Verschmutzungsdynamisierung von urbanen Niederschlags-Abfluss-Ereignissen für eine ressourcenoptimierte Weiterentwicklung des Schwammstadtkonzeptes

Sören Hornig, Aslan Belli, Katrin Bauerfeld

Garching bei München, 09. Oktober 2023

Technische Universität Braunschweig
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
SE|BS
BS|ENERGY Gruppe

Klimatische Herausforderungen

- Anstieg Durchschnitts-temperatur
- Extremwetterereignisse
- Niederschlags- und Trockenwetterperioden

Urbane Herausforderungen

- Gestörte urbane Wasserkreisläufe
- Stadtklima
- Hochwasserrisiken

Allgemeine Herausforderungen

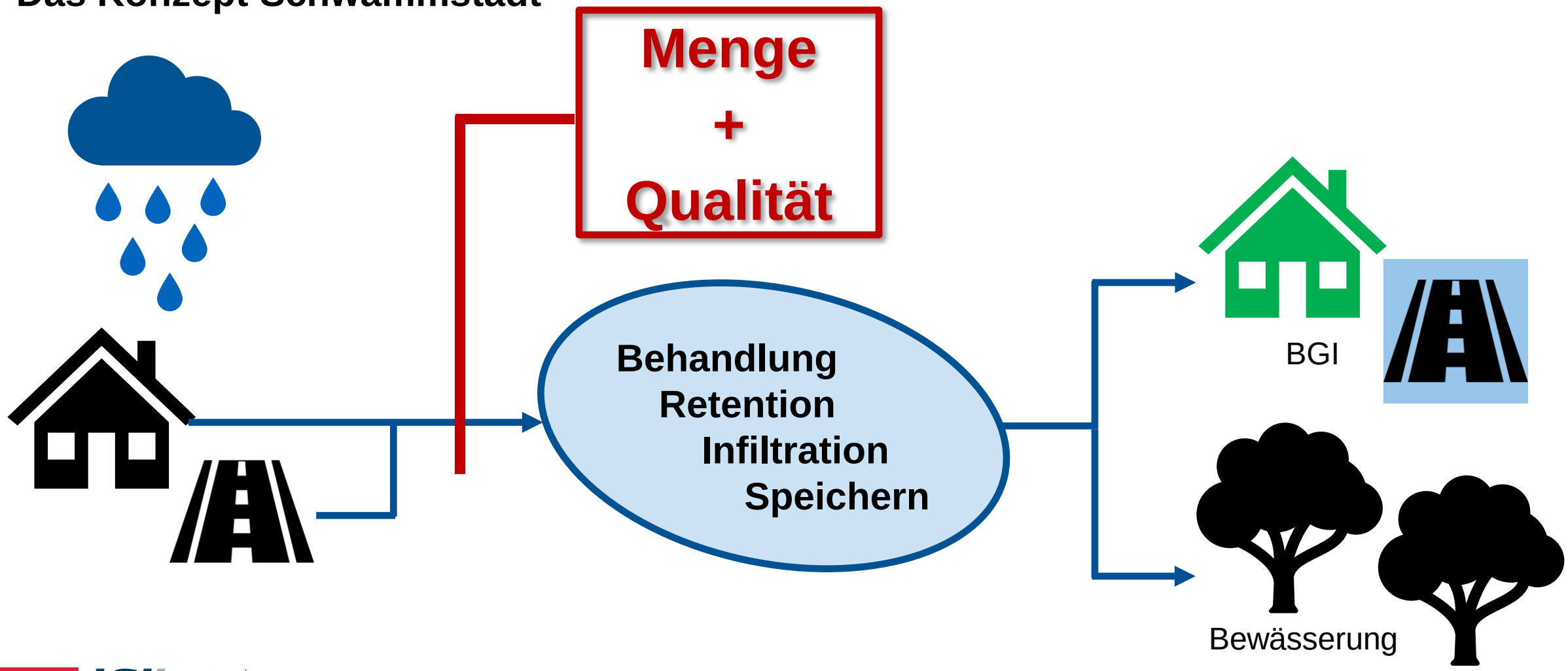
- Entwicklung Wasserbedarf

Lösungsansatz: Schwammstadt

- Wasserorientierte Stadtplanung
- Regenwasser-bewirtschaftung
- Reduktion Oberflächenabfluss
- Nachahmung des natürlichen Wasserkreislaufs
- Nutzung Ökosystemfunktionen

Image by Gerd Altmann from Pixabay

Das Konzept Schwammstadt



Verunreinigung von Niederschlägen Status Quo DWA-A 102

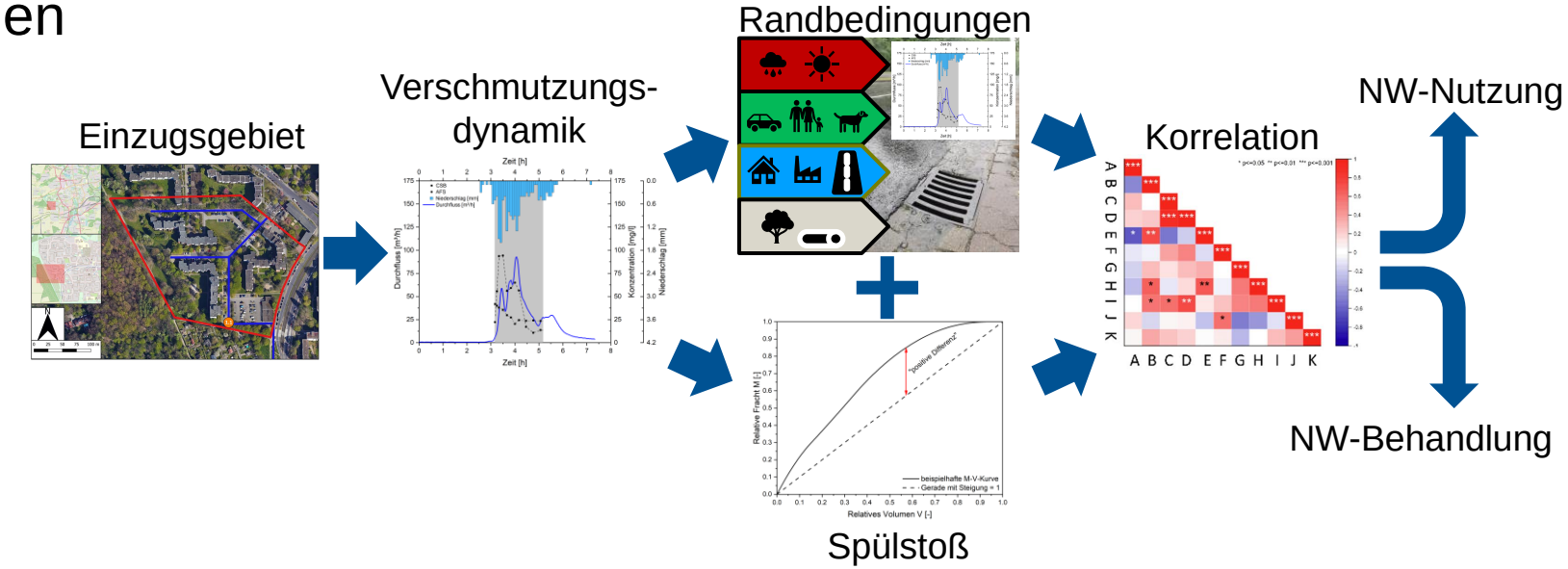
Qualität

- Leitparameter AFS63
- Flächenkategorisierung gering (I), mäßig (II) und stark (III) belastet
- Grundsätzliche Behandlung von NW von Flächenkategorien II + III
- Rechenwerte als Jahresmittelwerte
- Dynamik der Abflussverschmutzung und –menge werden nicht berücksichtigt

Verschmutzungsdynamisierung von Niederschlags-Abfluss-Ereignissen

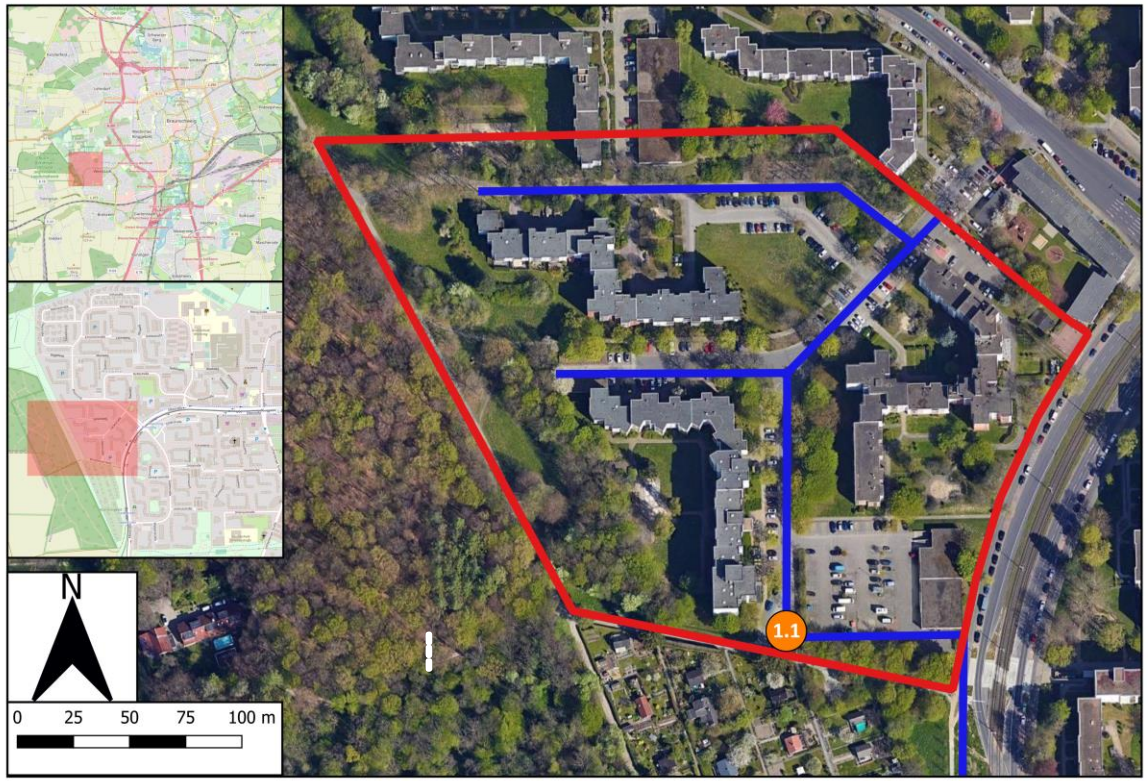
Verschmutzungsdynamisierung von Niederschlags-Abfluss-Ereignissen

- Flächenkategorisierung in Anlehnung an DWA-A 102
- Zeitliche Differenzierung von Abflussqualität und Abflussweg
- Qualifizierte Differenzierung benötigt ein Werkzeug zur „Verschmutzungsprognose“
- Parameter „Wasserqualität“ als Input
- charakteristische Verschmutzungsverläufe von größerer Bedeutung als absolute (Schad-)stoffkonzentrationen



Charakteristisches Einzugsgebiet

- Bestandsgebiet mit Wohnbebauung aus den 1970 er Jahren
- Größe 5 ha, Versiegelt ca. 1,8 ha
- Hauptsächlich Wohnbebauung (I) und Straßen (II)
- Max. Fließweg im Kanal 526 m
- Ausgewählt aufgrund vergleichsweiser hoher „Flächenhomogenität“

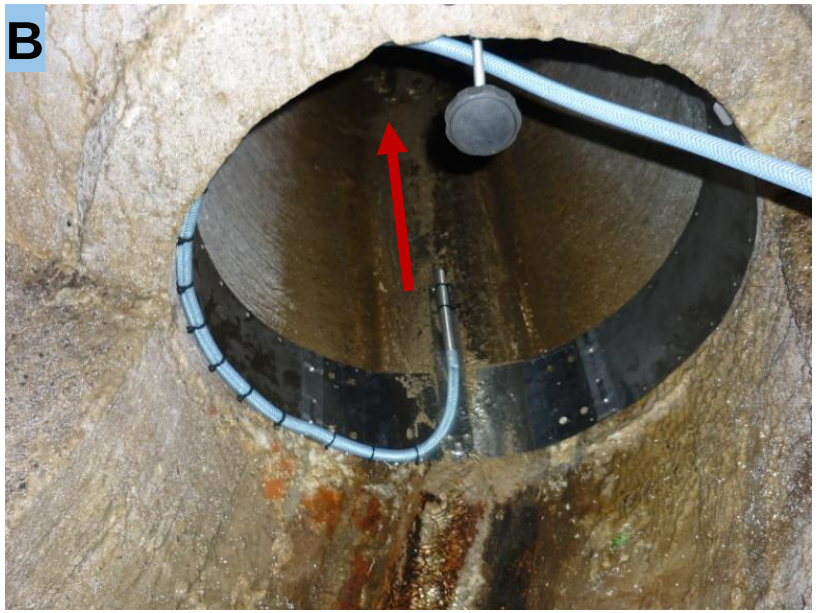


Einzugsgebiet mit Einzugsgebietsgrenzen (rot), Trennkanalisation (blau) und Messstelle (orange) (Bilder © 2022 AeroWest, CNES / Airbus, GeoBasis-DE/BKG, Maxar Technologies, Kartendaten © 2022 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), bearbeitet)

Probenahme

- Durch automatische Probenahme inkl. Füllstands- und Durchflusssensor
- Zeitproportional bis max. 2 h
- Gestaffelt in 4 Fl. alle 5 min, 10 min und 18 min (max. 12 Flaschen a 0,5 l)
- Untersuchte Parameter: AFS, CSB, P_{Ges}, PO_4-P, NO_3-N, NH_4-N

[A] Füllstands- und Durchflusssensor (eigene Darstellung)

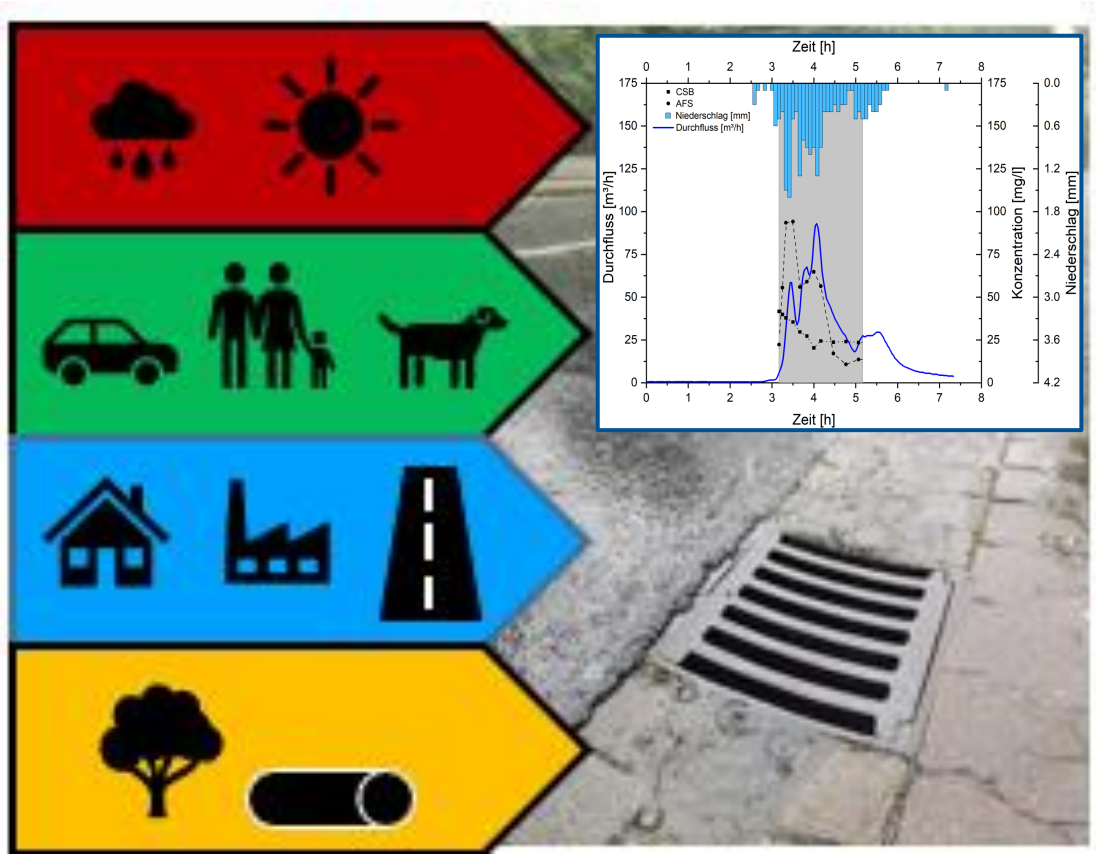


[B] Ansaugschlauch (eigene Darstellung)

[C] farbliche Dynamik von Niederschlagswasser (eigene Darstellung)

Randbedingungen

- Niederschlagshöhe
- Mittlere Niederschlagsintensität
- Max. 5 min. Niederschlagsintensität
- Niederschlagsdauer
- Vorh. Trockenperiode
- Mittlere und max. Abflusstiefe
- Ges. Abflussvolumen
- Mittlere Ereigniskonzentration
- Ges. Schmutzfracht
- Anteil Flächennutzung
- Fließweg im Kanal
- Straßenreinigung
- Jahreszeiten
- …

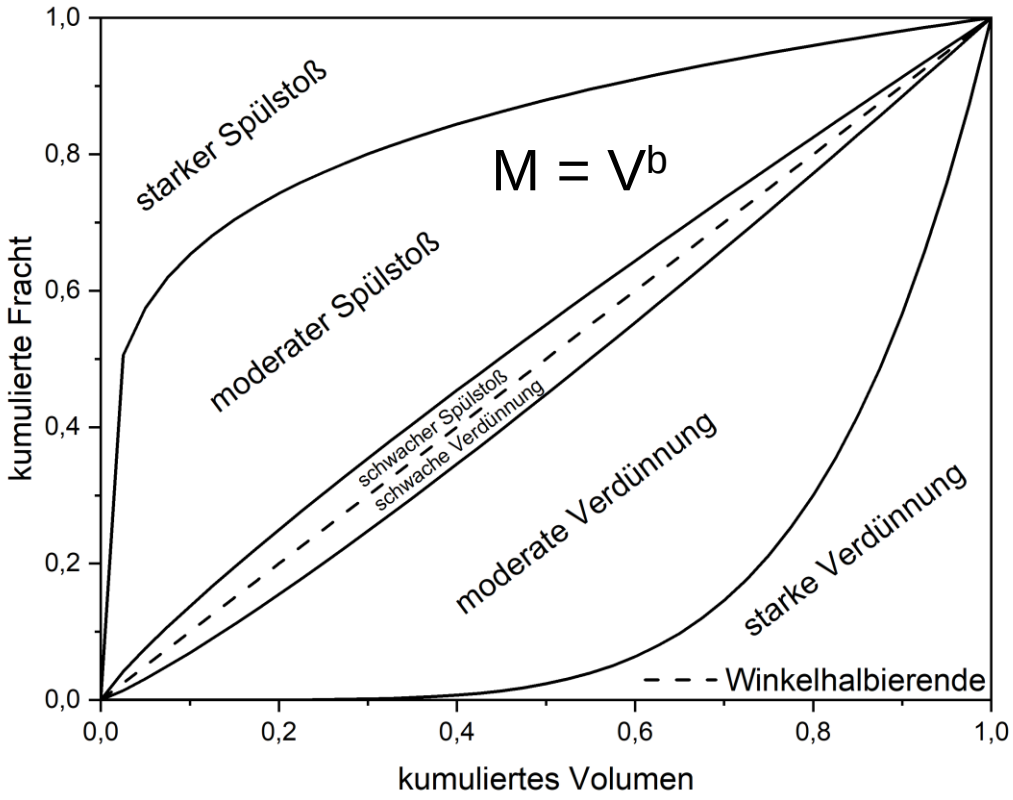


Spülstoß

- Darstellung von kumulierter Fracht vs. kumuliertem Volumen
- Beschreibung der Kurve durch Potenzfunktion
- Parameter b als Indikator für Spülstoßintensität

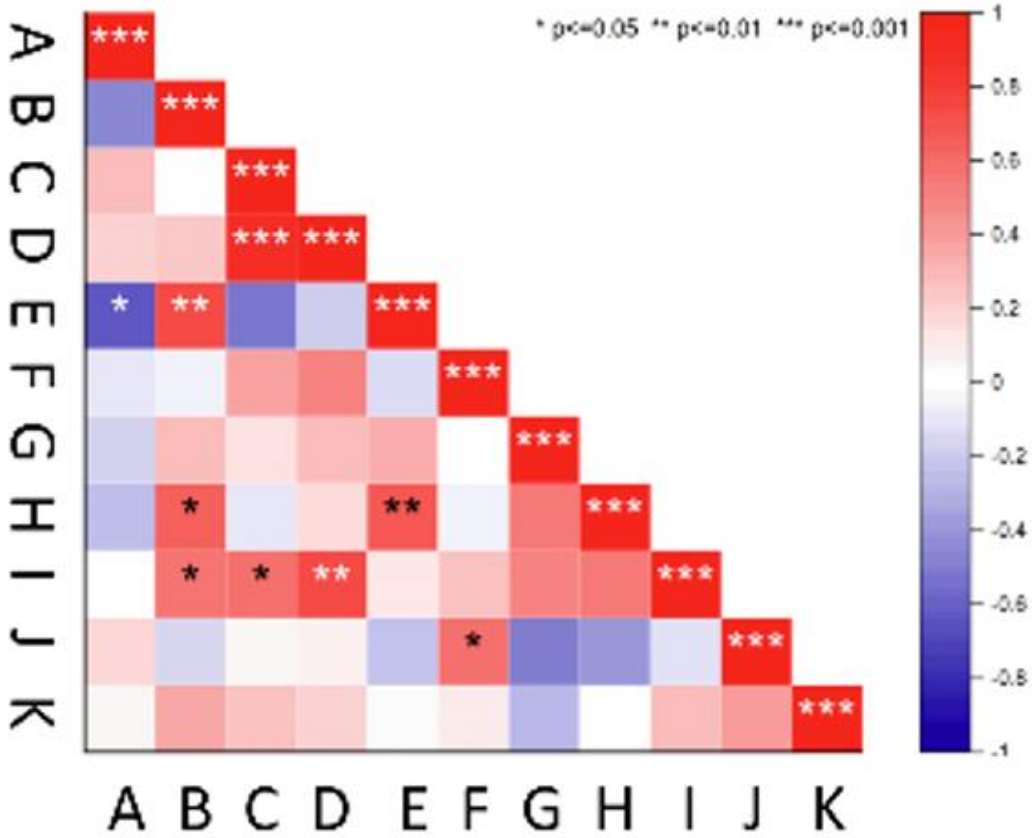
Einteilung der Spülstoßintensität in Anlehnung an [1] und [2]

Range of *b* Values	Strength of First Flush
0.000–0.185	strong first flush
0.185–0.862	moderate first flush
0.862–1.000	weak first flush
1.000	uniform pollutant load
1.000–1.159	weak dilution
1.159–5.395	moderate dilution
5.395–∞	strong dilution

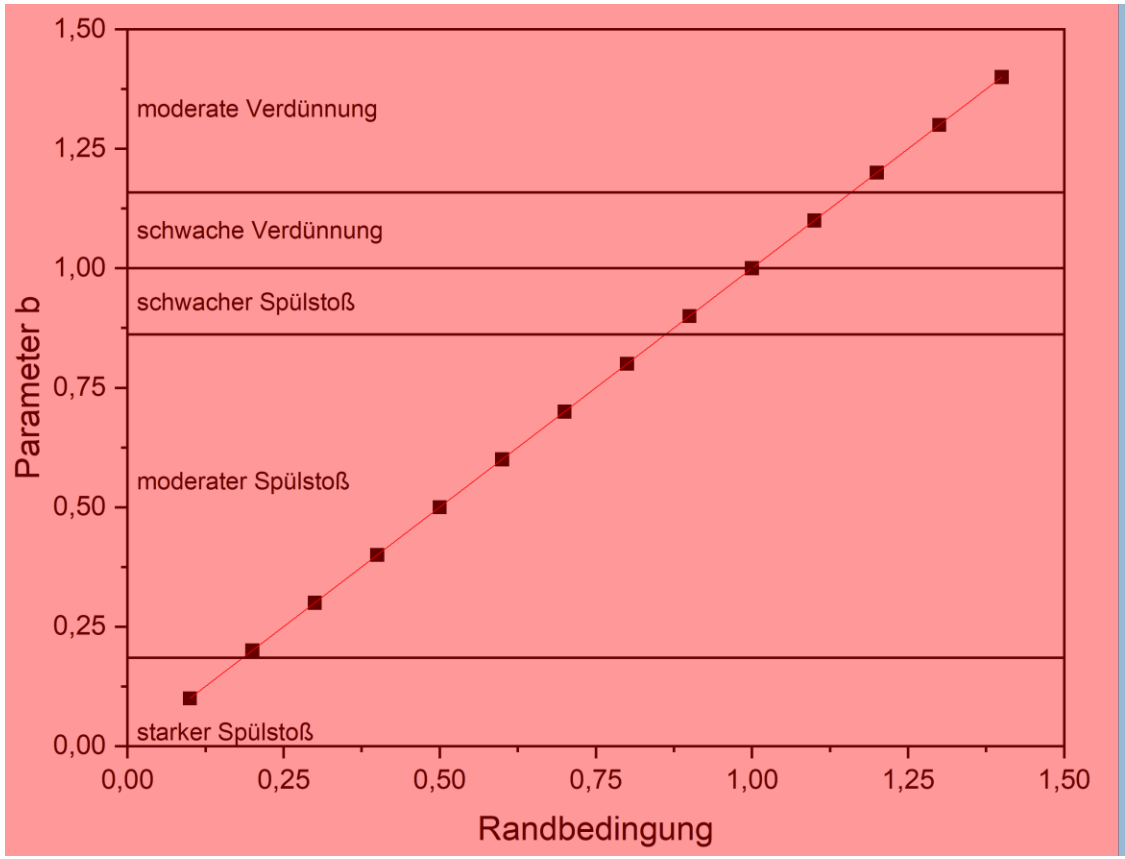


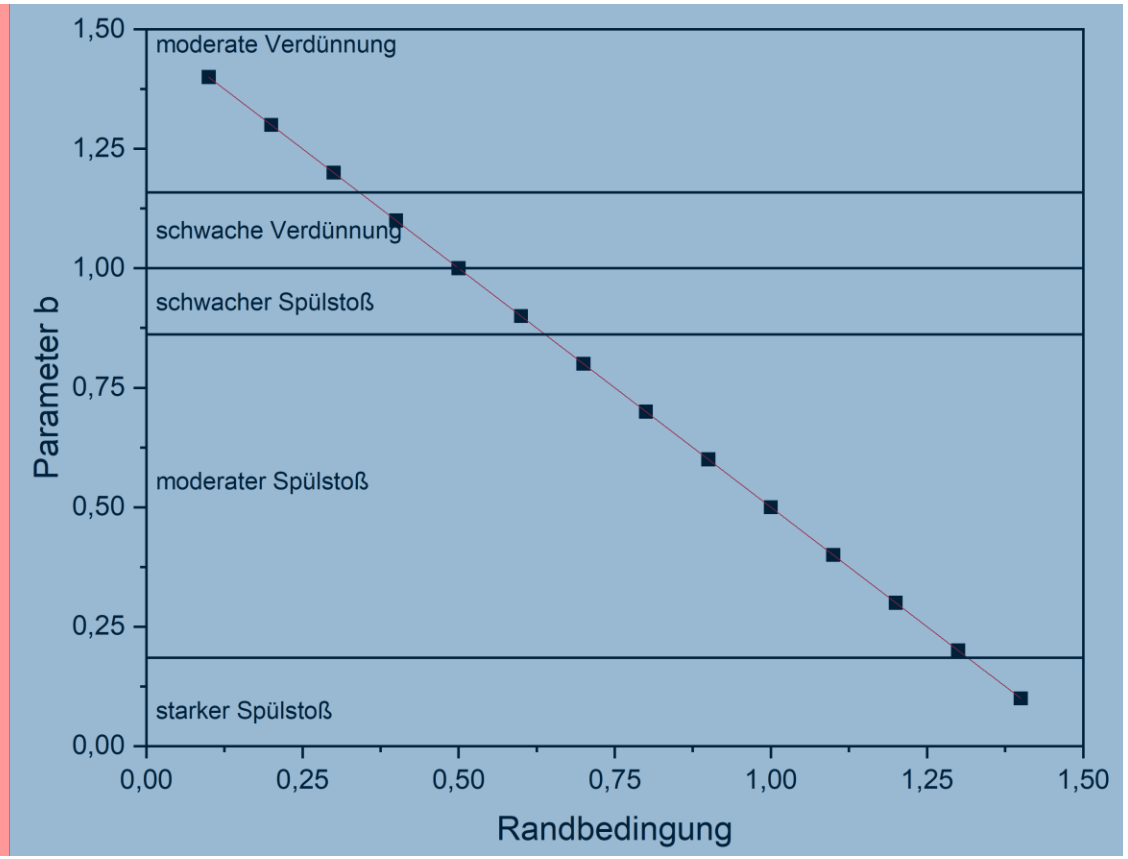
Korrelationsanalyse

- Untersuchung möglicher Korrelationen zwischen Spülstoß und gegebenen Einzugsgebiets- und Niederschlagscharakteristika
- Spearman Rangkorrelation
- Signifikanter Korrelationskoeffizient $p < 0,05$

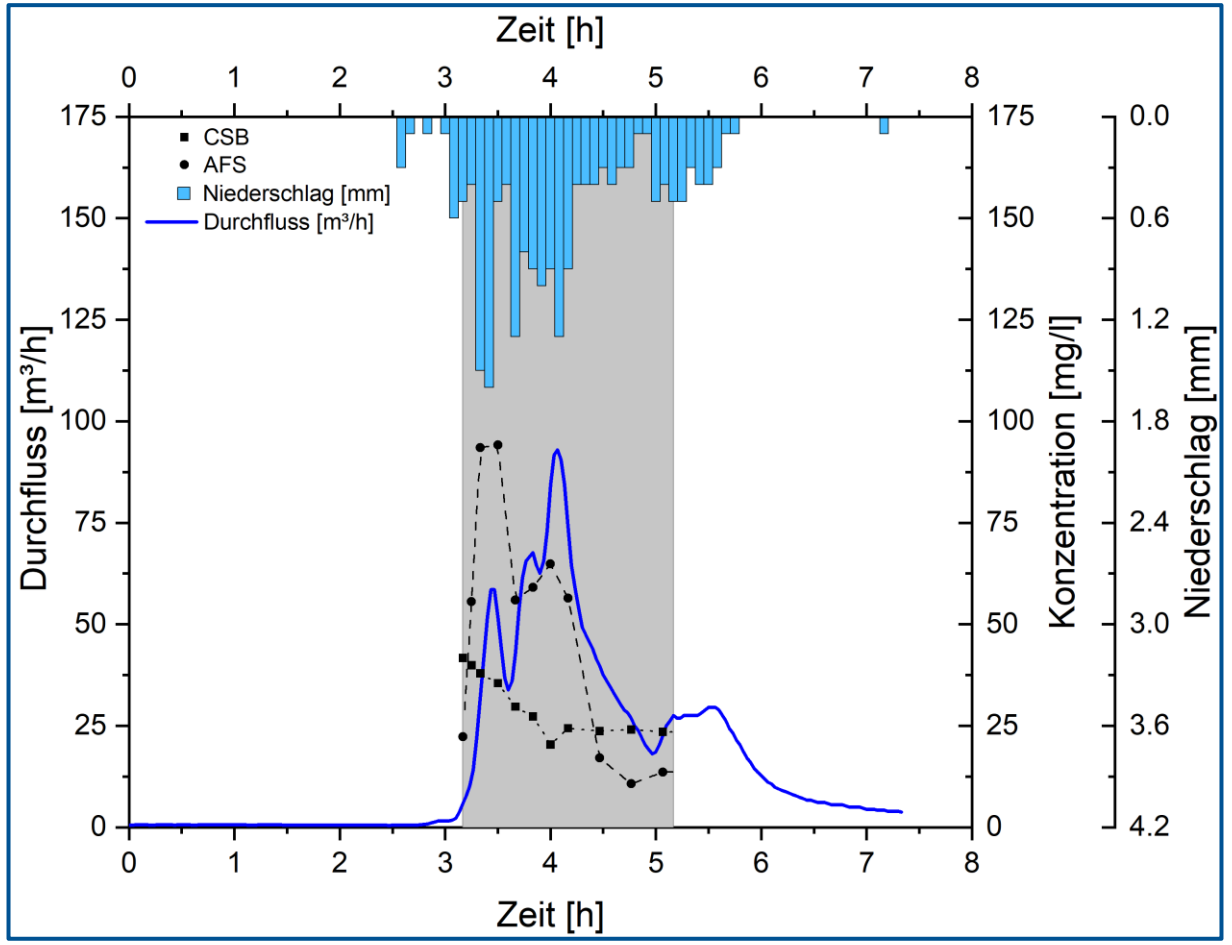


Korrelationsanalyse





Verschmutzungsverlauf



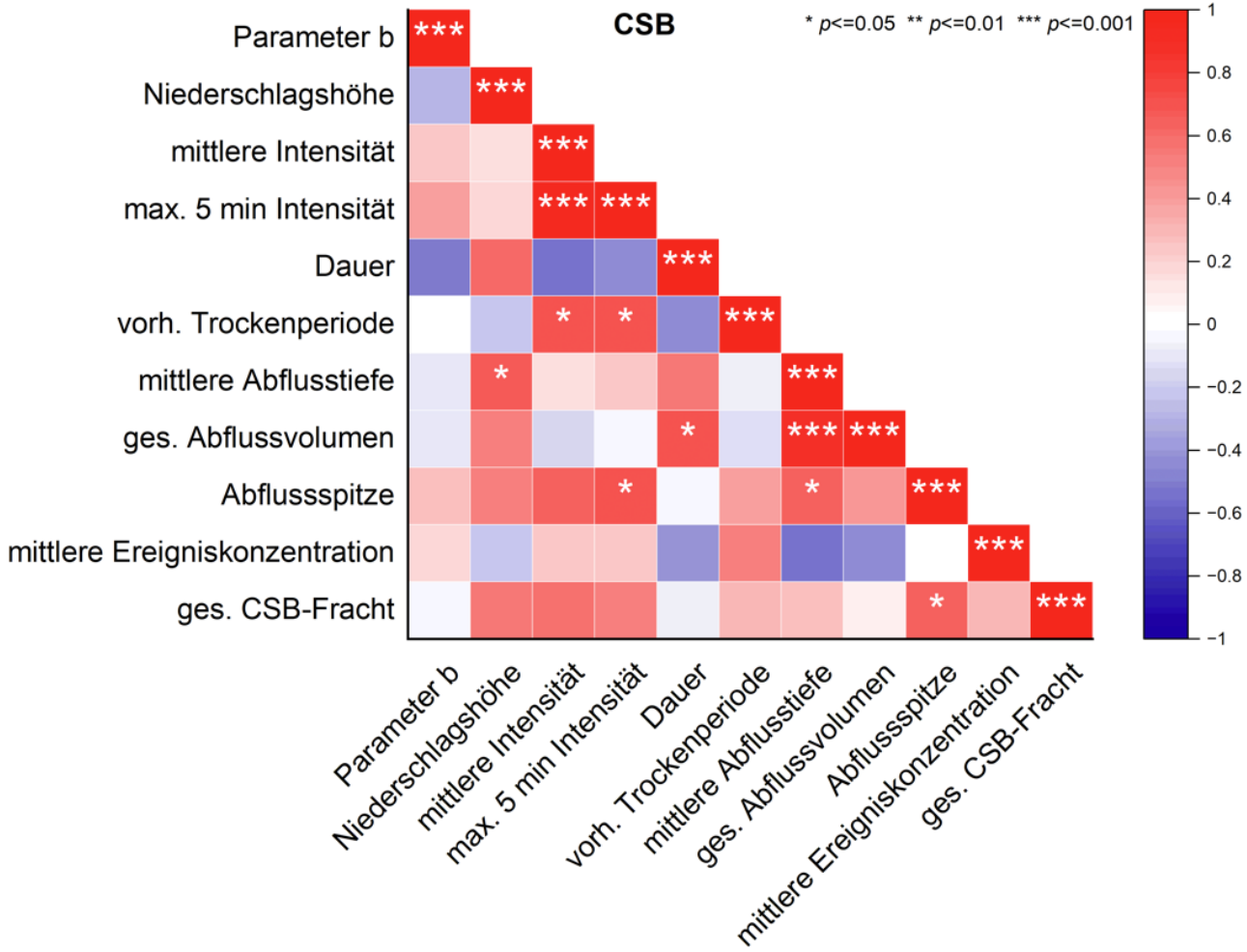
Spülstoß

Parameter	Mittelwert Parameter b (Standardabweichung)	Spülstoßintensität	Anzahl Ereignisse
AFS	0,802 (0,233)	moderater Spülstoß	9
NH_4-N	0,921 (0,141)	schwacher Spülstoß	10
NO_3-N	0,966 (0,120)	schwacher Spülstoß	10
CSB	0,977 (0,095)	schwacher Spülstoß	10
P_{Ges}	0,988 (0,136)	schwacher Spülstoß	10
PO_4-P	1,077 (0,111)	schwache Verdünnung	10

Intensität

Korrelationensanalyse

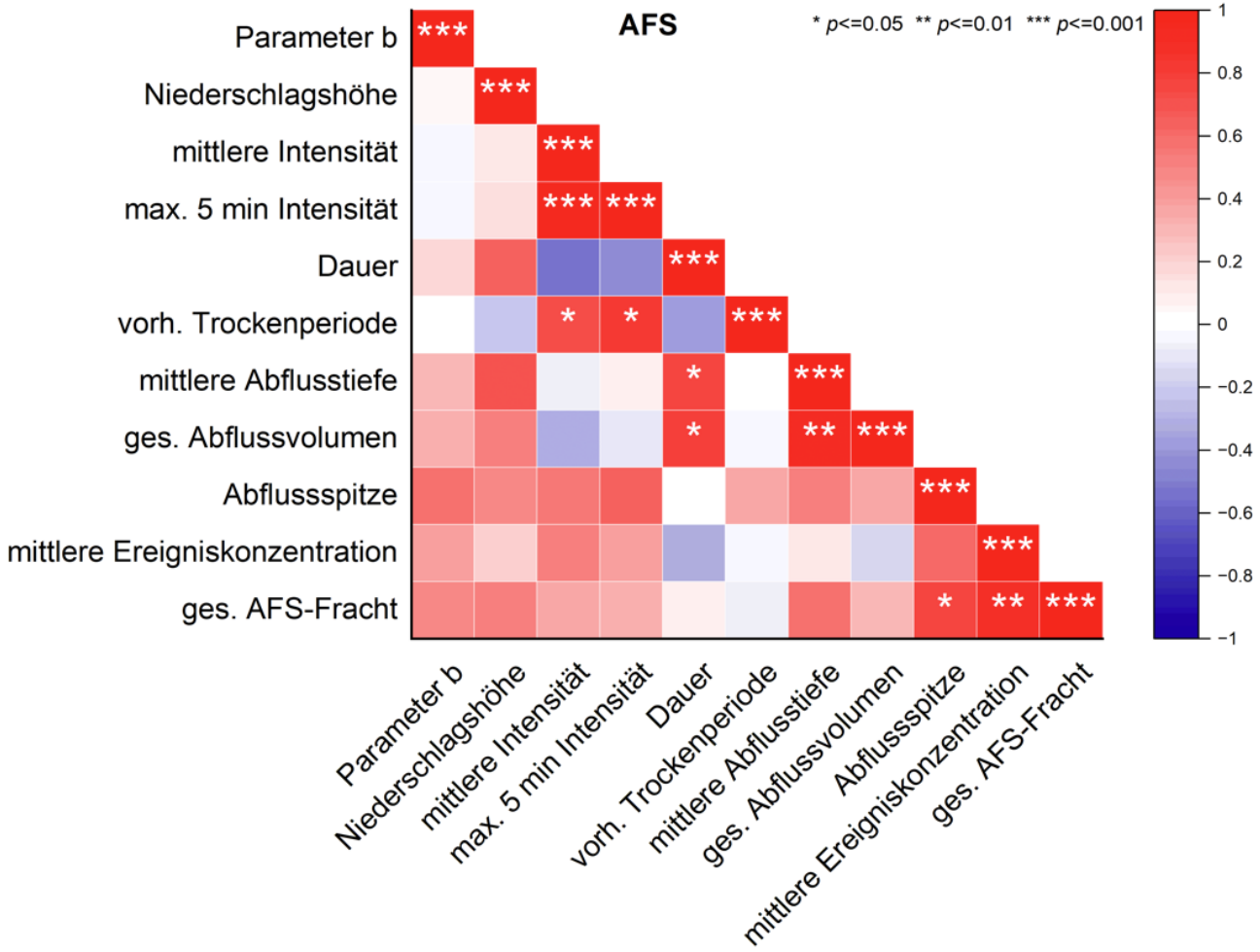
CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4



- Tendenzielle negative Korrelation mit Niederschlagshöhe und –dauer
- Korrelation mit vorh. Trockenperiode im neutralen Bereich

Korrelationensanalyse

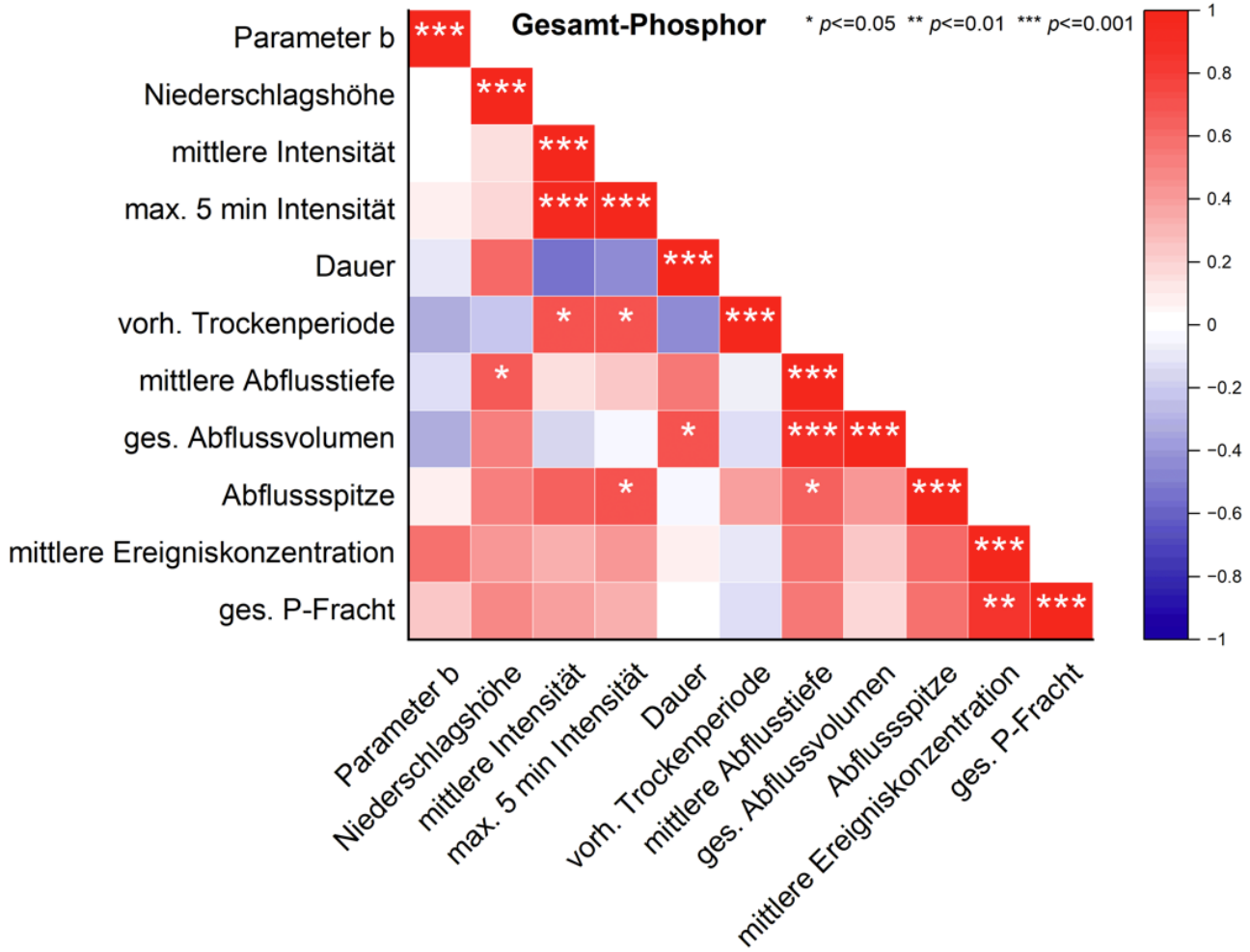
CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4



- Überwiegend positive Korrelation mit untersuchten Randbedingungen
- Korrelation mit vorh. Trockenperiode im neutralen Bereich

Korrelationensanalyse

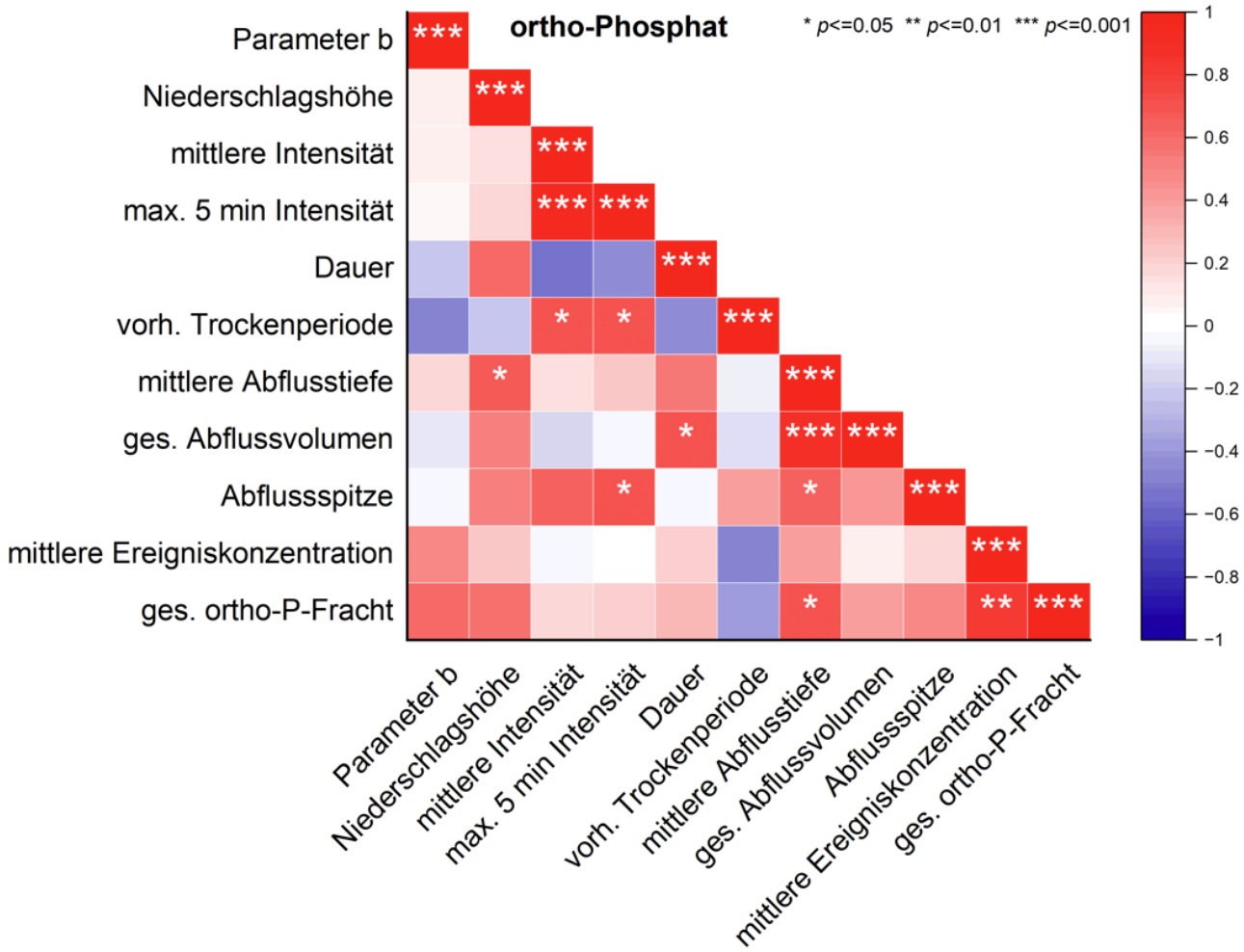
CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4



- Tendenziell negative Korrelation mit vorh. Trockenperiode und ges. Abflussvolumen

Korrelationensanalyse

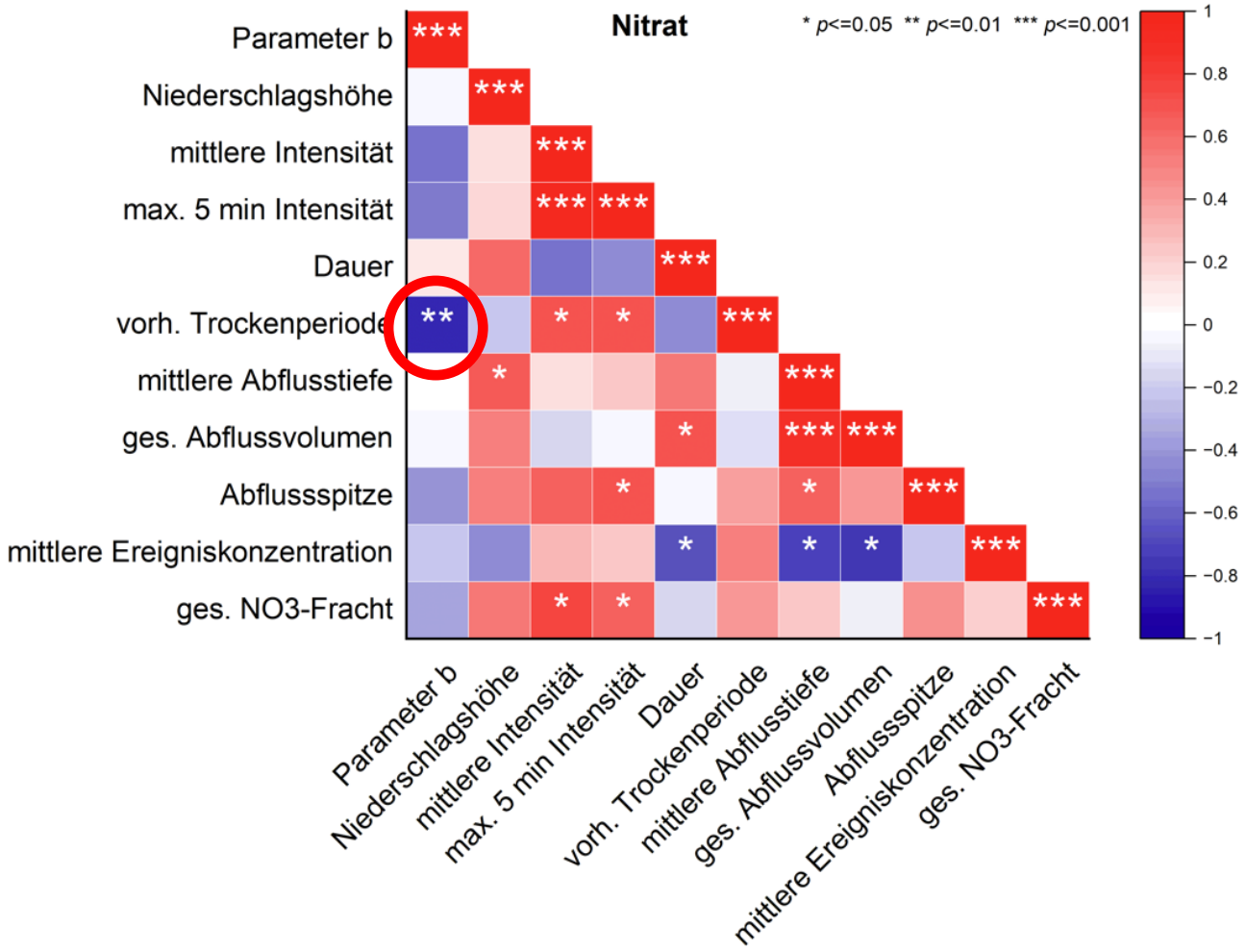
CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4



- Tendenzielle negative Korrelation mit vorh. Trockenperiode
- Korrelation mit ges. Abflussvolumen weniger ausgeprägt

Korrelationensanalyse

CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4

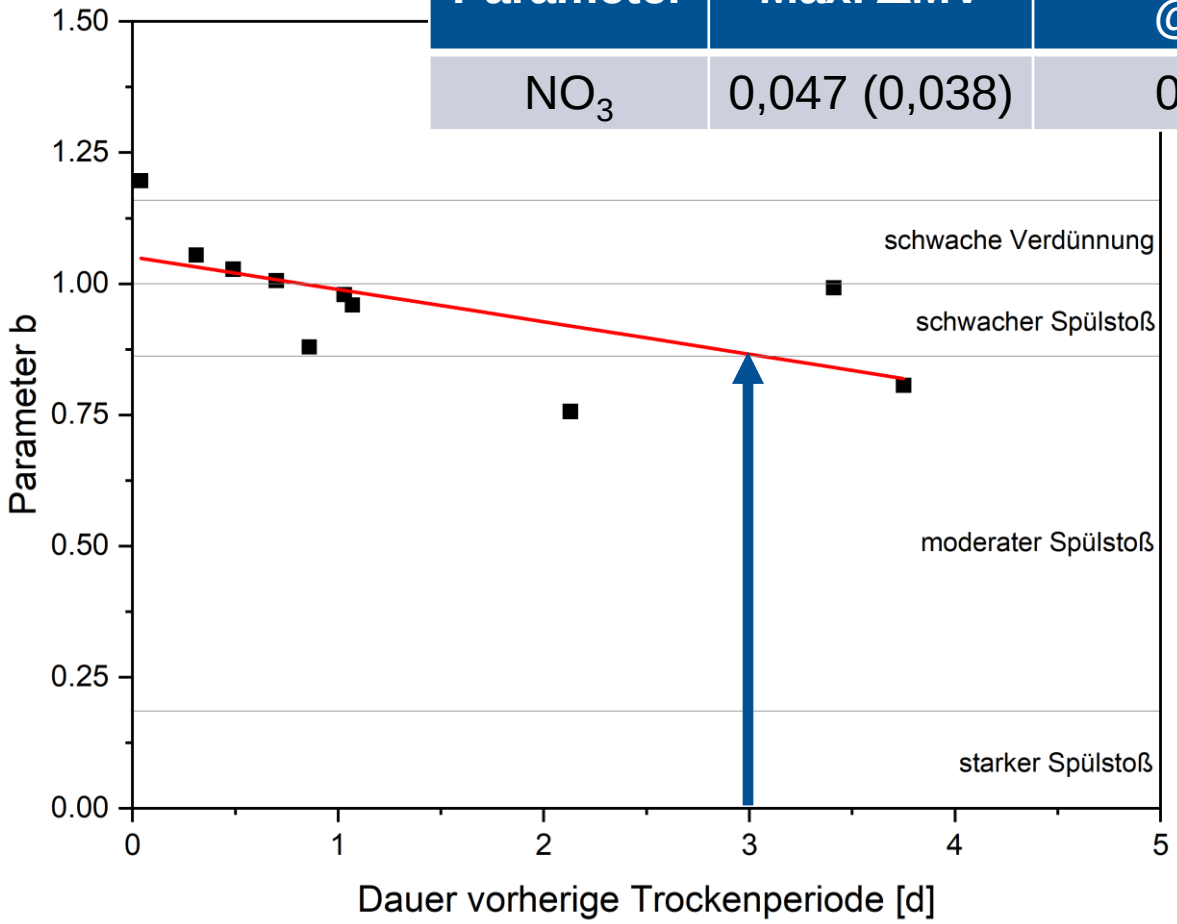


- Signifikante Korrelation zwischen vorh. Trockenperiode und Spülstoßintensität
- Tendenzielle negative Korrelation mit untersuchten Randbedingungen

Korrelationensanalyse

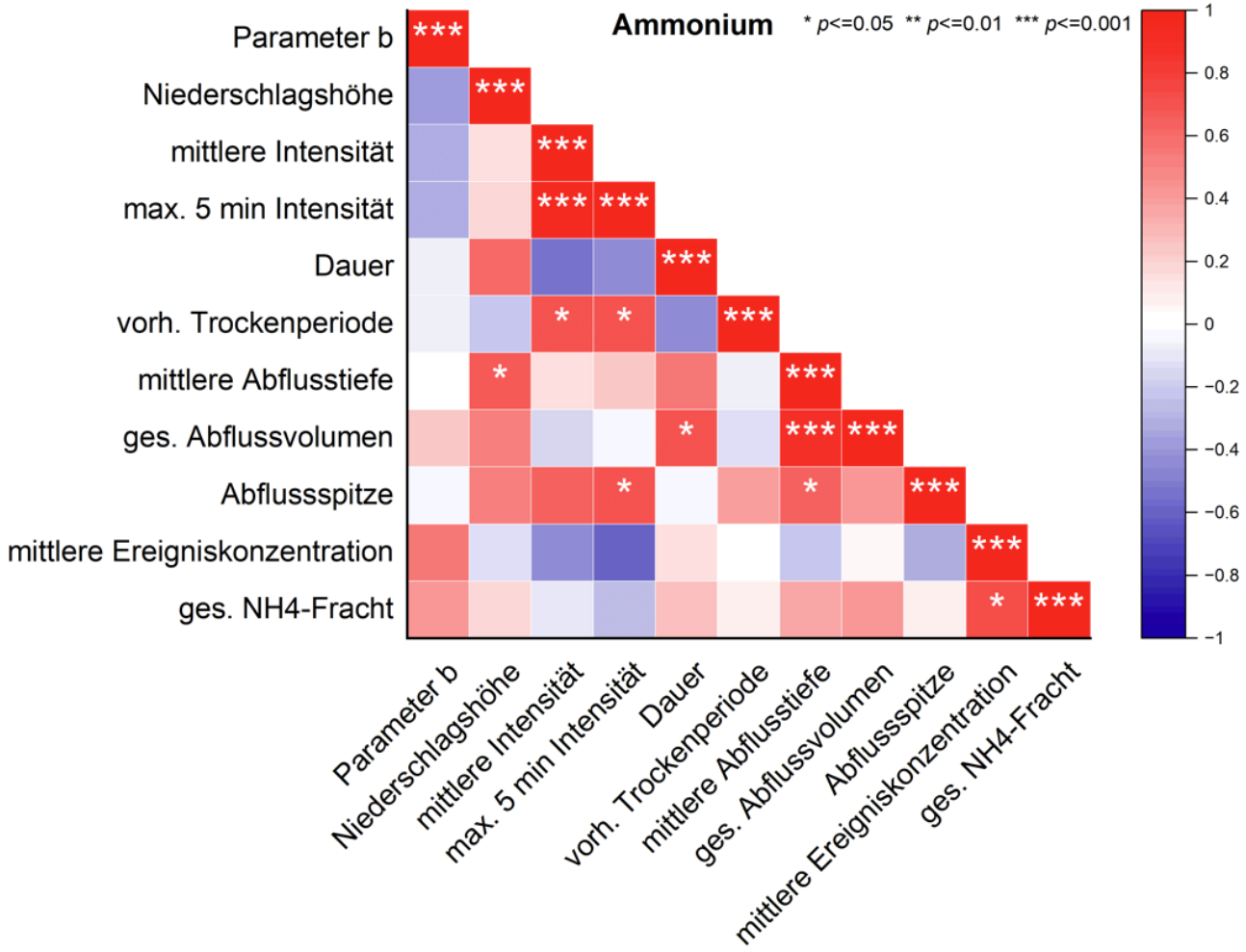
- CSB
- AFS
- P_{Ges}
- PO_4
- **NO_3**
- NH_4

Parameter	Max. ΔMV	Kumuliertes Volumen @ max. ΔMV	Zeit [h] @ max. ΔMV
NO_3	0,047 (0,038)	0,514 (0,248)	0,491 (0,284)



Korrelationensanalyse

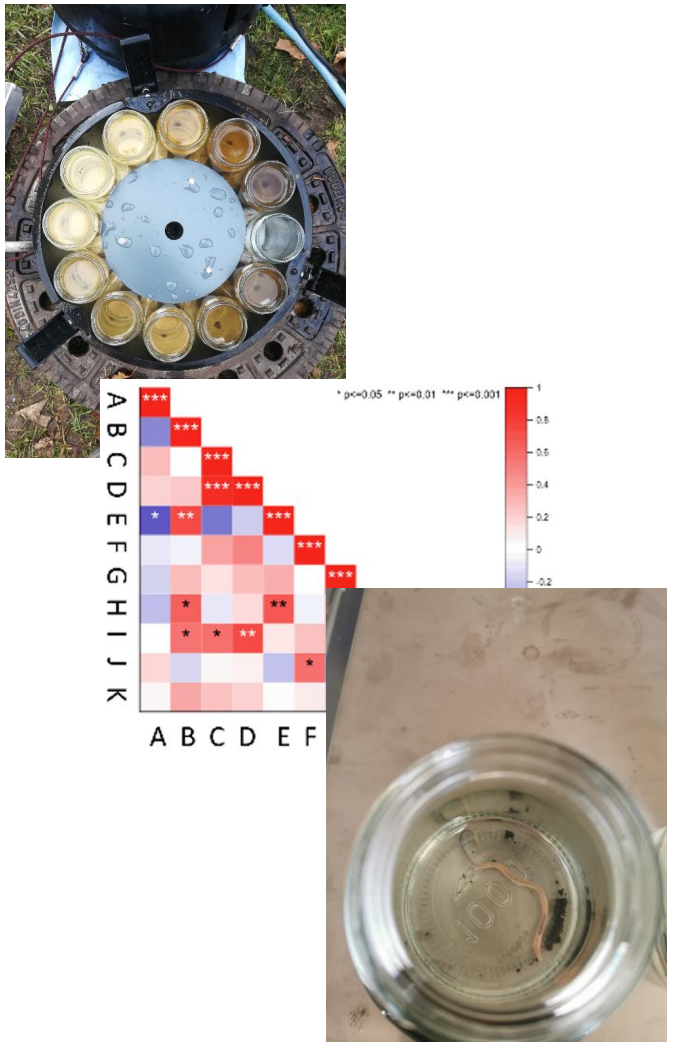
CSB
AFS
P_{Ges}
PO_4
NO_3
NH_4



- Tendenzielle negative Korrelation mit Niederschlagshöhe und –intensitäten

Take Home Messages

- Grundsätzliche Verschmutzungsdynamik und -trends für das untersuchte charakteristische Einzugsgebiet erkennbar
- Ergebnisse der Korrelationsanalyse für die untersuchten Schadstoffe sehr heterogen
  → Datengrundlage erweitern
- Den Spülstoßeffekt zu identifizieren, zu klassifizieren und zu beschreiben führt aufgrund der außerordentlichen Vielfalt der Einflussfaktoren zu erheblichen Unsicherheiten
  → Berücksichtigung von Schadstoffquellen, Einzugsgebietscharakteristika, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Schmutzstoffe



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Technische Universität Braunschweig
ISI Institut für Siedlungswasserwirtschaft

S. Hornig M. Sc
Dr.-Ing. K. Bauerfeld

SE|BS BS|ENERGY Gruppe

Dr.-Ing. Aslan Belli

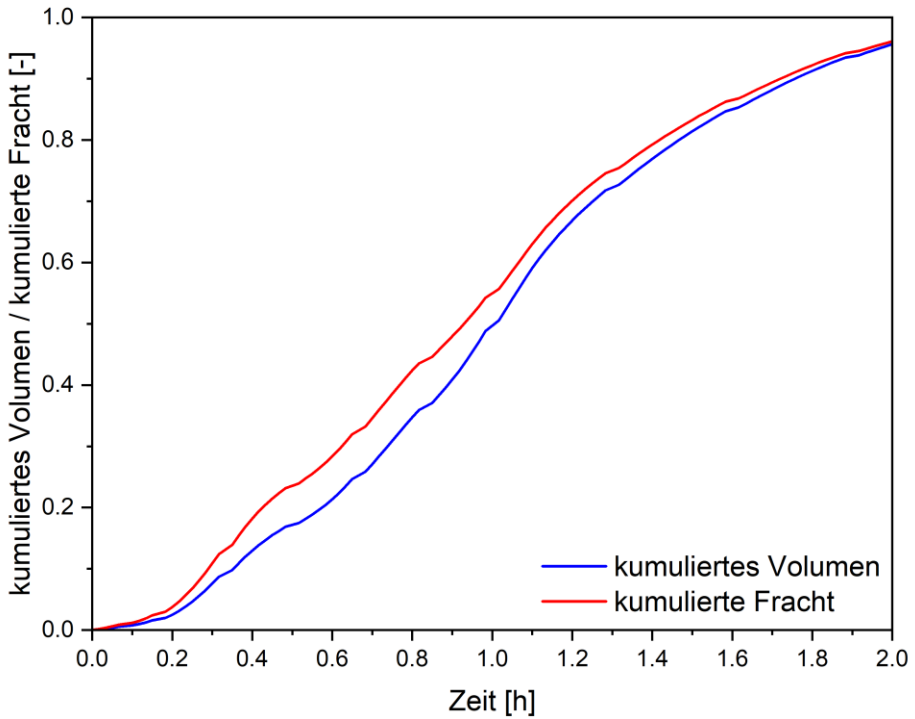
GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gefördert im Rahmen der Ausschreibung RES:Z: Ressourcenoptimierte Stadt der Zukunft; Forschungsprojekt TransMiT – Ressourcenoptimierte Transformation von Misch- und Trennentwässerung in Bestandsquartieren mit hohem Siedlungsdruck; Teilprojekt Regenwasserqualität , Förderkennzeichen 033W105B

Quellen

[1] Saget, Agnès; Chebbo, Ghassan; Bertrand-Krajewski, Jean-Luc (1996): The first flush in sewer systems. In: *Water Science and Technology* 33 (9), S. 101–108. DOI: 10.2166/wst.1996.0186.

[2] Hathaway, J. M.; Tucker, R. S.; Spooner, J. M.; Hunt, W. F. (2012): A Traditional Analysis of the First Flush Effect for Nutrients in Stormwater Runoff from Two Small Urban Catchments. In: *Water Air Soil Pollut* 223 (9), S. 5903–5915. DOI: 10.1007/s11270-012-1327-x



Gemessene Konzentrationen im Regenwasserkanal (eigene Daten, ISWW)

Parameter	Mittelwert (Min-Max)
CSB [mg/l]	36,69 (9,97 – 72,20)
AFS [mg/l]	29,13 (0,04 – 238,34)
P_{Ges} [mg P/l]	0,37 (0,05 – 1,67)
PO_4-P [mg P/l]	0,23 (0,03 – 1,51)
NO_3-N [mg N/l]	0,87 (0,18 – 2,50)
NH_4-N [mg N/l]	0,72 (0,03 – 2,08)