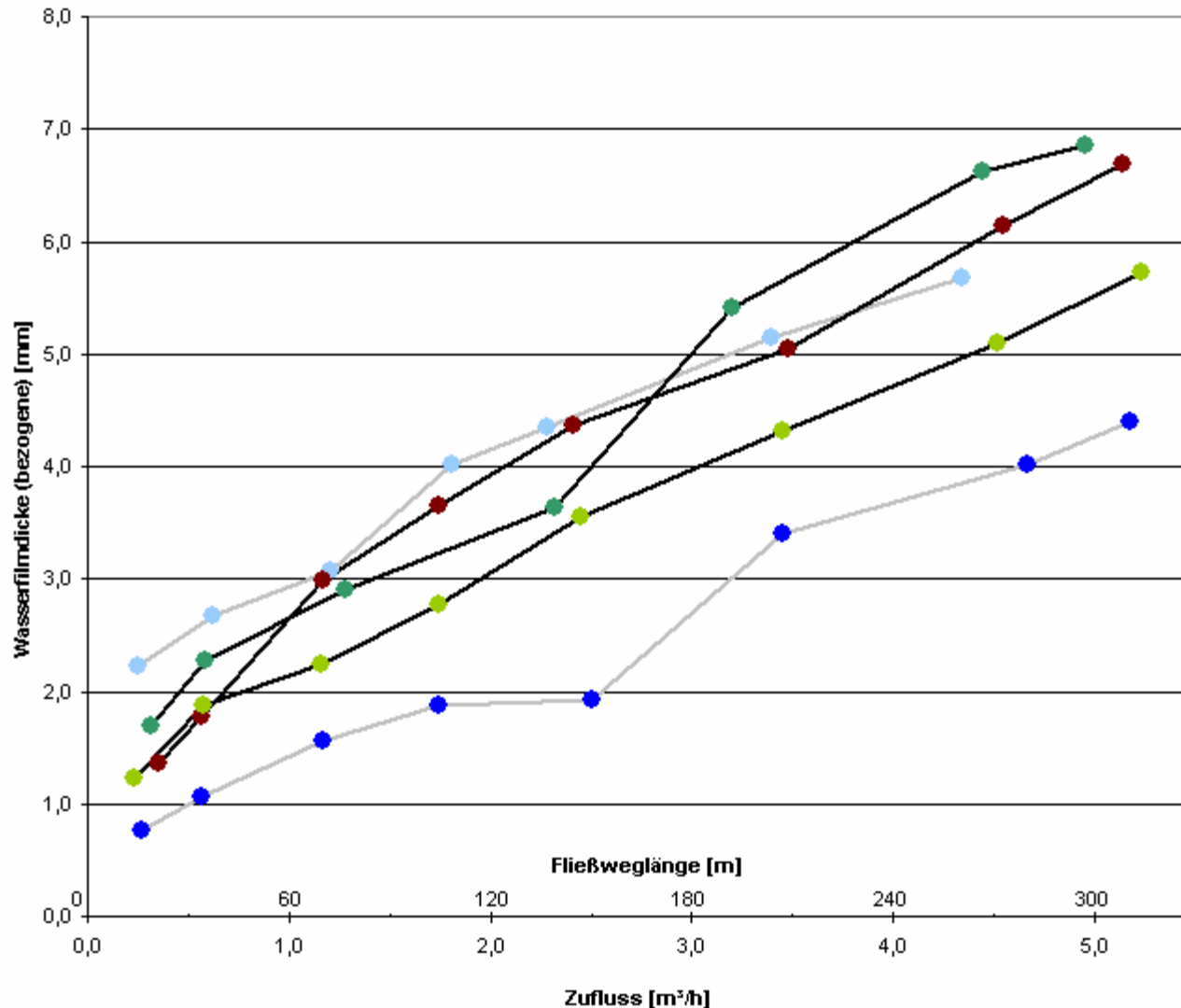
Einfluss der Oberflächengeometrie: Wasserfilmdicken und Fließweglängen (2)

Sohlgefälle: 1,5%

Regenintensität 0,29 mm/min

⇒ Regenhäufigkeit 0,2 / a
bei $r=125 \text{ l/(s*ha)}$

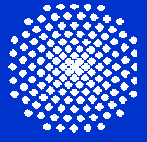
Wasserfilmdicke: auf die Oberkante der Rauspitzen bezogen
(Definition nach Höcker)



Fahrbahnbeläge Abflussversuche

- Beton (mit Jutetuch abgezogen)
- Beton (mit Kunstrasen^{*)} abgezogen)
- Gussasphalt 0/8 (mit Splittabstreung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/11 (mit Splittabstreung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/8 (mit Splittabstreung 1/3)

^{*)} Florhöhe: 9 mm; Flächengewicht: 1550 g/m²; Schlepplänge: 3m; Noppenzahl: 100.000 /m²



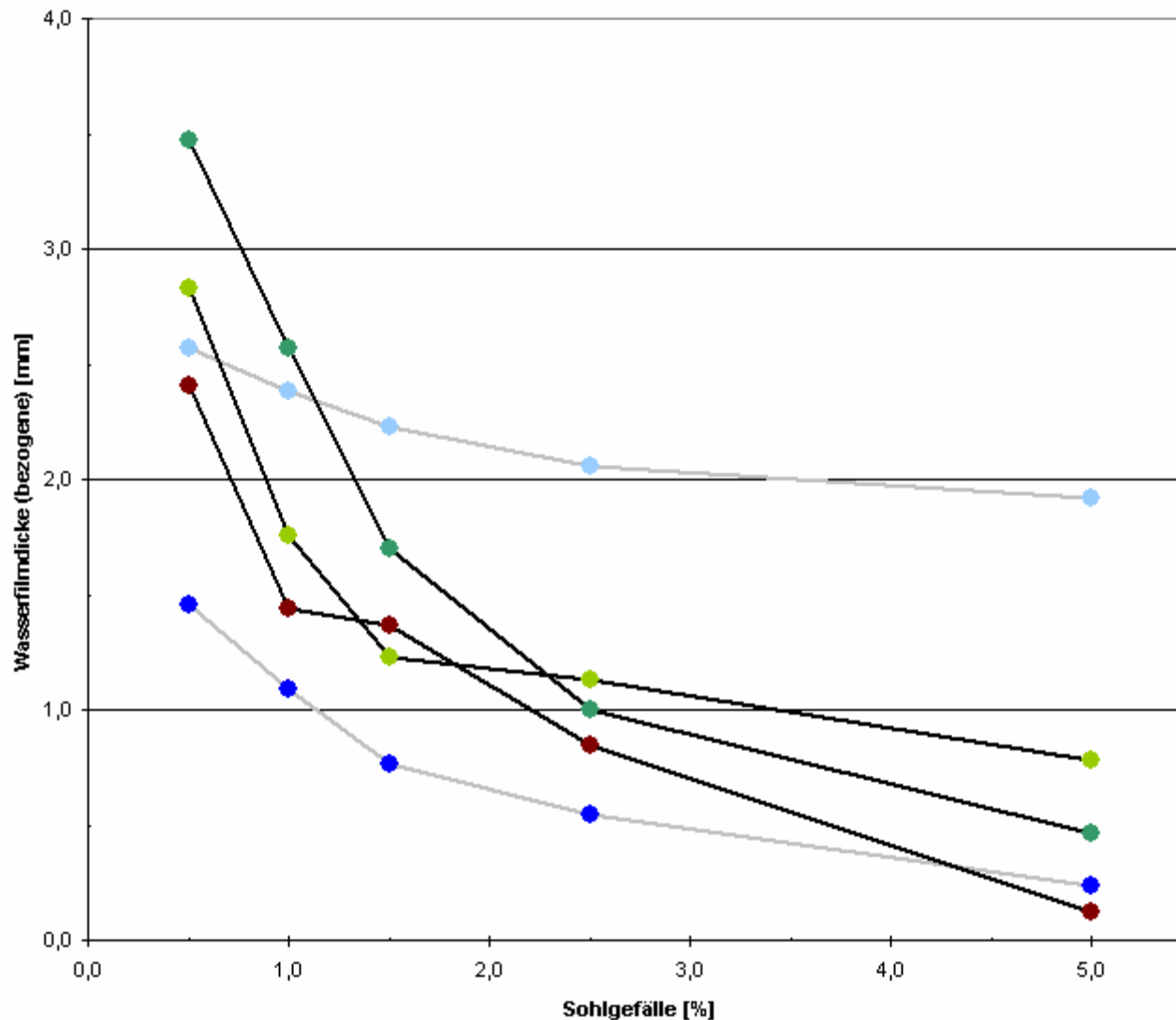
Einfluss der Oberflächengeometrie: Wasserfilmdicken und Sohlgefälle

Zufluss: $0,28 \text{ m}^3/\text{h}$

Fließweglänge 60 m bei
Regenintensität von
0,08 mm/min

⇒ Regenhäufigkeit 5 /a
bei $r=125 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$

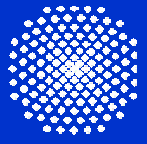
Wasserfilmdicke auf die
Oberkante der Rau-
spitzen bezogen
(Definition nach Höcker)



Fahrbahnbeläge Abflussversuche

- Beton (mit Jutetuch abgezogen)
- Beton (mit Kunstrasen*) abgezogen
- Gussasphalt 0/8 (mit Splittabstreuung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/11 (mit Splittabstreuung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/8 (mit Splittabstreuung 1/3)

*) Florhöhe: 9 mm; Flächengewicht: $1550 \text{ g}/\text{m}^2$; Schleplänge: 3m; Noppenzahl: $100.000 /\text{m}^2$

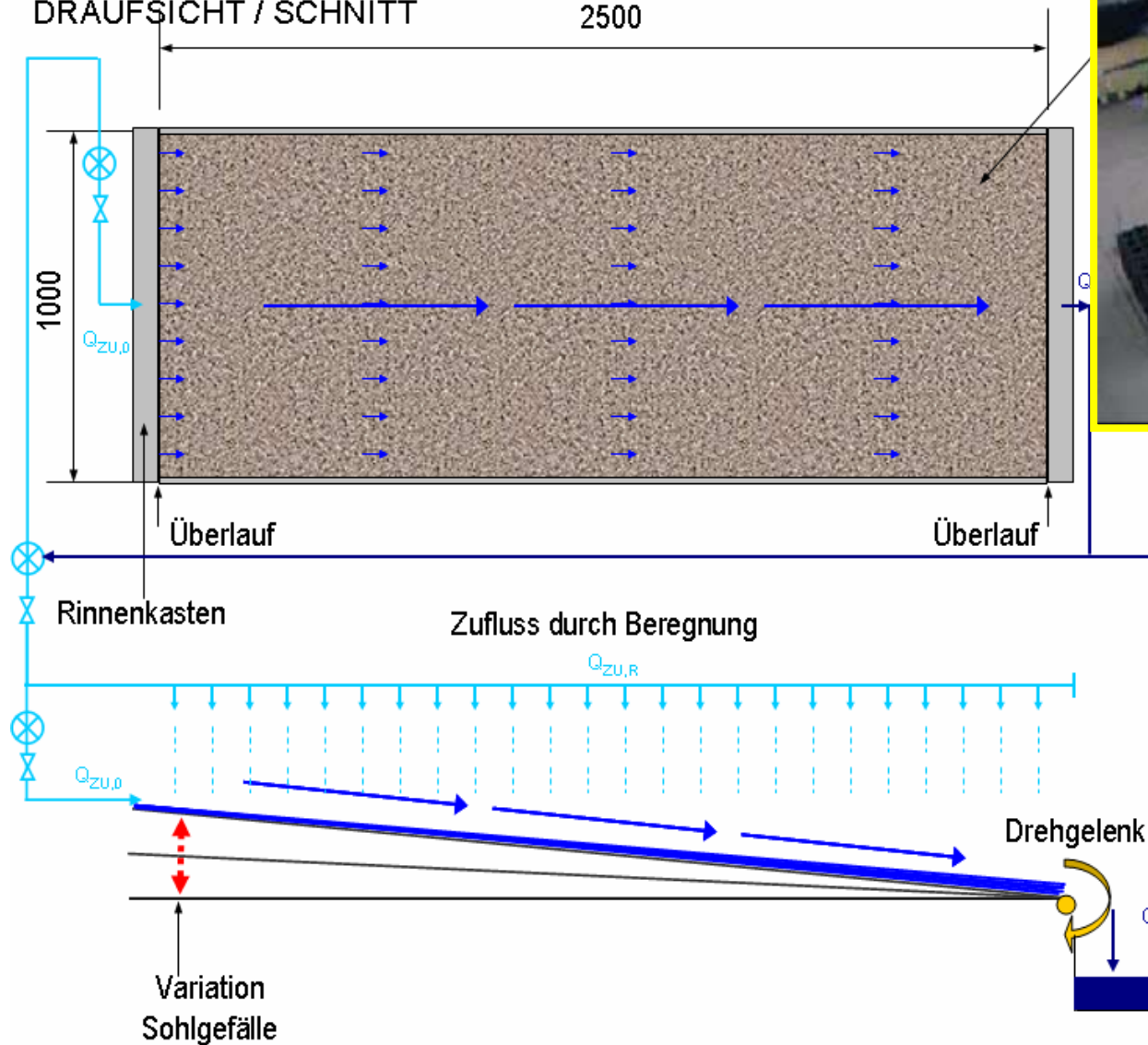


Einfluss der Oberflächenstruktur

KONZEPTION VERSUCHSSTAND

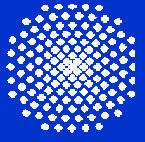
DRAUFSICHT / SCHNITT

2500



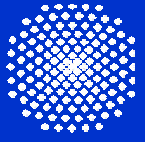
- Zulaufsystem
- Versuchsfeld
- Ablaufsystem

- Maße in [mm]
- Schieber
 - Wasseruhr



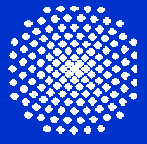
Einfluss der Oberflächenstruktur: Versuchsstand Innenansicht





Einfluss der Oberflächenstruktur: Versuchsstand Innenansicht





Einfluss der Oberflächenstruktur: Wasserfilmdicken und Makrotextur (1)

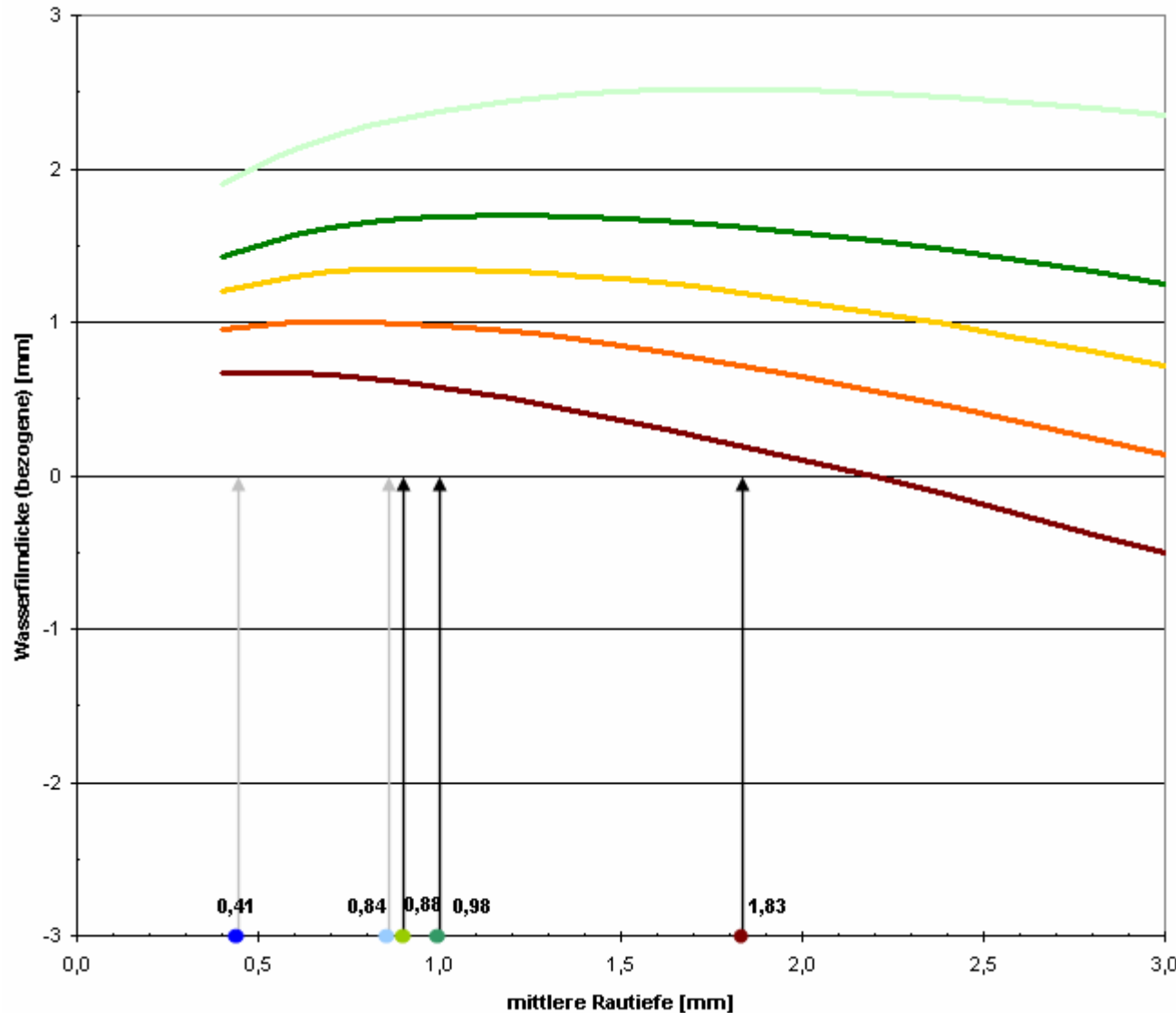
Regenintensität
0,08 mm/min

⇒ Regenhäufigkeit:
5 /a bei $r=125 \text{ l/(s*ha)}$

Fließweglänge:
84,7m

Rautiefen: ermittelt mit
Sandflächenverfahren
nach Kaufmann

Wasserfilmdicke: auf
die Oberkante der
Rauspitzen bezogen



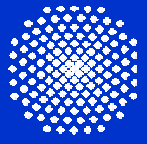
Sohlgefälle Abflussversuche

- 0,5 %
- 1,0 %
- 1,5 %
- 2,5 %
- 5,0 %

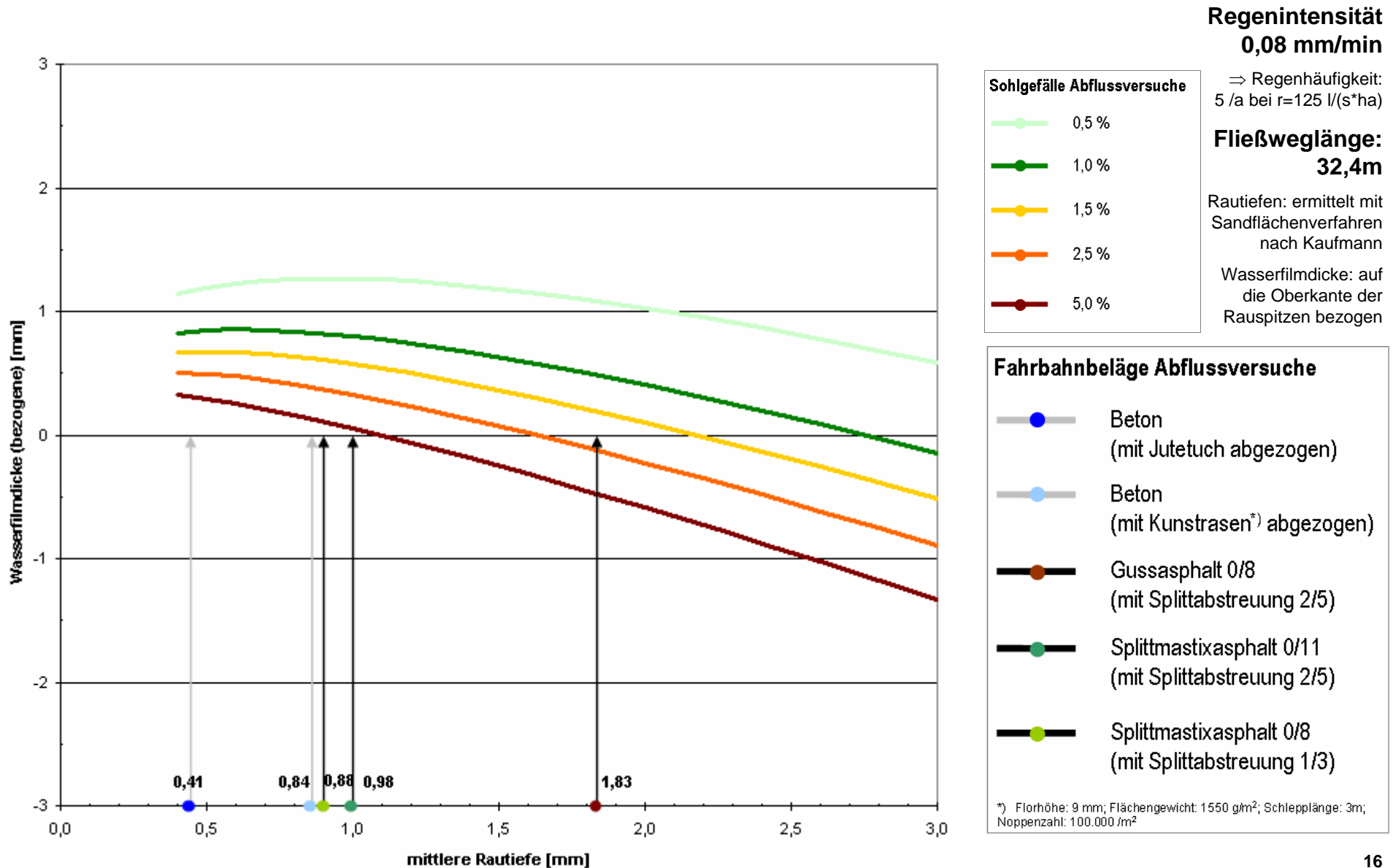
Fahrbahnbeläge Abflussversuche

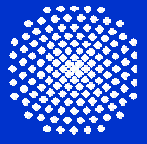
- Beton (mit Jutetuch abgezogen)
- Beton (mit Kunstrasen*) abgezogen)
- Gussasphalt 0/8 (mit Splittabstreuung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/11 (mit Splittabstreuung 2/5)
- Splittmastixasphalt 0/8 (mit Splittabstreuung 1/3)

*) Florhöhe: 9 mm; Flächengewicht: 1550 g/m²; Schleplänge: 3m; Noppenzahl: 100.000 /m²

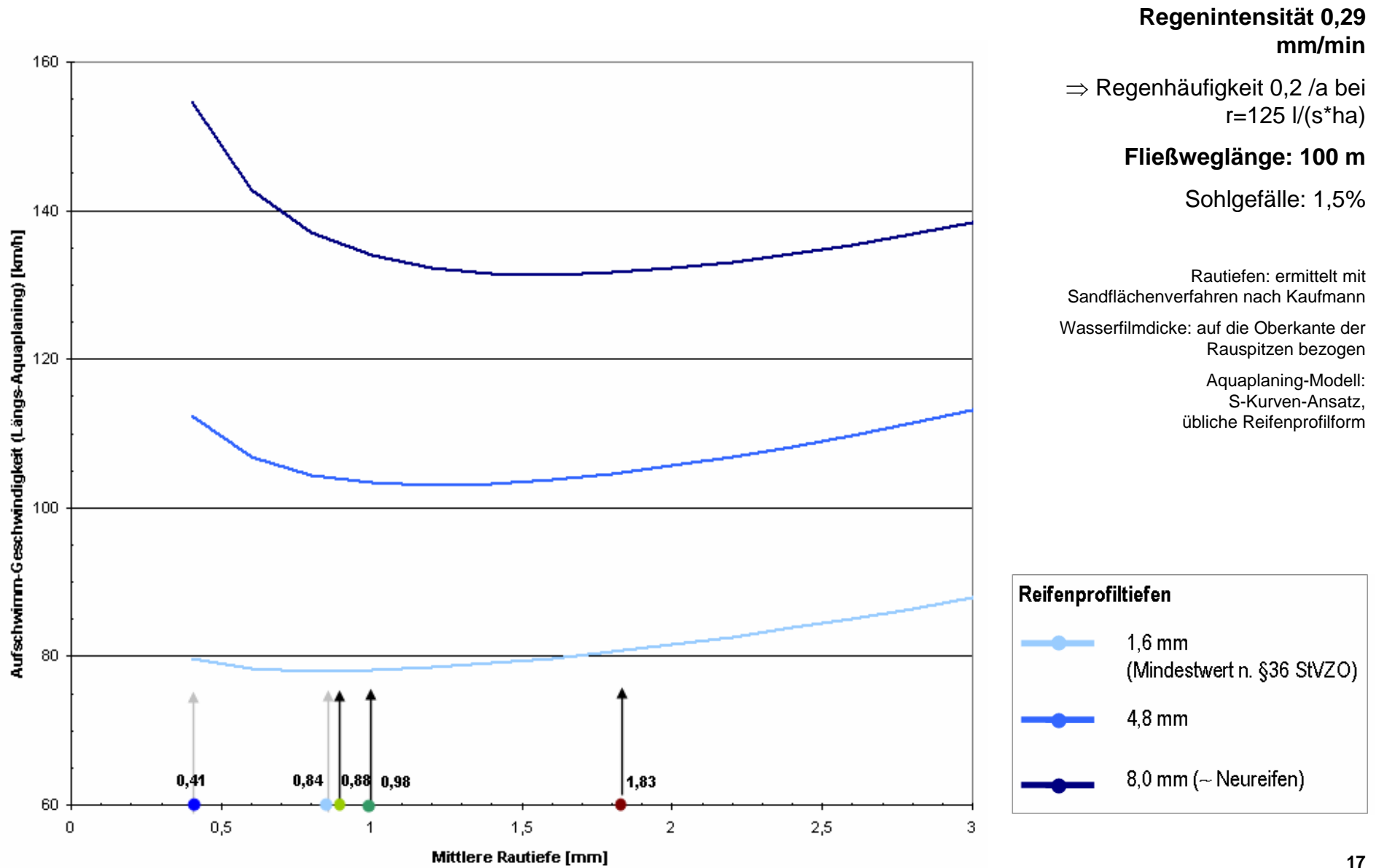


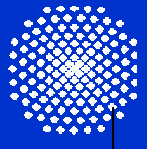
Einfluss der Oberflächenstruktur: Wasserfilmdicken und Makrotextur (2)





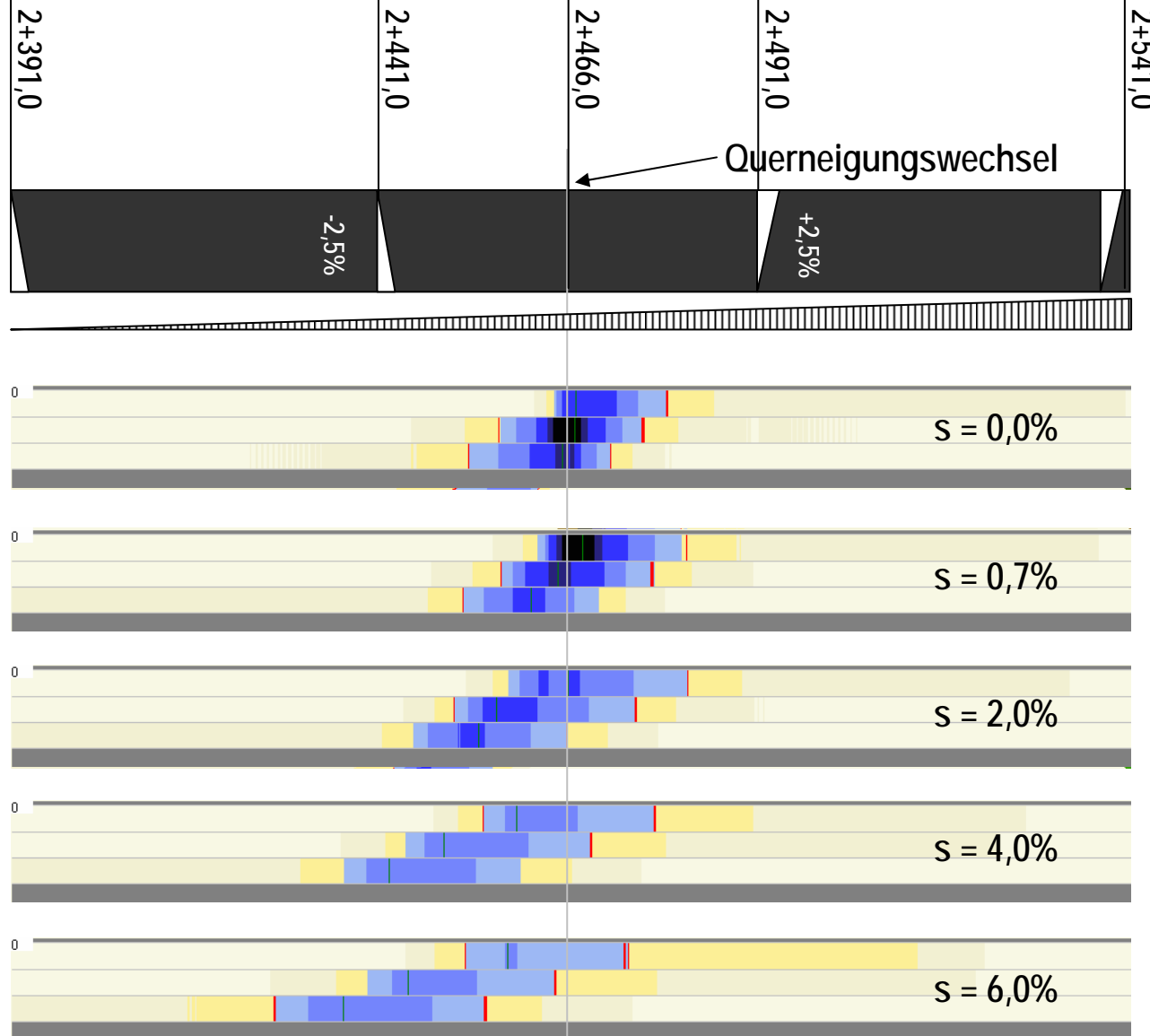
Einfluss der Oberflächenstruktur: Aquaplaning und Makrotextur





Einfluss der Oberflächengeometrie und -struktur auf das Aquaplaningrisiko

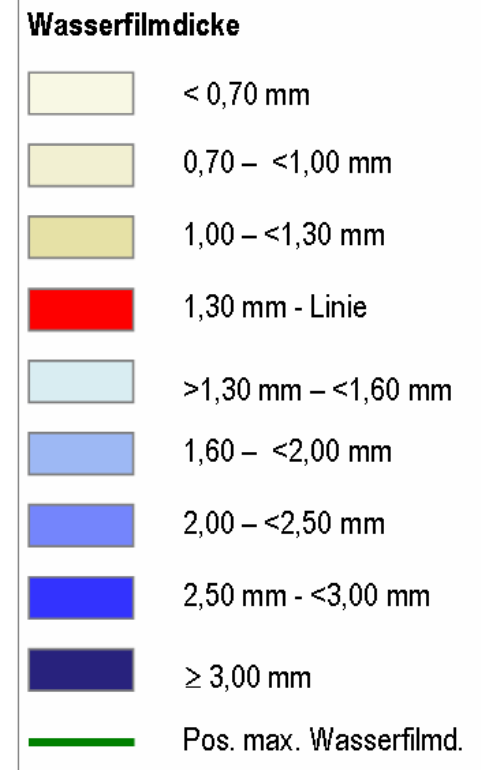
Einfluss der Oberflächengeometrie: Längsneigung

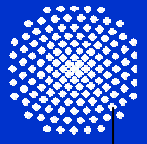


Regenintensität
0,50 mm/min
(schwerer Regenguss)

Verwindungsbereich mit
Querneigungswechsel von -
3,0% auf 3,0%,
Regelquerschnitt RQ 33

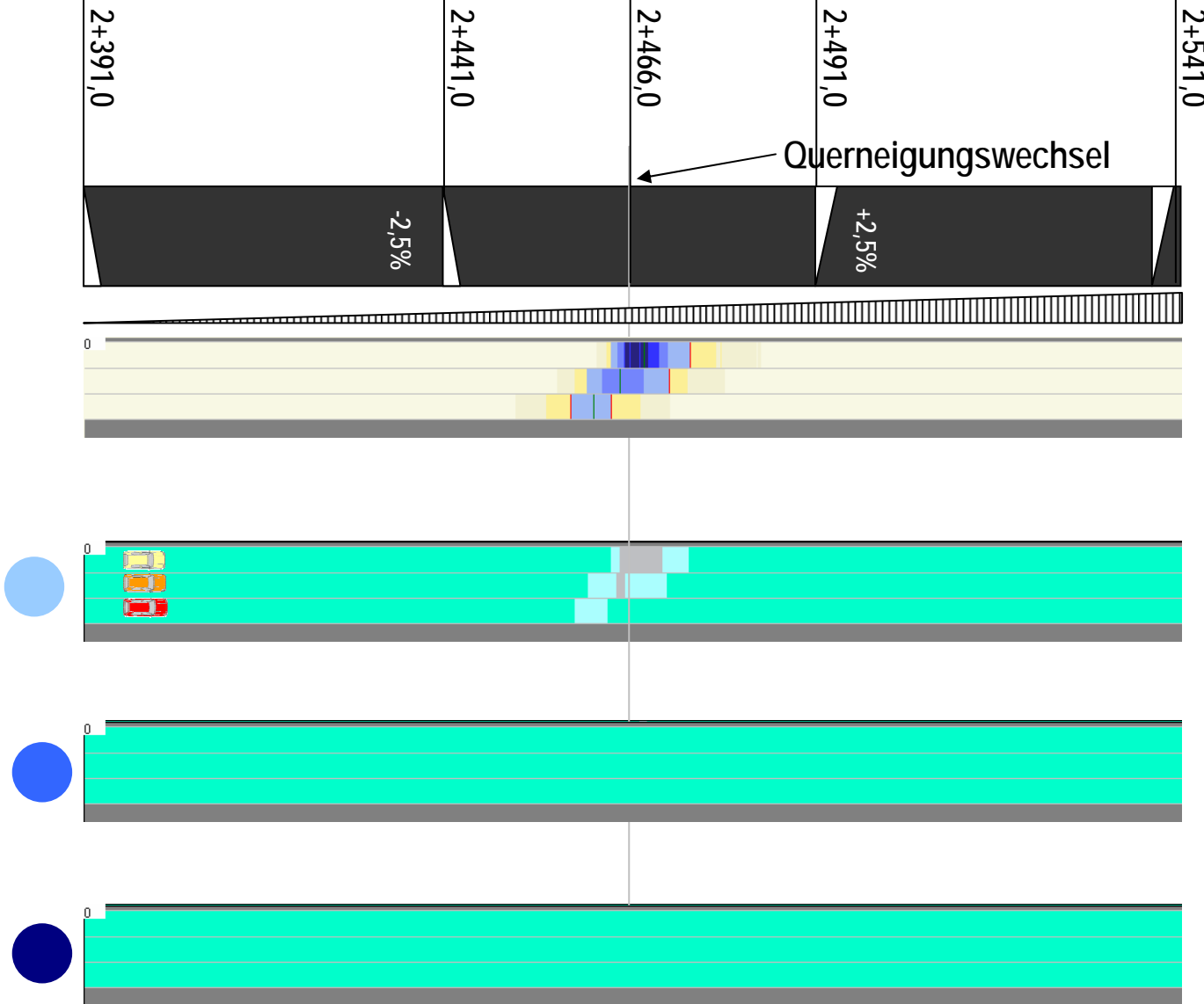
Belag: SMA 0/11





Einfluss der Oberflächengeometrie und -struktur auf das Aquaplaningrisiko

Einfluss der Reifenprofiltiefe (1)



Regenintensität
0,29 mm/min
(starker Regen)

Verwindungsbereich mit
Querneigungswechsel von -
3,0% auf 3,0%,
Regelquerschnitt RQ 33,
Längsneigung: 0,70 %

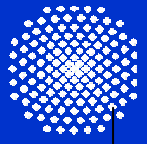
Belag: SMA 0/11

Reifenprofiltiefen Aquaplaning-Modell:
S-Kurven-Ansatz,
üb. Reifenprofil
(Mindestwert n. §36 StVZO)

- 1,6 mm
- 4,8 mm
- 8,0 mm (~ Neureifen)

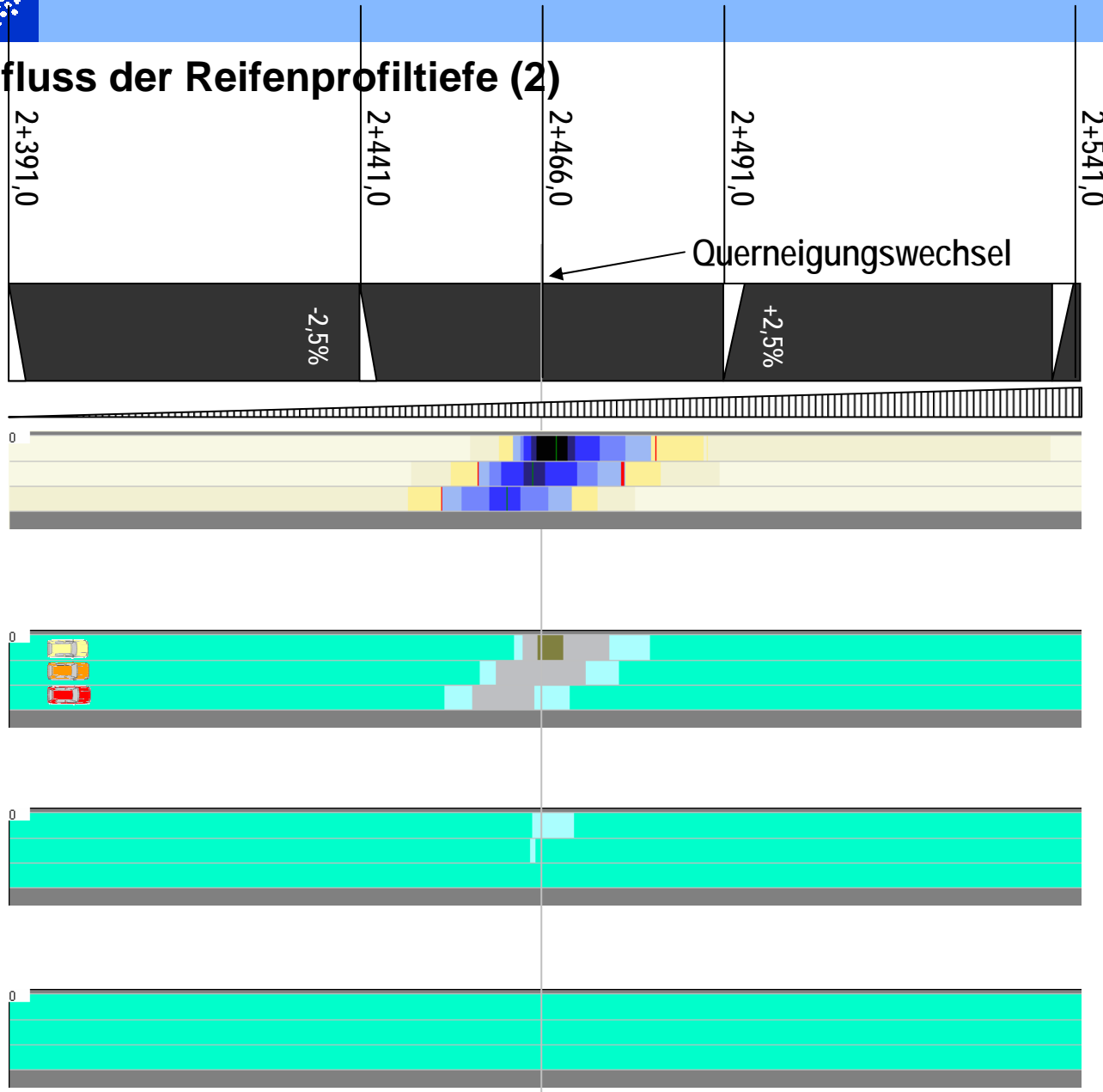
Maximale Fahrgeschwindigkeit

- > 120 km/h
- 120 km/h
- 100 km/h
- 80 km/h
- 60 km/h



Einfluss der Oberflächengeometrie und -struktur auf das Aquaplaningrisiko

Einfluss der Reifenprofiltiefe (2)



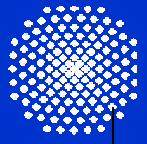
Regenintensität
0,50 mm/min
(schwerer Regenguss)

Verwindungsbereich mit
Querneigungswechsel von -
3,0% auf 3,0%,
Regelquerschnitt RQ 33 ,
Längsneigung: 0,70 %

Belag: SMA 0/11

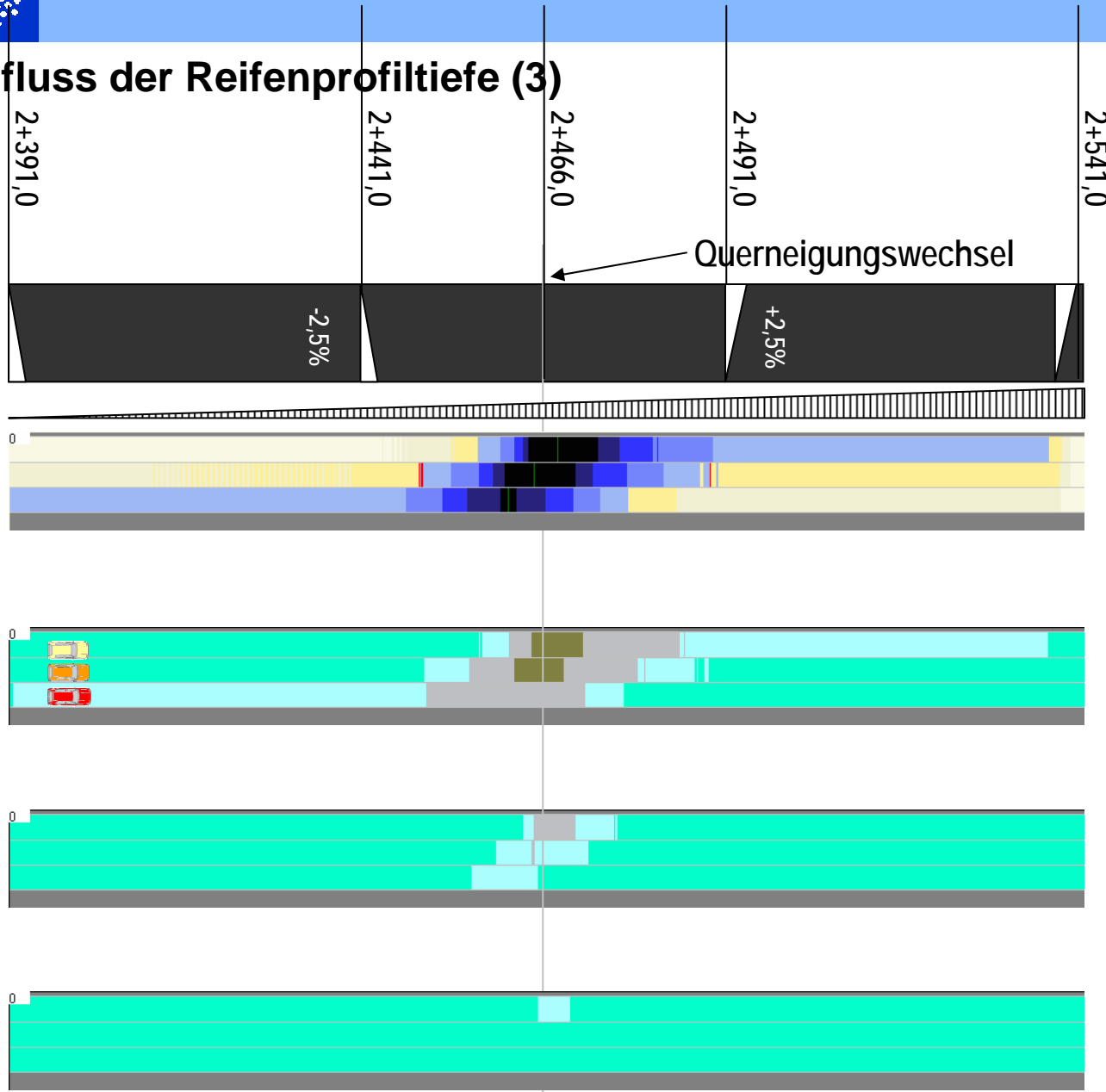
Reifenprofiltiefen	
	1,6 mm (Mindestwert n. §36 StVZO)
	4,8 mm
	8,0 mm (~ Neureifen)

Maximale Fahrgeschwindigkeit	
	> 120 km/h
	120 km/h
	100 km/h
	80 km/h
	60 km/h



Einfluss der Oberflächengeometrie und -struktur auf das Aquaplaningrisiko

Einfluss der Reifenprofiltiefe (3)



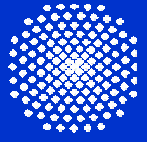
Regenintensität
0,90 mm/min
(schwerer Regenguss)

Verwindungsbereich mit
Querneigungswechsel von -
3,0% auf 3,0%,
Regelquerschnitt RQ 33,
Längsneigung: 0,70 %

Belag: SMA 0/11

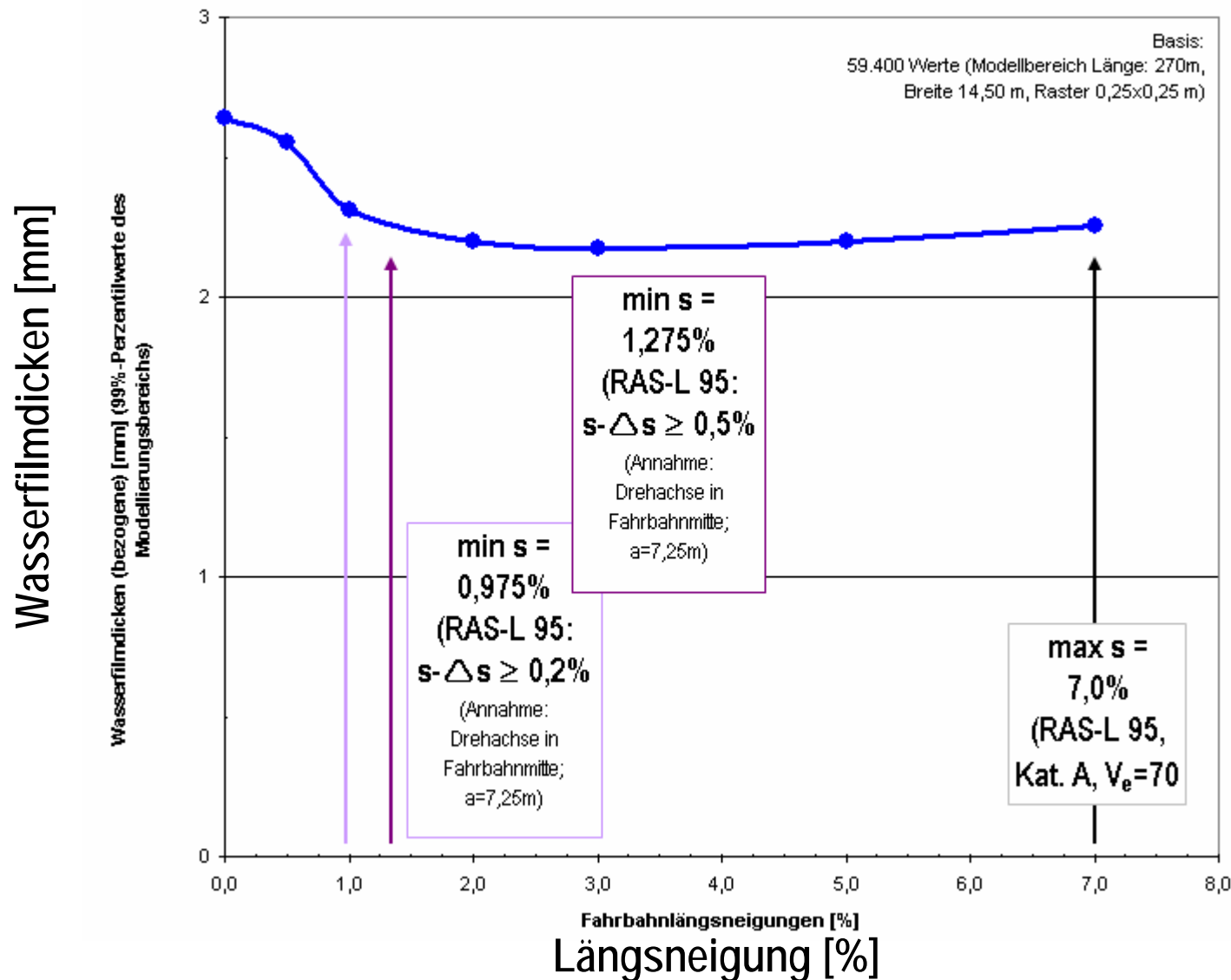
Reifenprofiltiefen	
	1,6 mm (Mindestwert n. §36 StVZO)
	4,8 mm
	8,0 mm (~ Neureifen)

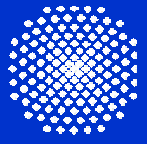
Maximale Fahrgeschwindigkeit	
	> 120 km/h
	120 km/h
	100 km/h
	80 km/h
	60 km/h



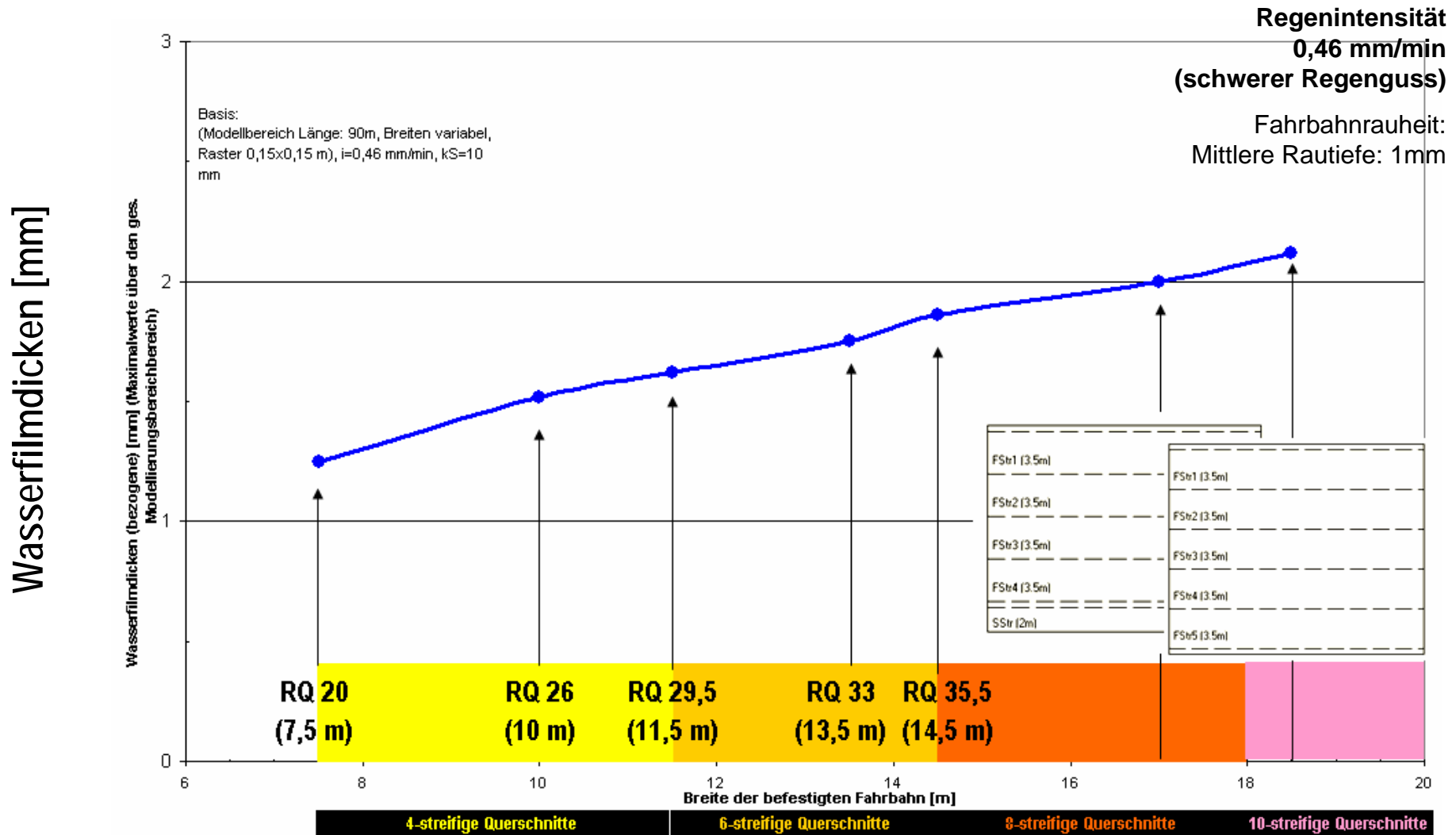
Berücksichtigung von Aquaplaning im Straßenentwurf: Straßenlängsneigung im Verwindungsbereich

Regenintensität
0,46 mm/min
(schwerer Regenguss)
Fahrbahnrauheit: Mittlere
Rautiefe: 1mm

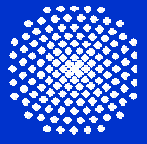




Berücksichtigung von Aquaplaning im Straßenentwurf: Fahrbahnbreite



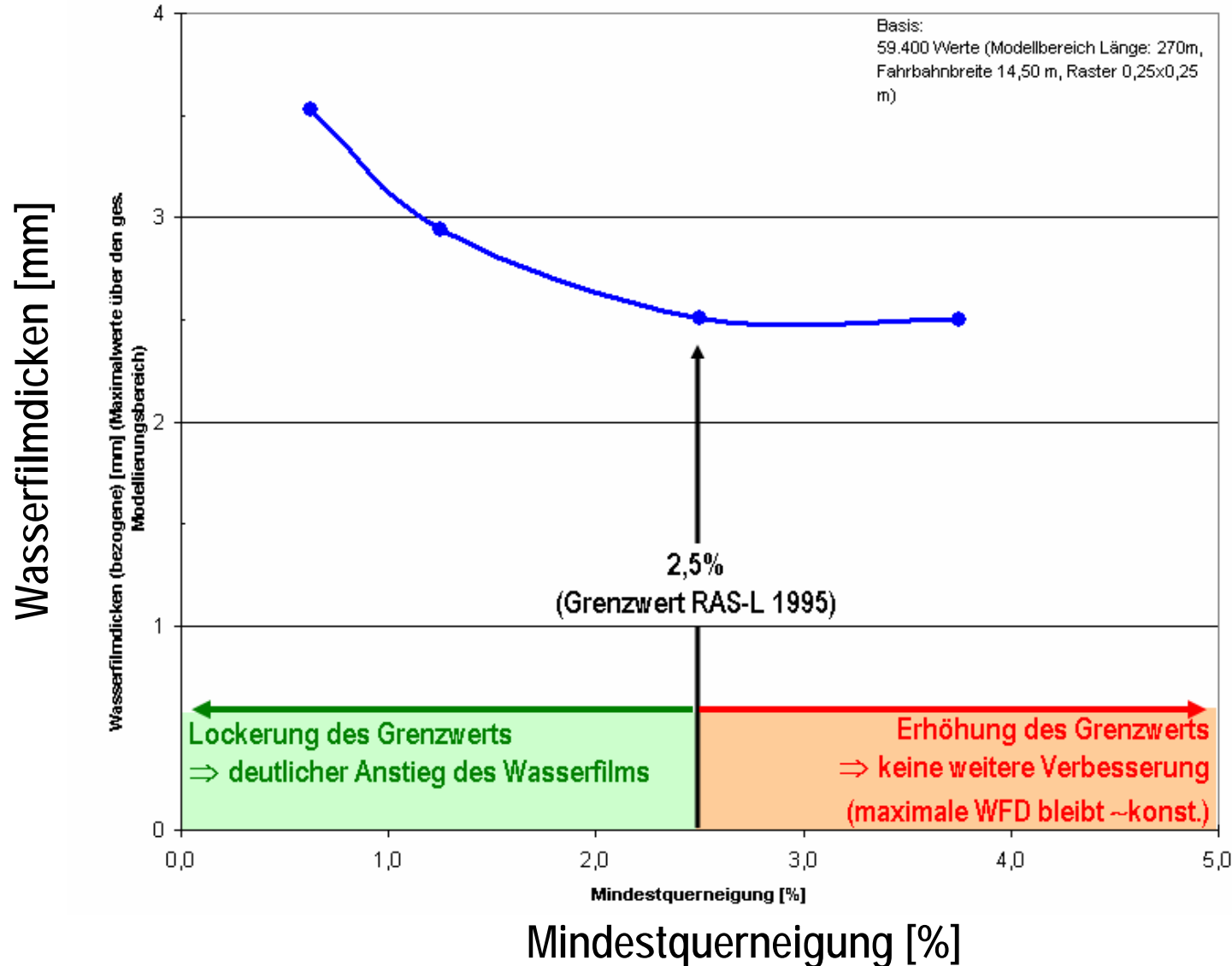
Fahrbahnbreite [m]

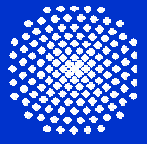


Berücksichtigung von Aquaplaning im Straßenentwurf: Mindestquerneigung im Verwindungsbereich

Regenintensität
0,46 mm/min
(schwerer Regenguss)

Fahrbahnrauheit:
Mittlere Rautiefe: 1mm



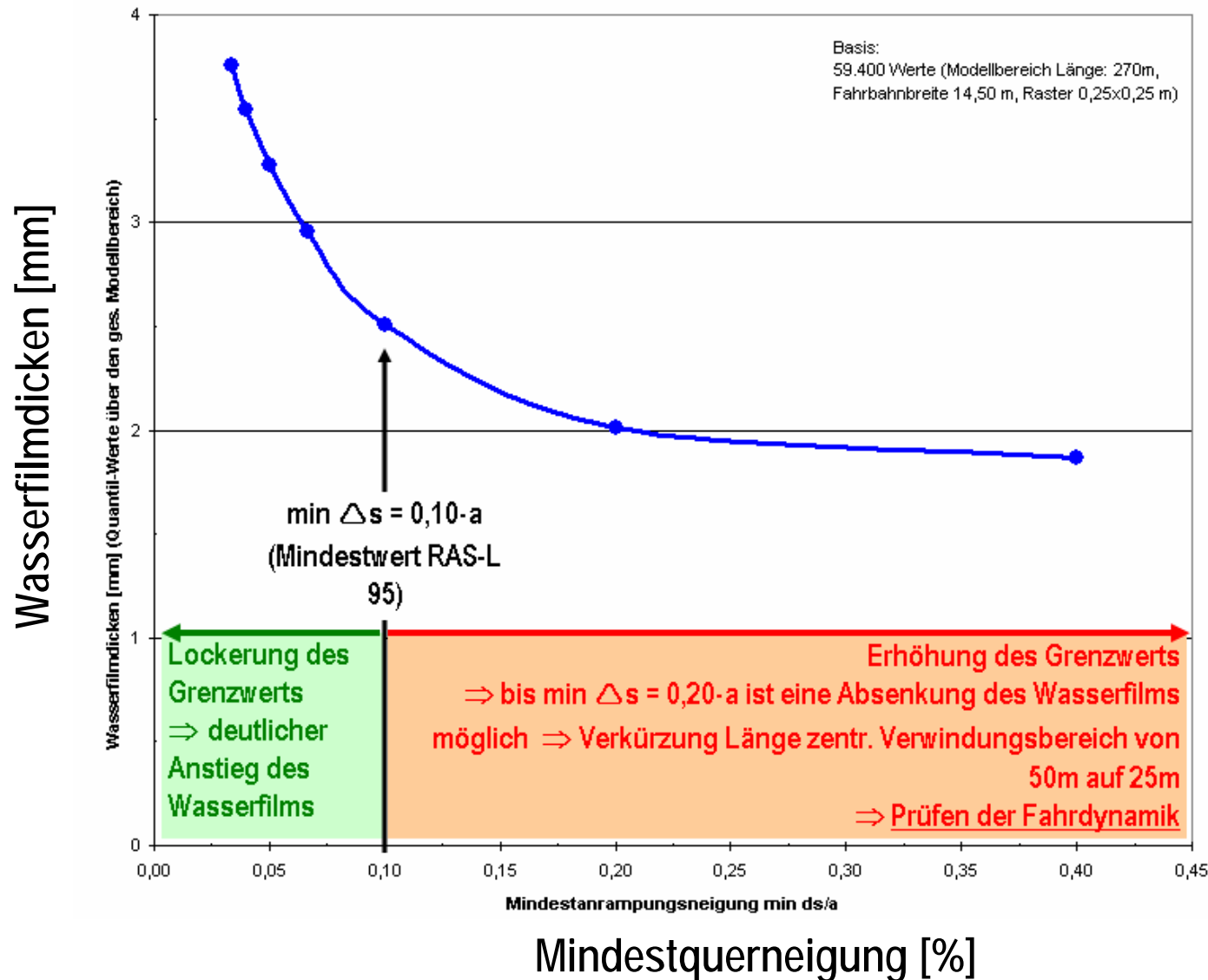


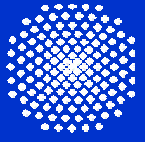
Berücksichtigung von Aquaplaning im Straßenentwurf: Mindestanrampungsneigung im Verwindungsbereich

Regenintensität 0,46
mm/min
(schwerer
Regenguss)

Fahrbahnrauheit:
Mittlere Rautiefe: 1mm

Wasserfilmdicke: auf
die Oberkante der
Rauspitzen bezogen
(entspr. Definition von
Höcker)



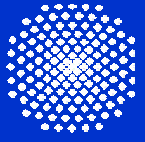


Conclusio 1: Oberflächengeometrie

Die Oberflächengeometrie beeinflusst das Aquaplaning-Verhalten erheblich.

Potenziale:

- Bei einer richtlinienkonformen Trassierung (RAS-L 95) ist das Potenzial bereits ausgeschöpft.
- Die Grenzwerte der RAS-L 95 konnten für das „Aquaplaning-Verhalten“ bestätigt werden. Die minimale Längsneigung sollte auf $s_{\min} = 1,0 \%$ festgesetzt werden.
- Entwässerungstechnische Vorteile spezieller Oberflächengeometrien (Schrägverwindung, negative Querneigung) werden durch Nachteile in anderen Bereichen „erkauft“.

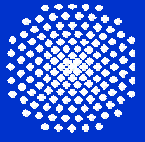


Conclusio 2: Oberflächenstruktur

Die Vergrößerung der Makrorauheit der Fahrbahnoberfläche bewirkt eine Verminderung der Aquaplaningefahr durch den zur Verfügung gestellten Drainagehohlraum.

Potenziale:

- **Offenporiger Asphalt (OPA):** Die Absenkung der Aquaplaning-Geschwindigkeit ist möglich.
Jedoch: Die Drainagewirkung des OPA muss dauerhaft gewährleistet sein.
- **Erzeugung einer „künstlicher Makrorauheit“ (Rillen fräsen bei Betonfahrbahnen)**



Conclusio 3: Reifenprofiltiefe

Die Reifenprofiltiefe beeinflusst das Aquaplaning-Verhalten erheblich (durch den zur Verfügung gestellten Drainagehohlraum)

Potenziale:

- Bei Vergrößerung der Profiltiefe keine negativ gerichteten Effekte (wie etwa bei der Makrorauheit eine gleichzeitige Erhöhung der Wasserfilmdicken).
- Der Gesetzgeber schreibt eine Mindestprofiltiefe für Kfz-Reifen von 1,6 mm vor (§36 StVZO).
- Ein Unterschreiten der Profiltiefe unter \approx 3 mm wird i.a. als sehr kritisch angesehen (Verbände, Experten, Versicherungen, Gerichtsurteile).
- Mit **Reifenprofiltiefen von 3 mm** ist mittels Modellsimulation für die meisten Fälle eine ausreichend sichere Befahrbarkeit nachweisbar, bei einer Reifenprofiltiefe von 1,6 mm dagegen nicht.