TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

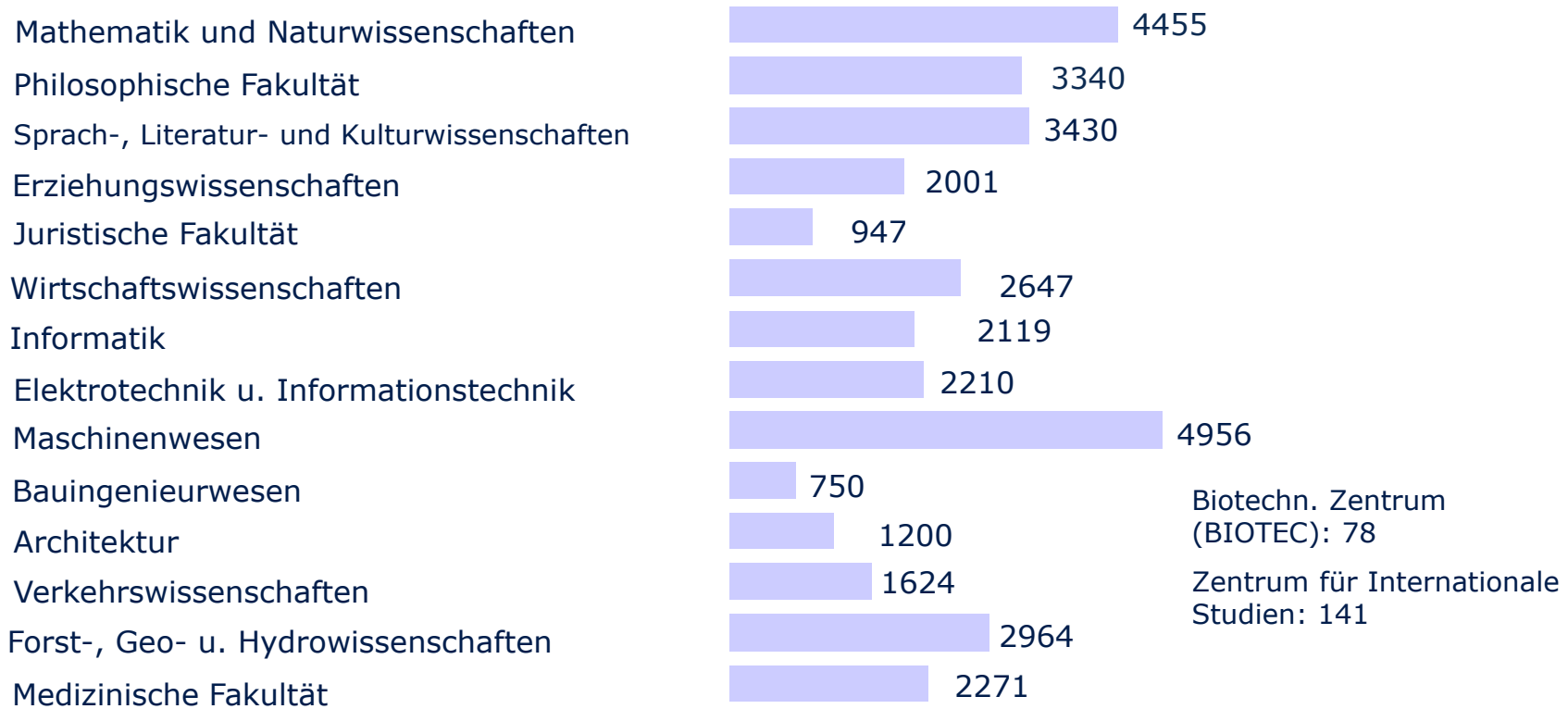
Integrierte Modellierung und Bewirtschaftung des Abwassersystems

Peter Krebs

Vortragsreihe der Fakultät Bauingenieurwesen Graz, 2. April 2009

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

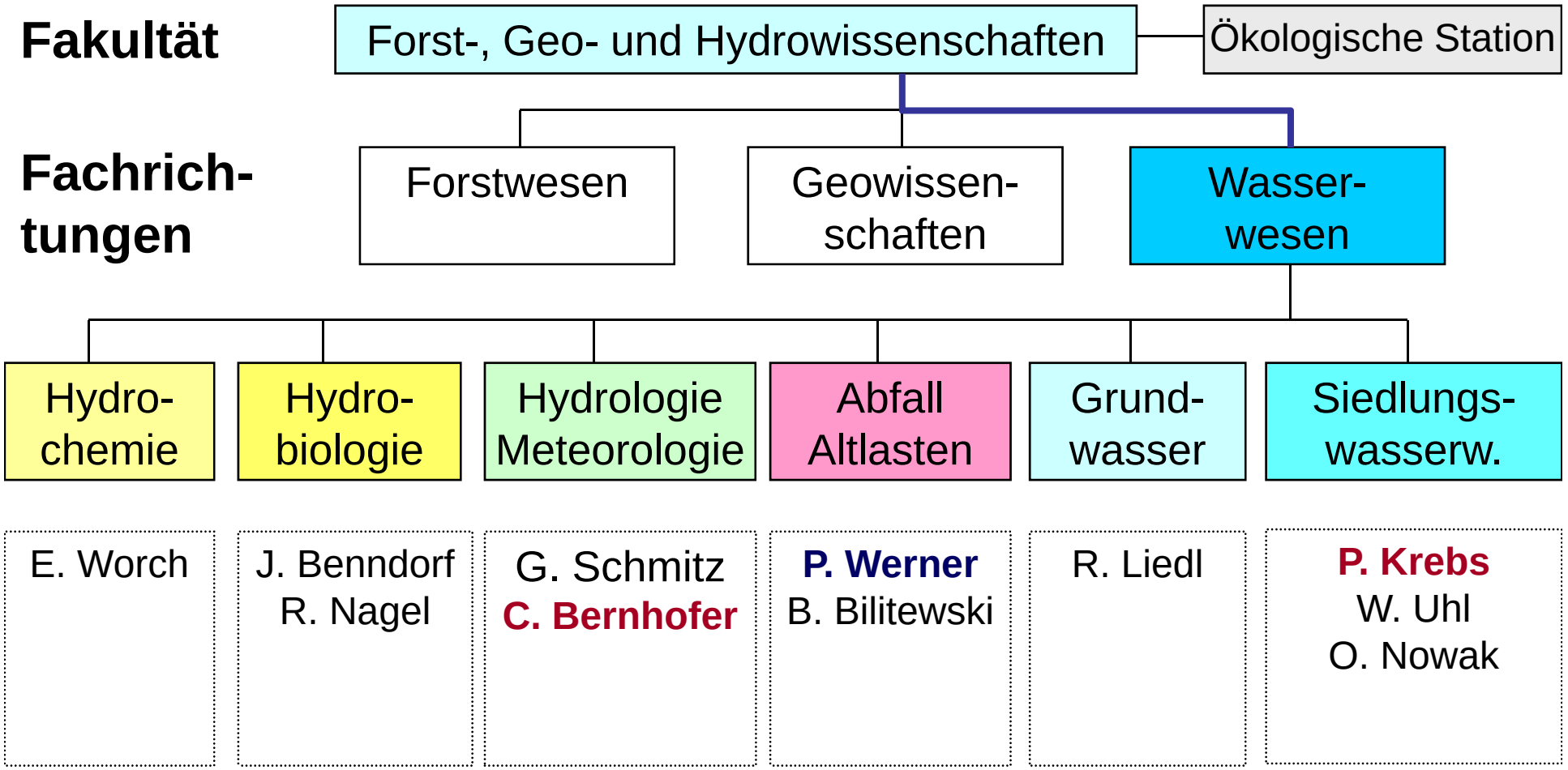
Studierende in Fakultäten, WS 07/08



Gesamtzahl 35.133

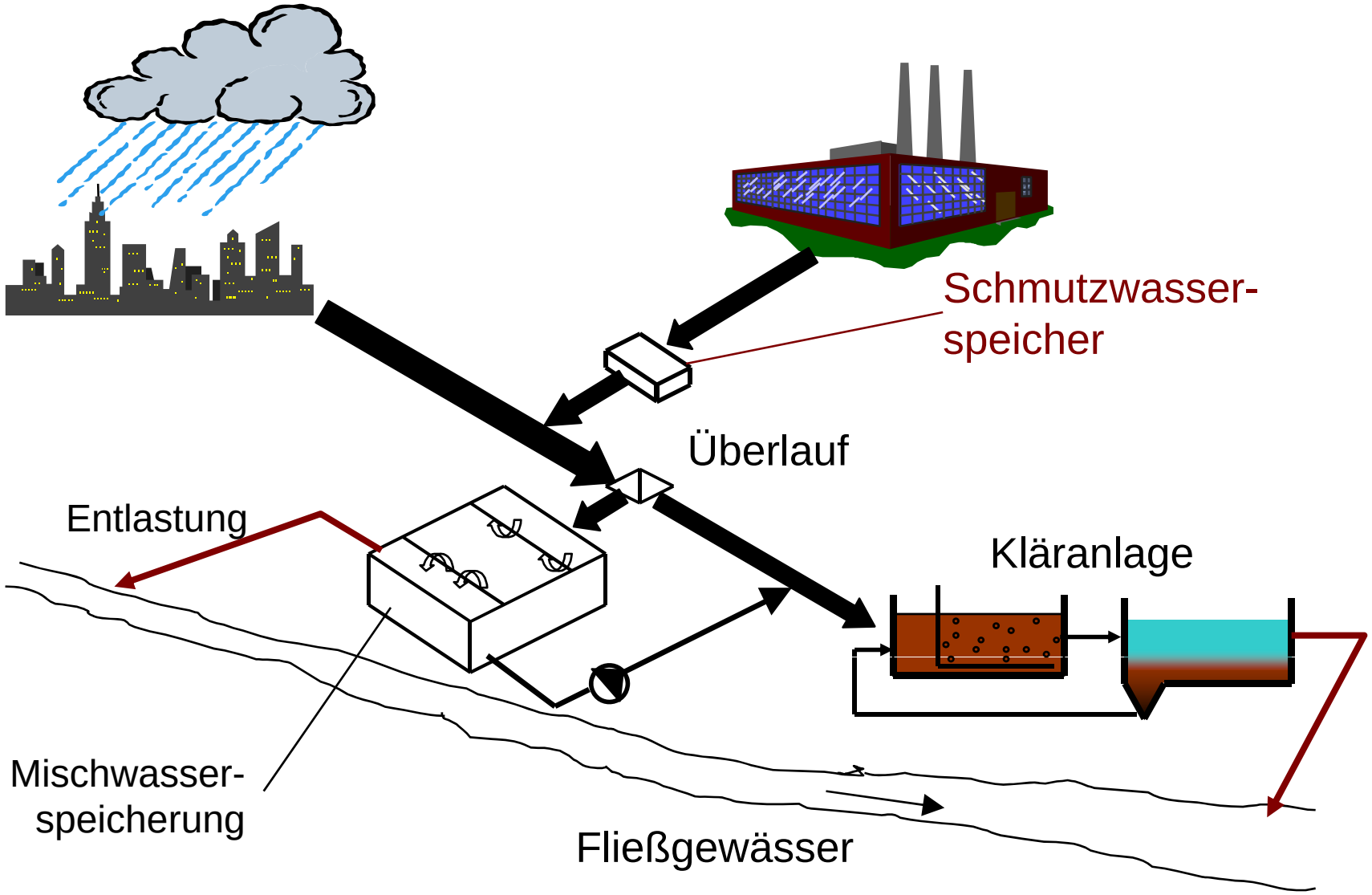
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Struktur der Fachrichtung Wasserwesen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Das Abwassersystem



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

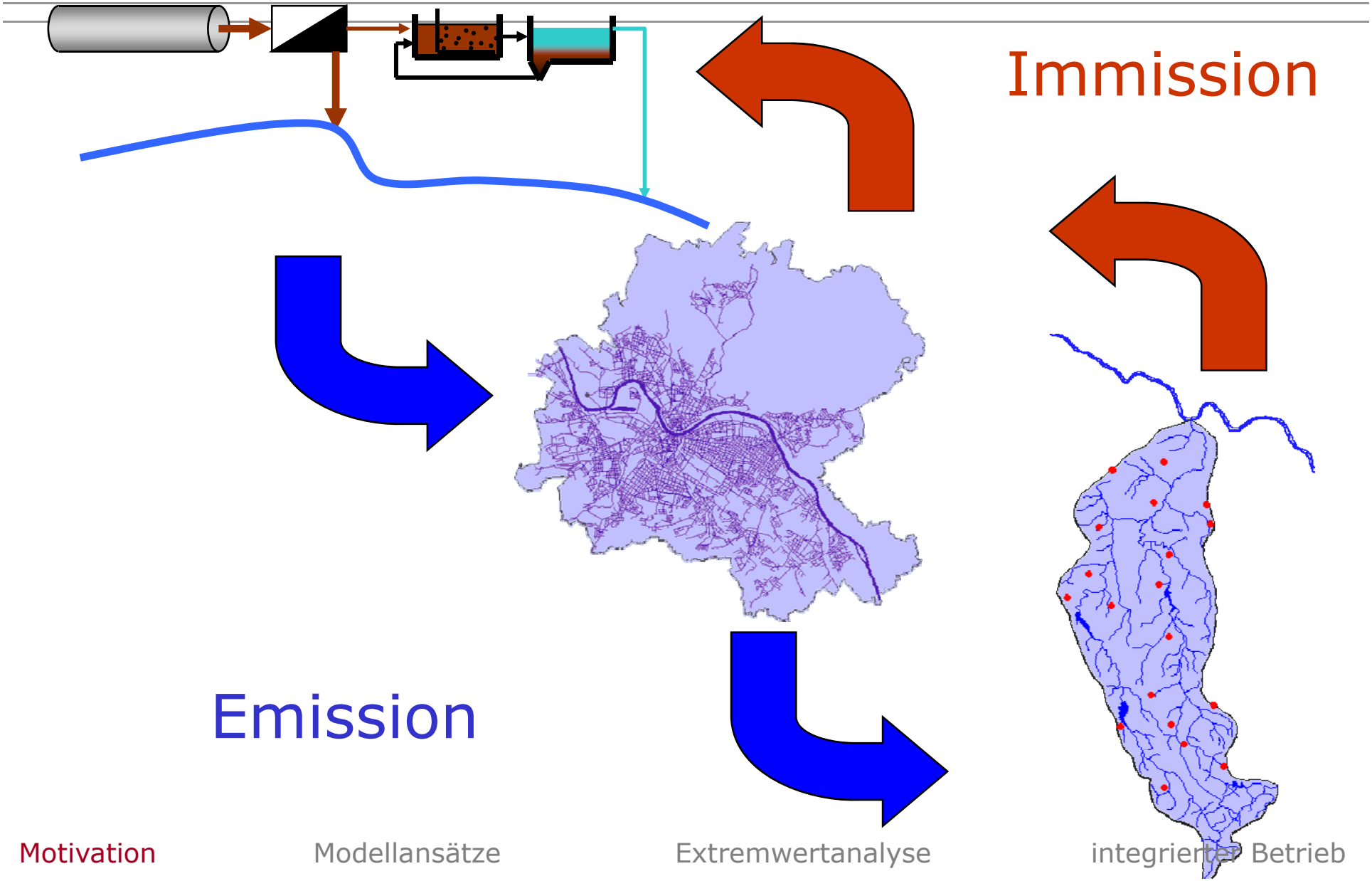
Motivation

Modellansätze

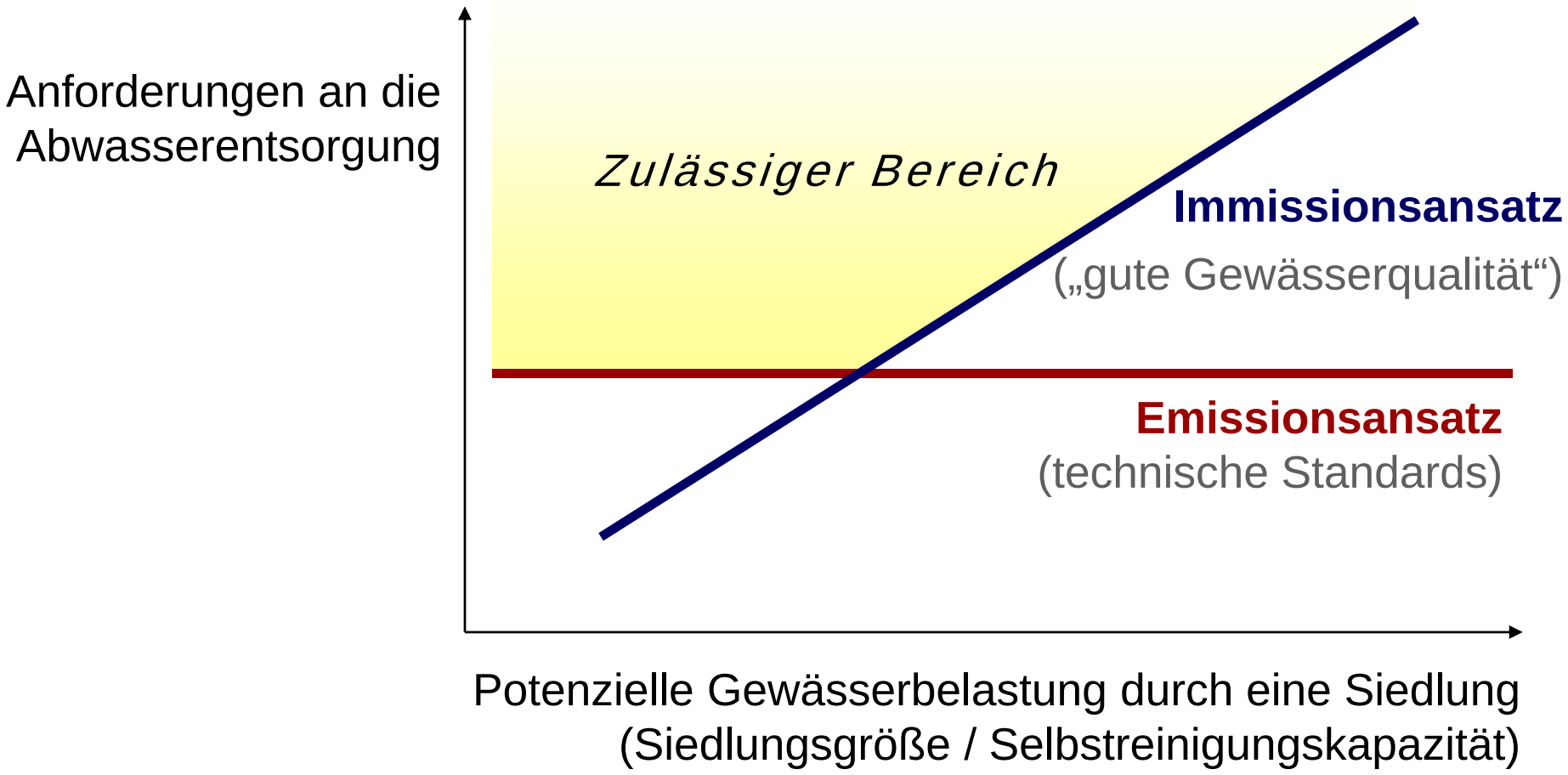
Extremwertanalyse

Integrierter Betrieb

EU Wasserrahmenrichtlinie

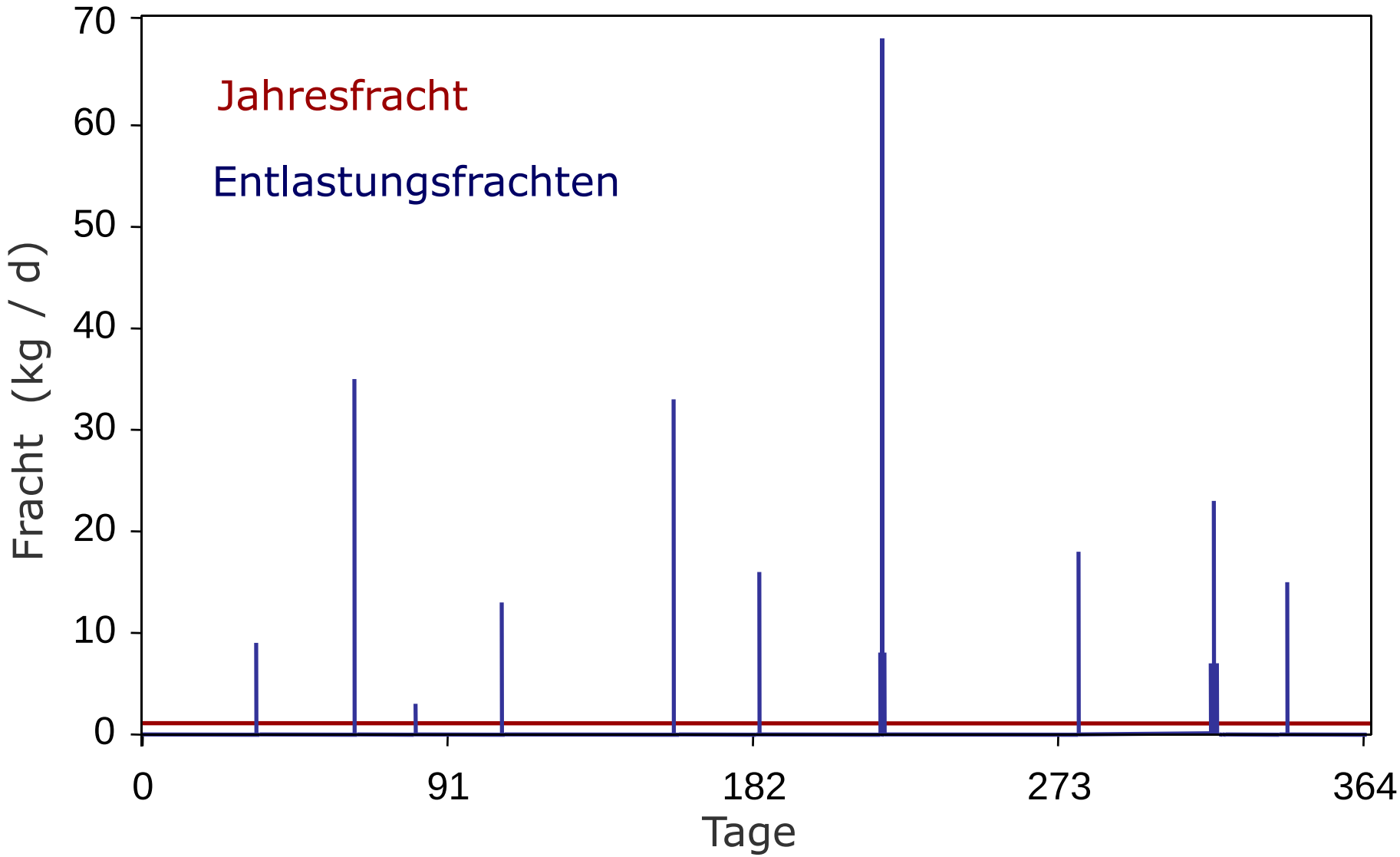


Kombinierter Ansatz

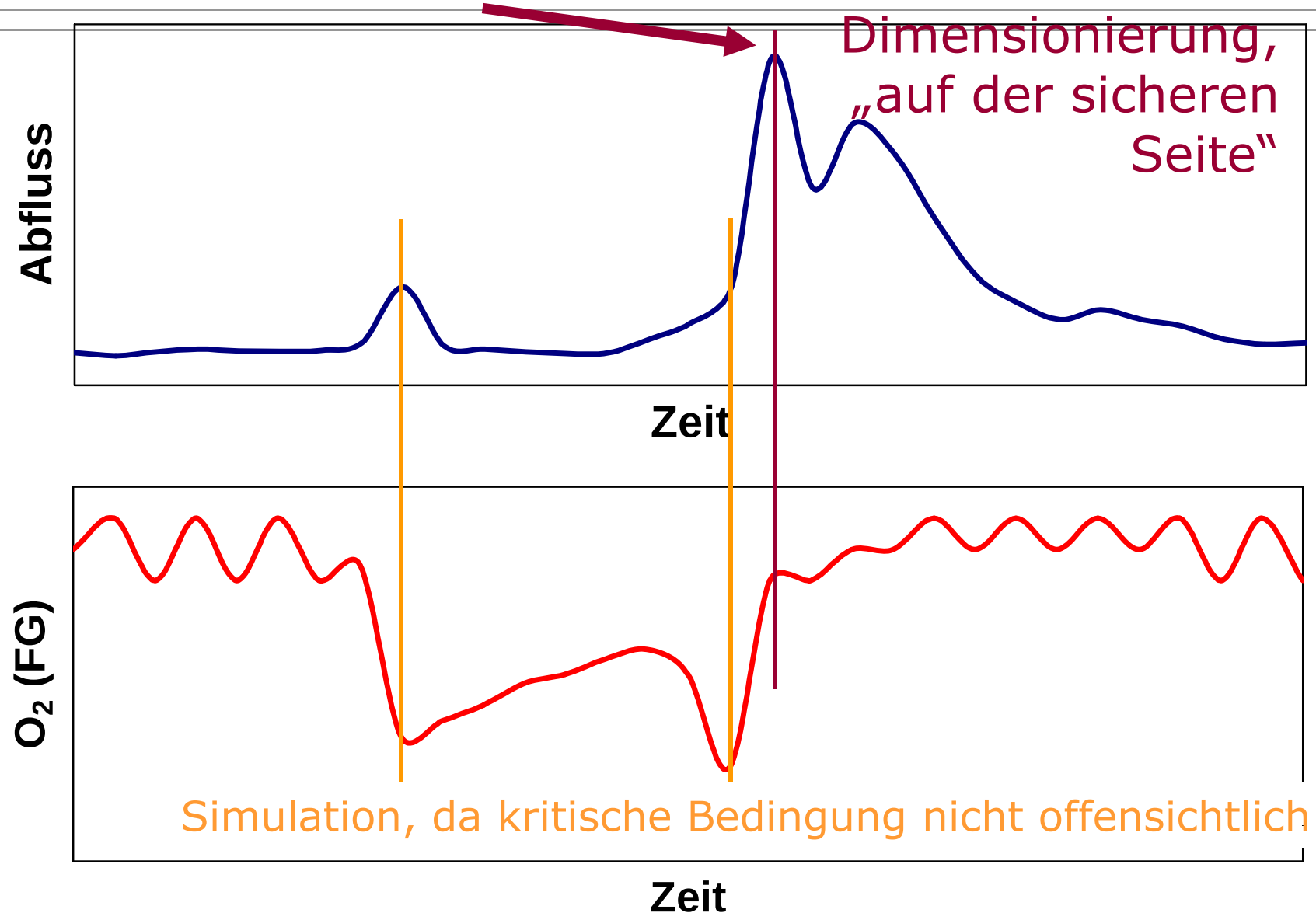


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Jahresbilanz und akute Belastung



Immissionsprinzip



Ziele der Betriebsoptimierung

- „Das beste aus dem System rausholen“
- Minimierung des Entlastungsvolumens
- Ausgleich oder Maximierung des Kläranlagenzuflusses
- Minimierung der Gesamtemission
- Optimierung der Fließgewässerqualität

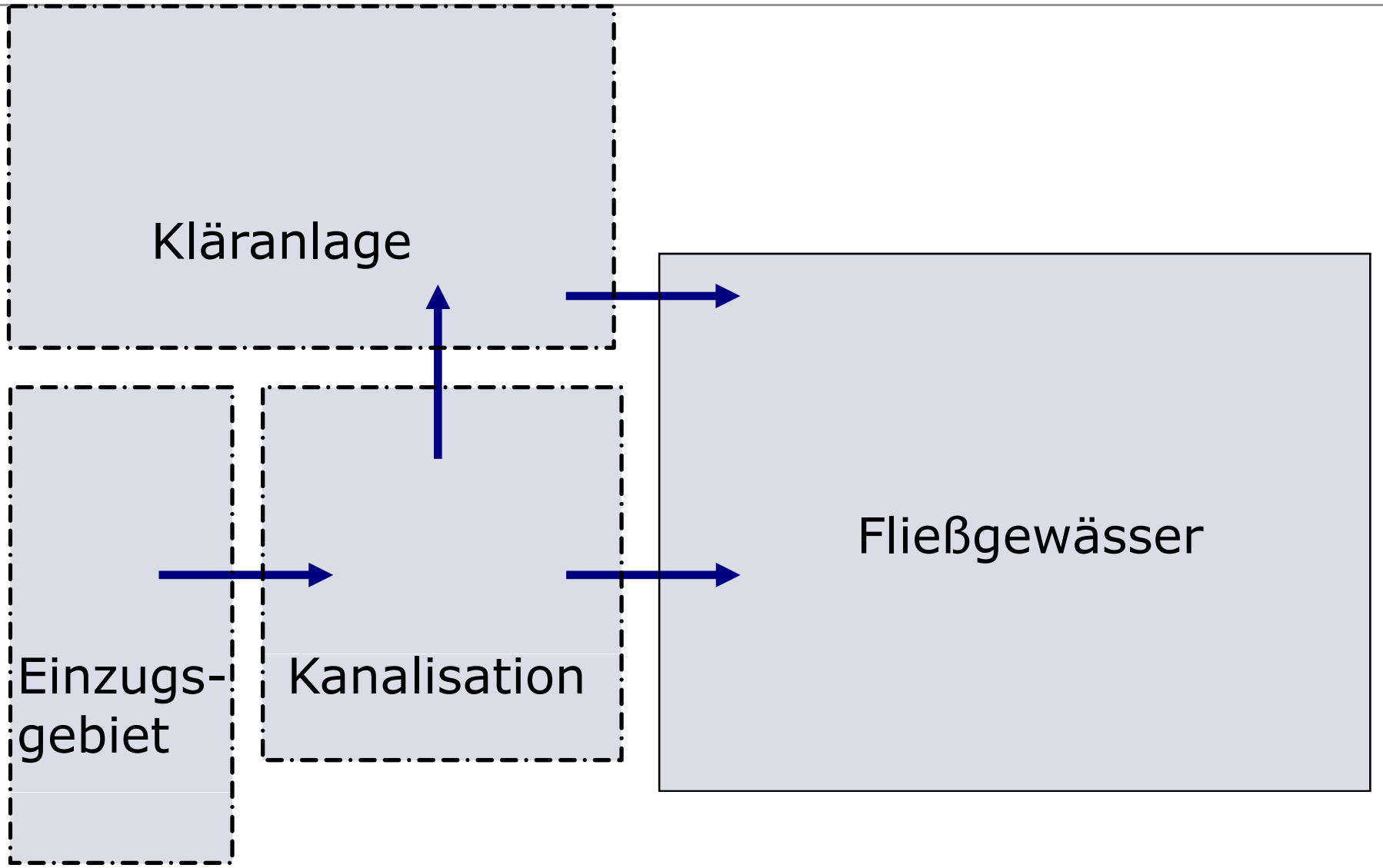
Motivation

Modellansätze

Extremwertanalyse

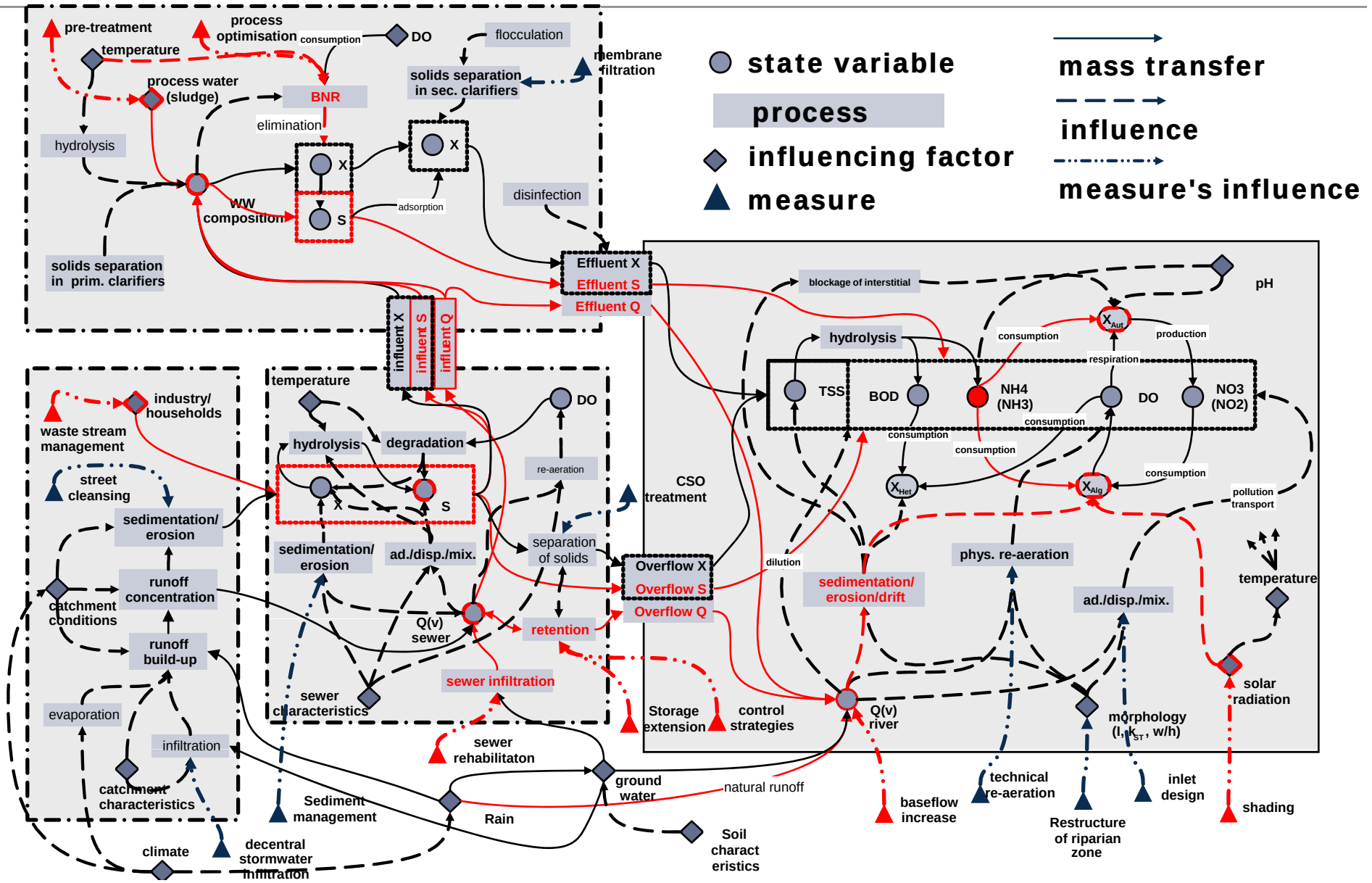
Integrierter Betrieb

Komplexität des Systems

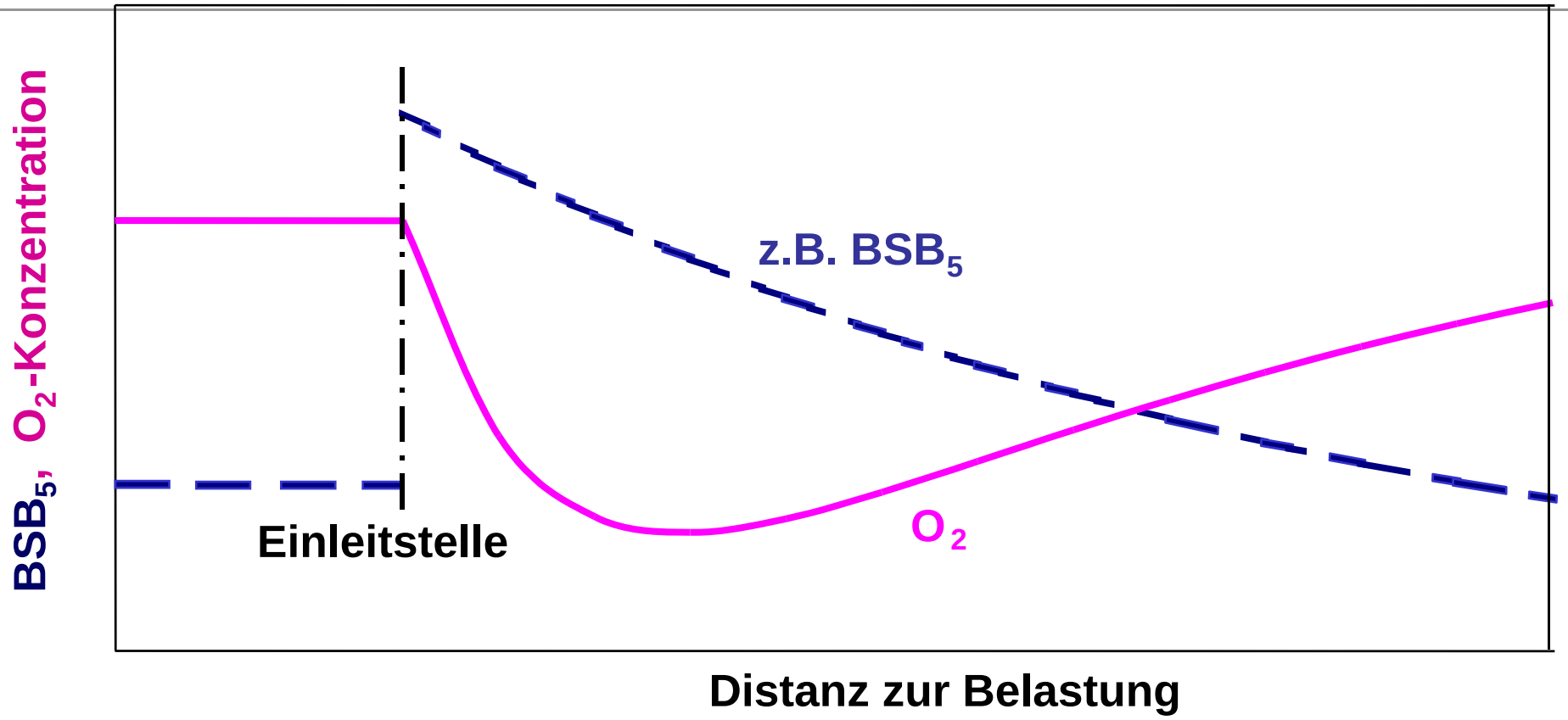


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Komplexität als Problem

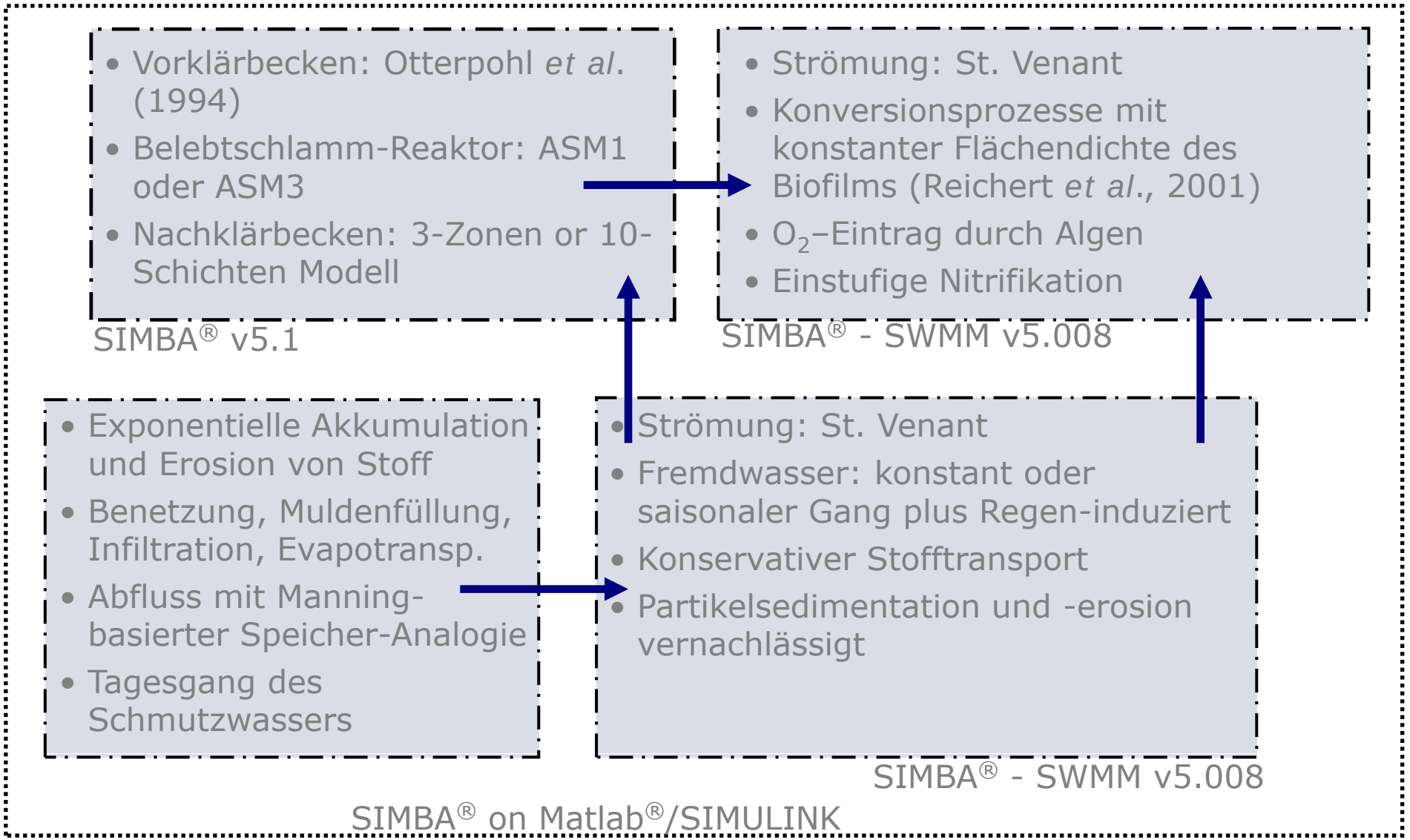


O_2 Konzentrationen im Fließgewässer (I)



O_2-Eintrag	über Oberfläche
O_2-Zehrung	durch Abbau organischer Stoffe und durch die Sedimente

Modell- Ansätze



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Modelliertes System

Kontinuierliche Langzeit-Simulation

Teil des Kanalsystems von Dresden, angepasste Kläranlage, Selbstreinigungs-schwaches Gewässer

10 Jahre Regenreihe, 14 Regenmesser, 1- bis 5-min Auflösung

Extremwert-Analyse mit den Resultaten

Anwendung auf

- Extremwerte von Konzentrationen im Gewässer
- Szenarienanalyse
- Entwicklung von Steuerungsstrategien

Parameterunsicherheit Entlastung

Rain (R)
Measured Time Series: 20 years

Area (A)
20 [ha]

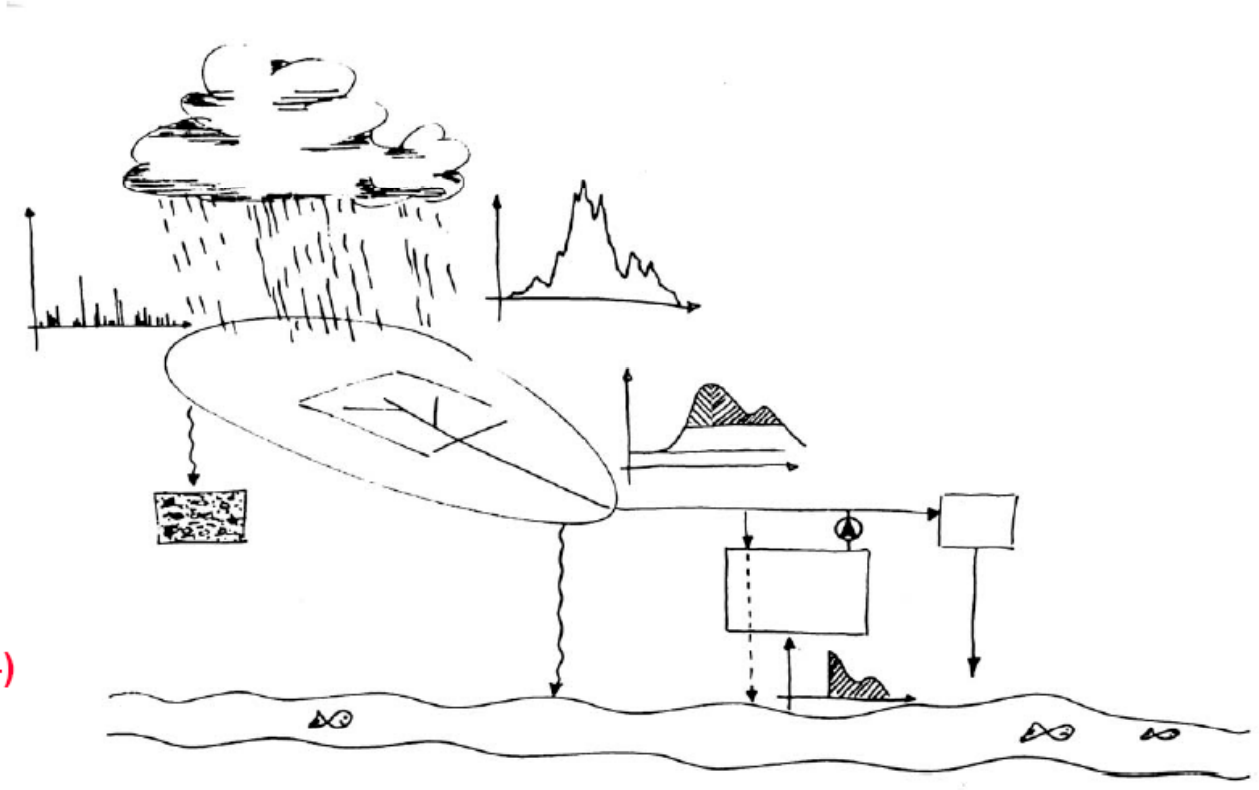
Runoff-Coefficient (Ψ)
0.75 [-]

Initial Loss (h_I)
4 [mm]

Storage-Coefficient (t_C)
20 [min]

CSO Tank Volume (V_{CSOT})
300 [m^3]

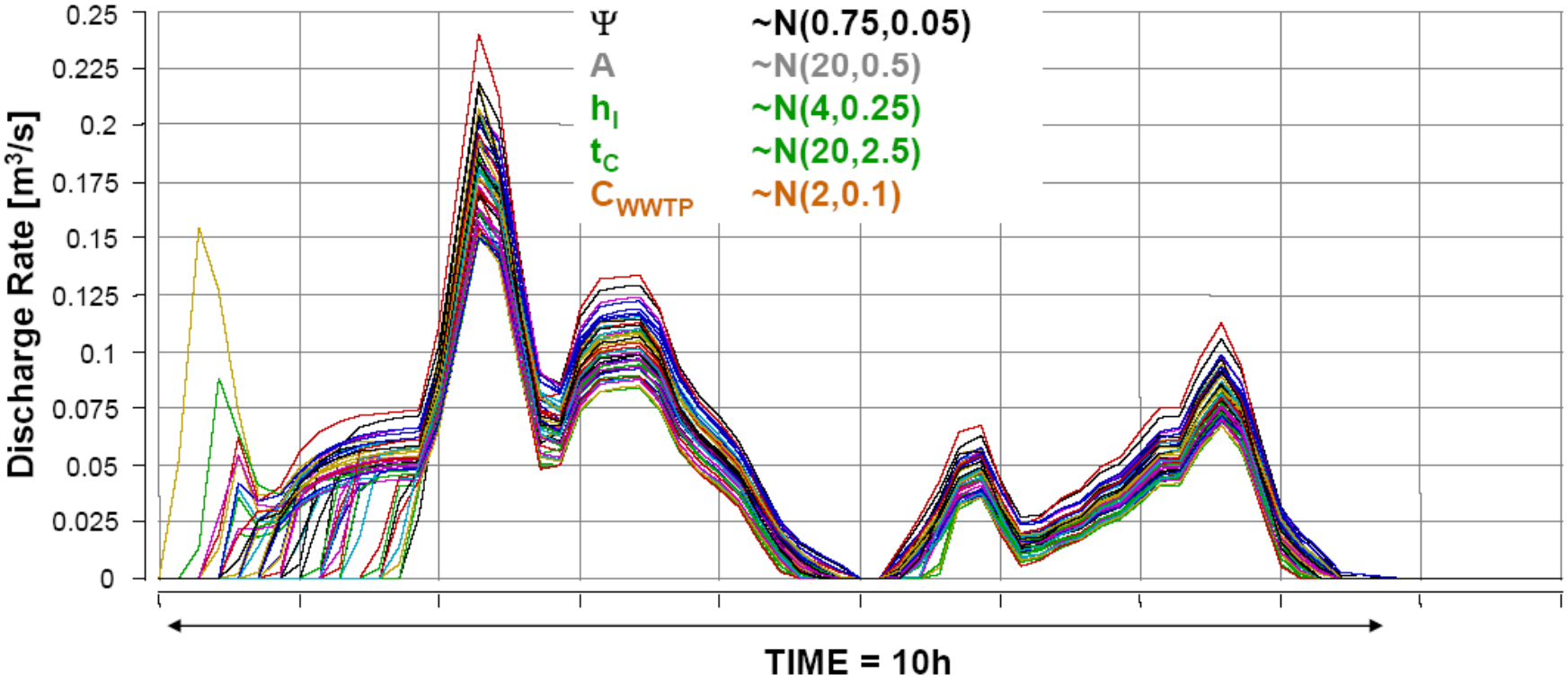
Capacity WWTP (C_{WWTP})
2 * Dry Weather Flow [-]



Daebel *et al*. (2002)

Unsicherheit: Monte Carlo Simulation

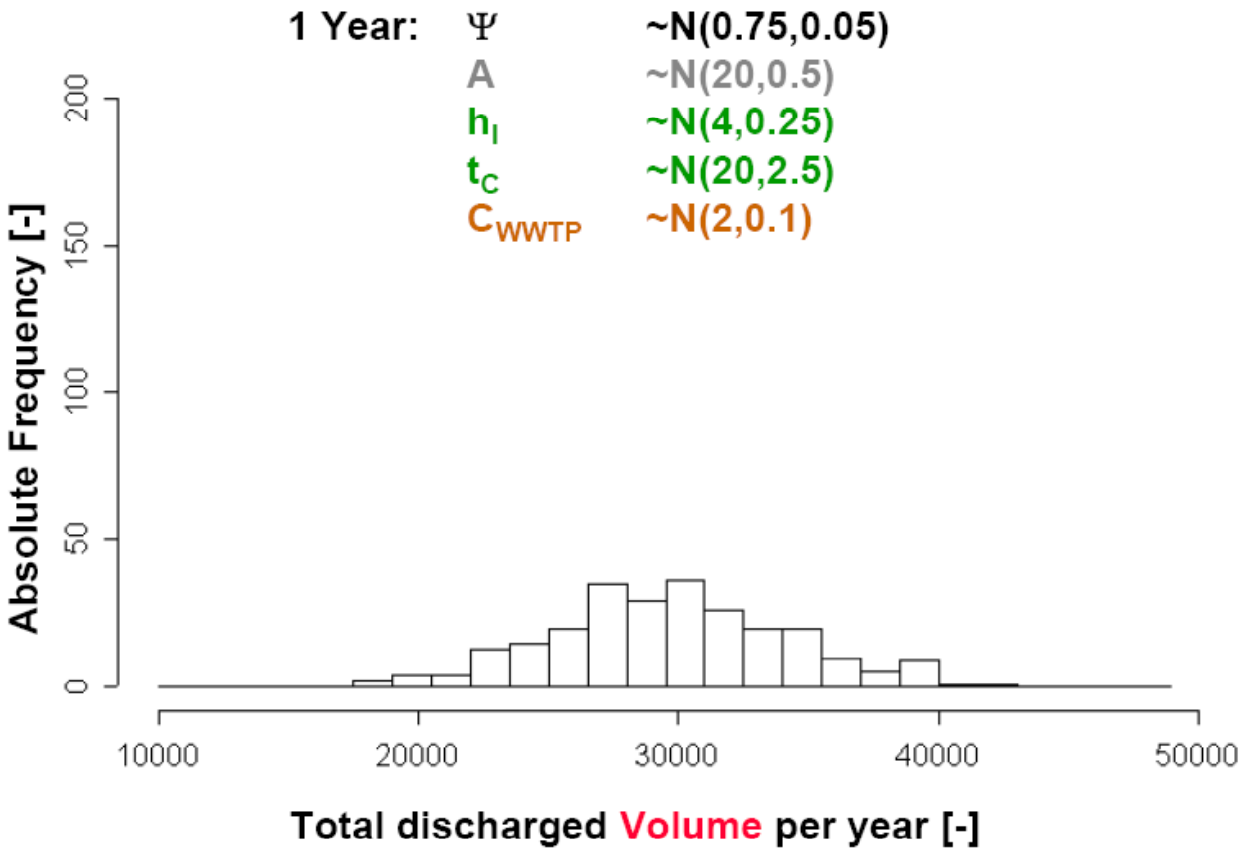
Variation von 5 Parametern, 50 Simulationsläufe



Daebel *et al*. (2002)

Bandbreite Jahressimulation

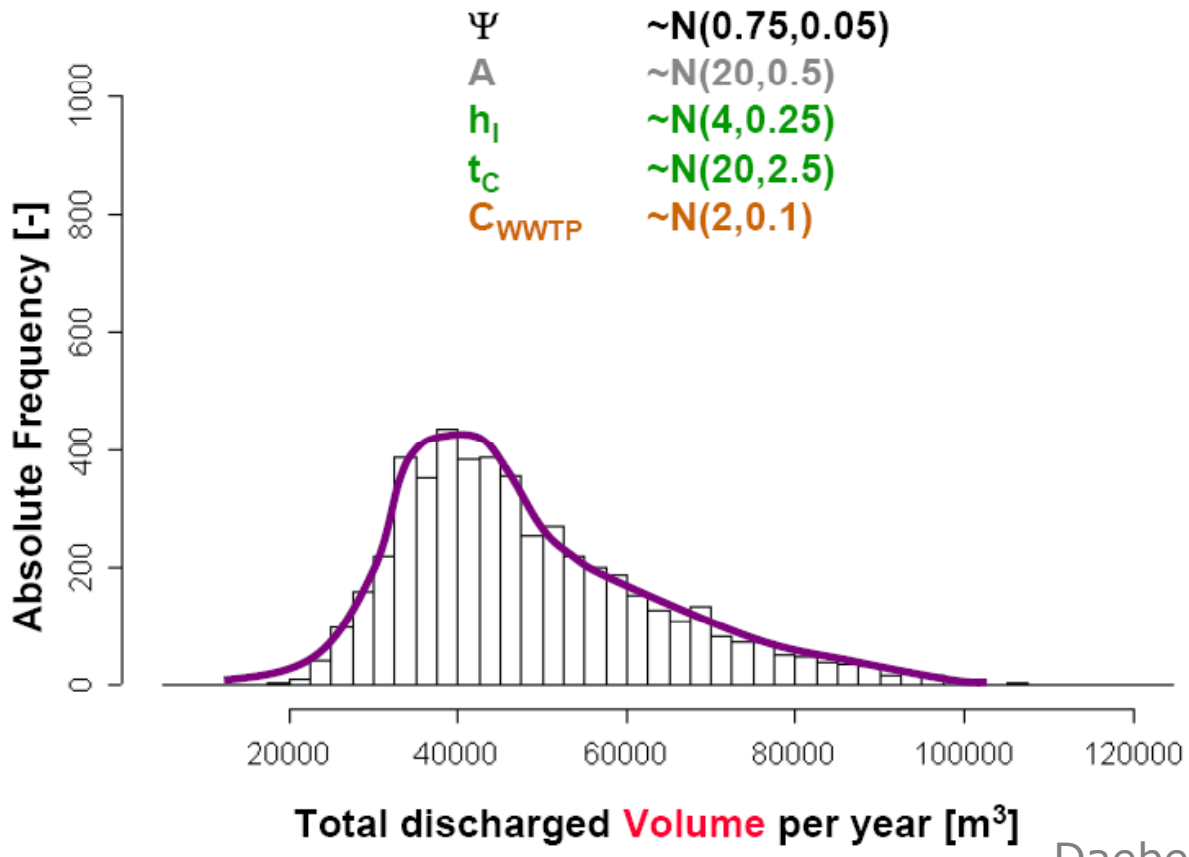
Variation von 5 Parametern, 250 Simulationsläufe



Daebel *et al*. (2002)

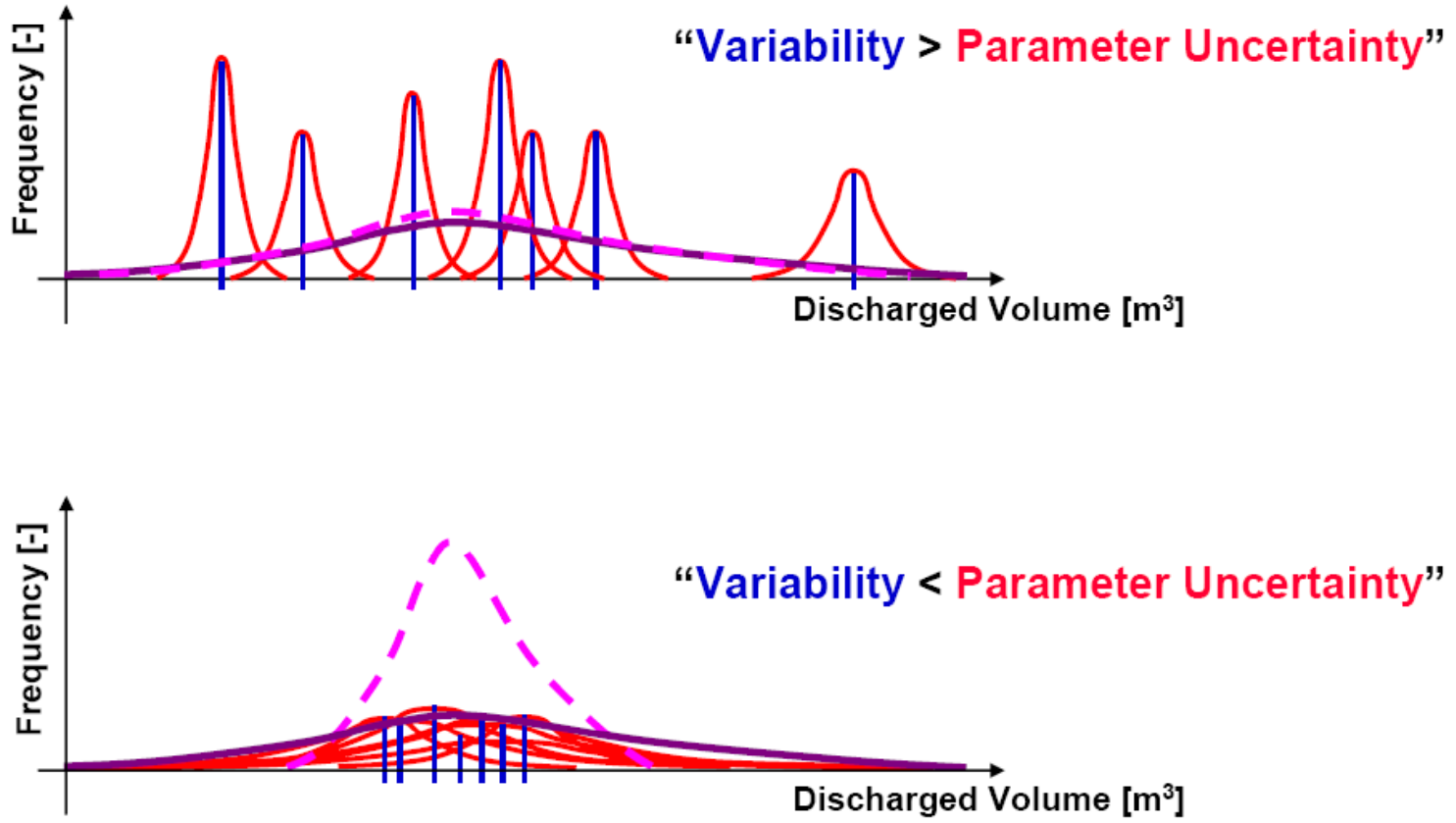
Bandbreite Langzeitsimulation

20 Jahre, Variation von 5 Parametern, 250 Simulationsläufe pro Jahr



Daebel *et al*. (2002)

Variabilität und Parameterunsicherheit



Daebel *et al*. (2002)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

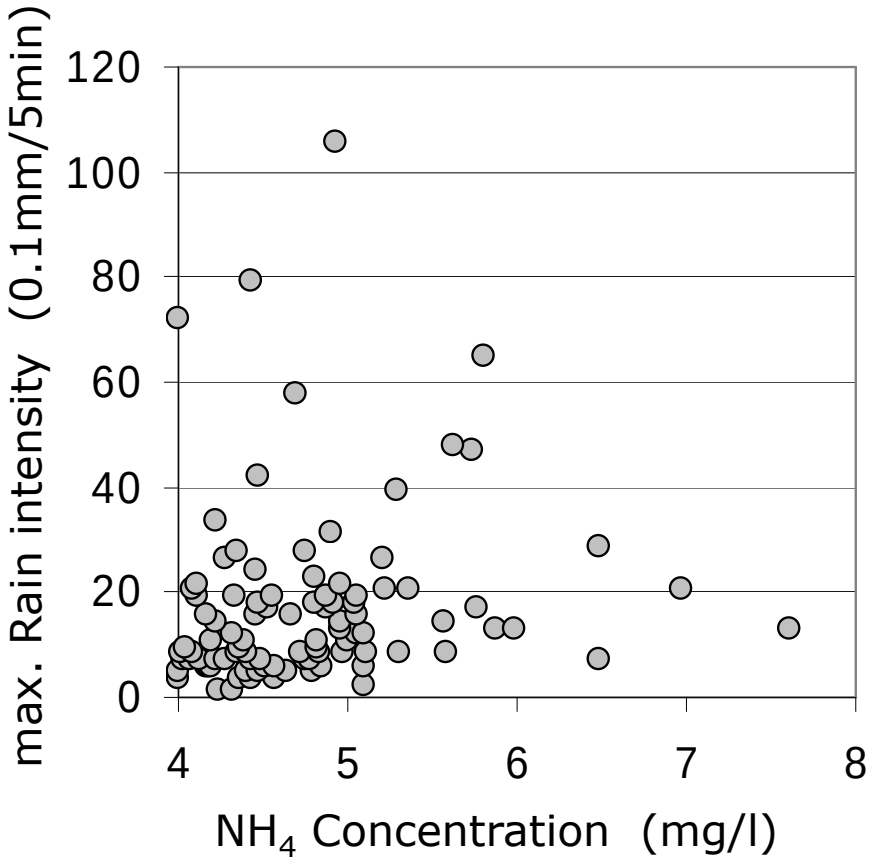
Motivation

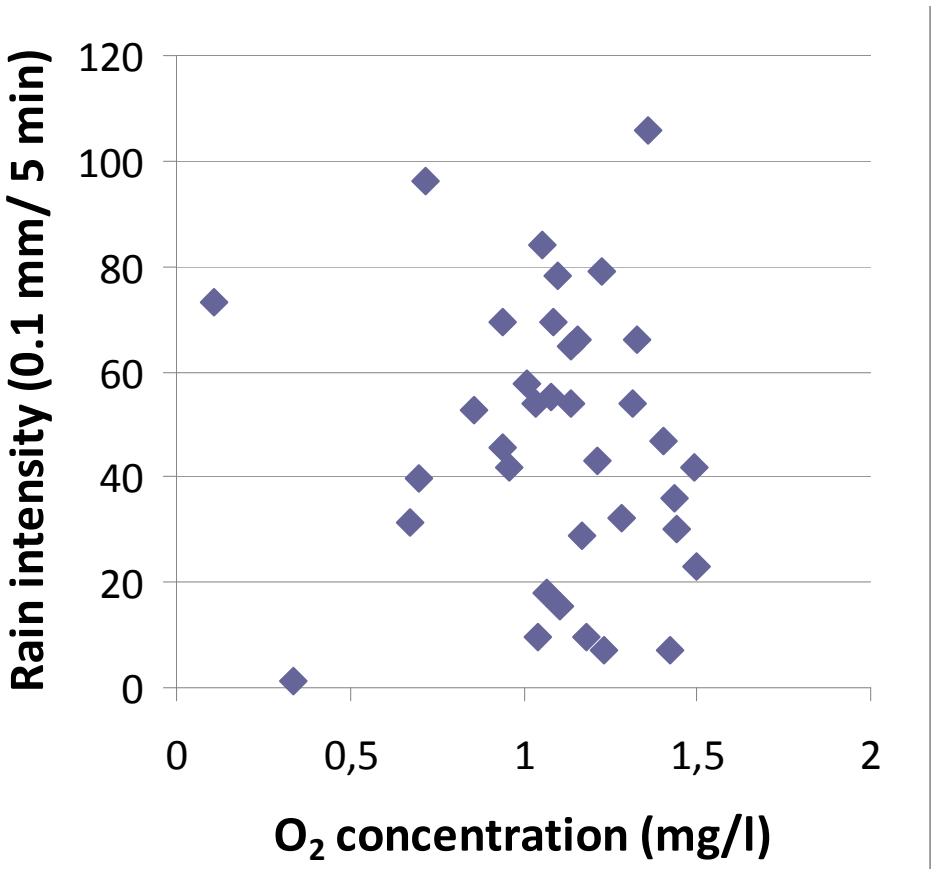
Modellansätze

Extremwertanalyse

Integrierter Betrieb

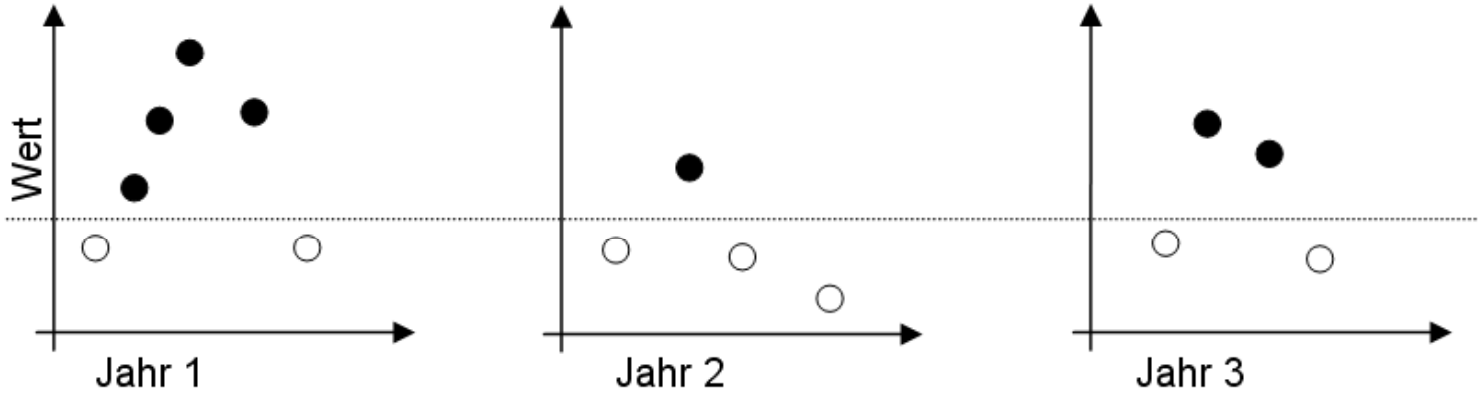
Max. Konzentrationen vs. maximale Intensitäten



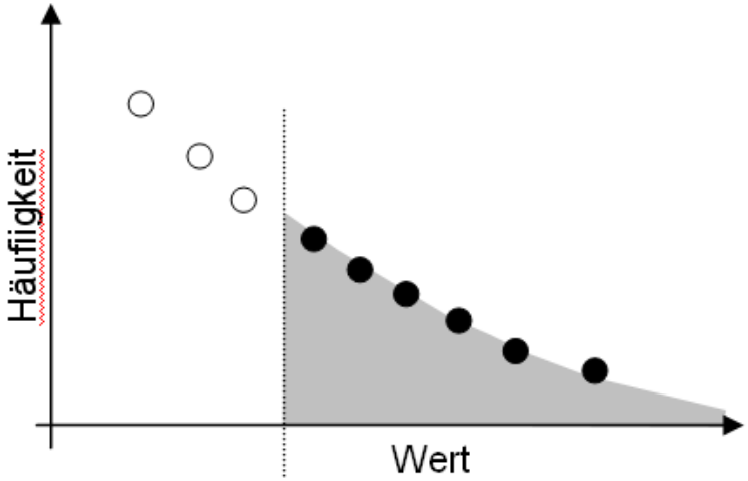


Schindler *et al*. (2008)

Extremwertanalyse: Peak over threshold (POT)

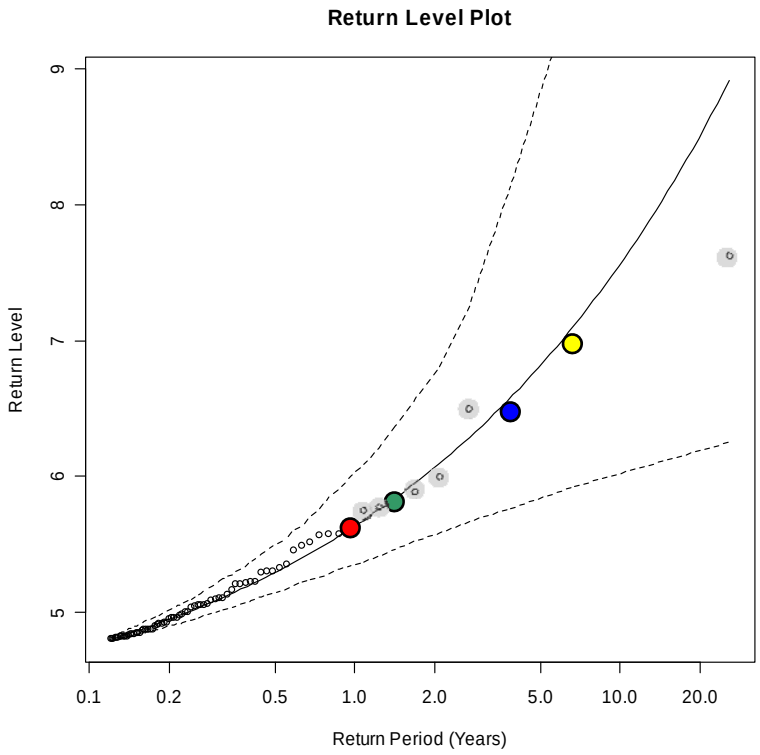


● Berücksichtigte Daten mit Maximalwerten
Grenzlevel

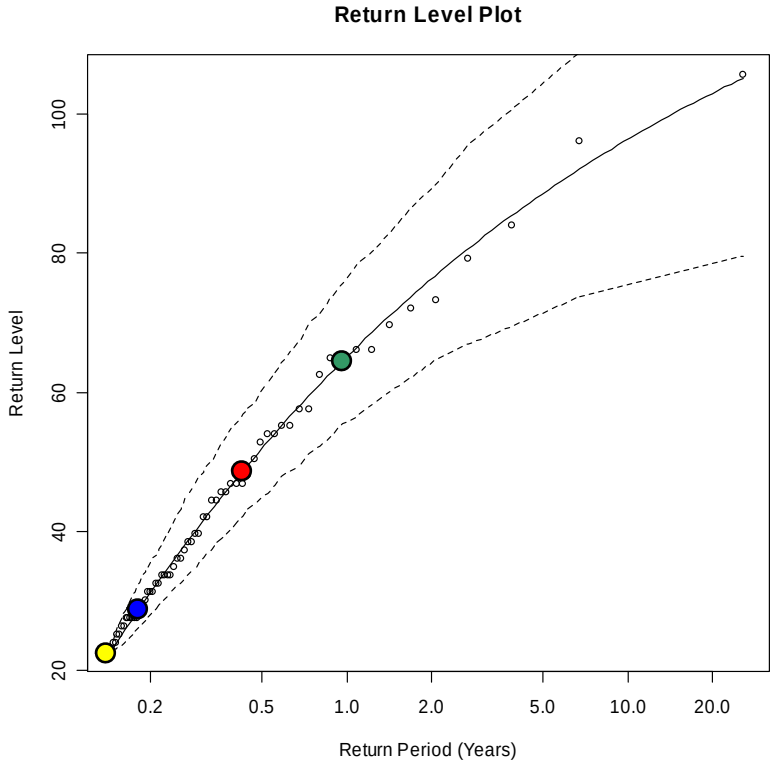


Extremwerte von NH_4 und Regen

NH_4 – Konzentration (mg/l)



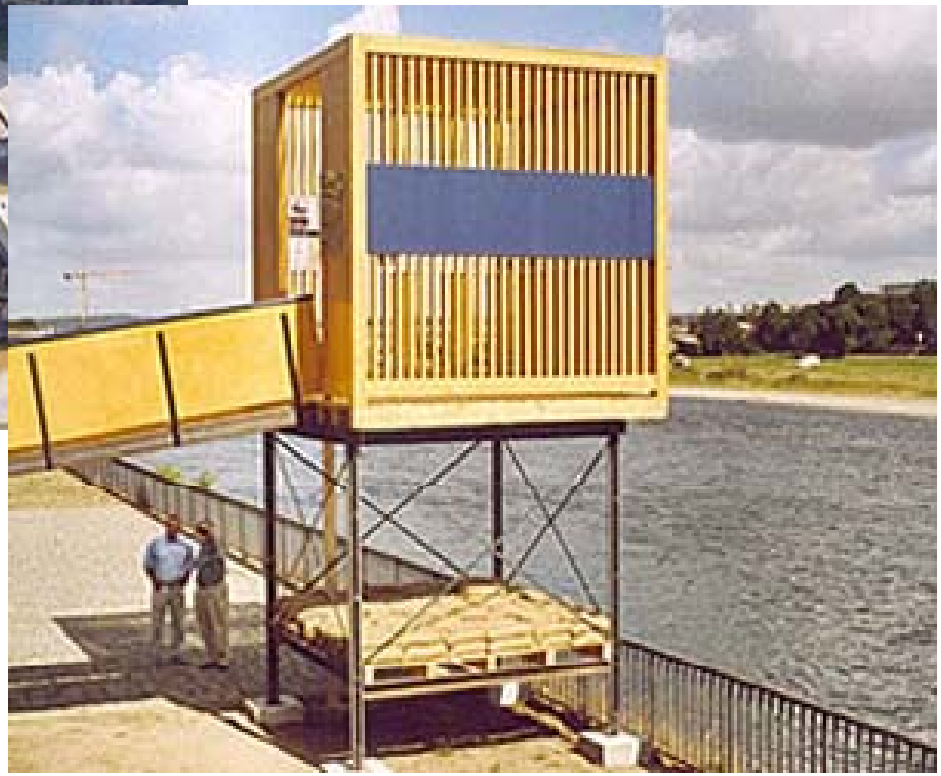
Regen (0.1 mm / 5 min)



→ kein Zusammenhang der Frequenz von Konzentrationen im Gewässer und von Regenintensitäten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

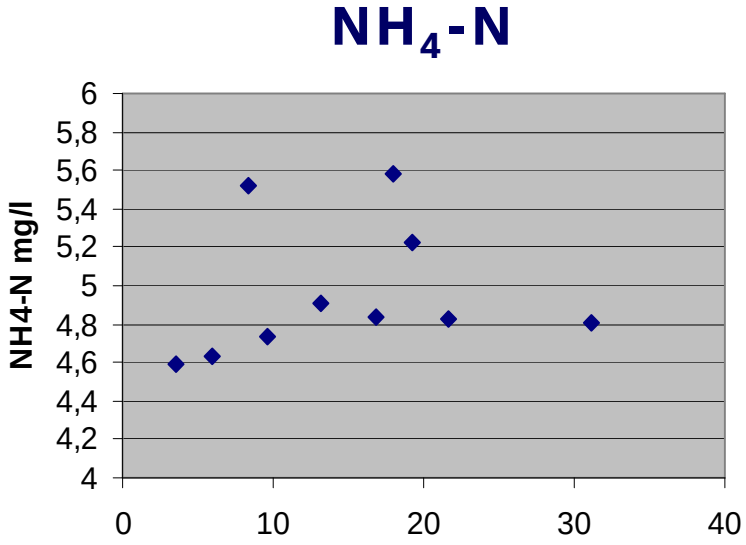
2002 und 2003 in Dresden

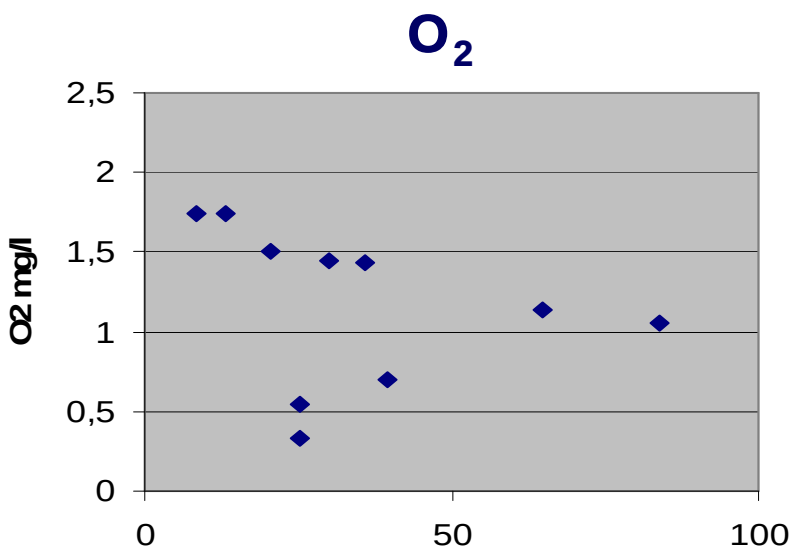


Repräsentative Feucht- und Trockenjahre für Klimawandel?

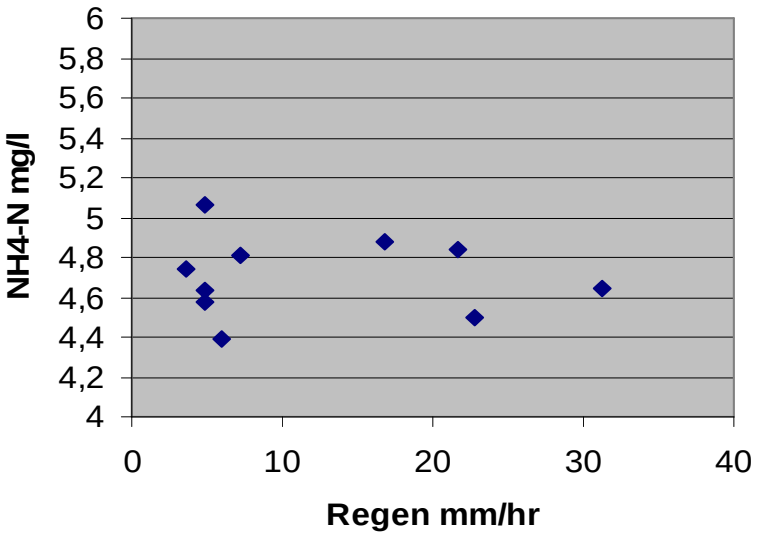
Extremwerte 2002 und 2003

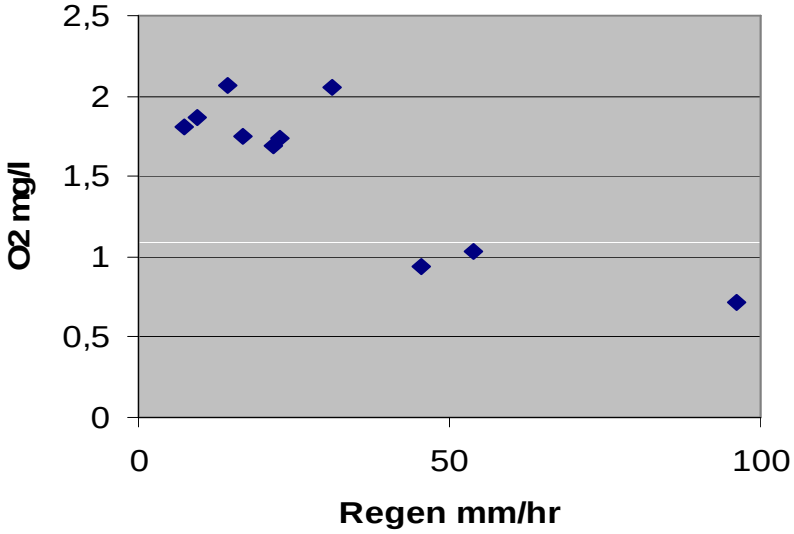
2002





2003



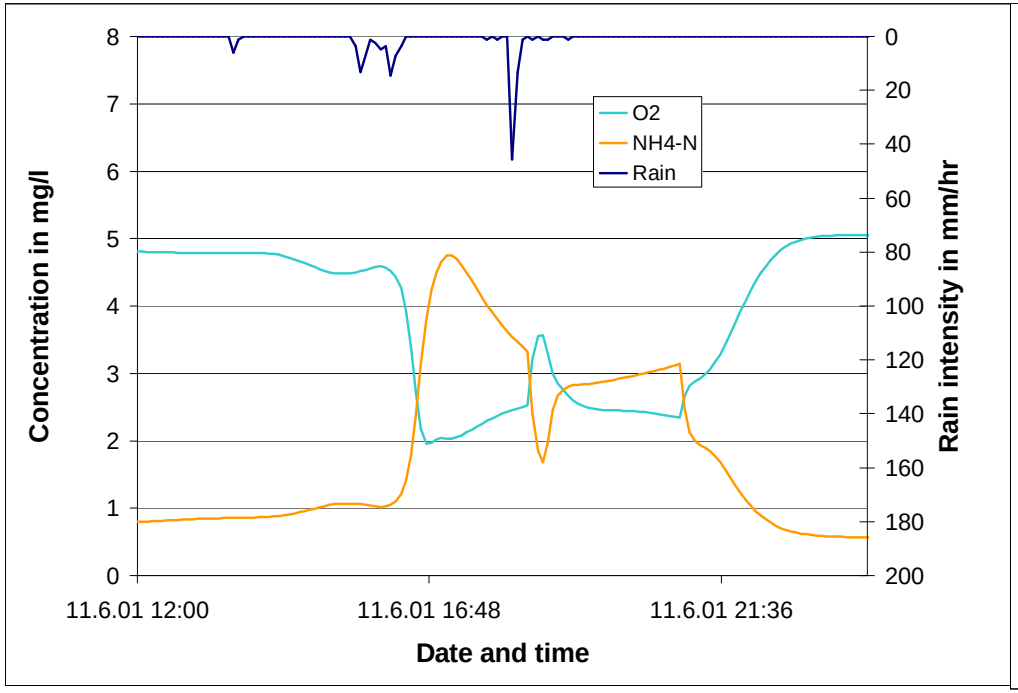


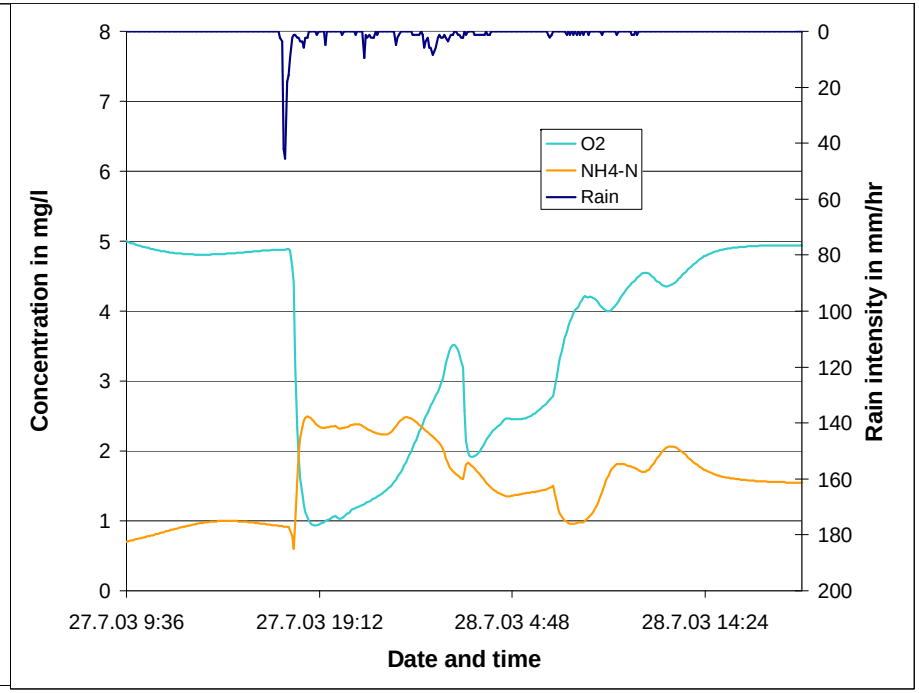
Extremwerte 2002 und 2003

		Verursachende Regenspitzen (mm/h)	
	Mittel über	NH_4-N	O_2
2002	10 Ereignisse	14,8	34,7
	5 Ereignisse	15,1	47,8
2003	10 Ereignisse	12,4	31,9
	5 Ereignisse	10,8	48,0

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Zwei Ereignisse





Steile Gradienten sind für den Sauerstoffgehalt kritischer

Geringere Verdünnung ist für Ammonium kritischer

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

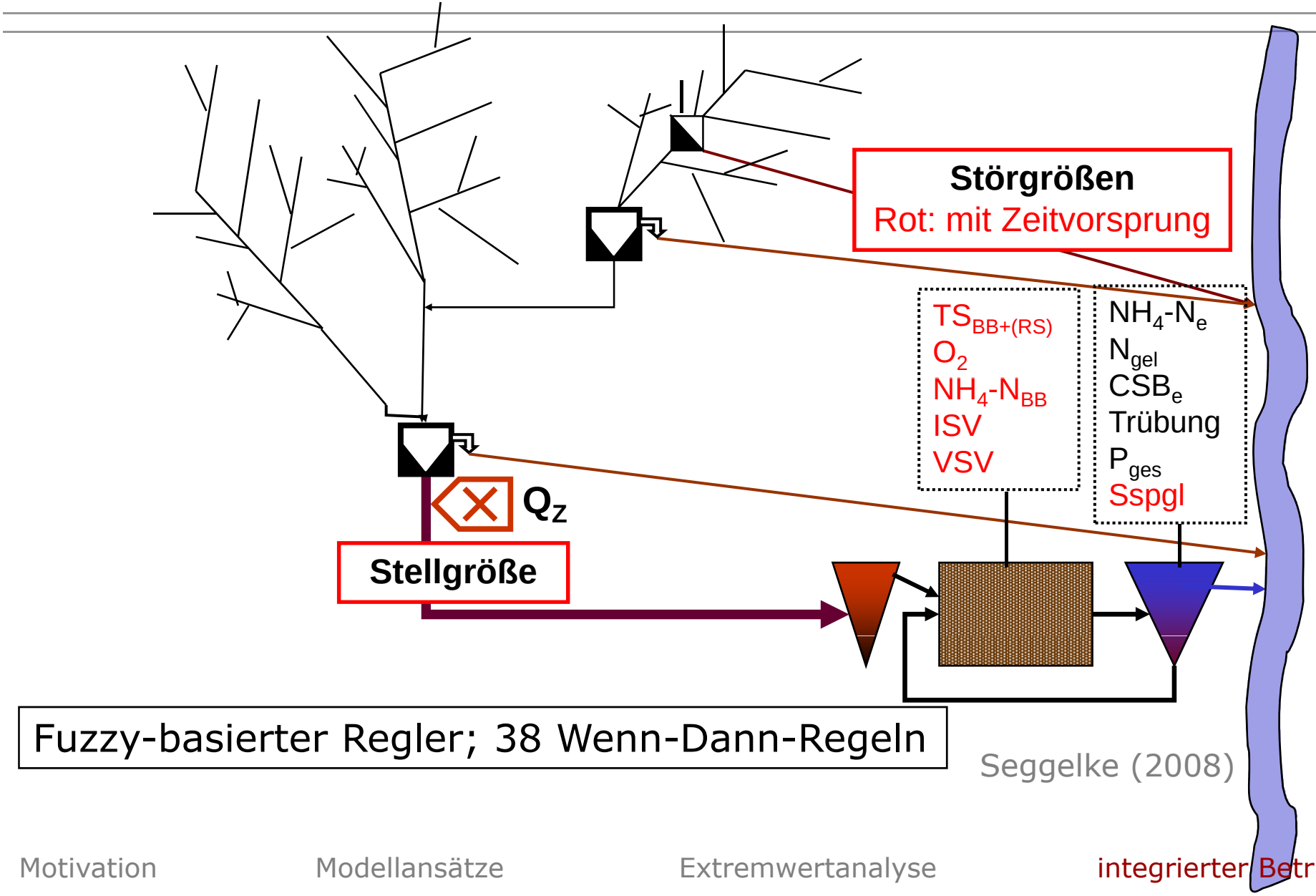
Motivation

Modellansätze

Extremwertanalyse

Integrierter Betrieb

Integrierte Steuerung (itwh – ISI)



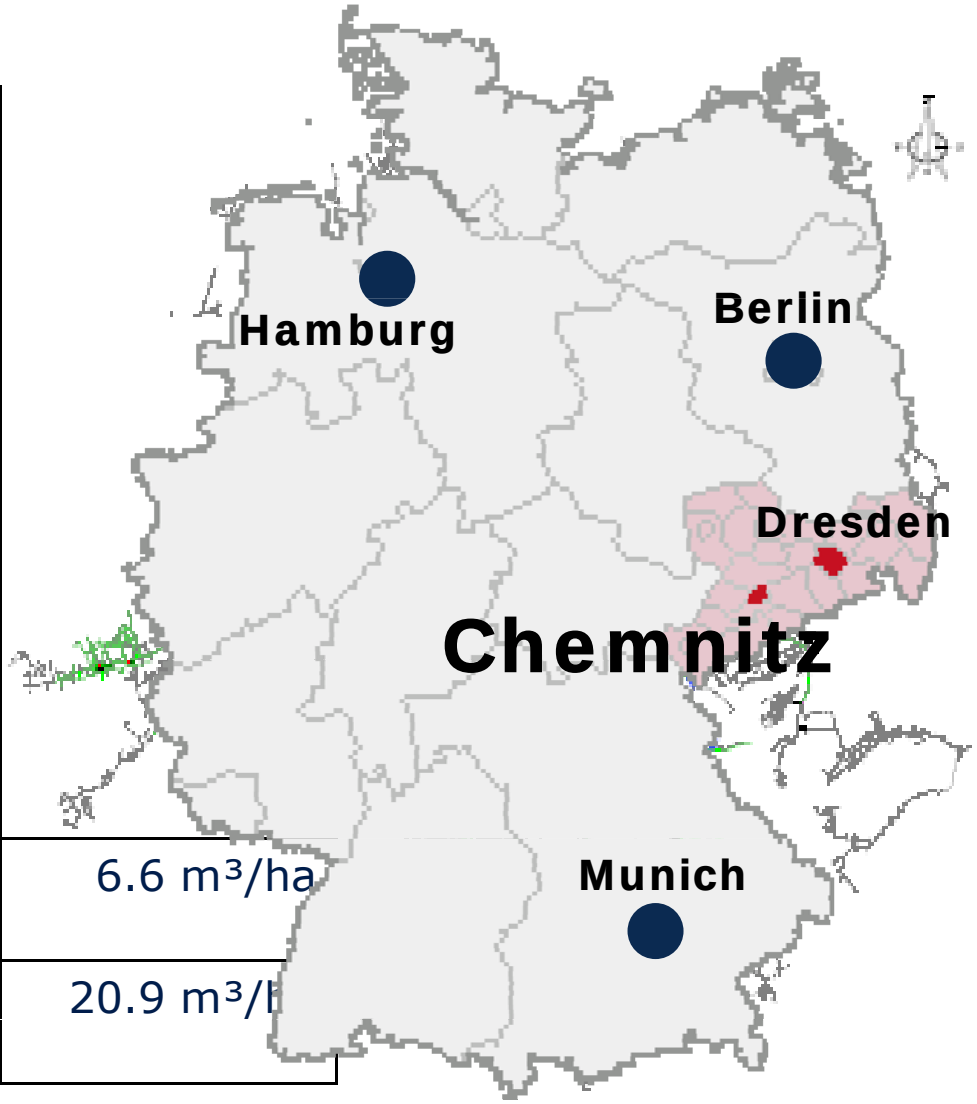
Fuzzy-basierter Regler; 38 Wenn-Dann-Regeln

Seggelke (2008)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Testgebiet Chemnitz

Angeschlossene Einwohner	240.580	
Versiegelte Oberfläche	1.990 ha	
Gesamte Kanalisationslänge	956 km	
- Mischsystem	647 km	
- Schmutzwasser	151 km	
- Regenwasser	158 km	
Speichervolumen		
- verfügbar	13‘140 m³	6.6 m³/ha
- geplant	41‘640 m³	20.9 m³/h

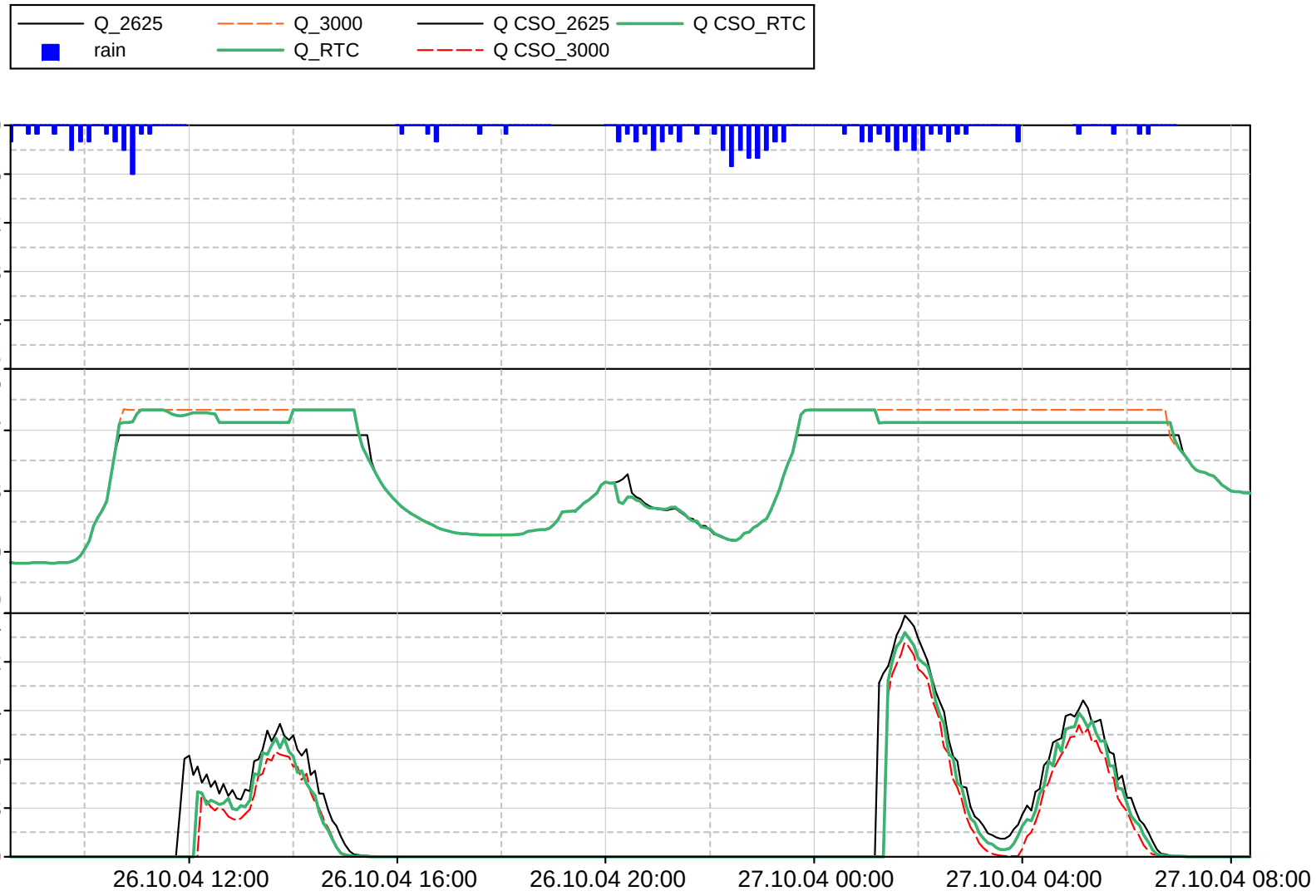


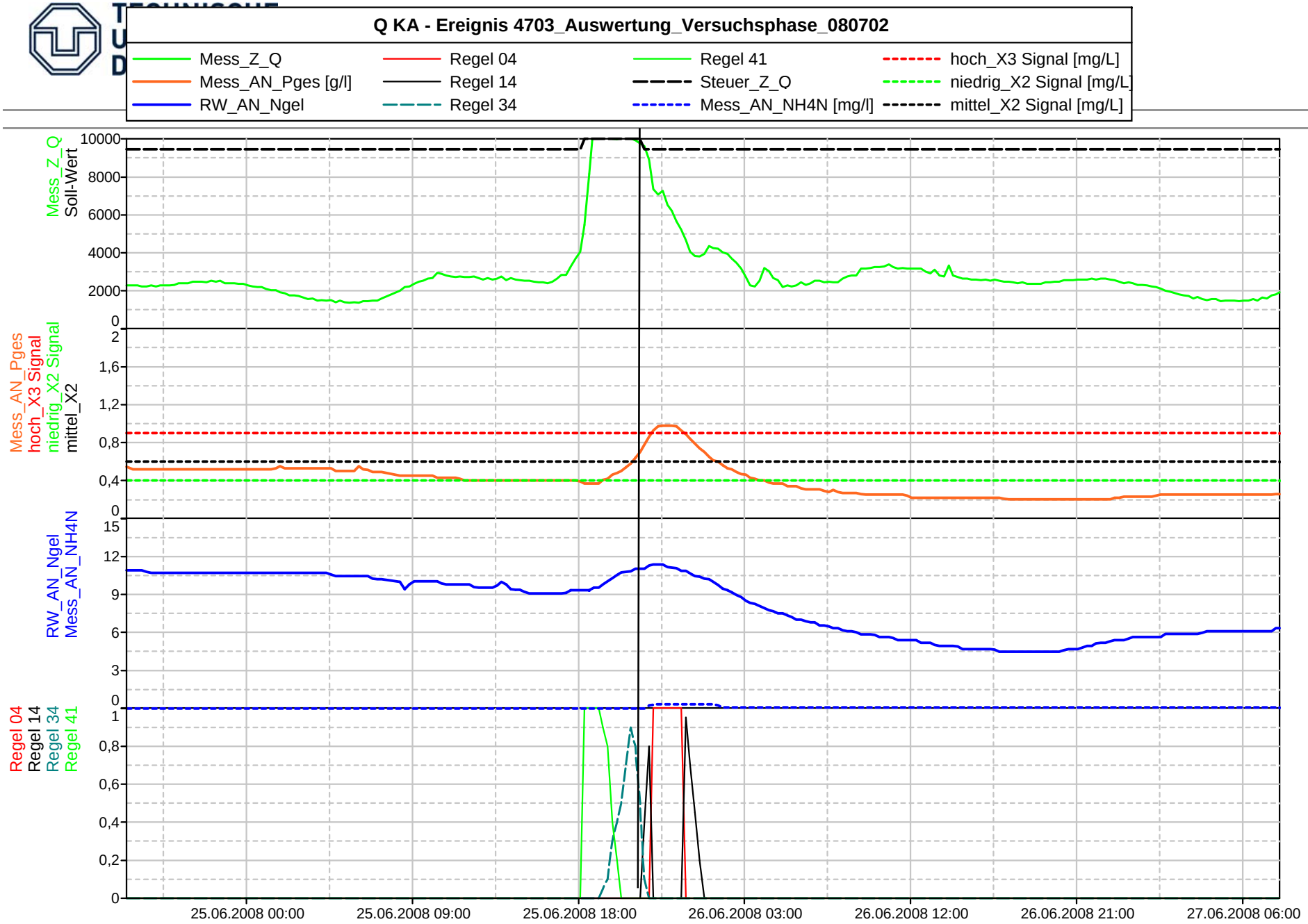
KA-Zufluss und Entlastung, Ereignis 025

Regen-
intensität

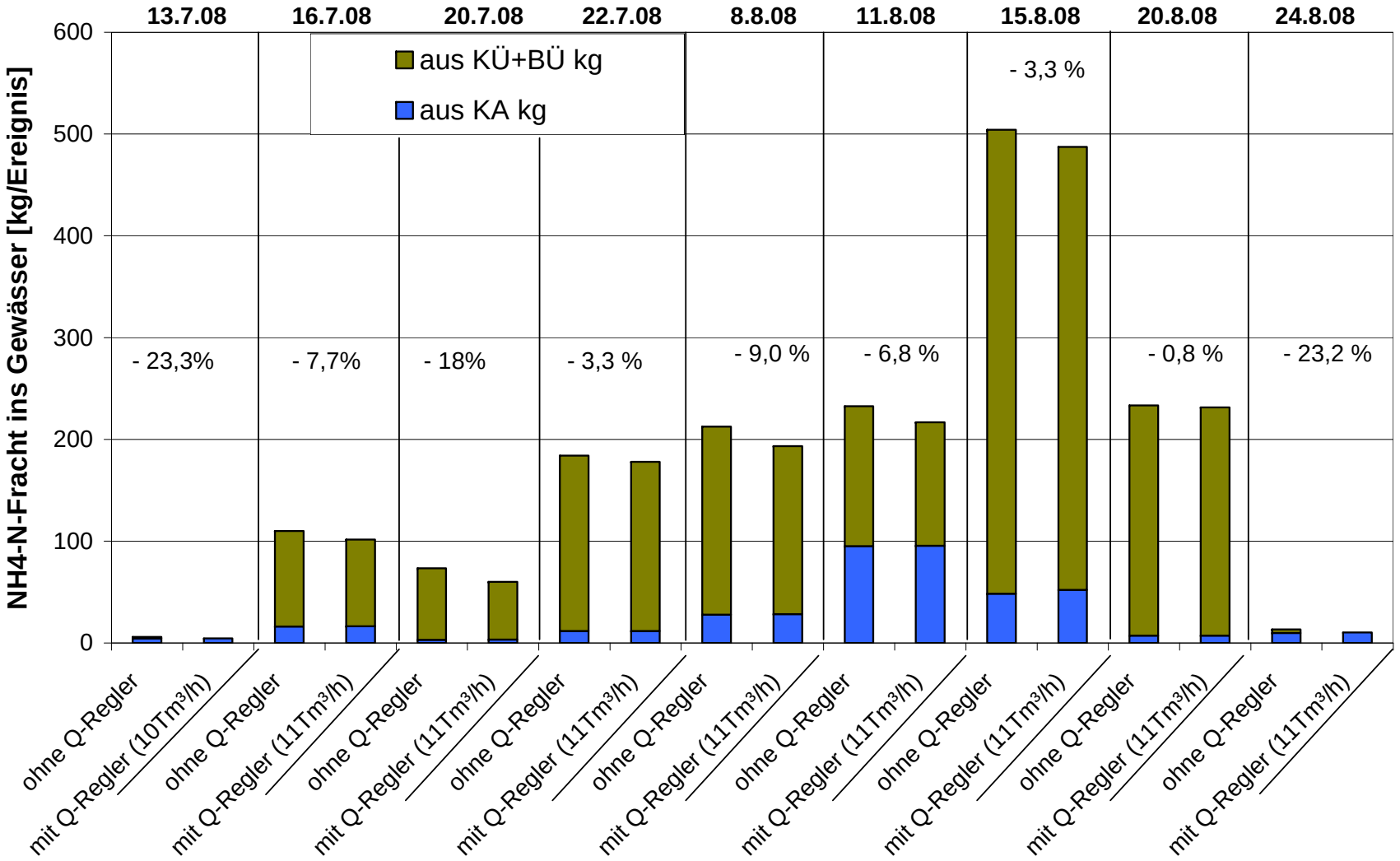
Zufluss
KA

Entlastung



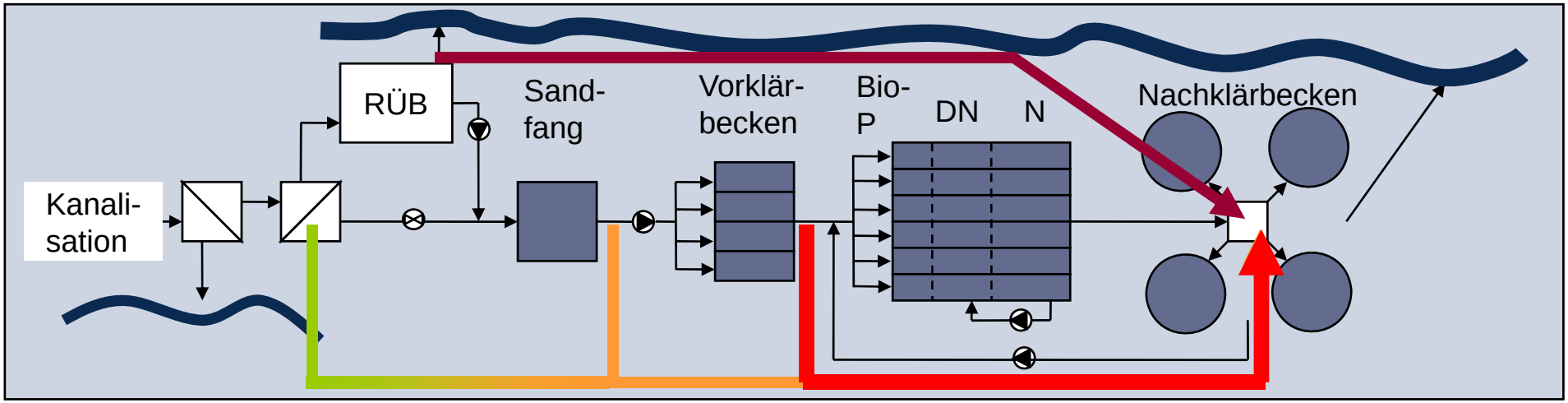

Q KA - Ereignis 4703_Auswertung_Versuchsphase_080702
Mess_Z_Q
Mess_AN_Pges [g/l]
RW_AN_Ngel
Regel 04
Regel 14
Regel 34
Regel 41
Steuer_Z_O
Mess_AN_NH4N [mg/l]
hoch_X3 Signal [mg/L]
niedrig_X2 Signal [mg/L]
mittel_X2 Signal [mg/L]
Mess_Z_Q
Soll-Wert
Mess_AN_Pges
hoch_X3 Signal
niedrig_X2 Signal
mittel_X2
RW_AN_Ngel
Mess_AN_NH4N
Regel 04
Regel 14
Regel 34
Regel 41
25.06.2008 00:00
25.06.2008 09:00
25.06.2008 18:00
26.06.2008 03:00
26.06.2008 12:00
26.06.2008 21:00
27.06.2008 06:00
Zeit

Resultate von Tests an der realen Anlage



Seggelke (2008)

Bypassführung ins Nachklärbecken



Vorreinigung durch Sedimentation in RÜB reduziert Partikelbelastung ins Nachklärbecken

Ähnliche Vorteile für den Fall ohne RÜB

Sand ins Nachklärbecken und in die Schlammbehandlung

Ausstoßeffekt aus dem Vorklärbecken

Spatzierer, Günther *et al*. (2007), Nicolavcic *et al*. (2008), Ahnert *et al*. (2008)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Wirkung der Bypassführung

- Behandlung zusätzlichen Mischwassers
- Hydraulische Belastung wird erhöht, der Stoffffluss jedoch kaum → bessere Nutzung des NKBs
- Sorption und Abbau
- Rücklaufschlammführung

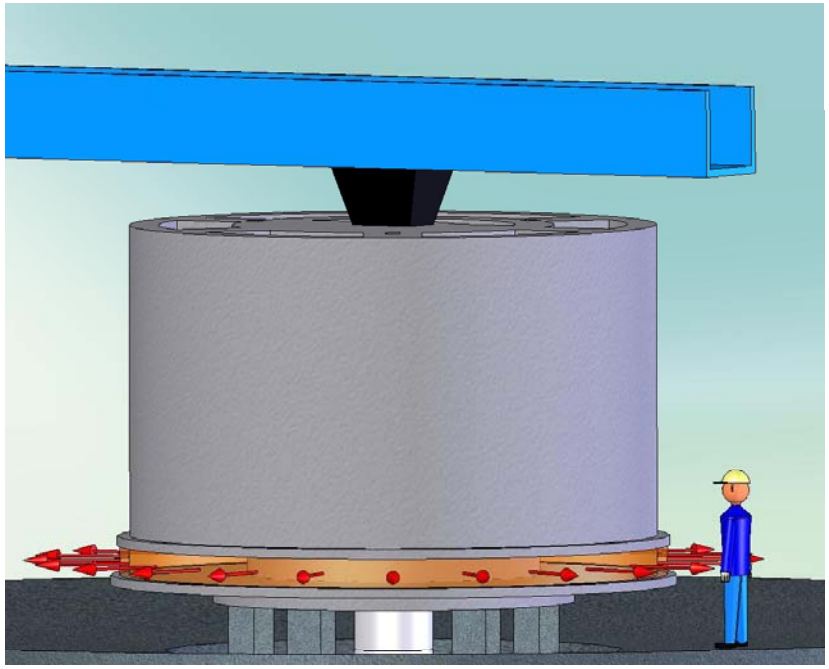
Parameter	**Bypass**	**RÜB**
$CSB_{gelöst}$	30 – 50 %	0 %
$CSB_{partikulär}$	80 – 90 %	40 – 60 %
NH_4-N	Q_{RAS}/Q_{in} + Sorption	0 %
P_{tot}	ca. 60 %	ca. 30%

Günther *et al*. (2007)

Einlauf Nachklärbecken

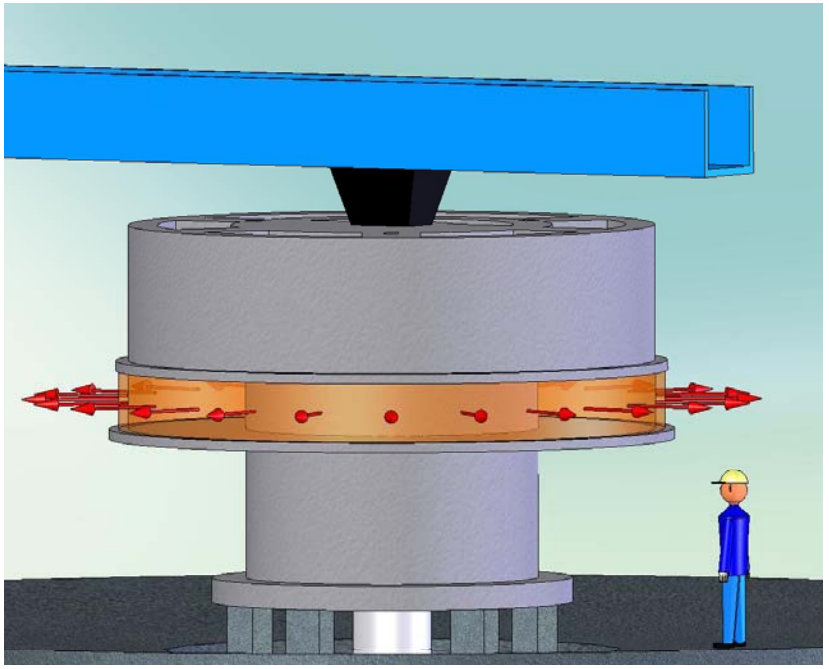
Adaptiver Einlauf (Armbruster, 2004)

hydrograv
hydraulik ▪ gravitatives trennen



Trockenwetter
niedriger $ISV_{Betrieb}$ (< $ISV_{Planung}$)

Sonst: hoher Schlammspiegel und Gefahr Schlammabtrieb



Regenwetter
hoher $ISV_{Betrieb}$ (≥ $ISV_{Planung}$)

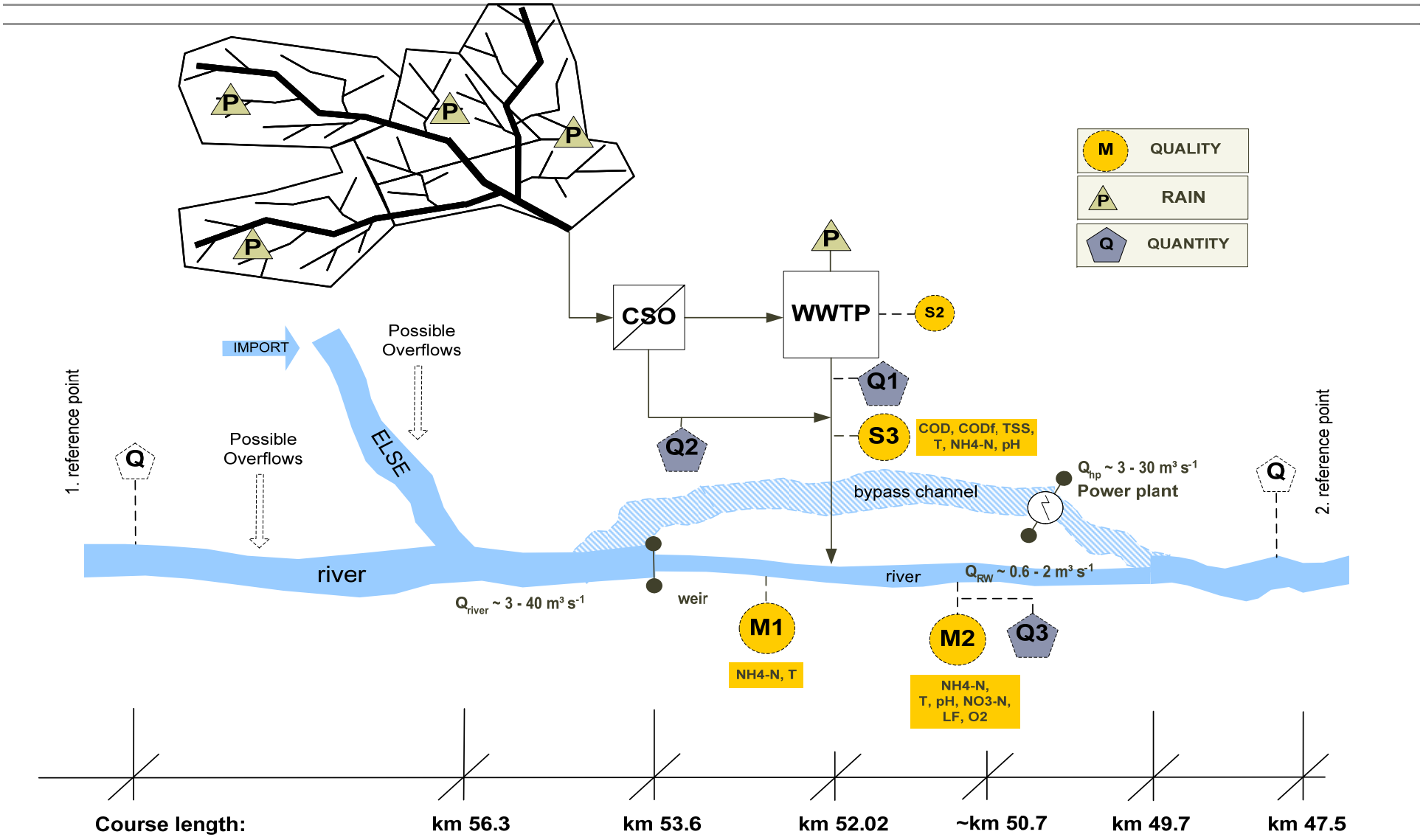
Sonst: keine Flockenfilterwirkung und hohe Ablaufkonzentration

Einlauf Nachklärbecken

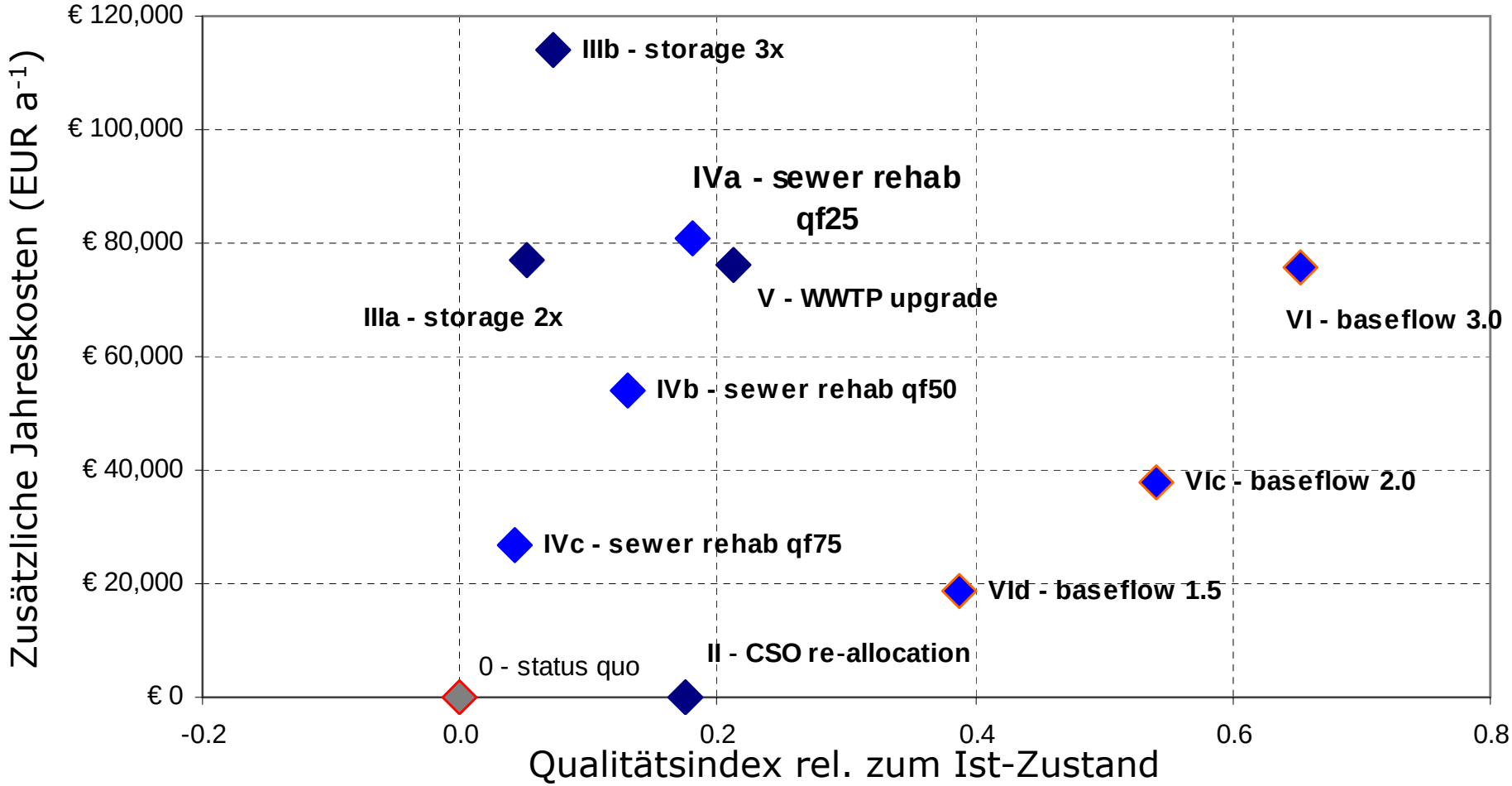
Adaptiver Einlauf (Armbruster, 2004)

hydrograv
hydraulik ▪ gravitatives trennen

Basisabflusserhöhung (I)



Basisabflusserhöhung (II)



Blumensaat *et al*. (2008)

Immissionsprinzip verlangt nach Integration

Fehlende Daten durch Simulation erzeugen

Extremwertanalyse zur Identifikation maßgebender Einflussgrößen

Steigerung des Leistung des Gesamtsystems durch flexible Betriebsstrategien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Dank

DFG REDUSIM
Stochastische Simulation und Extremwertstatistik auf Basis vereinfachter Modelle des integrierten Abwassersystems
mit **ifak**

DBU Integrierte Steuerung von Kanalnetz und Kläranlage
mit **itwh**

EU CD4WC
Cost-effective development of urban wastewater systems for Water Framework Directive compliance
mit 7 Partnern aus Europa

EU Interreg IIIC SiTaR
Mischwasserbehandlung im Nachklärbecken
mit **TU Wien**, **Burgenländische Landesregierung**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Dank

Markus Ahnert

Frank Blumensaat

Gerold Bönisch

Torsten Franz

Norbert Günther

Thilo Koegst

Dr. Volker Kühn

Nora Schindler

Dr. Jens Tränckner