

Quantifizierung des Abfluss- und Versickerungsverhaltens durchlässiger Flächenbeläge

Dr.-Ing. Marc Illgen
DAHLEM Beratende Ingenieure, Darmstadt



Hintergrund & Problematik

Durchlässig befestigte Flächen im Kontext der Entwässerungsplanung



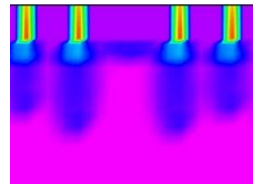
Forschungsprojekt & Untersuchungskonzept

Methodik und Datenbasis zur Analyse des Versickerungsverhaltens



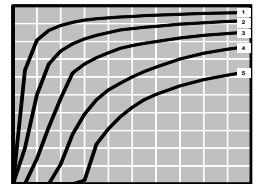
Charakterisierung des Versickerungsverhaltens

Bodenphysikalische Prozesse & Einflussfaktoren auf das Versickerungsvermögen



Quantifizierung des Versickerungsverhaltens

Kennwerte, Bemessungshilfen, Modellparameter & Modellentwicklung



Fazit der Forschungsarbeit

Zusammenfassung & Ausblick



Hintergrund

■ Durchlässig befestigte Flächen

- sind allgegenwärtig und bedecken Großteil der Siedlungsfläche (20%-60%)
- meist Pflaster- & Plattenbeläge
- Versickerung & Oberflächenabfluss
- regulieren enormes Wasservolumen



Hintergrund

■ Durchlässig befestigte Flächen

■ Urbanhydrologie

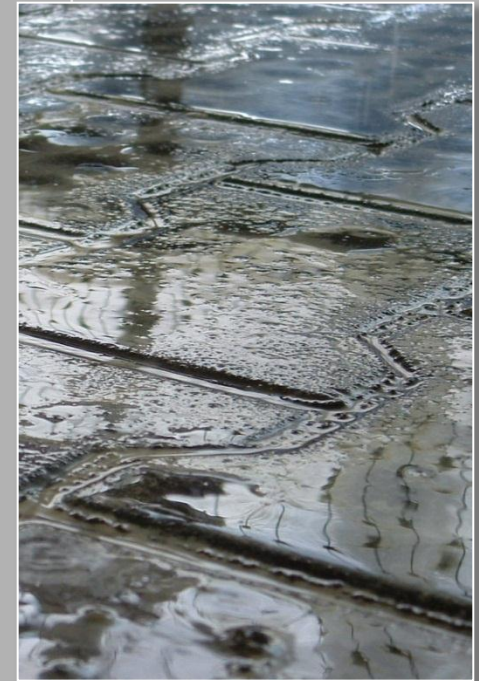
- diffuse Datenlage zum Wasserhaushalt
 - unzureichendes Prozessverständnis
 - Kennwerte & Modellansätze fehlen
 - hohe Relevanz bei vielen Planungsaufgaben
-
- ➔ Unsicherheiten bei der Abflussberechnung und der Dimensionierung/Bewertung von Anlagen
 - ➔ Schwierigkeiten bei Gebührenerhebung



Forschungsprojekt

■ Zielsetzung

- Charakterisierung des bauartspezifischen Versickerungsverhaltens
- Erarbeitung repräsentativer Kennwerte und praktikabler Bemessungshilfen
- Abdeckung eines breiten Spektrums gängiger Belagstypen
- Entwicklung eines verbesserten urbanhydrologischen Modellansatzes

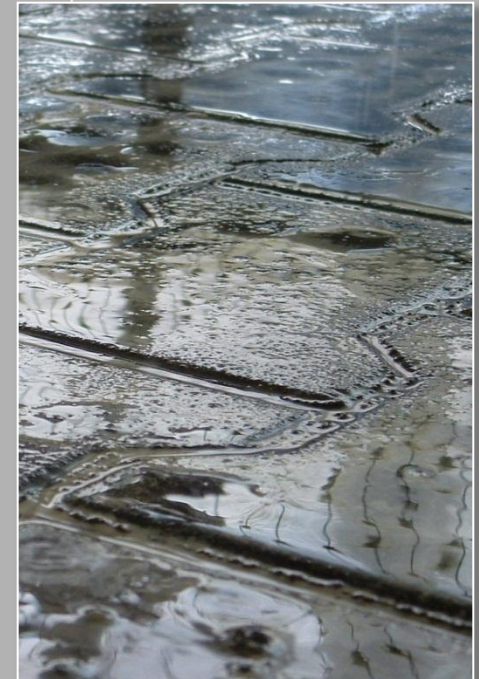


Forschungsprojekt

■ Zielsetzung

■ Partner & Förderer

- Technische Universität Kaiserslautern
- IKT – Institut für unterirdische Infrastruktur
- MUNLV Nordrhein-Westfalen
- Support durch verschiedene Forschergruppen



■ Messdaten von Bestandsflächen

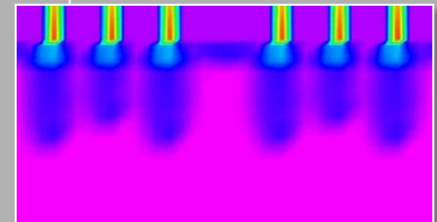
- 360 Infiltrometermessungen
- semi-statistische Auswertung
- langjährige Abflussmessungen (FH OS)

■ Beregnungsversuche im Labor

- 140 Versuche am Lysimeter
- Oberflächenabfluss, Exfiltrationsrate und Wassergehalte im Pflasteraufbau
- Variation einzelner Randbedingungen

■ Strömungssimulationen

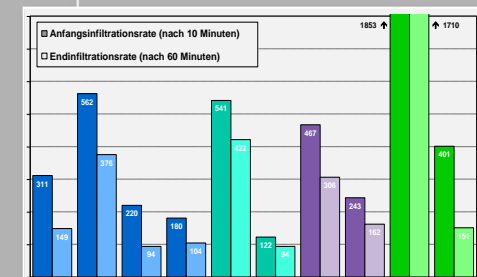
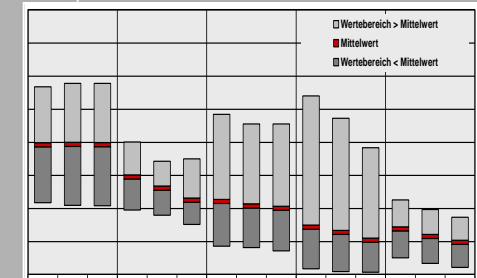
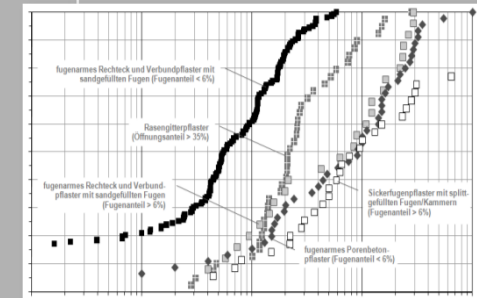
- Laborversuche & ergänzende Szenarien



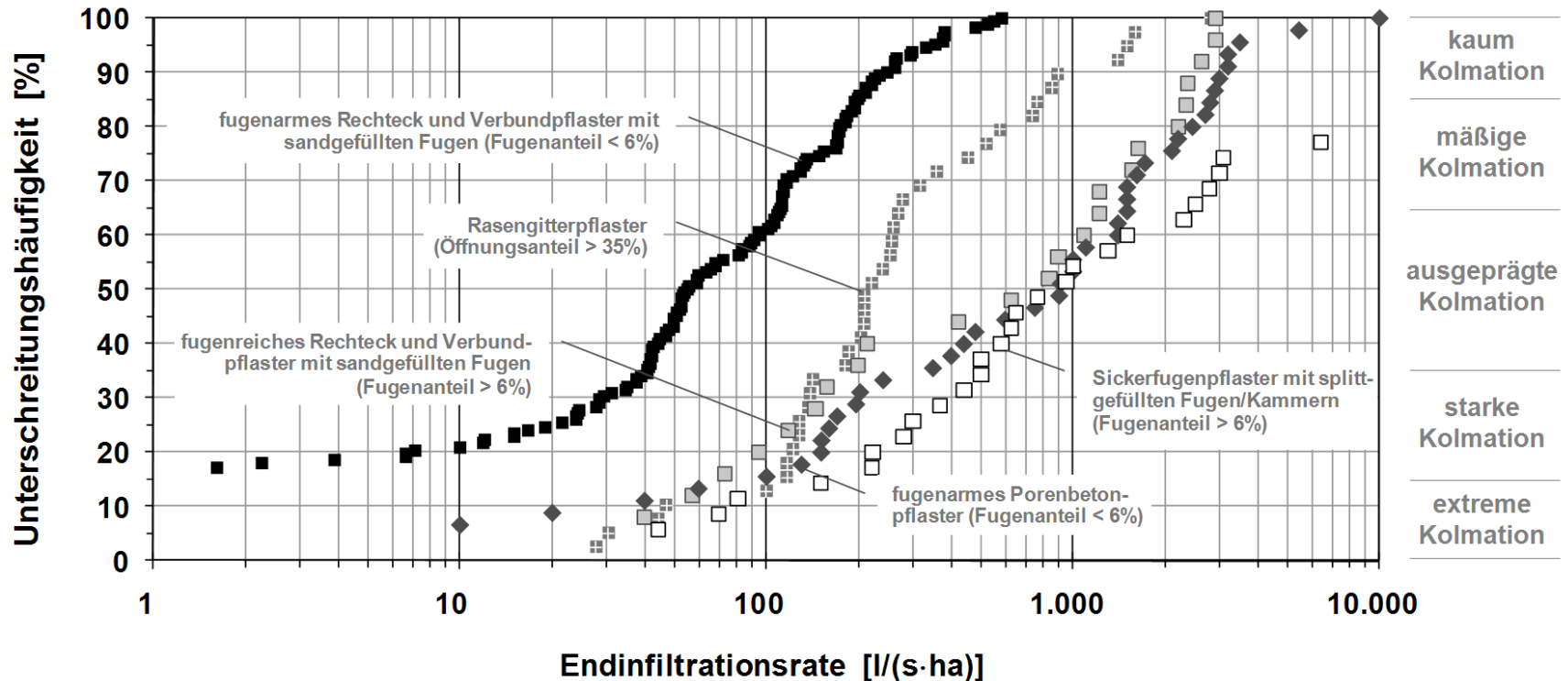
Versickerungsverhalten

■ Phänomenologische Charakteristika

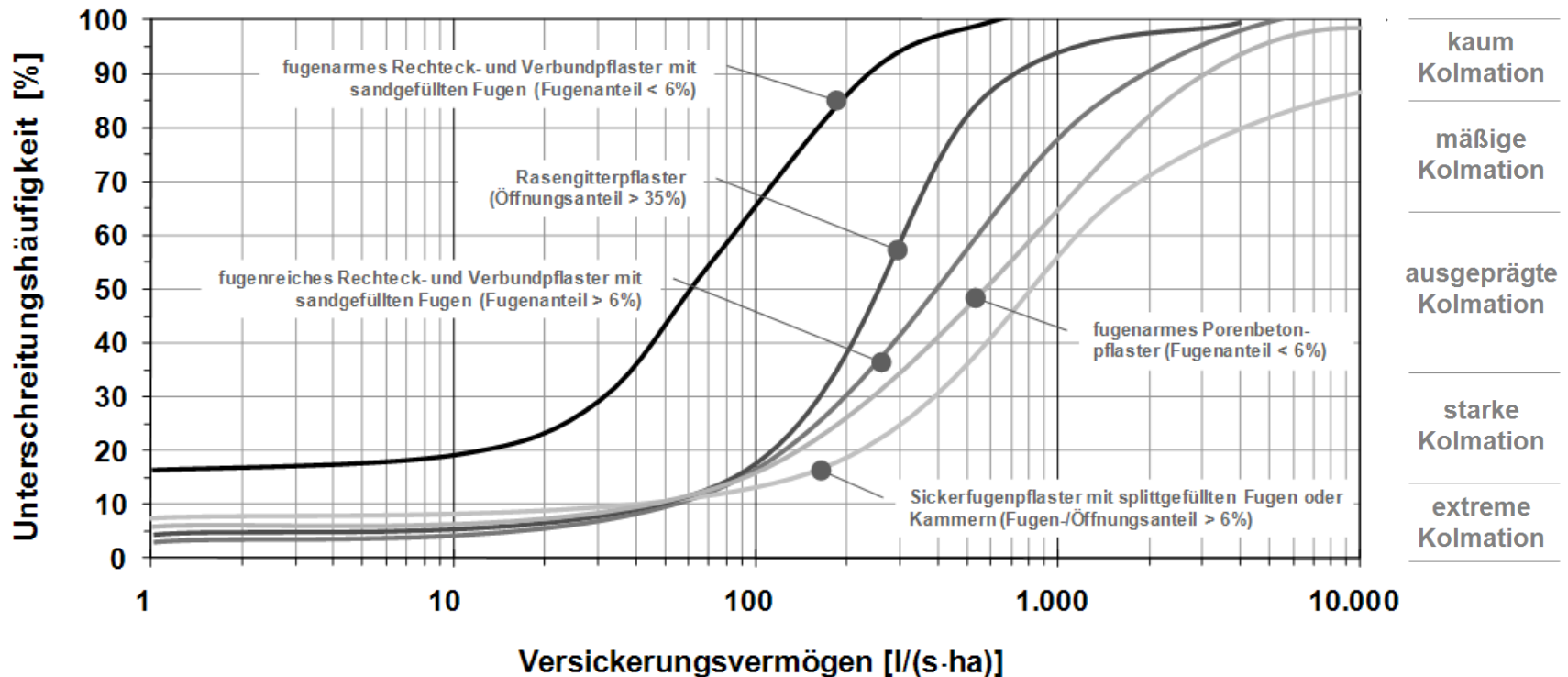
- Vielzahl baulicher & äußerer Einflussfaktoren (Aufbau, Nutzung, Regenintensität, ...)
- dominierender Einflussfaktor: **Kolmation**
- enorme bauartspezifische Variabilität
- starke kleinräumige Variabilität
- ➔ ausgeprägter stochastischer Charakter
- ➔ konkretes örtliches Versickerungsvermögen nicht vorhersagbar



■ bauartspezifische Häufigkeitsverteilungen

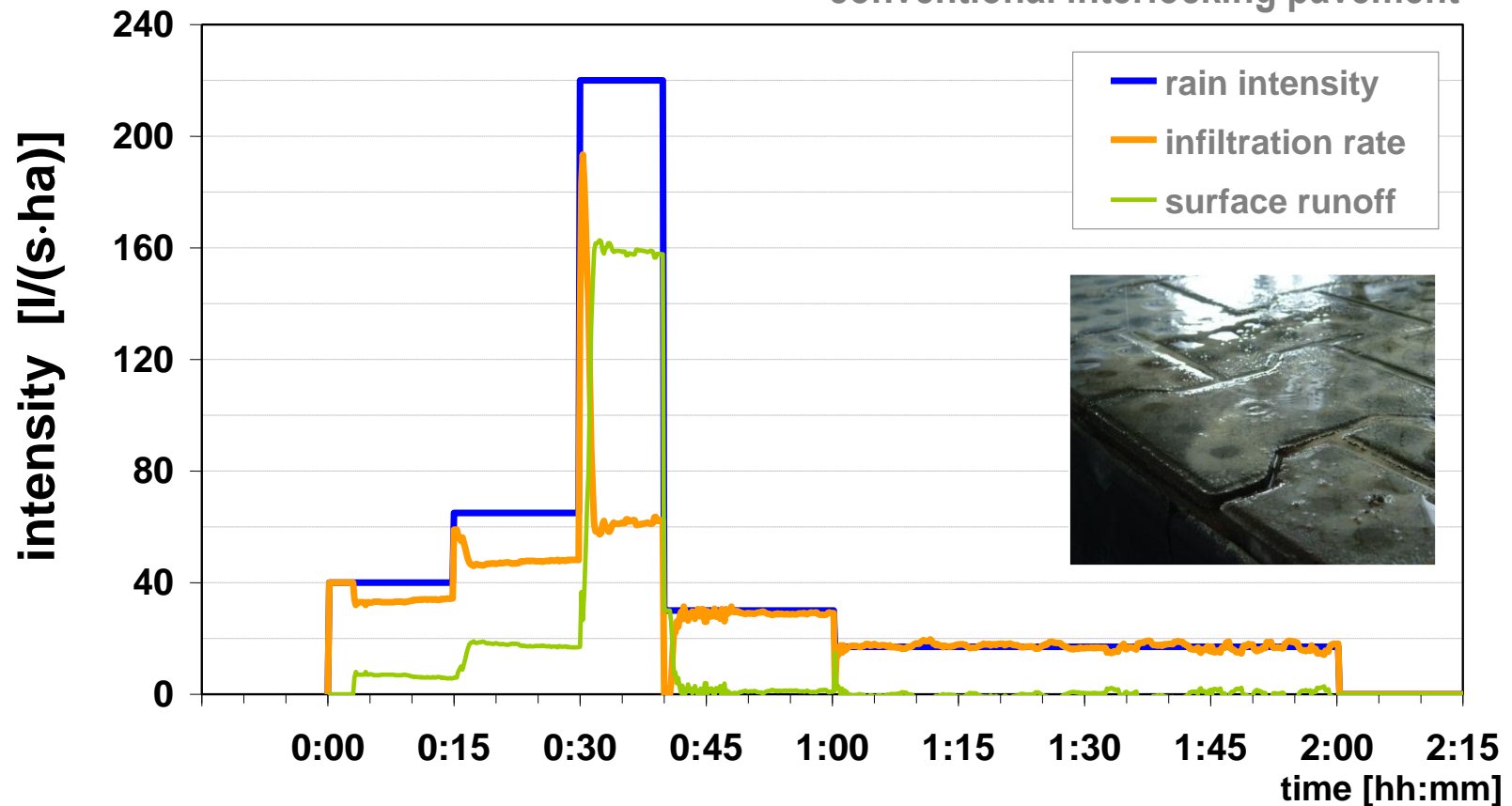


■ bauartspezifische Häufigkeitsverteilungen



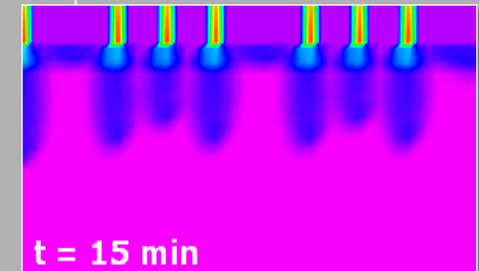
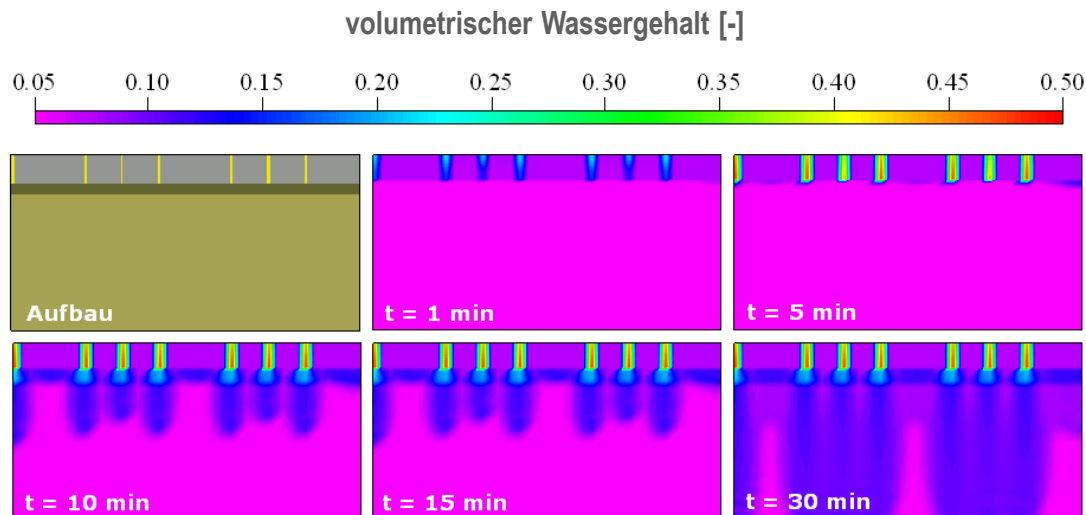
■ Versickerungsverhalten bei variabler Regenbelastung

conventional interlocking pavement



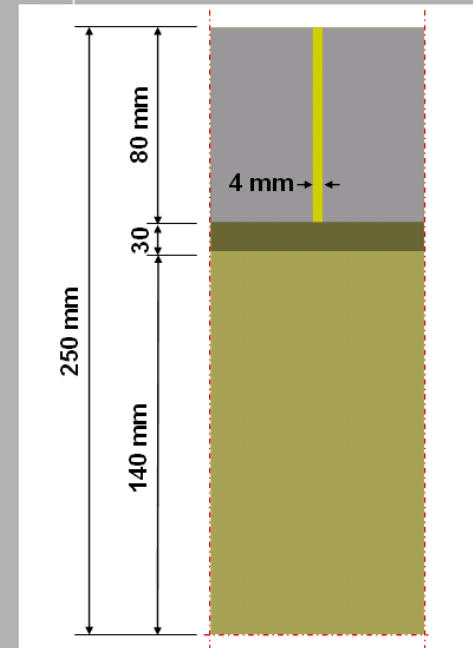
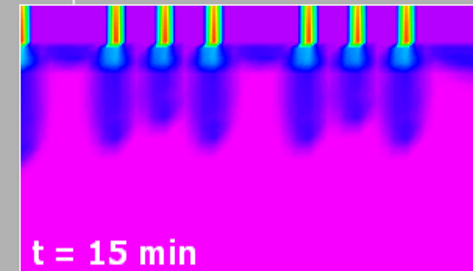
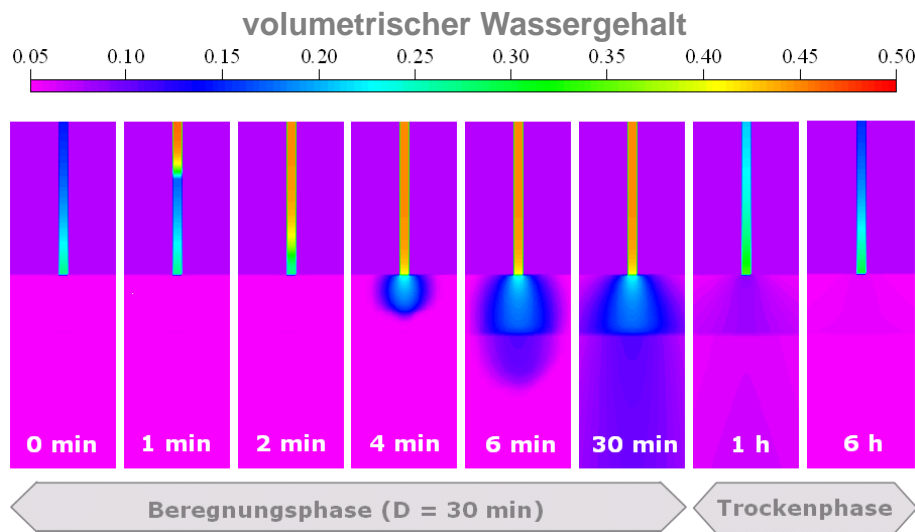
■ bodenphysikalische Charakteristika

- hohe Anfangsinfiltration \neq hydr. Leitfähigkeit
→ Füllung der Grobporen im Fugenraum in 5-15 min
- Infiltrationsrate steigt mit Regenintensität
- inhomogenes Wassertransportvermögen
- inhomogene Strömungsverhältnisse



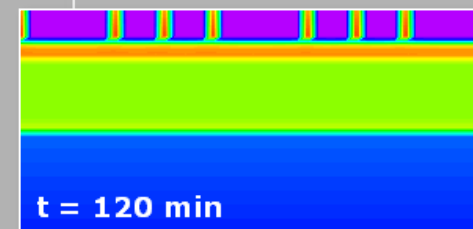
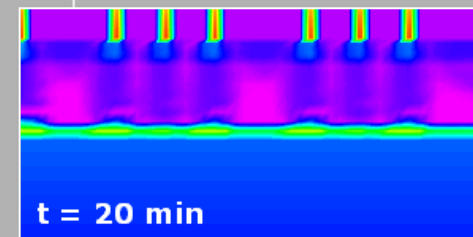
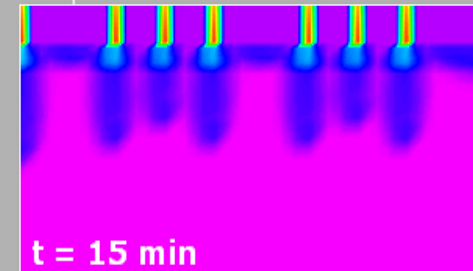
■ bodenphysikalische Charakteristika

- hohe Anfangsinfiltration \neq hydr. Leitfähigkeit
→ Füllung der Grobporen im Fugenraum in 5-15 min
- Infiltrationsrate steigt mit Regenintensität
- inhomogenes Wassertransportvermögen
- inhomogene Strömungsverhältnisse



■ bodenphysikalische Charakteristika

- hohe Anfangsinfiltration \neq hydr. Leitfähigkeit
→ Füllung der Grobporen im Fugenraum in 5-15 min
- Infiltrationsrate steigt mit Regenintensität
- inhomogenes Wassertransportvermögen
- inhomogene Strömungsverhältnisse
- hydraulische Entkopplung der Einzelschichten
- i.d.R. geringe Aufsättigung im Pflasteraufbau
- enormes Speichervermögen von Bettungs- und Tragschicht (i.d.R. > 50 mm)
- Durchlässigkeit des Planums von untergeordneter Bedeutung



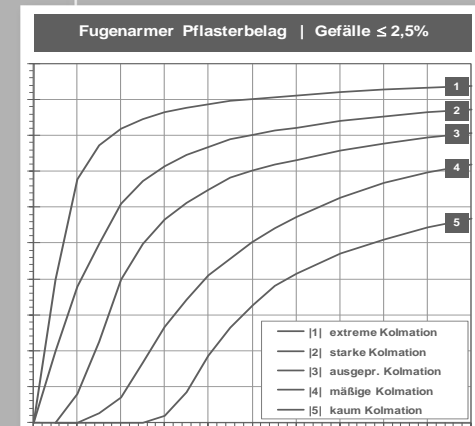
Kennwerte & Arbeitshilfen

- **Versickerungsraten**
- **Abflussbeiwerte**
- **Modellparameter**

➔ jeweils Quantifizierung Einflussfaktoren

- Bauart bzw. Pflastertyp
- Kolmationsgrad bzw. Wahrscheinlichkeit
- verkehrliche Belastung durch Kfz (Nutzung)
- Oberflächengefälle

Unterschreitungshäufigkeit				
≤ 10%	25%	50%	75%	≥ 90%
Versickerungsvermögen [l/(s·ha)]				
≤ 1	15	25	75	≥ 150
≤ 1	25	50	125	≥ 250
≤ 50	125	250	400	≥ 700
≤ 50	150	400	900	≥ 2.000
≤ 50	175	500	1.500	≥ 3.000
≤ 50	300	850	2.500	≥ 5.000



■ bauartspezifisches Versickerungsvermögen

Flächentyp			Unterschreitungshäufigkeit				
			≤ 10%	25%	50%	75%	≥ 90%
Befestigungsart	Fugenanteil	Fugenmaterial	Versickerungsvermögen [l/(s·ha)]				
Plattenbelag, fugenarm	≤ 3%	Sand	≤ 1	15	25	75	≥ 150
Pflasterbelag, fugenarm	3%-6%	Sand	≤ 1	25	50	125	≥ 250
Rasengittersteine	- -	- -	≤ 50	125	250	400	≥ 700
Pflasterbelag, fugenreich	6%-12%	Sand	≤ 50	150	400	900	≥ 2.000
Pflasterbelag aus Porenbeton	- -	- -	≤ 50	175	500	1.500	≥ 3.000
Pflasterbelag mit Sickerfugen od. Kammern	> 4,5 %	Splitt	≤ 50	300	850	2.500	≥ 5.000

■ bauartspezifisches Versickerungsvermögen

Flächentyp			Oberflächengefälle				
			< 2,5%	2,5%	5,0%	7,5%	> 7,5%
Befestigungsart	Fugenanteil	Fugenmaterial	Versickerungsvermögen [l/(s·ha)]				
Plattenbelag, fugenarm	≤ 3%	Sand	35 - 70	30 - 60	25 - 55	20 - 50	15 - 45
Pflasterbelag, fugenarm	3%-6%	Sand	45 - 110	40 - 100	35 - 90	30 - 75	20 - 60
Rasengittersteine	- -	- -	175 - 350	150 - 300	135 - 270	115 - 225	75 - 200
Pflasterbelag, fugenreich	6%-12%	Sand	225 - 650	200 - 600	175 - 550	150 - 500	125 - 450
Pflasterbelag aus Porenbeton	- -	- -	330 - 1.100	300 - 1.000	275 - 950	250 - 875	225 - 800
Pflasterbelag mit Sickerfugen od. Kammern	> 4,5 %	Splitt	550 - 1.300	500 - 1.200	475 - 1.100	450 - 1.000	400 - 900

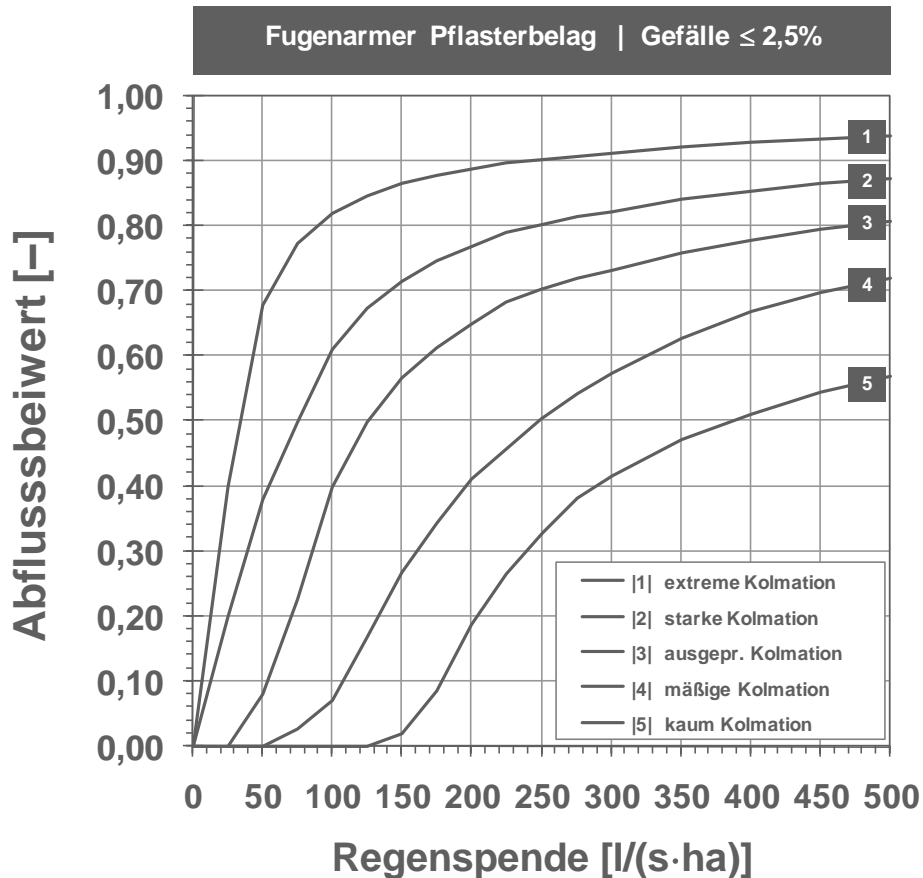
■ bauartspezifisches Versickerungsvermögen

Flächentyp			verkehrliche Belastung durch Kraftfahrzeuge	
			gering bzw. unregelmäßig	hoch bzw. regelmäßig
Befestigungsart	Fugenanteil	Fugenmaterial	Versickerungsvermögen [l/(s·ha)]	
Plattenbelag, fugenarm	≤ 3%	Sand	15 - 50	5 - 25
Pflasterbelag, fugenarm	3%-6%	Sand	40 - 125	10 - 80
Rasengittersteine	- -	- -	200 - 400	150 - 250
Pflasterbelag, fugenreich	6%-12%	Sand	250 - 600	100 - 400
Pflasterbelag aus Porenbeton	- -	- -	300 - 1.000	150 - 500
Pflasterbelag mit Sickerfugen od. Kammern	> 4,5 %	Splitt	400 - 1.500	200 - 700

■ bauartspezifisches Versickerungsvermögen

Flächentyp			Regenintensitätsspektrum [l/(s·ha)]			
			< 100	100-200	200-300	> 300
Befestigungsart	Fugenanteil	Fugenmaterial	Versickerungsvermögen [l/(s·ha)]			
Plattenbelag, fugenarm	≤ 3%	Sand	20-40	25-50	30-60	35-65
Pflasterbelag, fugenarm	3%-6%	Sand	20-50	25-60	30-70	40-80
Rasengittersteine	- -	- -	100-300	125-325	150-350	175-400
Pflasterbelag, fugenreich	6%-12%	Sand	40-400	50-425	60-450	65-500
Pflasterbelag aus Porenbeton	- -	- -	50-500	75-625	100-750	150-1.000
Pflasterbelag mit Sickerfugen od. Kammern	> 4,5 %	Splitt	100-600	125-750	150-1.000	200-2.000

■ bauartspezifische Abflussbeiwerte



➔ Einflussfaktoren

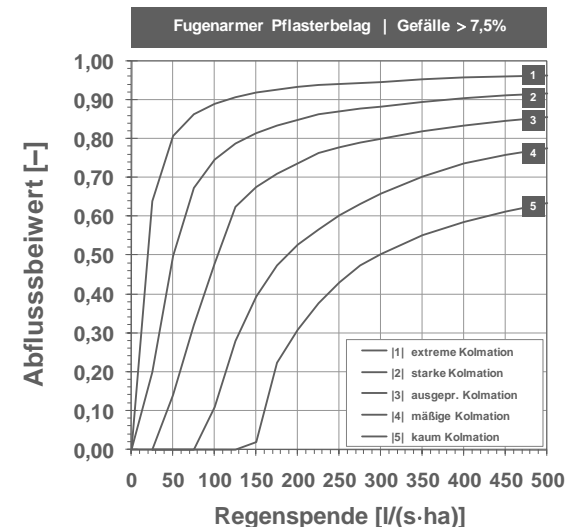
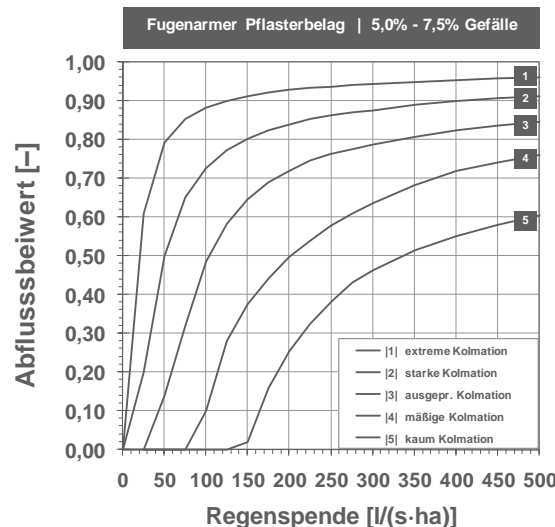
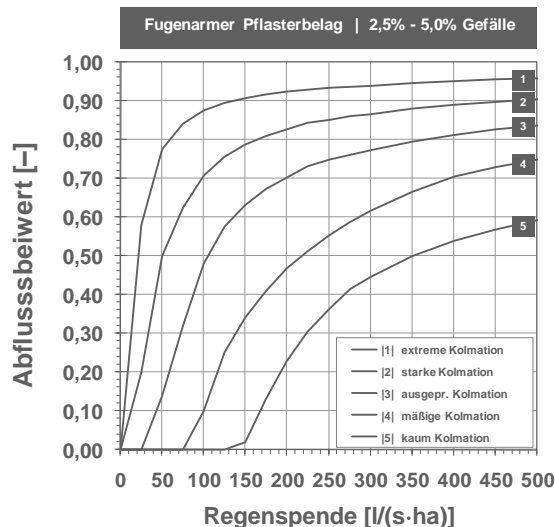
- Flächentyp
- Kolmationsgrad (Häufigkeit)
- Regenspende
- Gefälle

➔ Beispiel

- fugenarmes Pflaster (4 mm Fugenweite)
- Fugenfüllung Sand
- Gefälle $\leq 2,5\%$

■ bauartspezifische Abflussbeiwerte

- Anwendung als ψ_S oder ψ_m für Starkregenbetrachtungen (Bemessung)
- gängiges Spektrum an Pflasterbauarten
- je Bauart Differenzierung von vier Gefällestufen

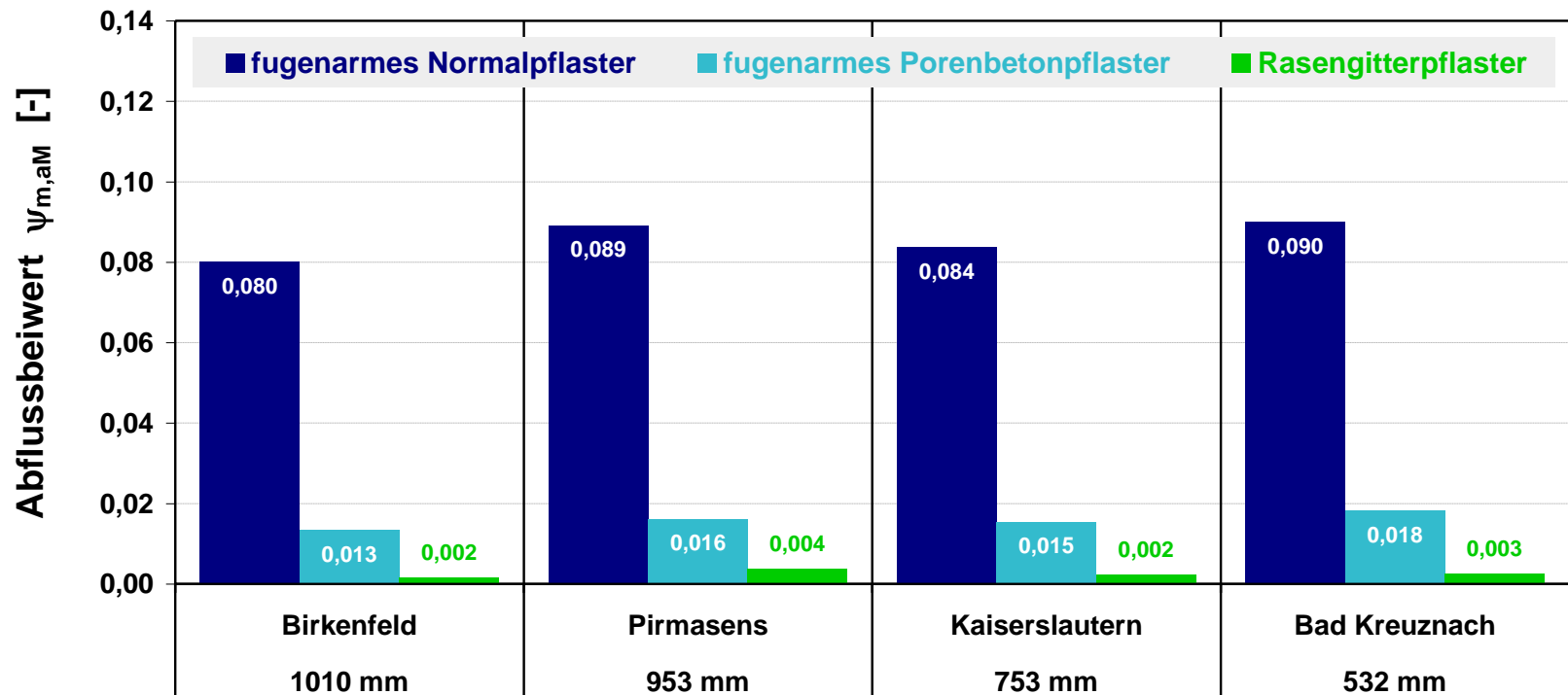


■ bauartspezifische Abflussbeiwerte

- Anwendung als ψ_s oder ψ_m für Starkregenbetrachtungen (Bemessung)
- gängiges Spektrum an Pflasterbauarten
- je Bauart Differenzierung von vier Gefällestufen
- **Wahl des Kolmationsgrades**
 - vom Planer/Anwender zu treffen
 - je nach Anwendungsfall (Zielsetzung, Charakteristik des EZG, Flächengröße usw.)
 - angemessene Unterschreitungshäufigkeit (Risikobewertung)
- **Empfehlung**
 - Ansatz ausgeprägter bis starker Kolmation
 - Unterschreitungshäufigkeit $\leq 15\% - 50\%$

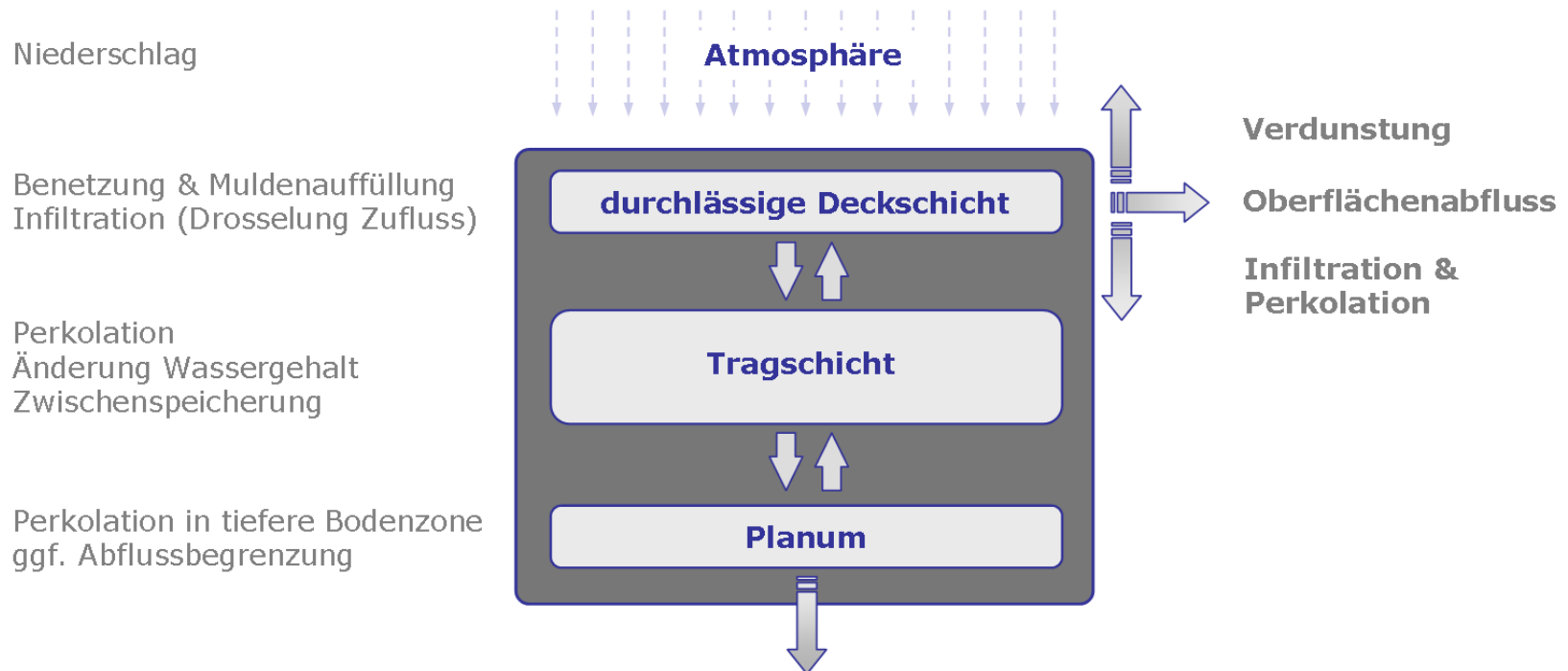
■ bauartspezifische Abflussbeiwerte

- mittlerer Jahresabflussbeiwert $\psi_{m,aM}$
- Ergebnis von Abflusssimulationen



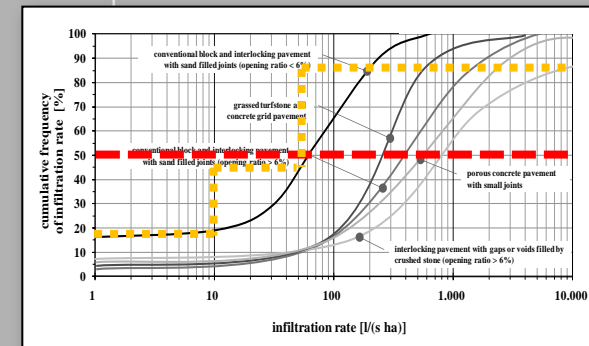
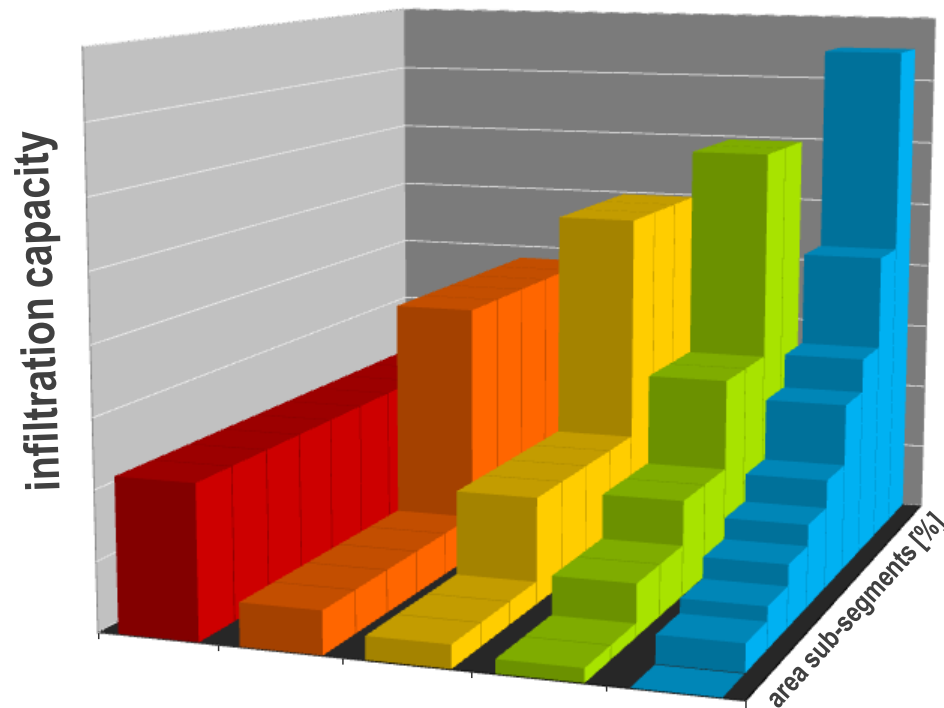
Entwicklung Modellkonzept

■ bi-direktionales Schichtenmodell



■ Infiltrationsmodul

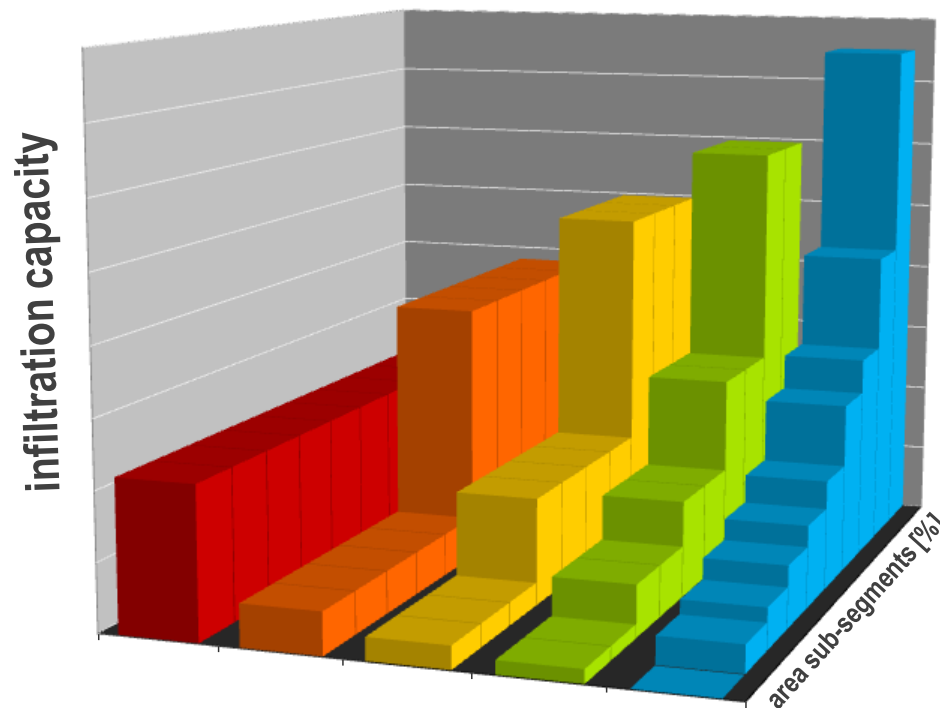
- virtuelle Zerlegung der Einzelflächen in Segmente
- Zuordnung nach Auftretenshäufigkeit gestaffelter Versickerungsraten zu den Flächensegmenten



Flächenelement

■ Infiltrationsmodul

- virtuelle Zerlegung der Einzelflächen in Segmente
- Zuordnung nach Auftretenshäufigkeit gestaffelter Versickerungsraten zu den Flächensegmenten



Stärken des Ansatzes

- Erfassung des stochastisch geprägten Versickerungsverhaltens
- Abbildung des mit der Regenintensität ansteigenden Infiltrationsvermögens
- höchst effektiver und praktikabler Ansatz mit vertrauten Parametern
- Empfehlung zur Integration in Modelle

Zusammenfassung

■ Erweiterung Kenntnisstand

- umfangreiches & aussagekräftiges Datenkollektiv
- Systematisierung, Charakterisierung & Quantifizierung des Versickerungsverhaltens
- deutlich verbesserte Bewertungsgrundlage
- z.T. Neubewertung des Versickerungsvermögens

■ urbanhydrologische Quantifizierung

- Kennwerte & Bemessungshilfen zur konventionellen Abflussberechnung
- Vorschlag für verbesserte Modellierung (Parameterempfehlungen & Modellansatz)

Ausblick

■ Transfer in die Praxis

- Diskussion in der Fachwelt
- Eingang/Übernahme in Regelwerke
- Integration des Modellkonzeptes in gängige Software
- Anwendung & Erprobung in der Planungspraxis
- Würdigung bei Gebührenmaßstäben

■ Forschungsbedarf

- Ausbau und Fortschreibung der Datenbasis
- Analyse kleinräumiger bodenhydraulischer Prozesse
- Messungen für größere Flächeneinheiten
- Abgleich Messung ↔ Simulation

Quantifizierung des Abfluss- und Versickerungsverhaltens durchlässiger Flächenbeläge

– Anlagen –



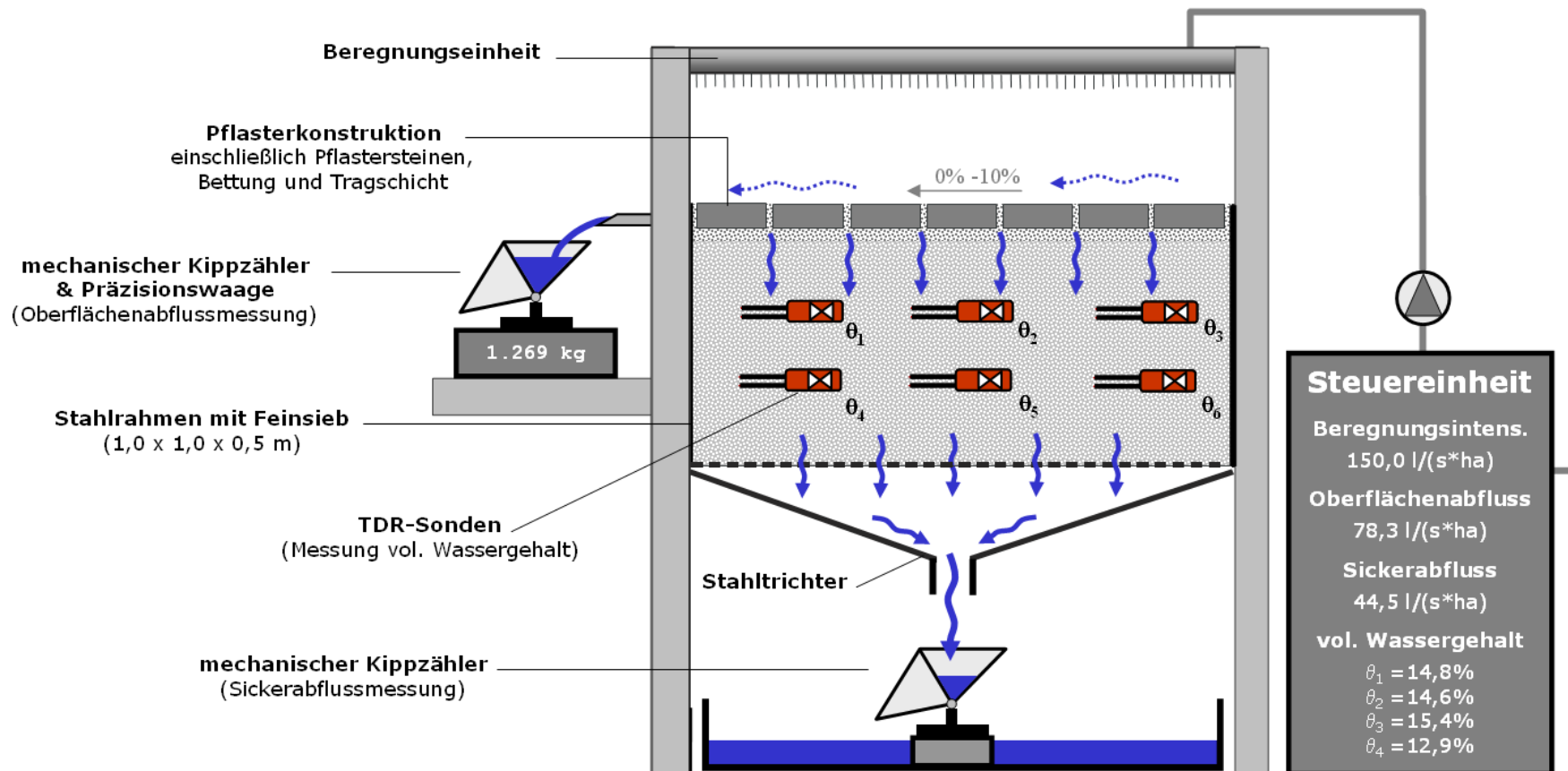
Konzept zur Analyse des Versickerungsverhaltens

Fokus	Versickerungsvermögen stat. Kennwerte & Variabilität	phänomenologische Analyse Infiltrationsprozess & Einflussfaktoren		
Untersuchungs- methodik	Feldmessungen an Bestandsflächen Infiltrometer- u. Abflussmessungen	Lysimeterversuche im Labor Neu- und Gebrauchszustand	FE-Simulation Verifikation + Ergänzung	
Datenquelle	externe Daten	eigene Erhebungen & Simulationen		

Pflasterbauarten

Pflastertypen	Platten- beläge	Rechteck- und Verbundpflaster (konventionell)			Porenbeton- pflaster	Rasengitter- beläge
+ Fugenweite	3-5 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 4 mm	3-5 mm	- -
+ Fugenanteil	0,5-2%	3-6%	6-12%	10-30%	3-6%	> 35%
+ Fugenmaterial	Sand	Sand	Sand	Splitt	Sand	Boden/Splitt

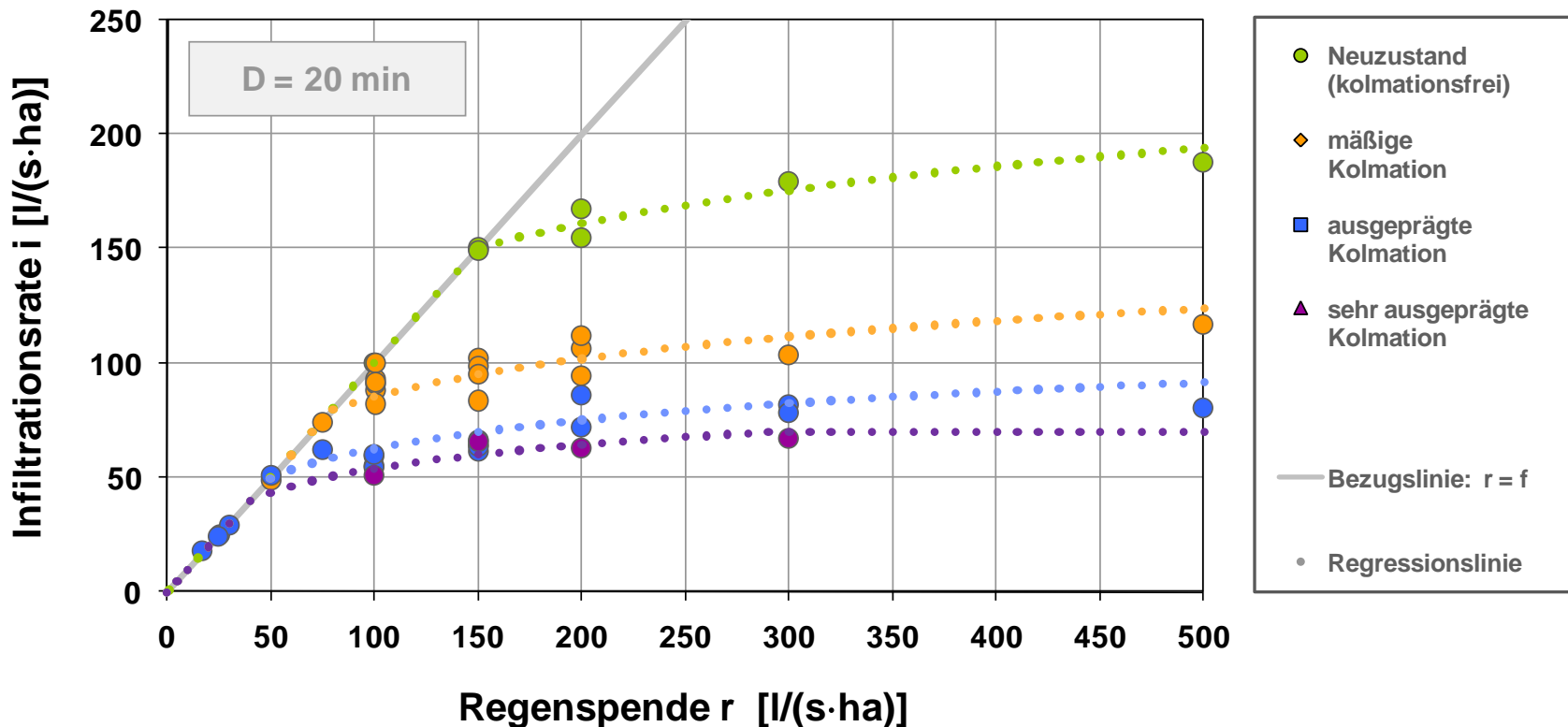
Laborversuche: Lysimteranlage



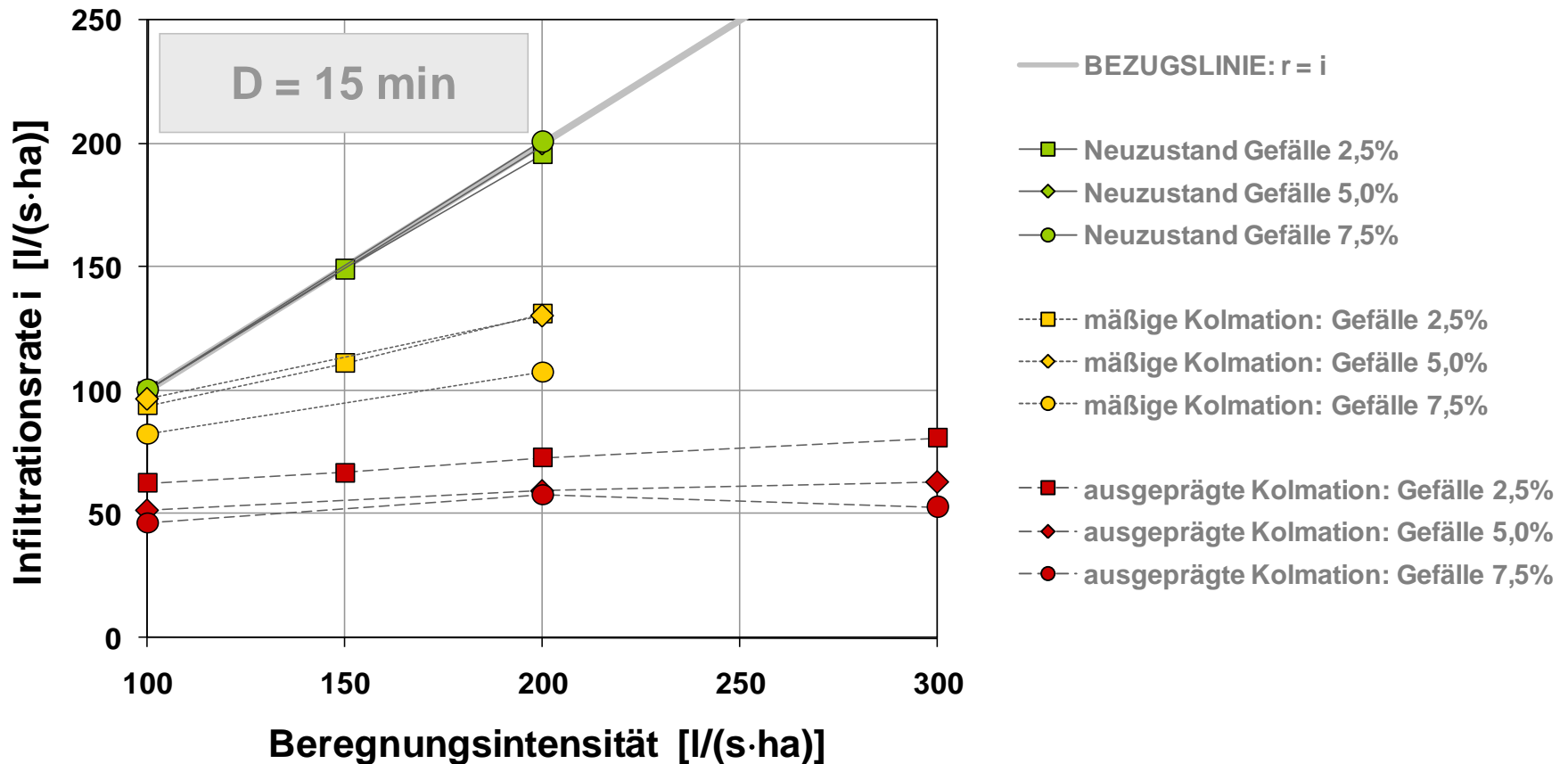
Messergebnisse: Laborversuche

fugenarmes Doppelverbundpflaster

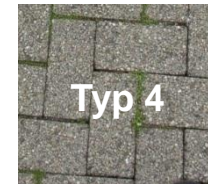
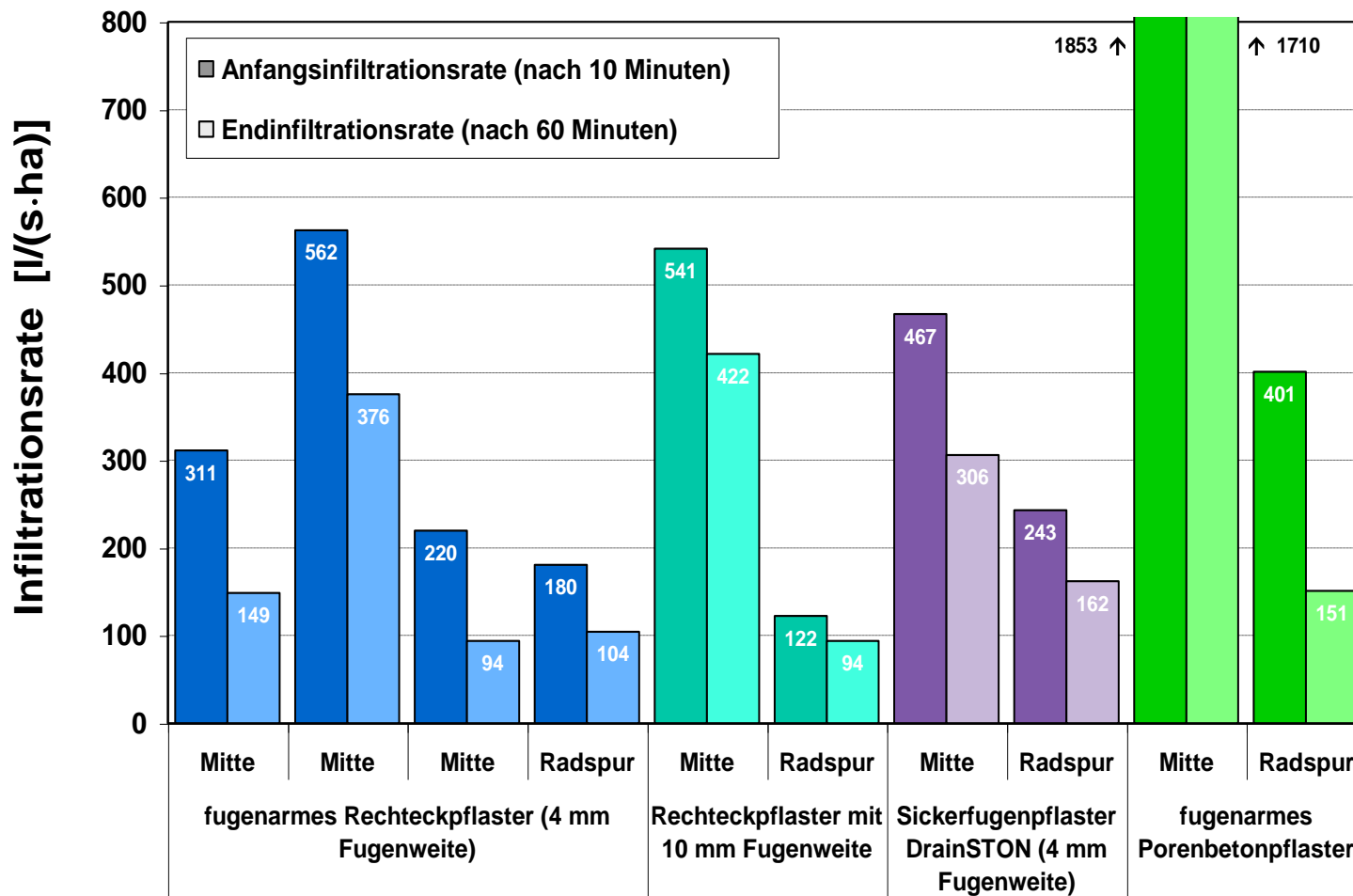
Gefälle: $J = 2,5\%$ | Fugenweite: 3-4 mm | Fugenanteil: $\gamma = 4,5\%$



Messergebnisse: Laborversuche



Messergebnisse: Bestandsflächen



■ Vorschlag Gebührenfaktoren (Basistabelle)

Flächentyp			Gebührenfaktor	
Befestigungsart	Fugenanteil	Fugenmaterial	Gefälle $\leq 5\%$	Gefälle $\geq 5\%$
quasi undurchlässige Flächenbefestigungen bzw. Bebauungen, zum Beispiel:			1,00	
+ Dachflächen aus Ziegeln, Dachpappe, Glas, Metall o.ä.	—	—		
+ Flächen aus undurchlässigem Asphalt, fugenlosem Beton o.ä.	—	—		
+ fugendicht vermörtelte Pflaster- oder Plattenbeläge o.ä.	—	—		
+ hochverdichtete, wassergebundene Decken	—	—		
konventionelle, fugenarm verlegte Plattenbeläge	$\leq 3\%$	Sand	0,75	0,90
konventionelle, fugenarm verlegte Pflasterbeläge	$\leq 6\%$	Sand	0,50	0,70
besonders versickerungsfähig gestaltete Flächenbefestigungen, zum Beispiel:			0,10 0,20	
+ Rasengitterbeläge o.ä.	—	—		
+ fugenreich verlegte Pflasterbeläge	$> 6\%$	Sand		
+ Pflasterbeläge mit aufgeweiten Sickerfugen od. Kammern	$> 4,5\%$	Splitt		
+ Pflasterbeläge aus porösen Betonsteinen	—	Sand/Splitt		
+ Schotterrasen o.ä.	—	—		

■ Autor & Ansprechpartner

Dr.-Ing Marc Illgen

DAHLEM Beratende Ingenieure
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

Poststraße 9
64293 Darmstadt

Fon: +49 (0) 6151 8595-23

Fax: +49 (0) 6151 8595-99

Email: m.illgen@dahlem-ingenieure.de