

Schmutzfrachtmodellierung auf Basis von hochaufgelösten Messdaten

Valentin Gamerith

Dirk Muschalla, Günter Gruber und Harald Kainz

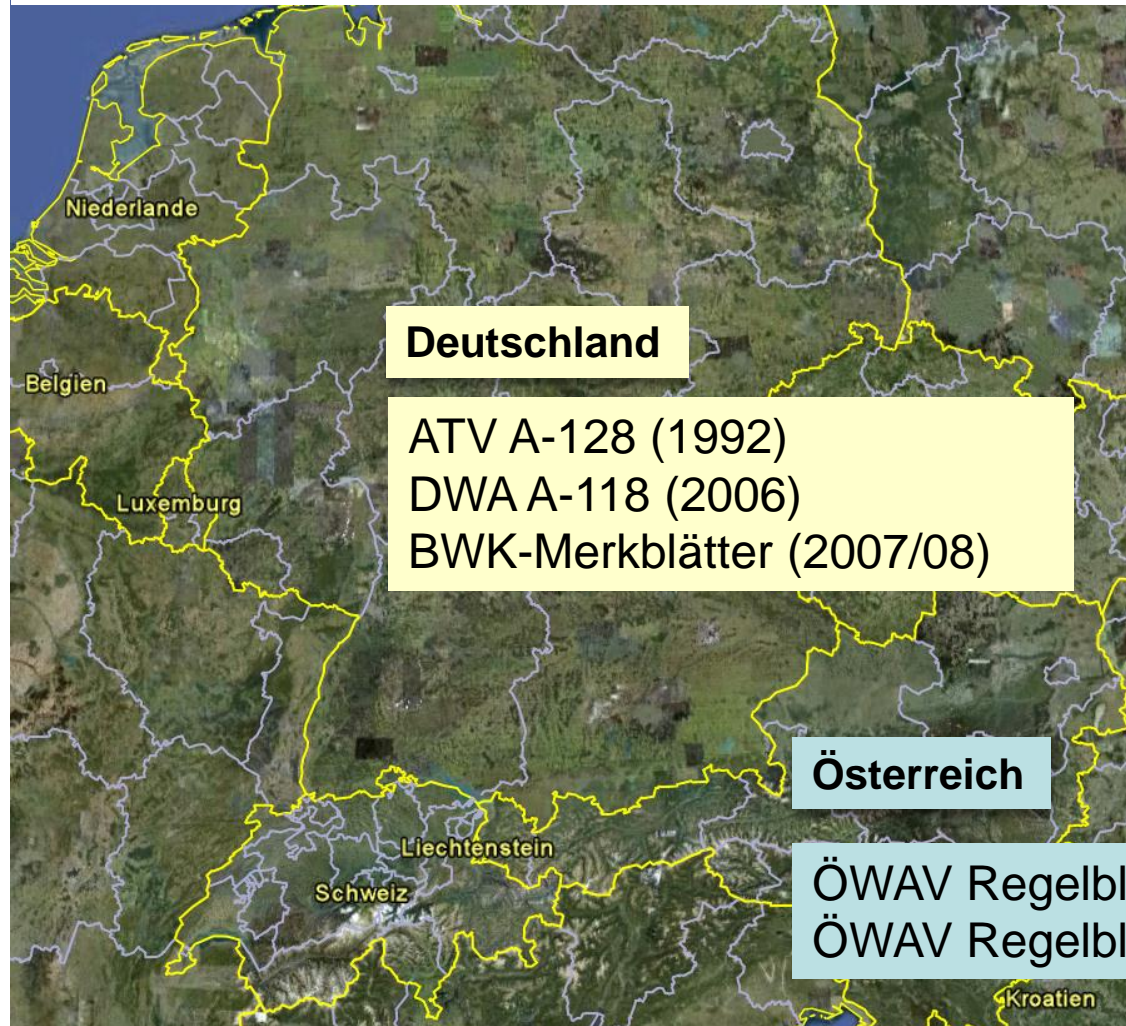
Modellierung von Kanalnetzen



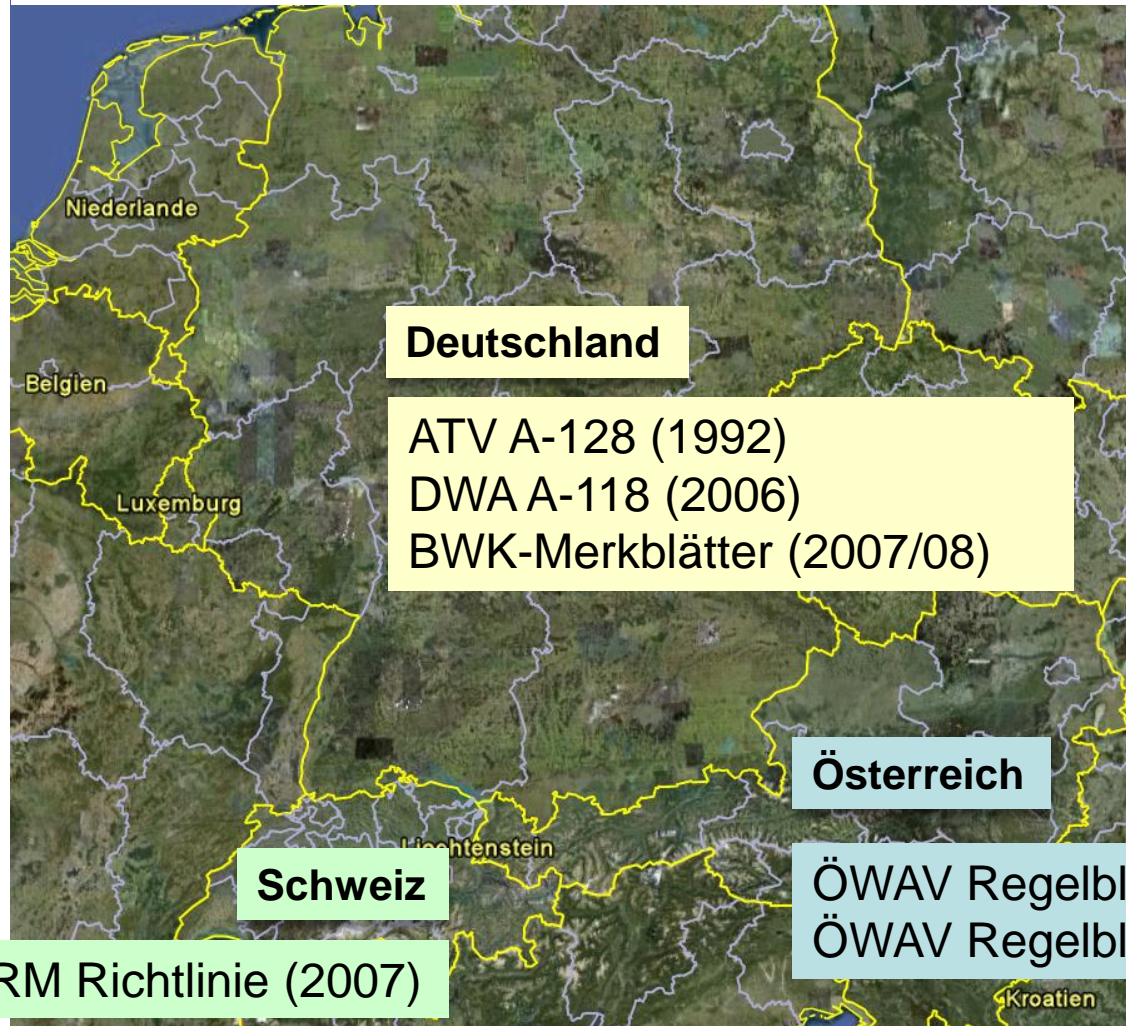
Modellierung von Kanalnetzen



Modellierung von Kanalnetzen

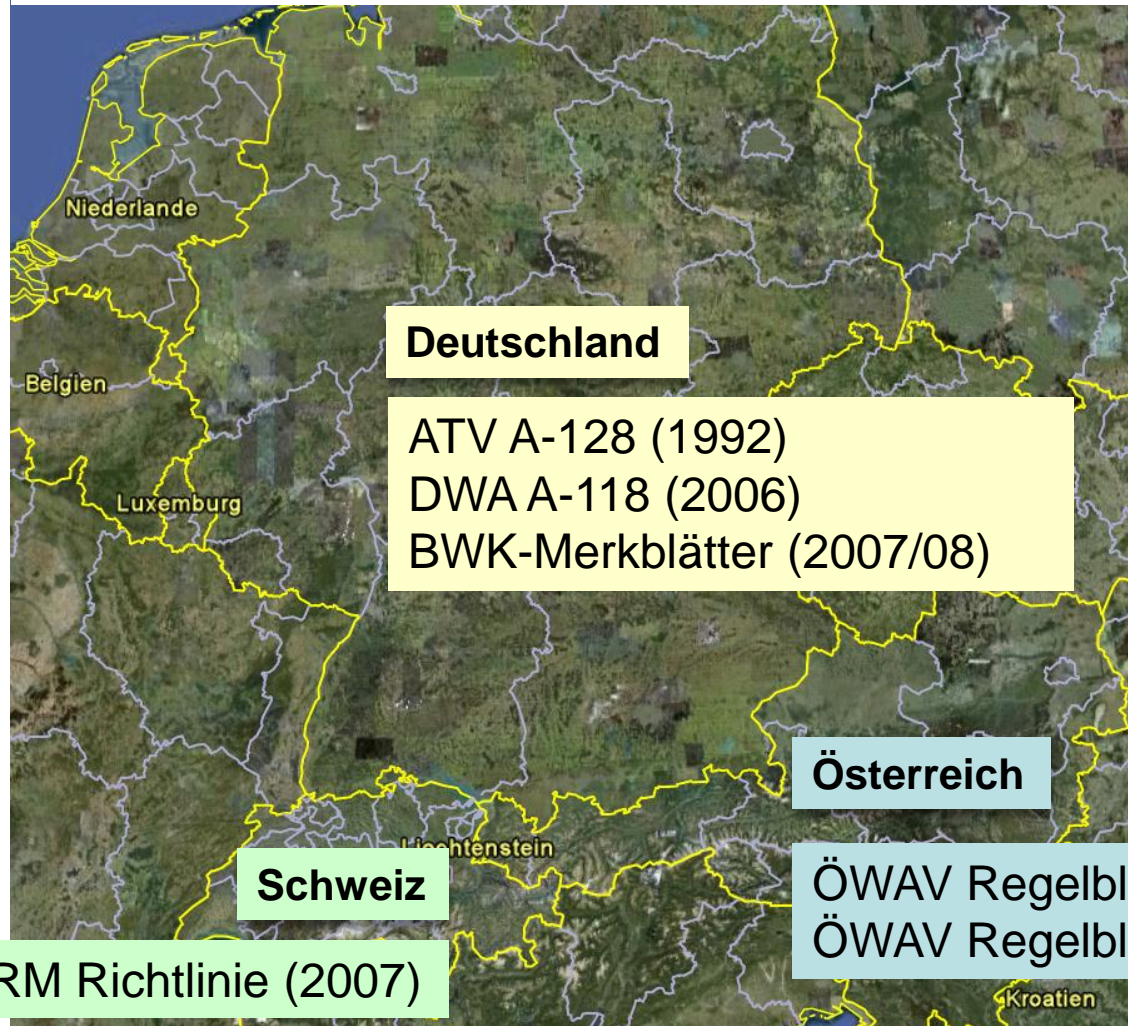


Modellierung von Kanalnetzen



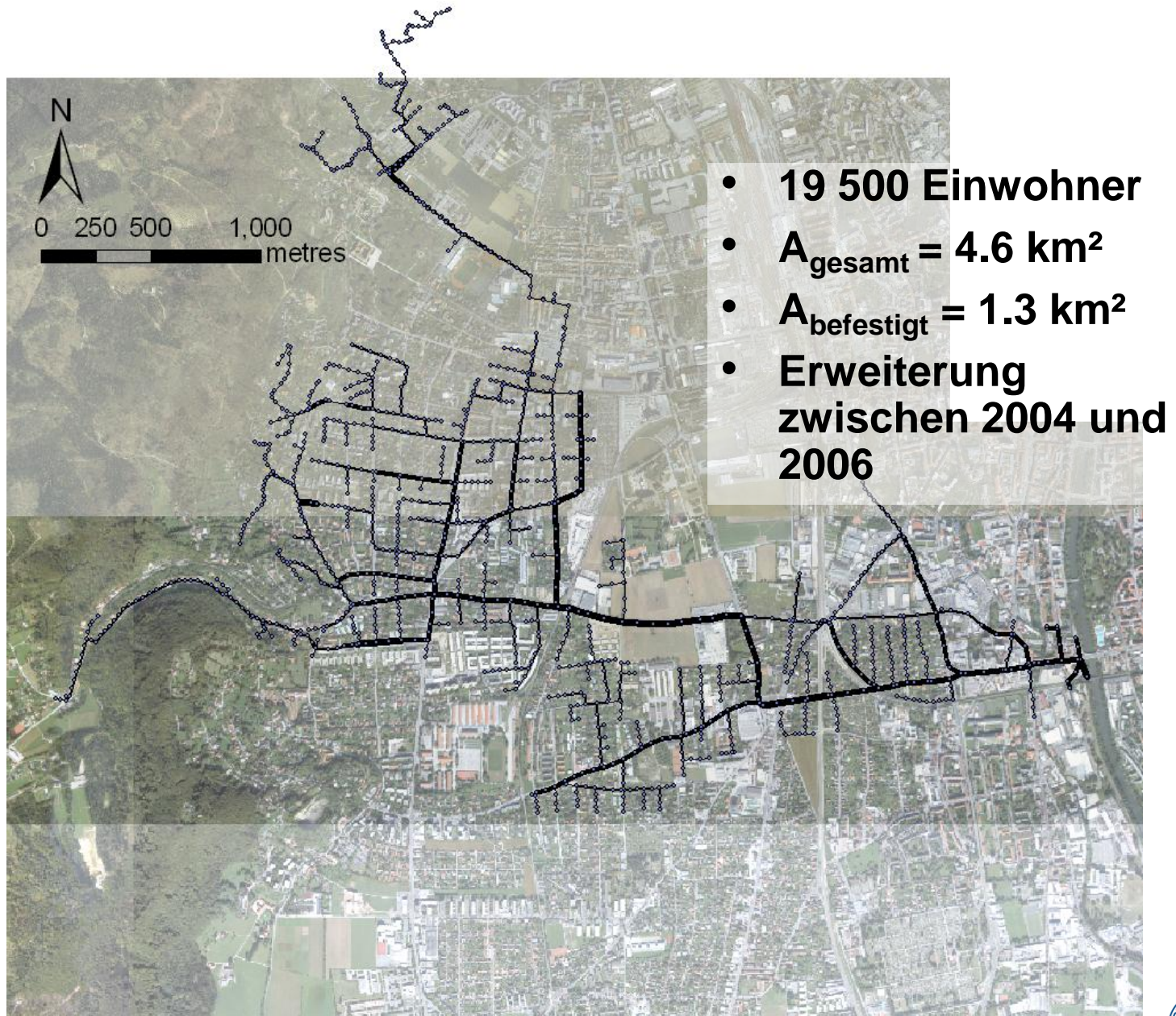
Modellierung von Kanalnetzen

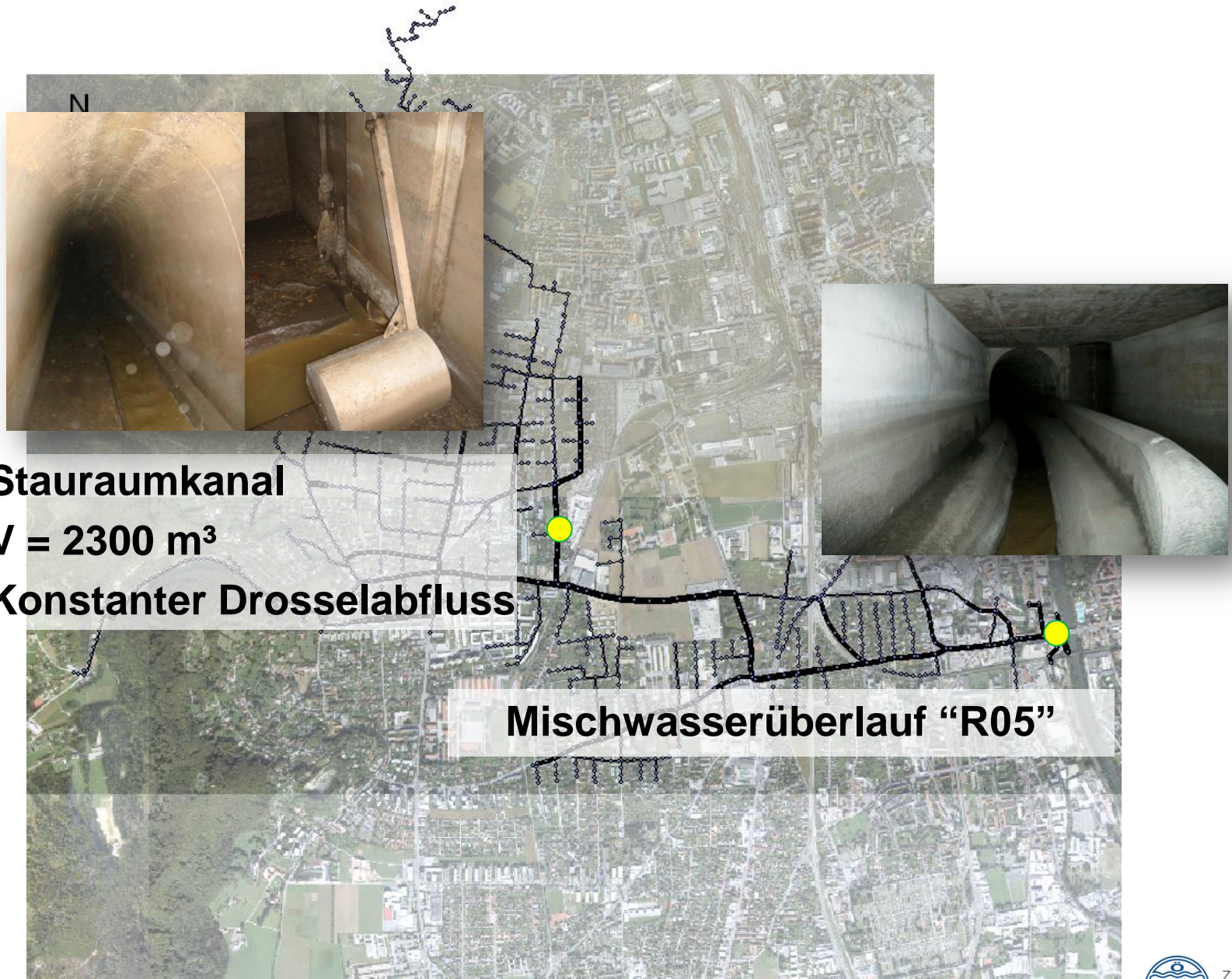
... ist Stand der Technik



Einleitung

- Emissionsbetrachtung: Großteils Modellierung der Hydraulik
- Modellierung der Güte v. a. bei Immissionsbetrachtung
- Einzugsgebiet Graz West R05:
 - Messung hochaufgelöster Daten seit 2002
 - Ab 2007: Modellierung des Einzugsgebiets



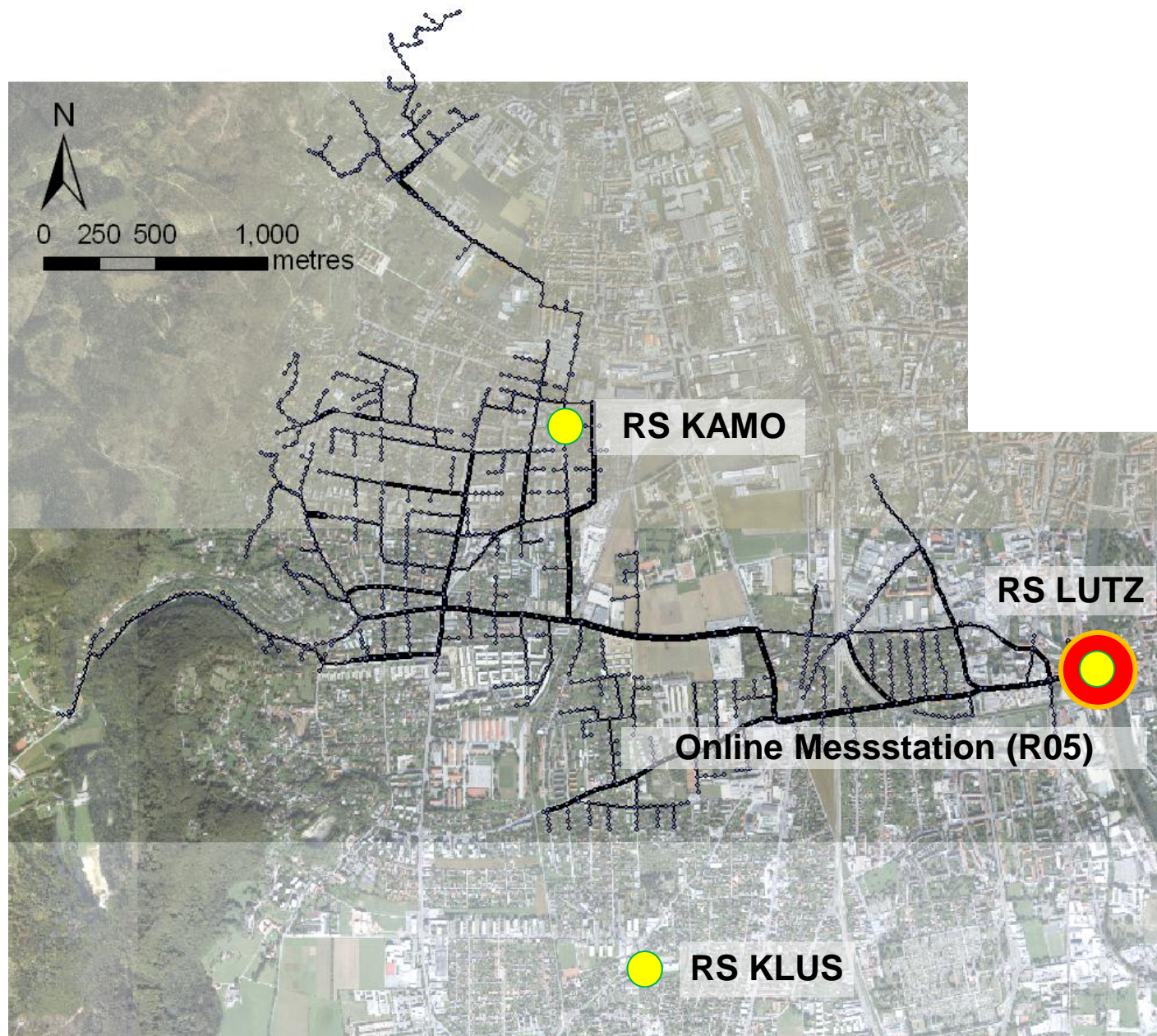


Stauraumkanal

$V = 2300 \text{ m}^3$




Konstanter Drosselabfluss

Mischwasserüberlauf "R05"



Kanal-Online-Messstation (1/3)

Kontinuierliche online
Daten seit Oktober 2002

-  **Abflussdaten**
-  Zulaufkanal
(Radar)
-  Entlastungskanal
(Ultraschall Kreuzkorrelation)

CSO R05 - Zulaufkanal



Foto:
Gruber

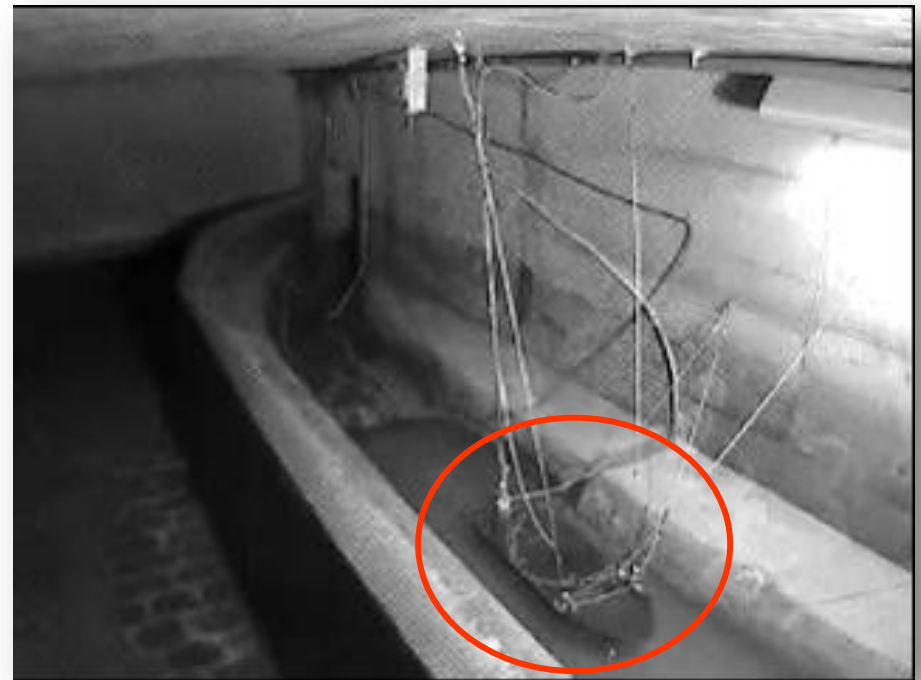
Radar - Durchflussmessung

Kanal-Online-Messstation (2/3)

Kontinuierliche online
Daten seit Oktober 2002

Mischwasserüberlaufkammer
„Graz Sewer R05“

- 💧 **Abflussdaten**
- 💧 **Wassergüte**
- 💧 UV/VIS Spektrometer
- 💧 Direkt im Medium installiert
- 💧 Parameter:
 CSB_{eq} , TOC_{eq} , AFS_{eq} , NO3_{eq}
und Temperatur

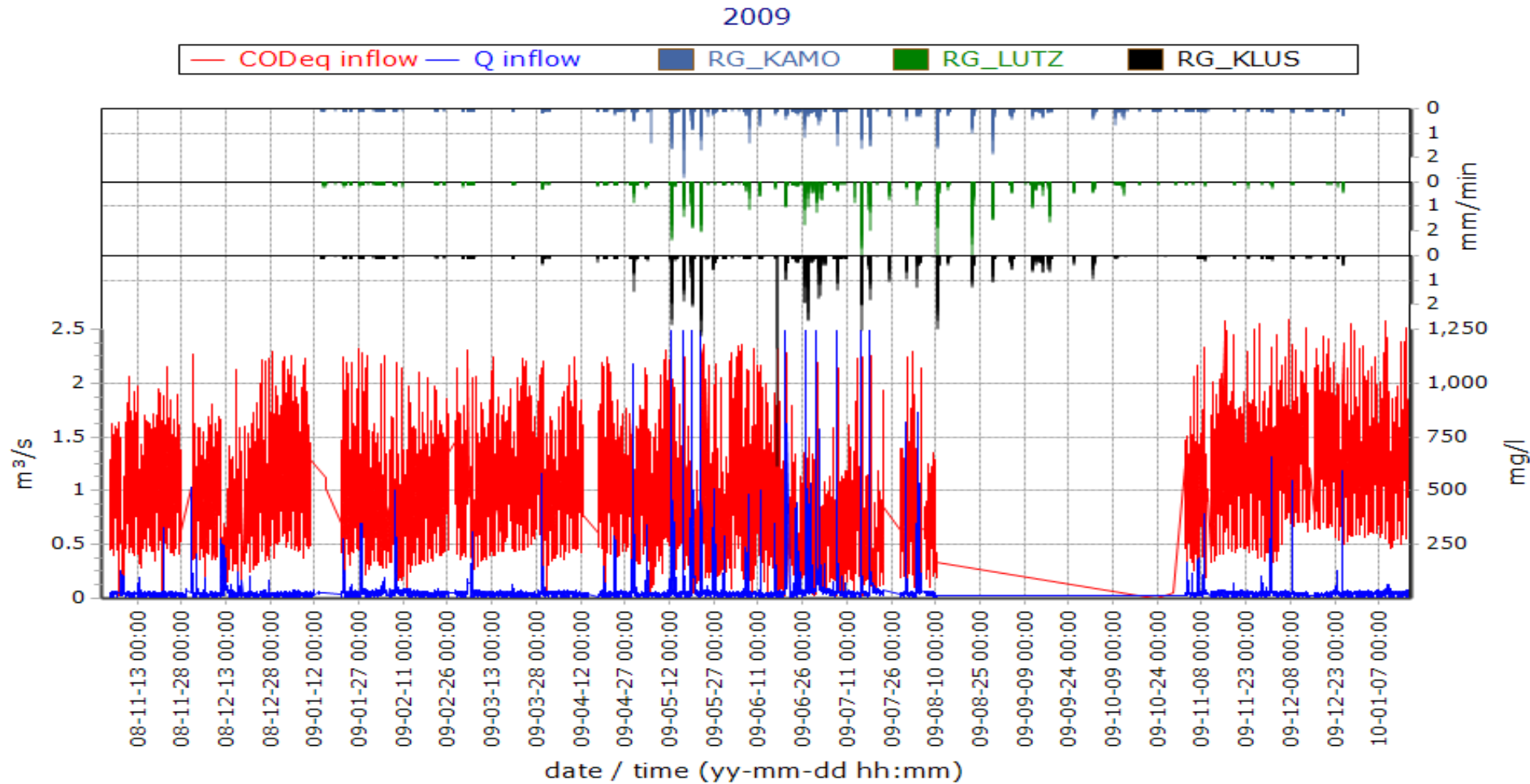


Schwimmendes Pontoon
UV/VIS Spektrometer

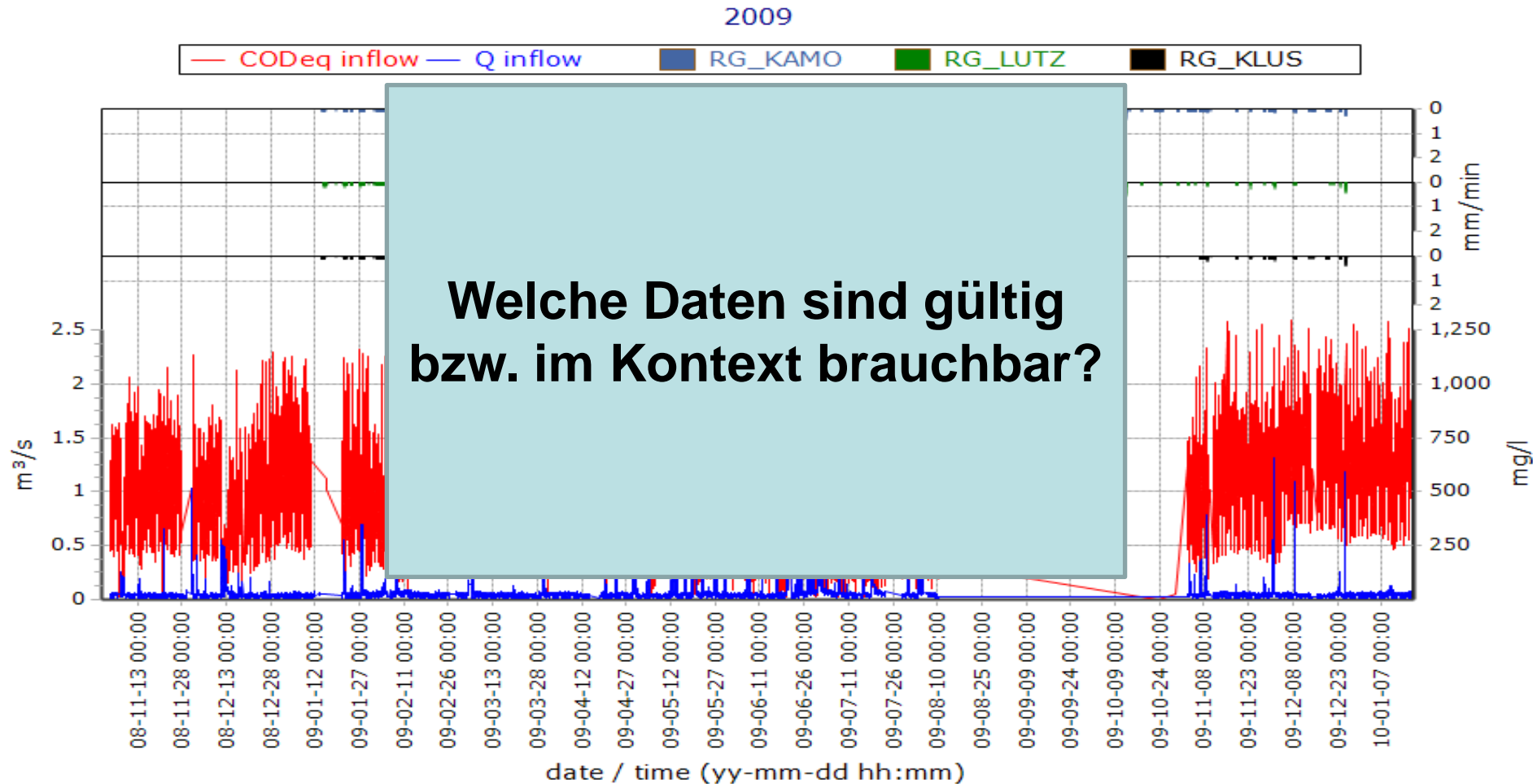
Herausforderungen

- WIE gehen wir mit den Daten um?
 - Datenmanagement und **Datenvalidierung**
- WIE können die Daten in der **Modellierung** genutzt werden?
 - Kann die Dynamik im System abgebildet werden (Hydraulik und Schmutzstoffkonzentrationen)?
 - Erlaubt die hohe Datendichte eine “bessere” Kalibrierung / Parameterschätzung?

Datenvalidierung



Datenvalidierung



Methodik

Datenanalyse und Datenvalidierung

- Visuelle Datenanalyse
 - Vergleich von Regen, Abfluss und Gütemessung
 - Systemverständnis und Identifikation eindeutiger Messfehler (z. B. Ausfälle)
- Halbautomatisierte Datenvalidierung
 - Einfache Tests klassifizieren Daten in “gültig” (A) , “nicht gültig” (C) oder “zweifelhaft” (B)
 - (B) Werte: zusätzliche Tests / manuelle Prüfung

Methodik

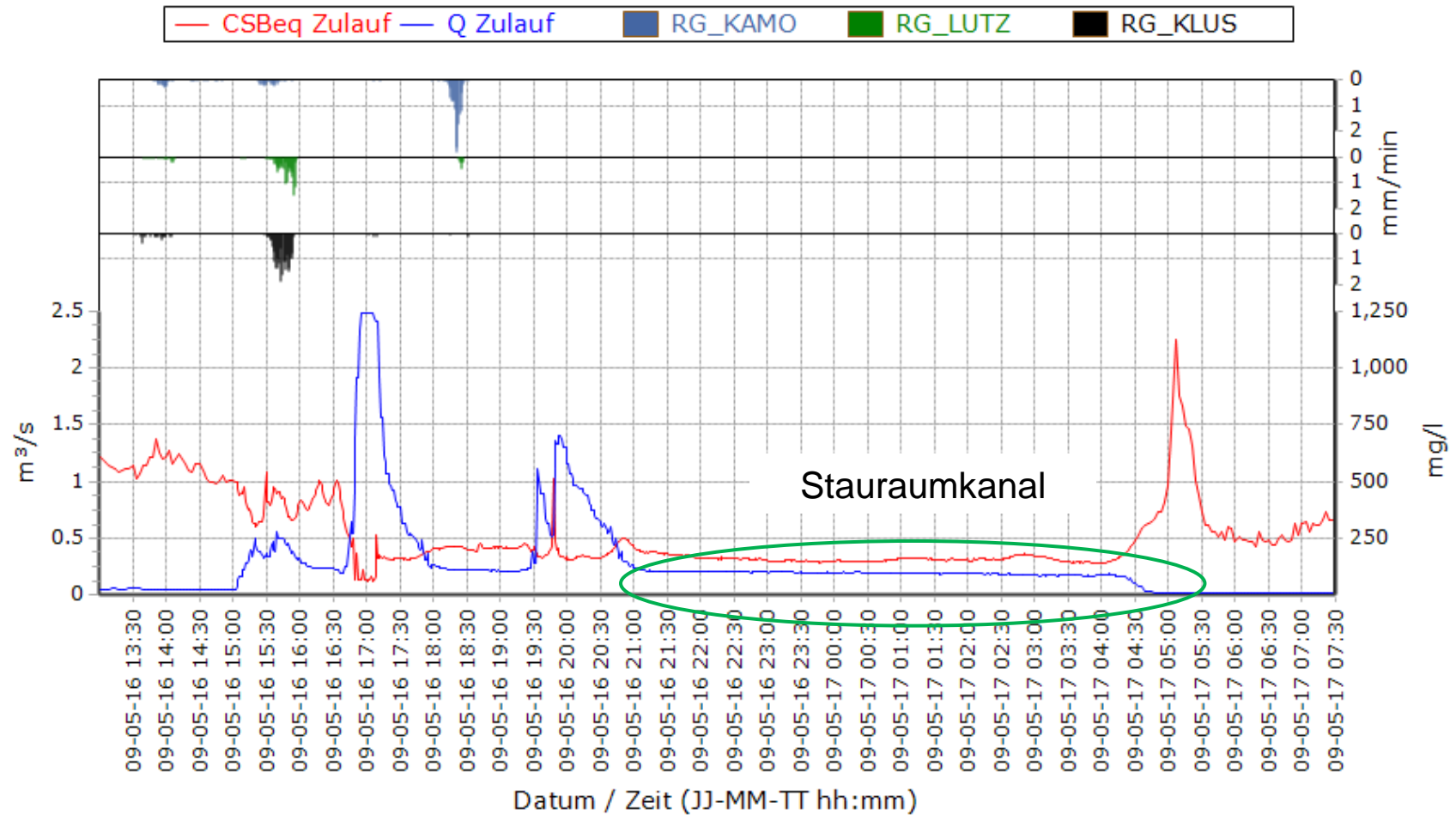
Halbautomatisierte Datenvalidierung - Tests

- Physikalisches Limit
(Minimum-Maximum Test)
- Messstellen-spezifisches Limit
(Minimum-Maximum Test)
- Kreuzvalidierung mit anderen Messdaten / Sensoren
- Residuen vom gleitenden Mittel

Beispiel

Visuelle Datenanalyse

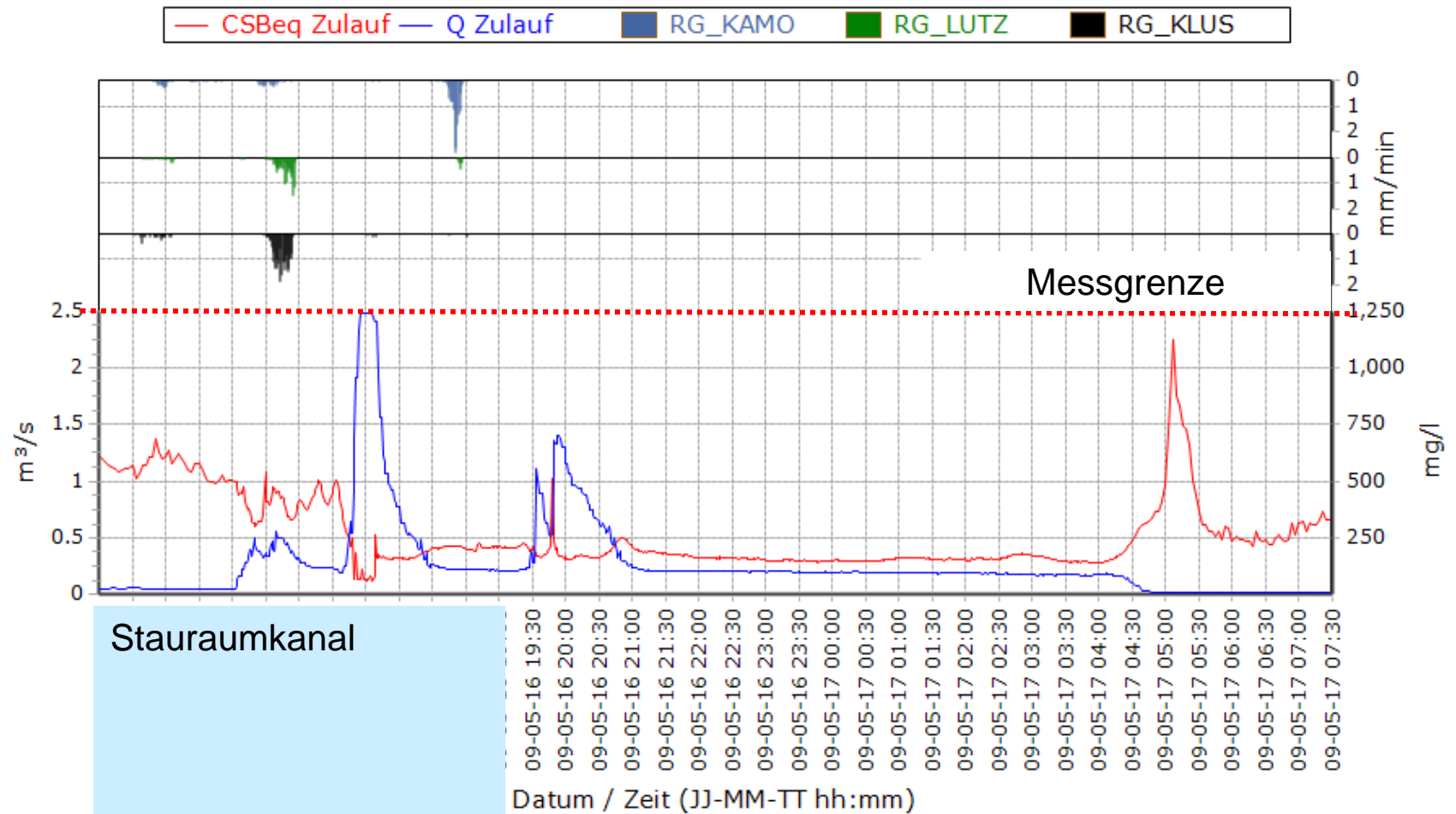
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

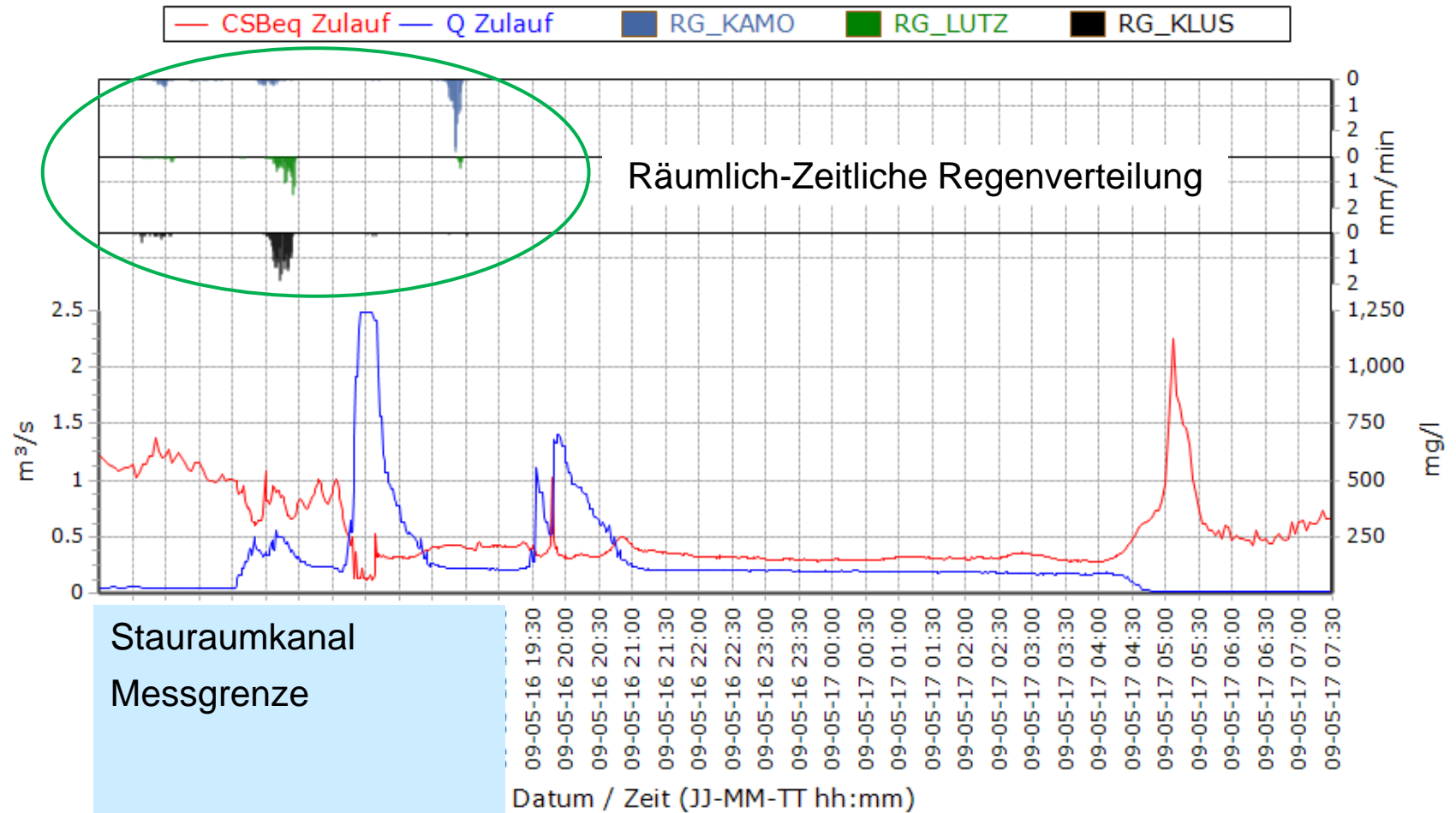
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

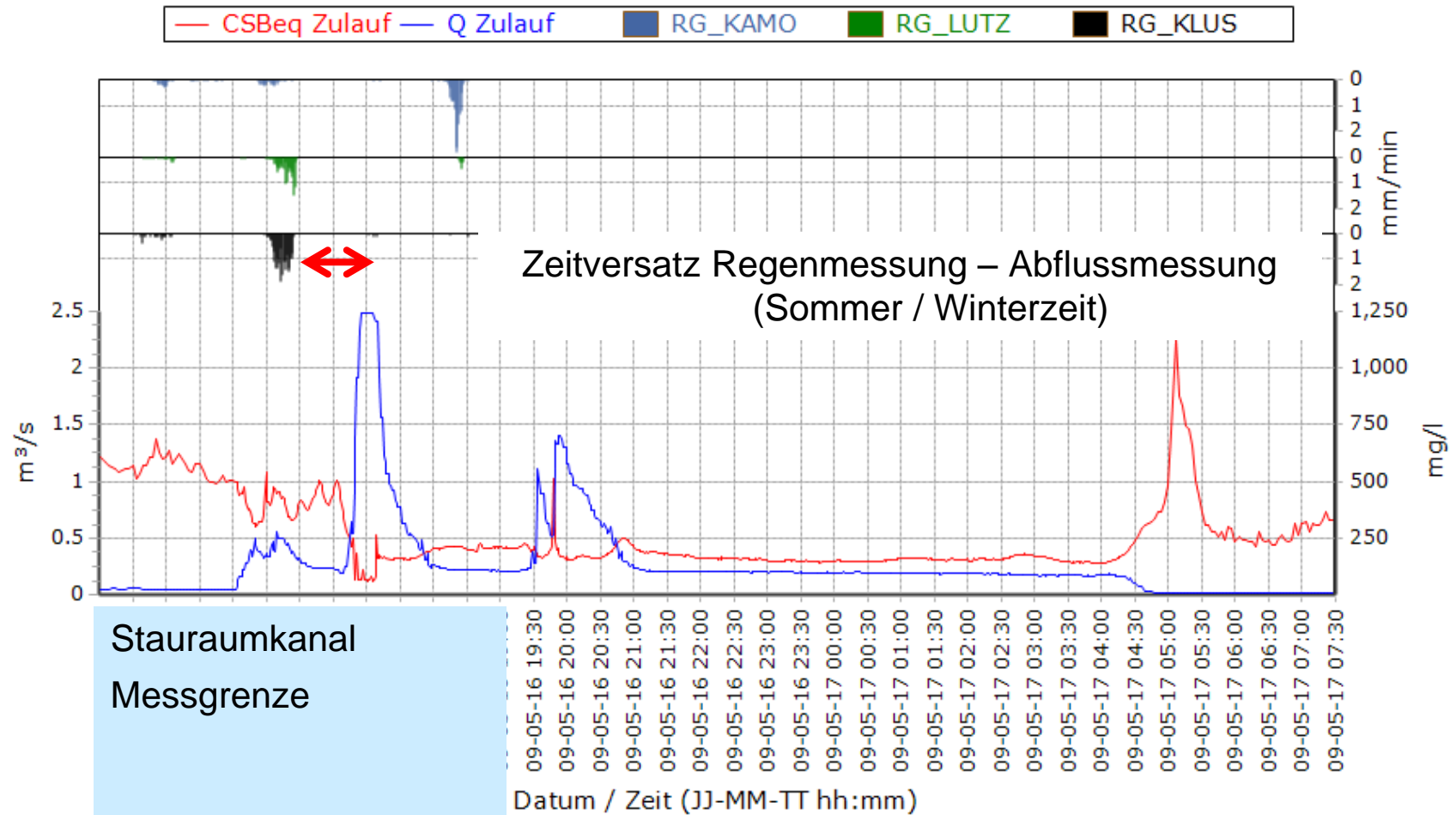
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

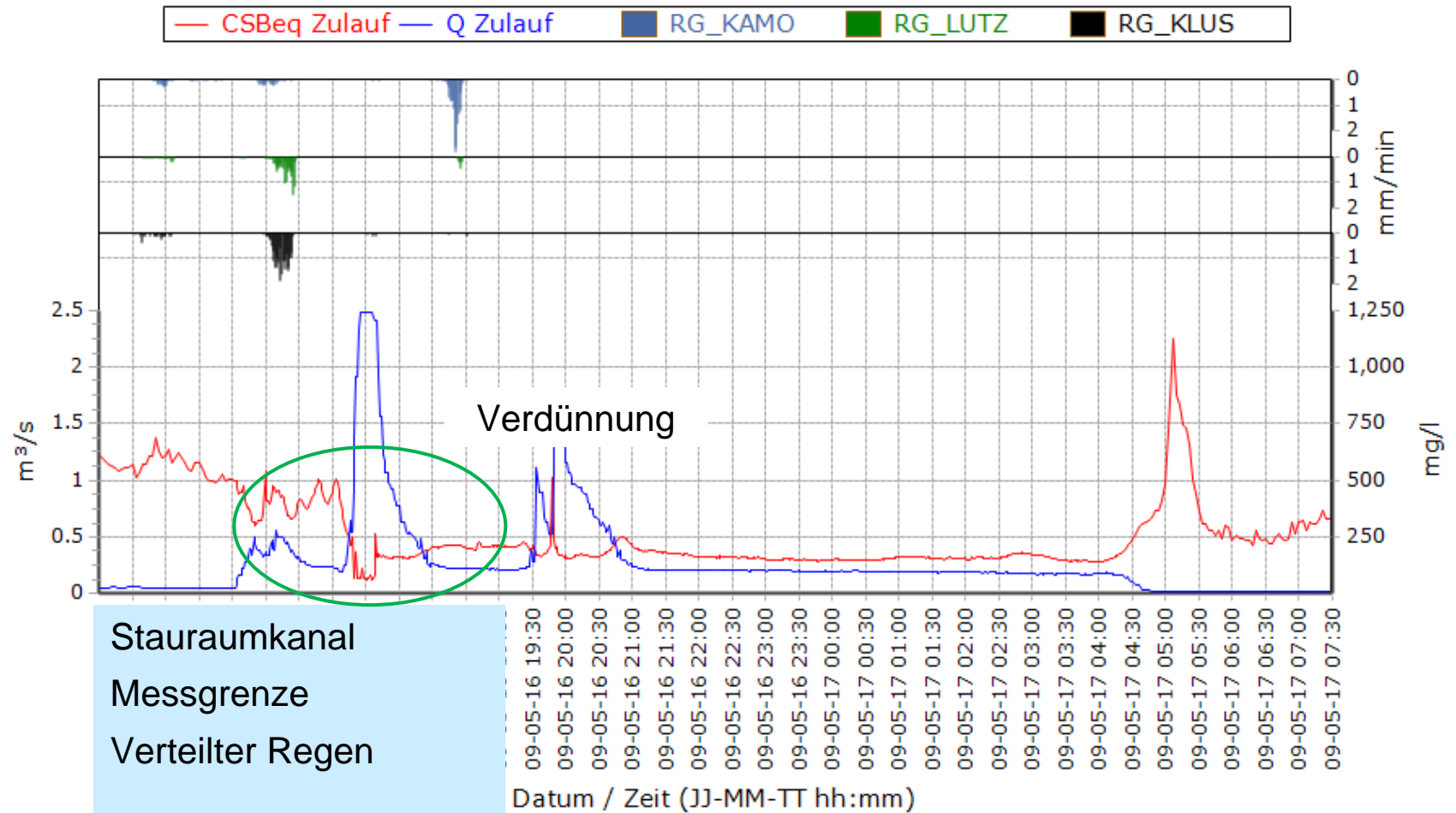
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

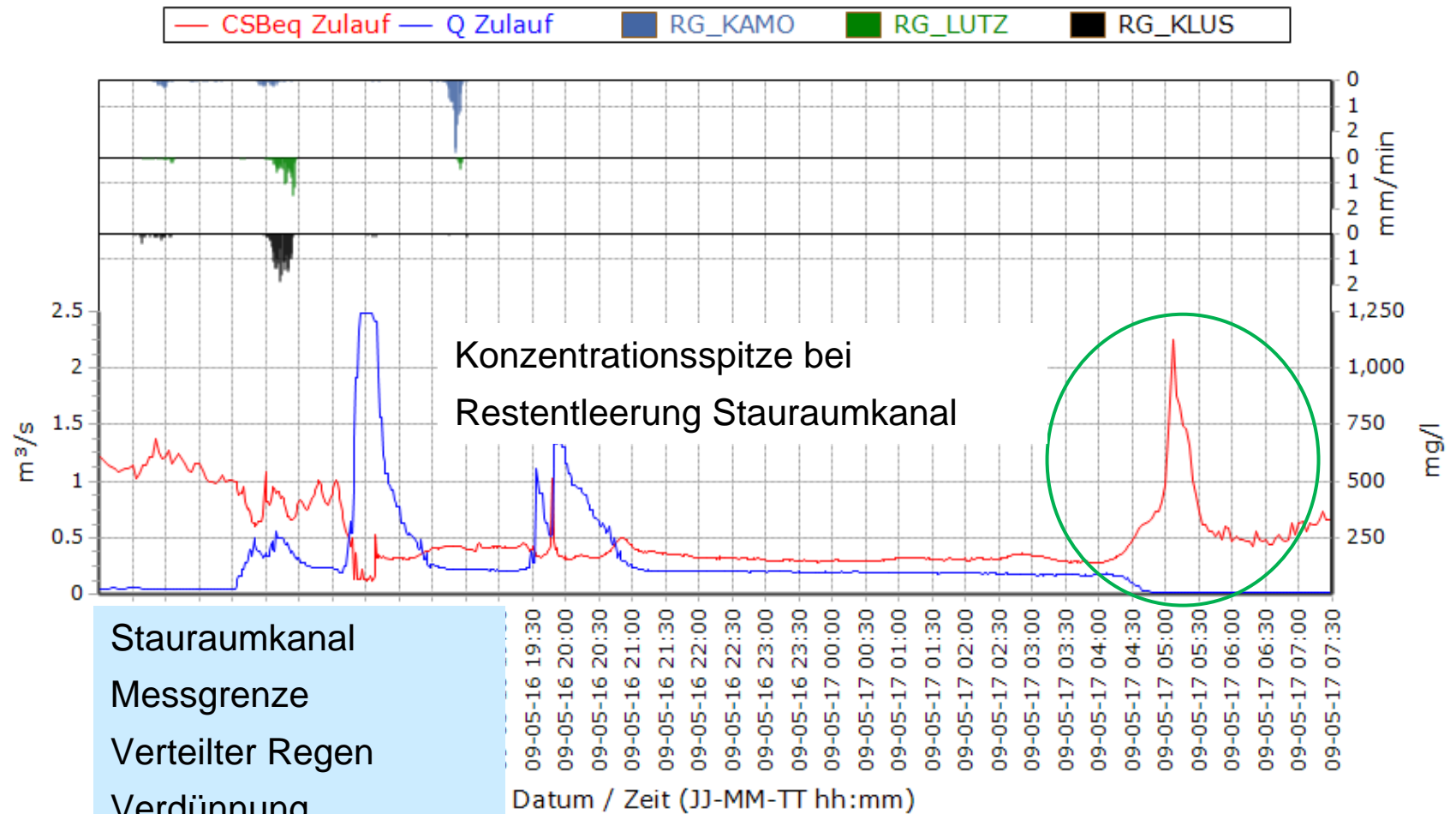
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

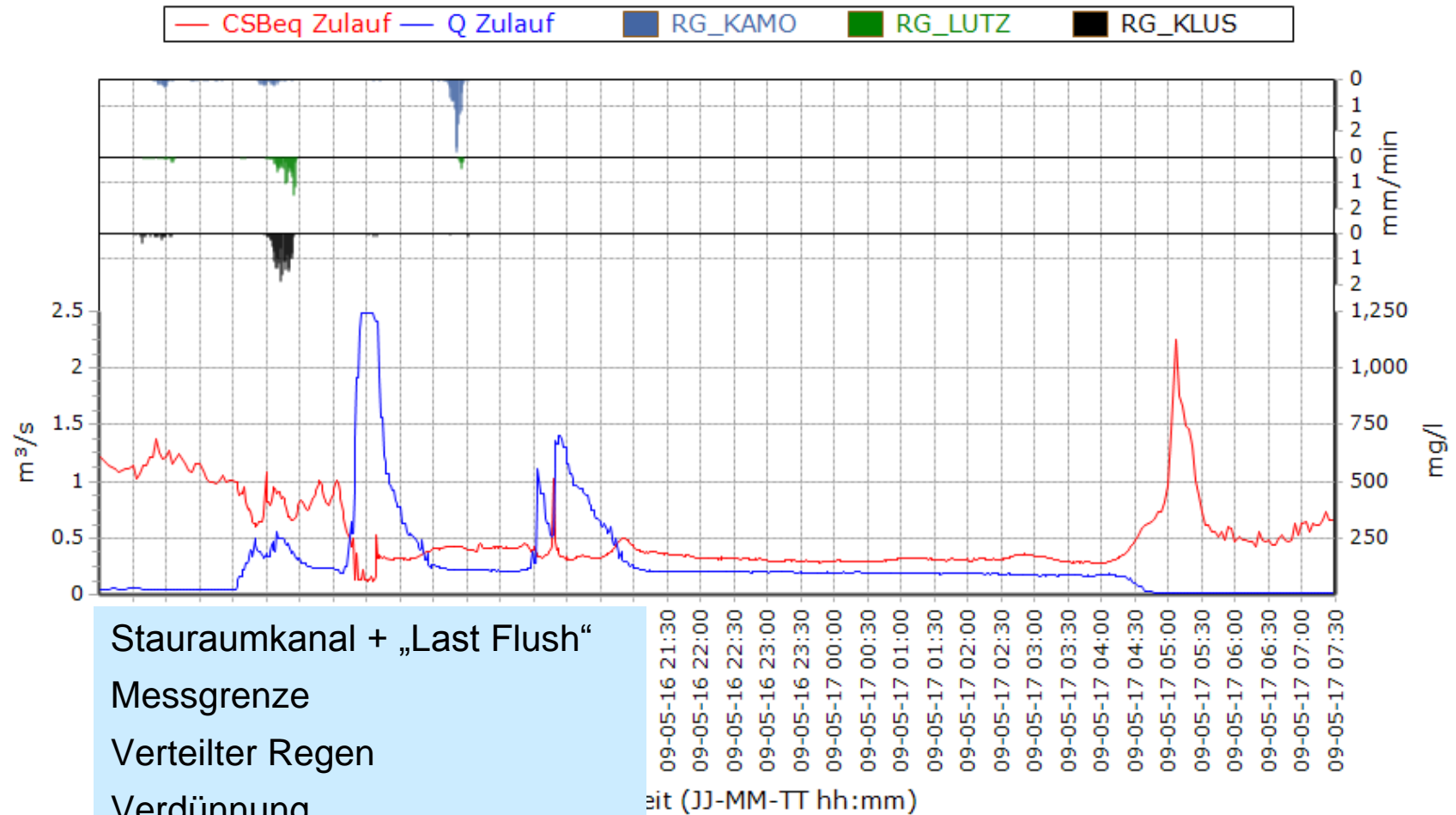
Ereignis 2009-032



Beispiel

Visuelle Datenanalyse

Ereignis 2009-032



Stauraumkanal + „Last Flush“

Messgrenze

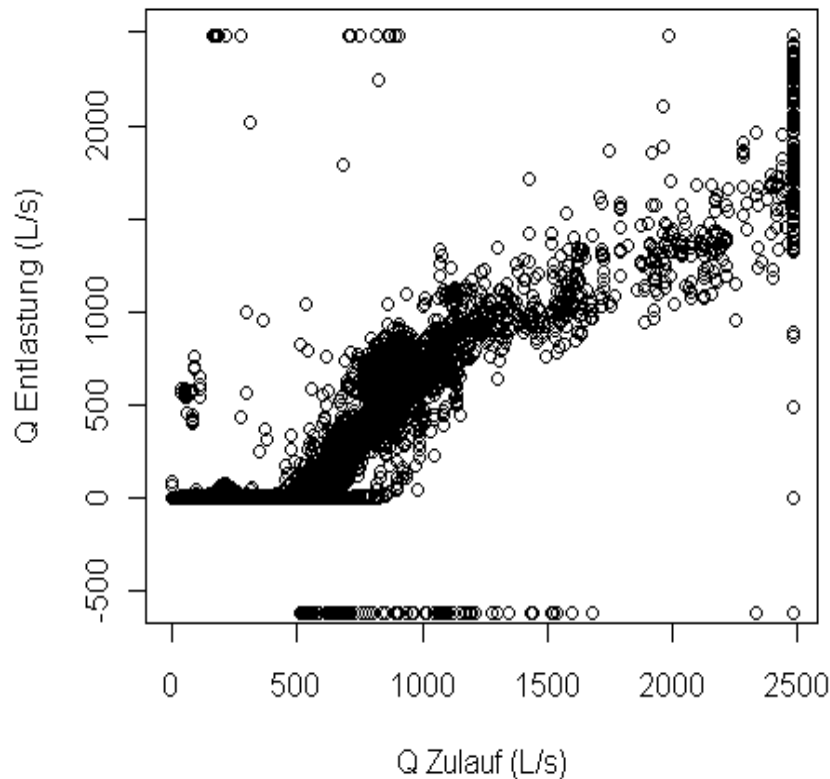
Verteilter Regen

Verdünnung

Beispiel

Halbautomatisierte Datenvalidierung

Q Entlastung zu Q Zulauf (Rohdaten)



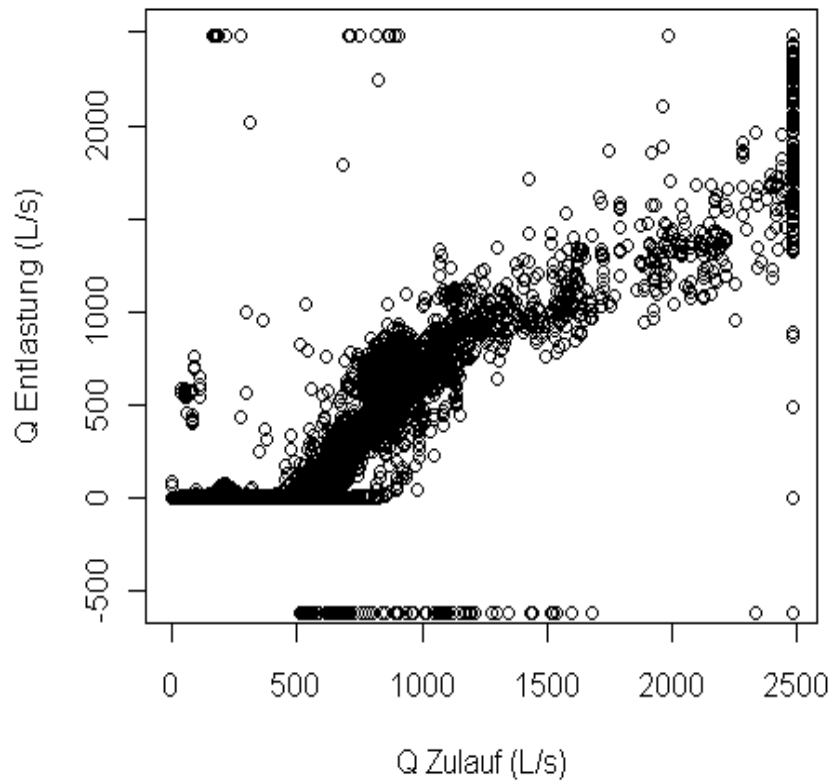
Tests:

- Minimum-Maximum Test:
physikalisches Limit /
messstellenspezifisches Limit
- Kreuzvalidierung zwischen
Sensoren:
 - Höhenstand
Zulauf < Wehrschwelle und
Entlastungskanal > 0 :
„B“ klassifiziert

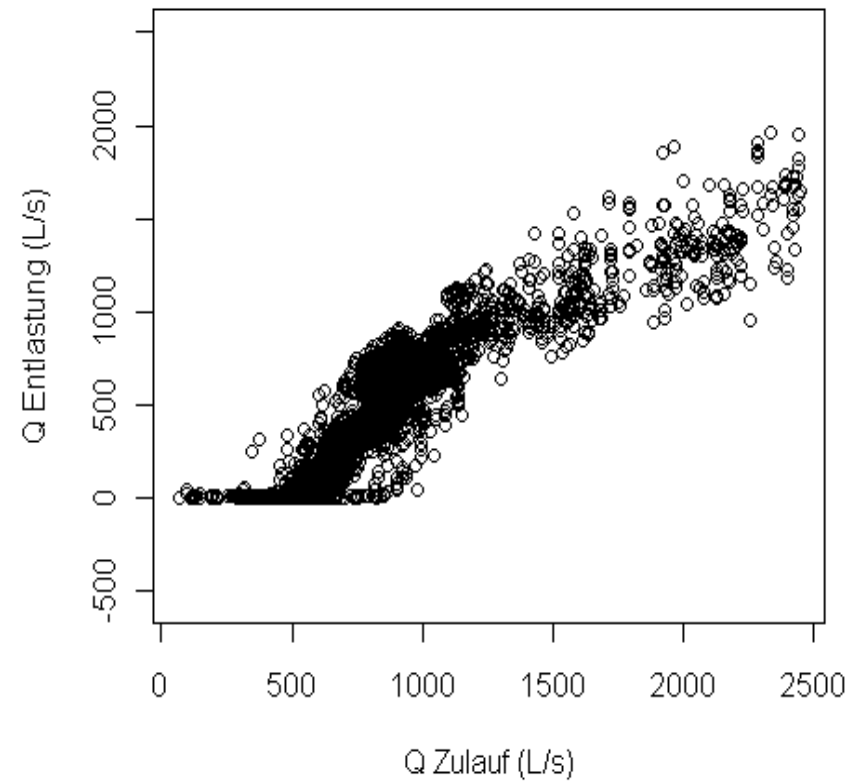
Beispiel

Halbautomatisierte Datenvalidierung

Q Entlastung zu Q Zulauf (Rohdaten)



Q Entlastung zu Q Zulauf (A-klassifiziert)



Modellierung

**Abbildung des Systems in
einem Modell**

Nachweisführung

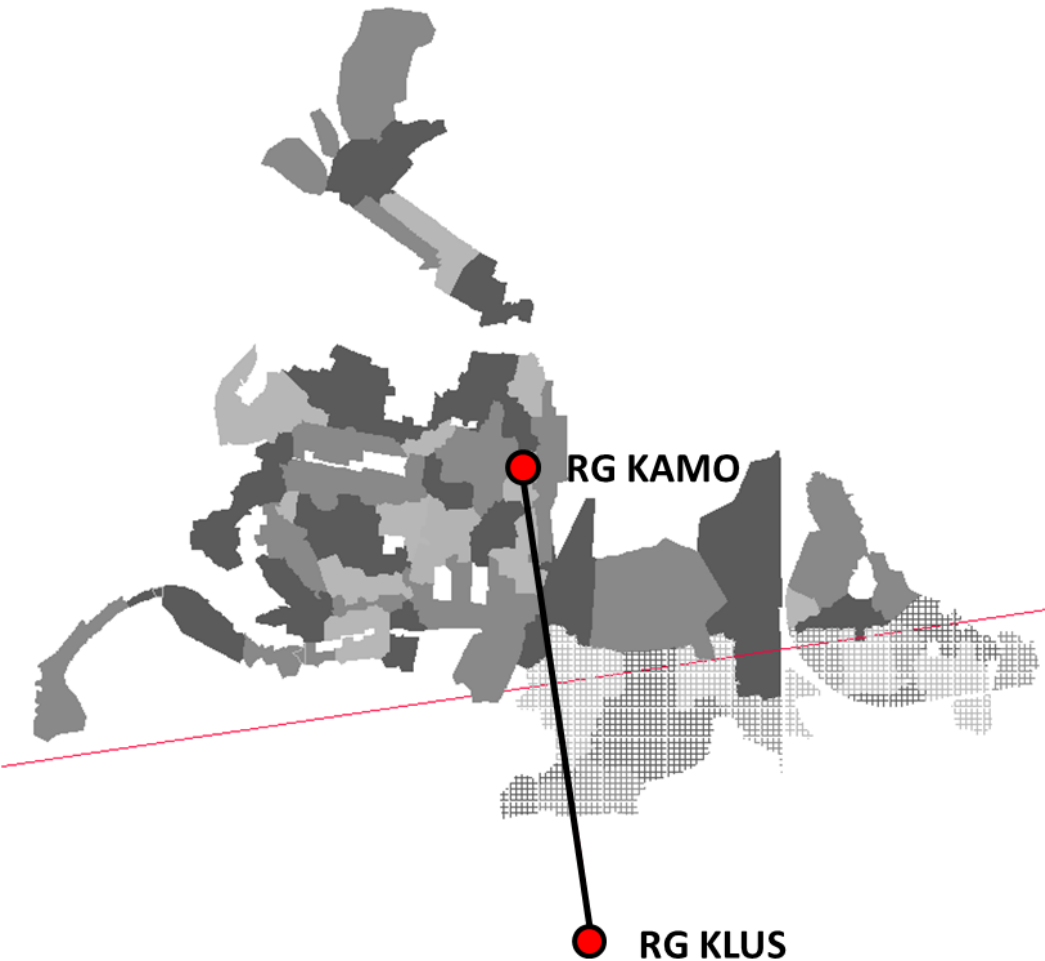
Prognose

**Beurteilung von
Änderungen im System**

Methodik - Modellierung (1/2)

- Modellerstellung in SMUSI (TU Darmstadt)
 - Hydrologisch-deterministisches Niederschlags-Abfluss und Transportmodell.
 - Schmutzfracht: 3 Komponenten Methode:
 - Tagesgang Schmutzwasserkonzentration
 - Regenwasserkonzentration von befestigten Flächen über Akkumulations- und Abtragsmodell auf Oberfläche.
 - Regenwasserkonzentration von unbefestigte Flächen und Fremdwasser unverschmutzt
- Simulation von CSB Konzentrationen

Methodik - Modellierung (2/2)



- Erstellt 2007
(Schneider, TU Darmstadt)
- Erweiterung des Einzugsgebiets 2009
(Fuchsberger, TUG)
- 57 Teileinzugsgebiete und 56 Hauptstränge
- Zuweisung von 2 Regenschreibern

Kalibrierung und Validierung (1/4)

- Globale Sensitivitätsanalyse vor Kalibrierung: Identifikation von einflussreichen Parametern
- Kalibrierung: Optimierungsalgorithmus basierend auf Evolutionären Strategien in *BlueM.OPT*
 - Automatisierte Anpassung der Parameter durch Minimierung von Zielfunktionen
 - Multikriterielle Optimierung (gleichzeitige Optimierung auf mehrere Zielfunktionen), Prinzip der Pareto-Optimalität

Kalibrierung und Validierung (2/4)

- Auswahl von Niederschlagsereignissen
 - Möglichst breites Spektrum an Ereignissen
 - Vollständige Daten zu Niederschlag, Abfluss und Güte vorhanden
 - Ereignisse mit starker räumlich-zeitlicher Niederschlagsverteilung nicht berücksichtigt
- Je 5 Ereignisse für Kalibrierung und Validierung
 - Vorgabe ÖWAV Regelblatt 19:
3 Ereignisse für Kalibrierung

Kalibrierung und Validierung (2/4)

- 3 Zielfunktionen für 5 Ereignisse
 - Vergleich von gemessenen und simulierten Werten
 - Nash-Sutcliffe Koeffizient E ($-\infty$ bis 1)
 - Prozentfehler $PBIAS$
 - Prozentuelle Abweichung Spitzenwert $PDIFF$
- Multikriterielle Optimierung auf mehrere Ereignisse

Kalibrierung und Validierung (3/4)

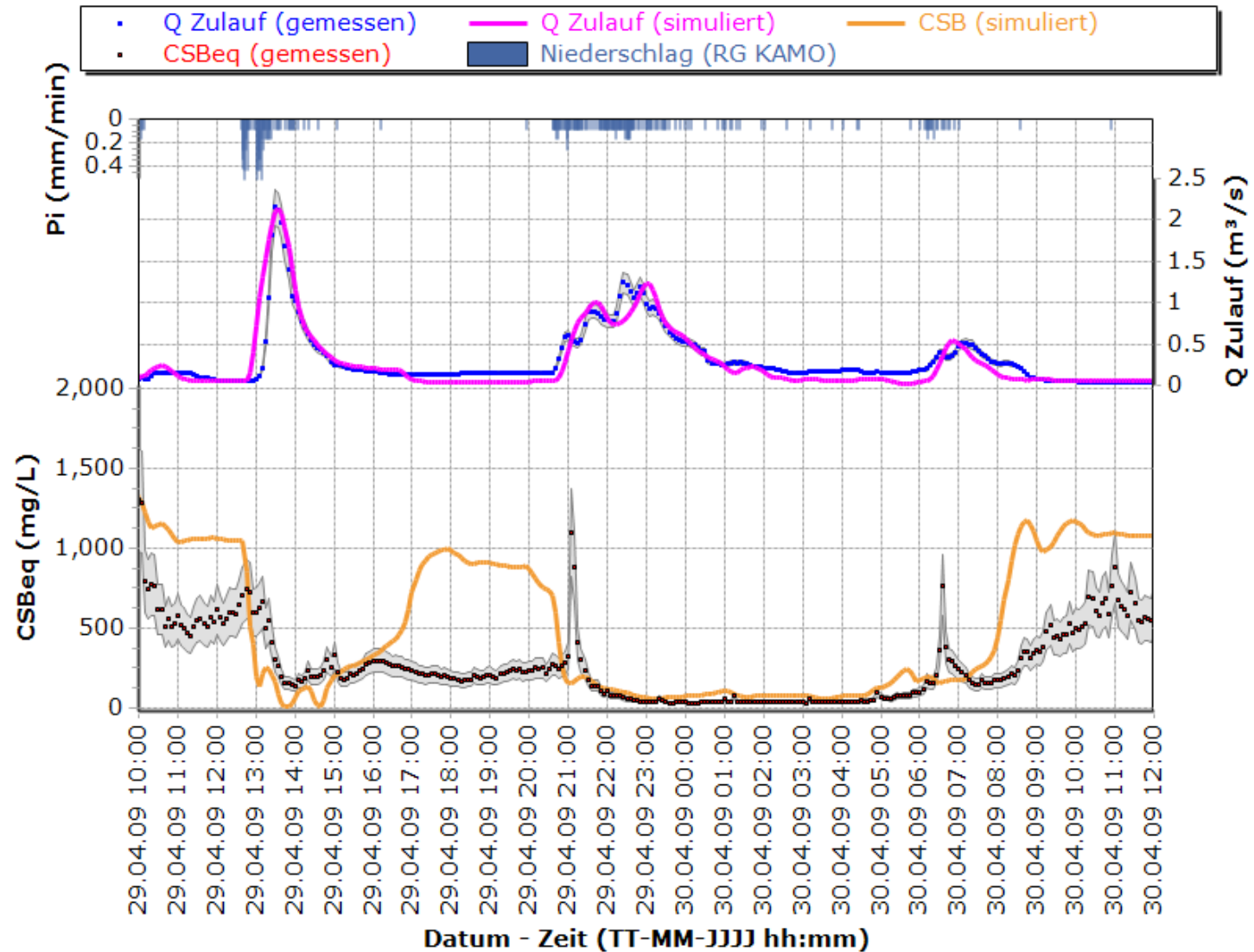
- Kalibrierung zuerst auf Hydraulik, dann Schmutzstoffkonzentrationen
- Hydraulisches Modell:
 - 2.500 Durchläufe
 - 50 Pareto-optimale Lösungen
 - Wahl einer Kompromisslösung (WapUG 2002):
 - Nash-Sutcliffe Koeffizienten $> 0,6$
 - Abweichungen Spitzenabfluss (*PDIFF*) -15 bis +25 %
 - Volumsfehler (*PBIAS*) -10 bis +20 %
 - 2 Lösungen die Anforderungen erfüllen.

Kalibrierung und Validierung (4/4)

- Schmutzfrachtmodell:
 - 2.500 Durchläufe
 - deutlich höhere Fehler und schlechtere E Werte als für die hydraulische Kalibrierung:
 - Prozentabweichungen 30 bis 80 %
 - E Koeffizienten von -15 bis 0,7
 - Abweichung Spitzenwert nicht sinnvoll

Ergebnisse Kalibrierung (1/8)

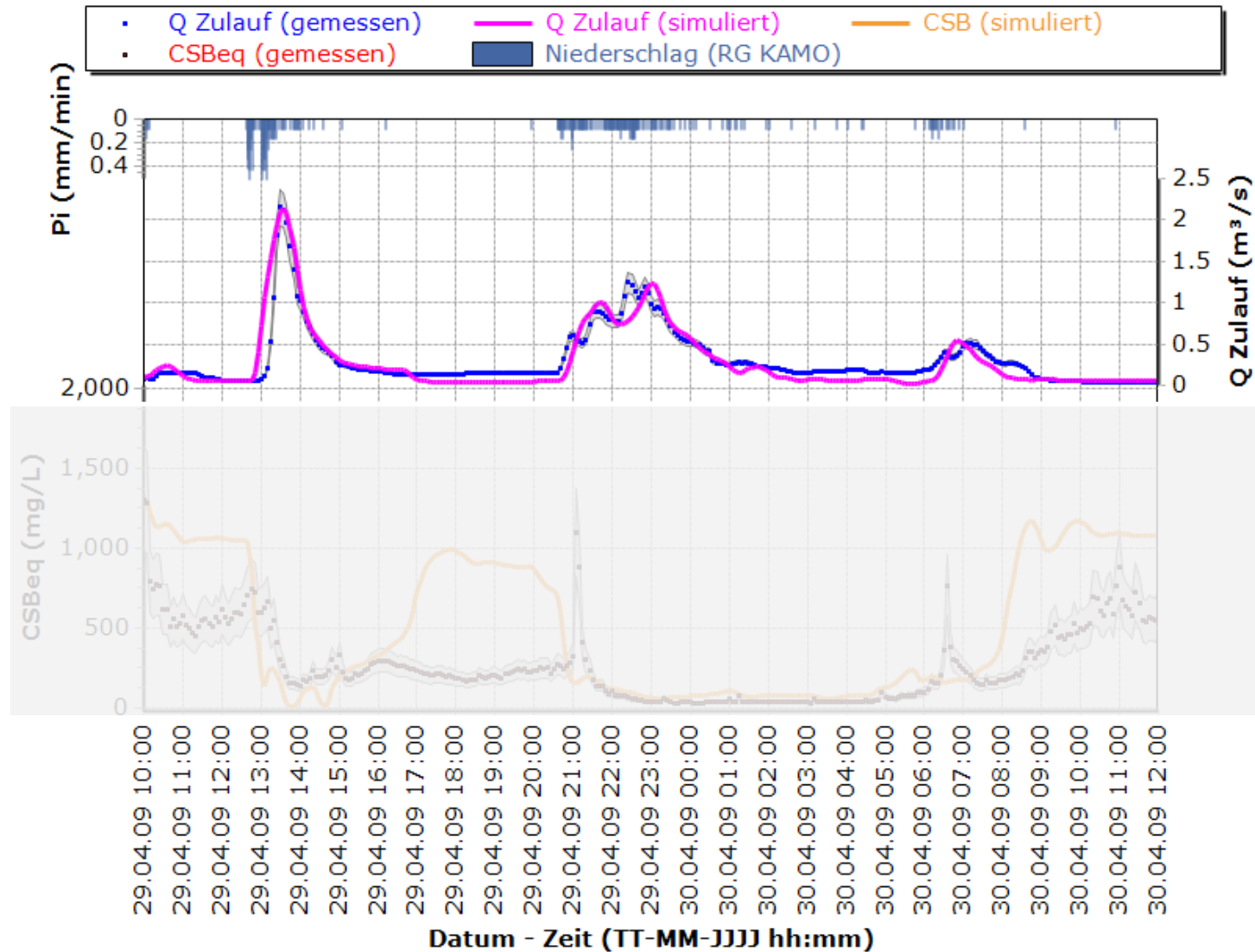
Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



2./3. Mai 2011, Graz

Ergebnisse Kalibrierung (2/8)

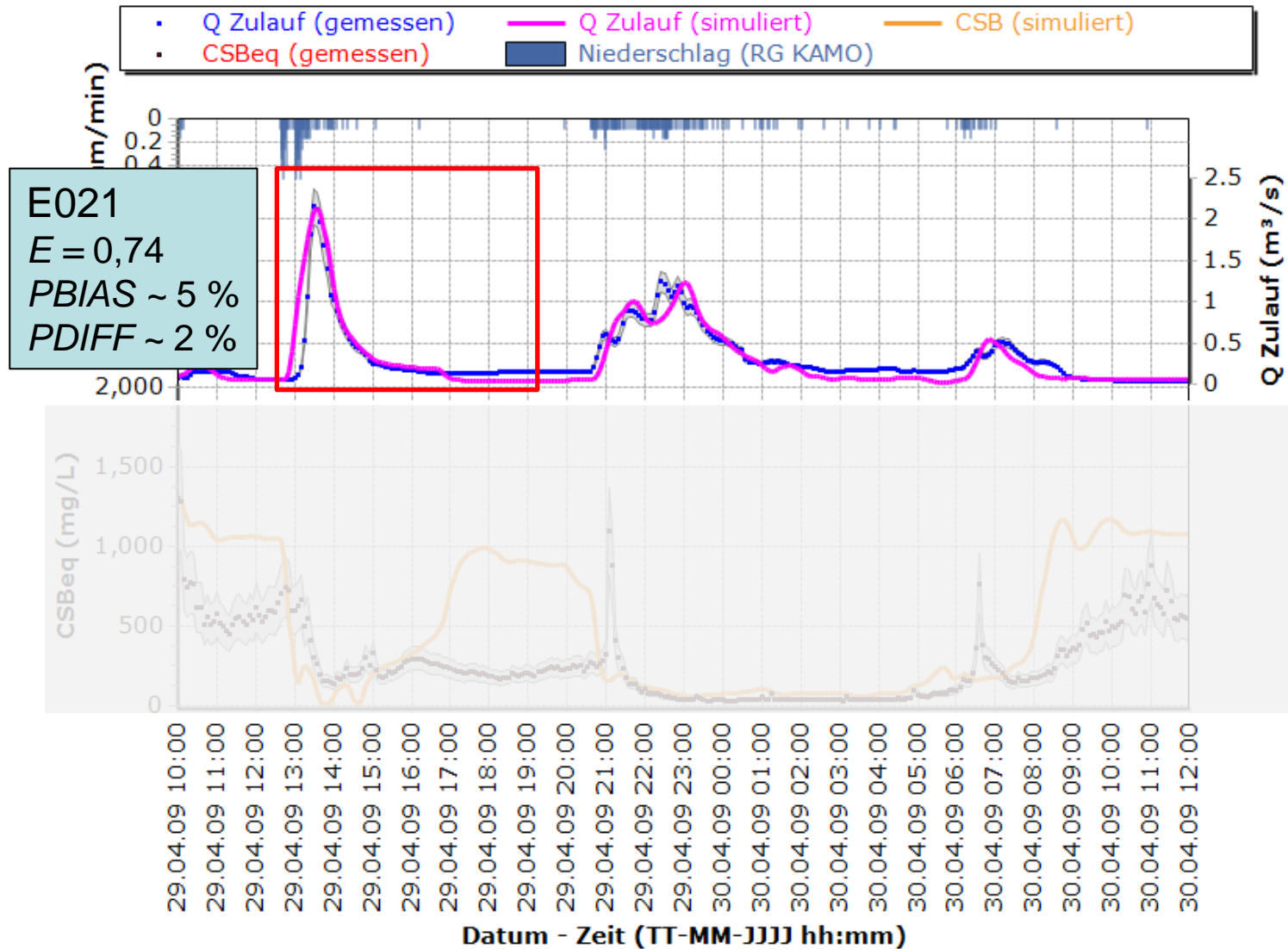
Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



2./3. Mai 2011, Graz

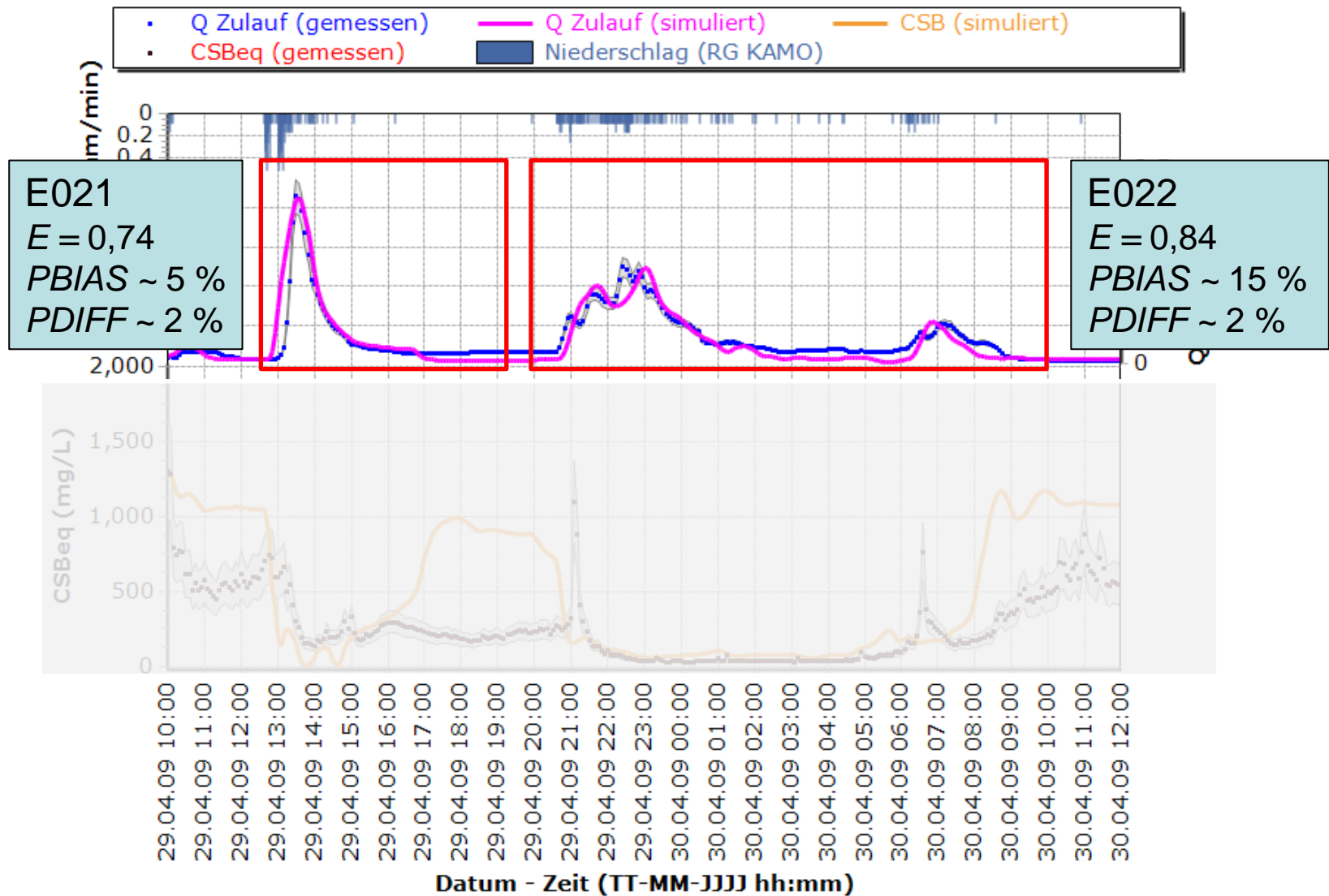
Ergebnisse Kalibrierung (3/8)

Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



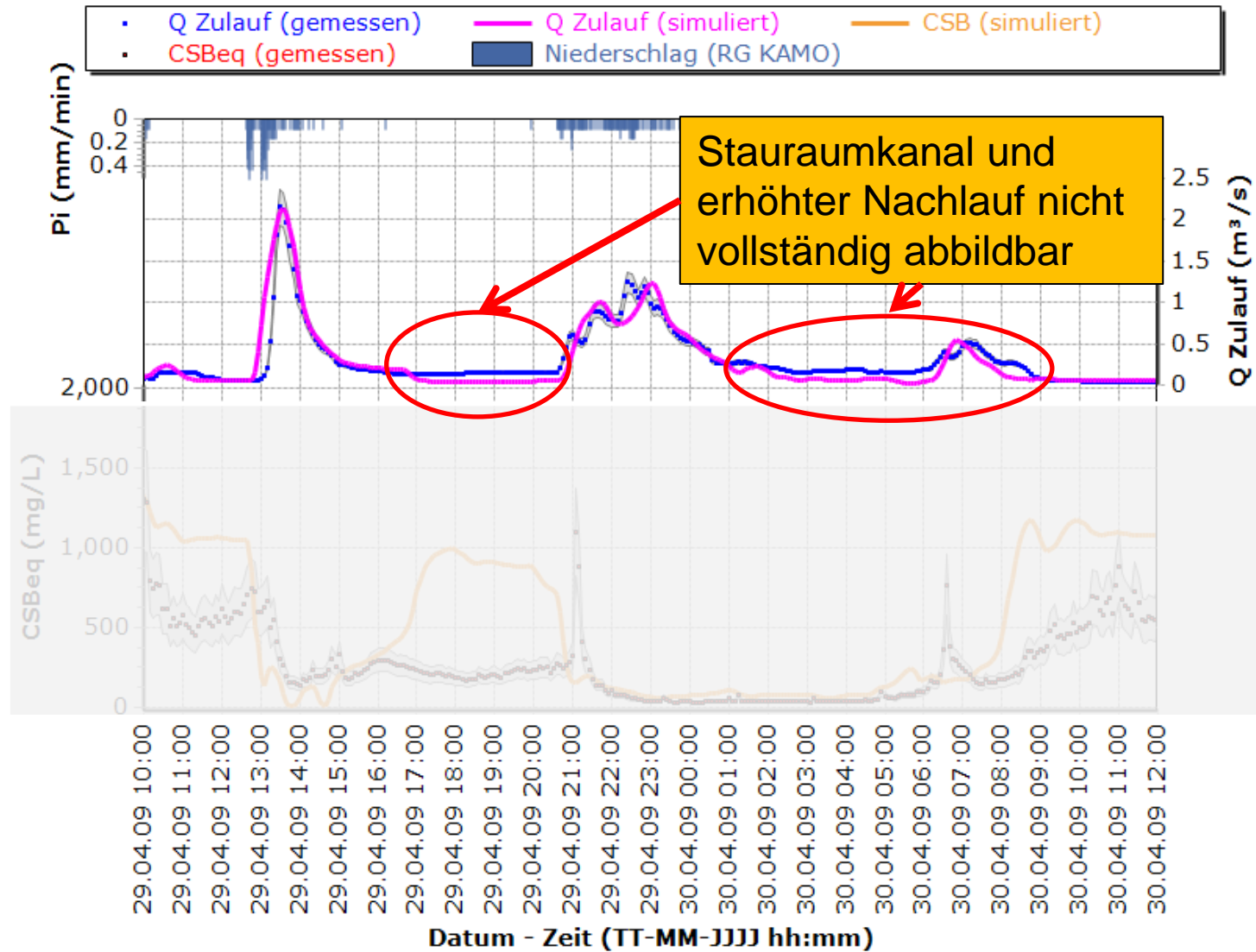
Ergebnisse Kalibrierung (4/8)

Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



Ergebnisse Kalibrierung (5/8)

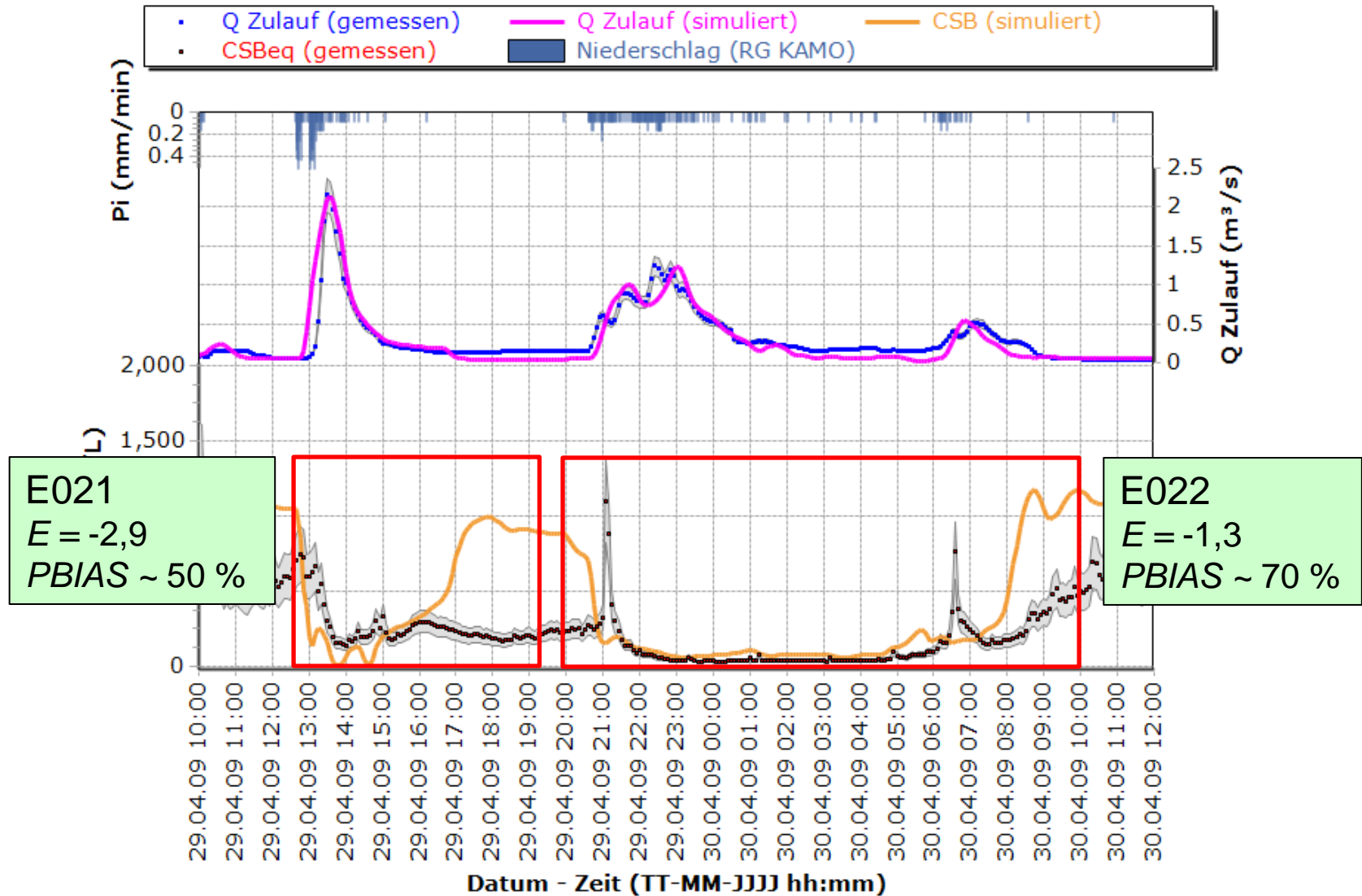
Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



2./3. Mai 2011, Graz

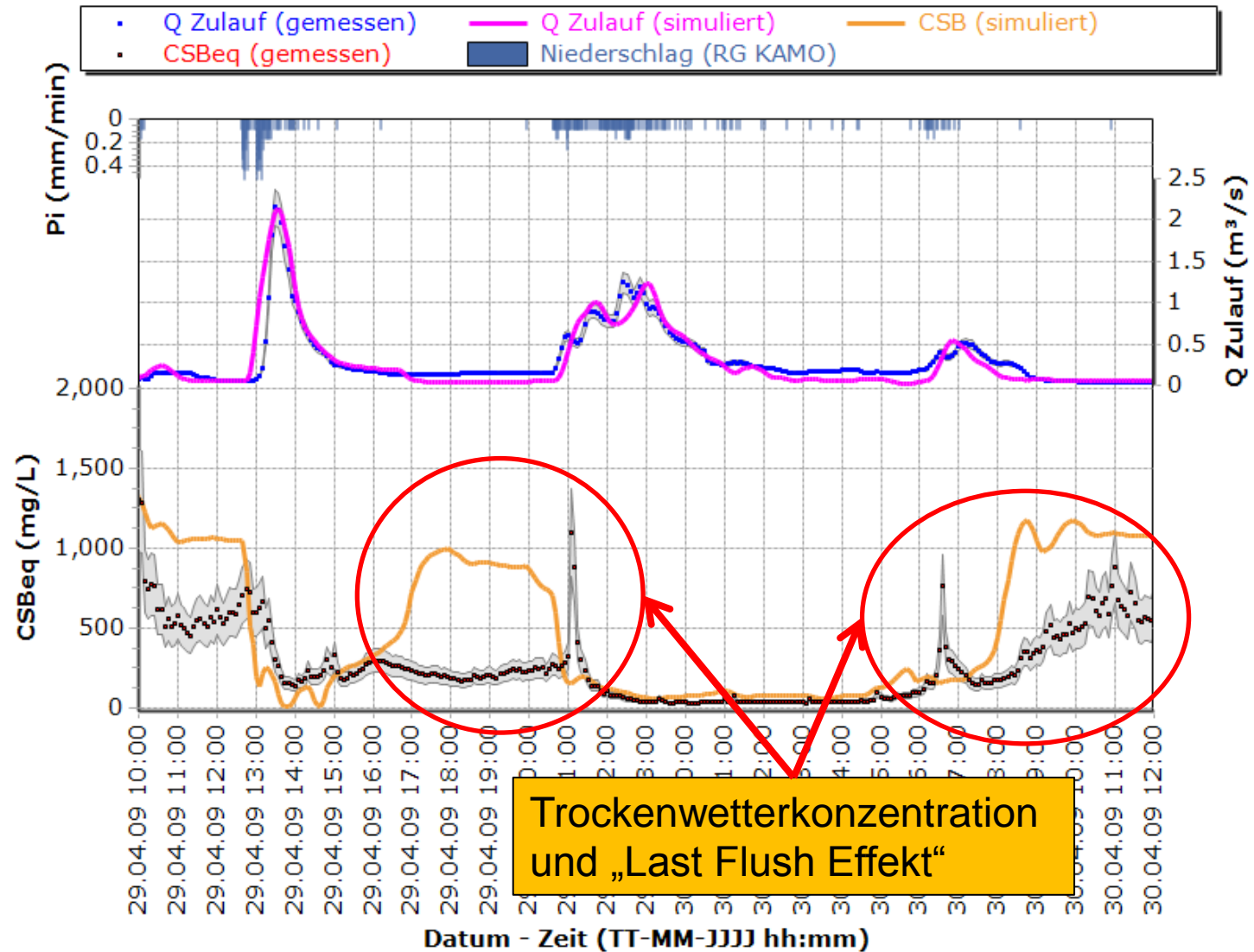
Ergebnisse Kalibrierung (6/8)

Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



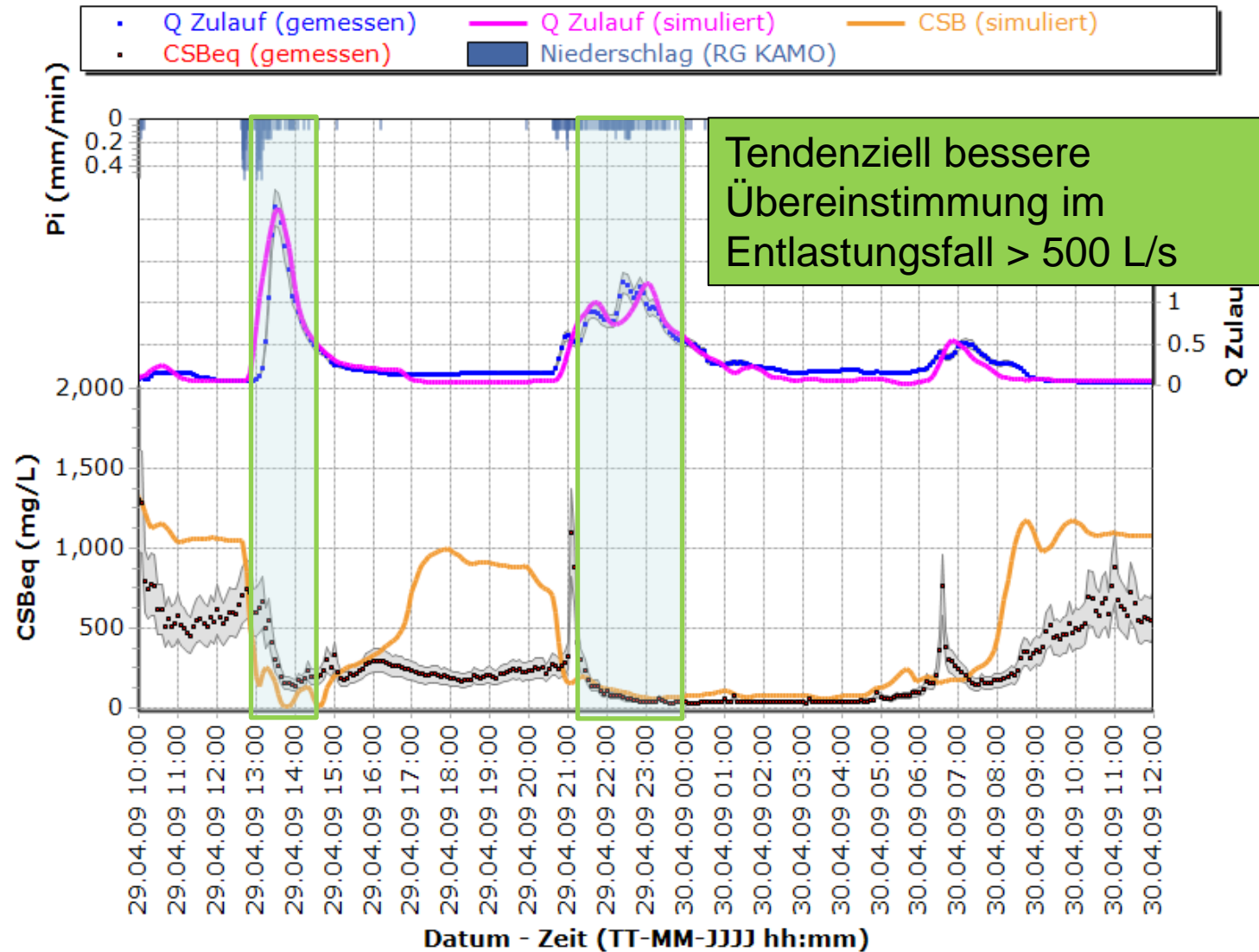
Ergebnisse Kalibrierung (7/8)

Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



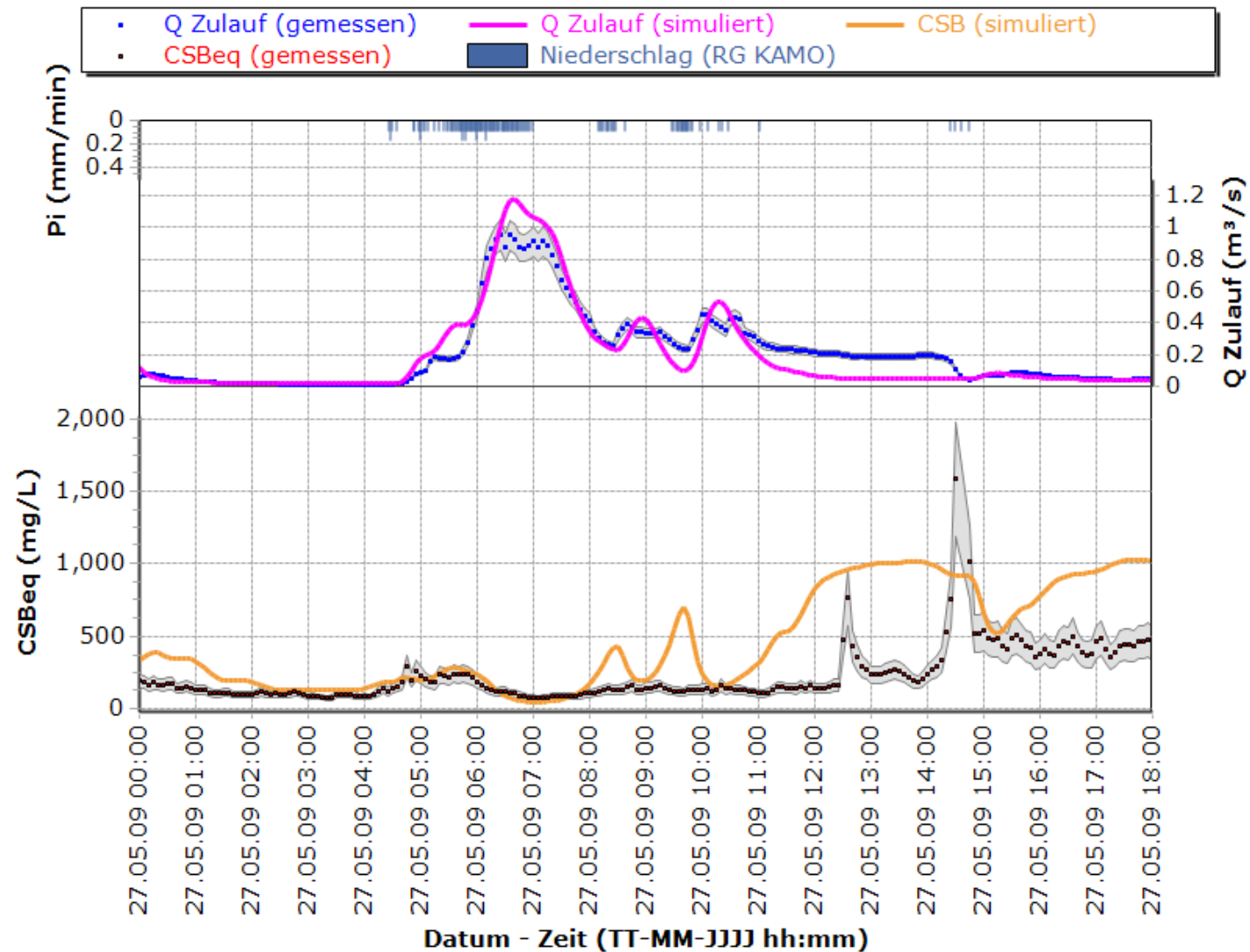
Ergebnisse Kalibrierung (8/8)

Kalibrierungsergebnis: Ereignis E021 und E022



Ergebnisse Validierung (1/4)

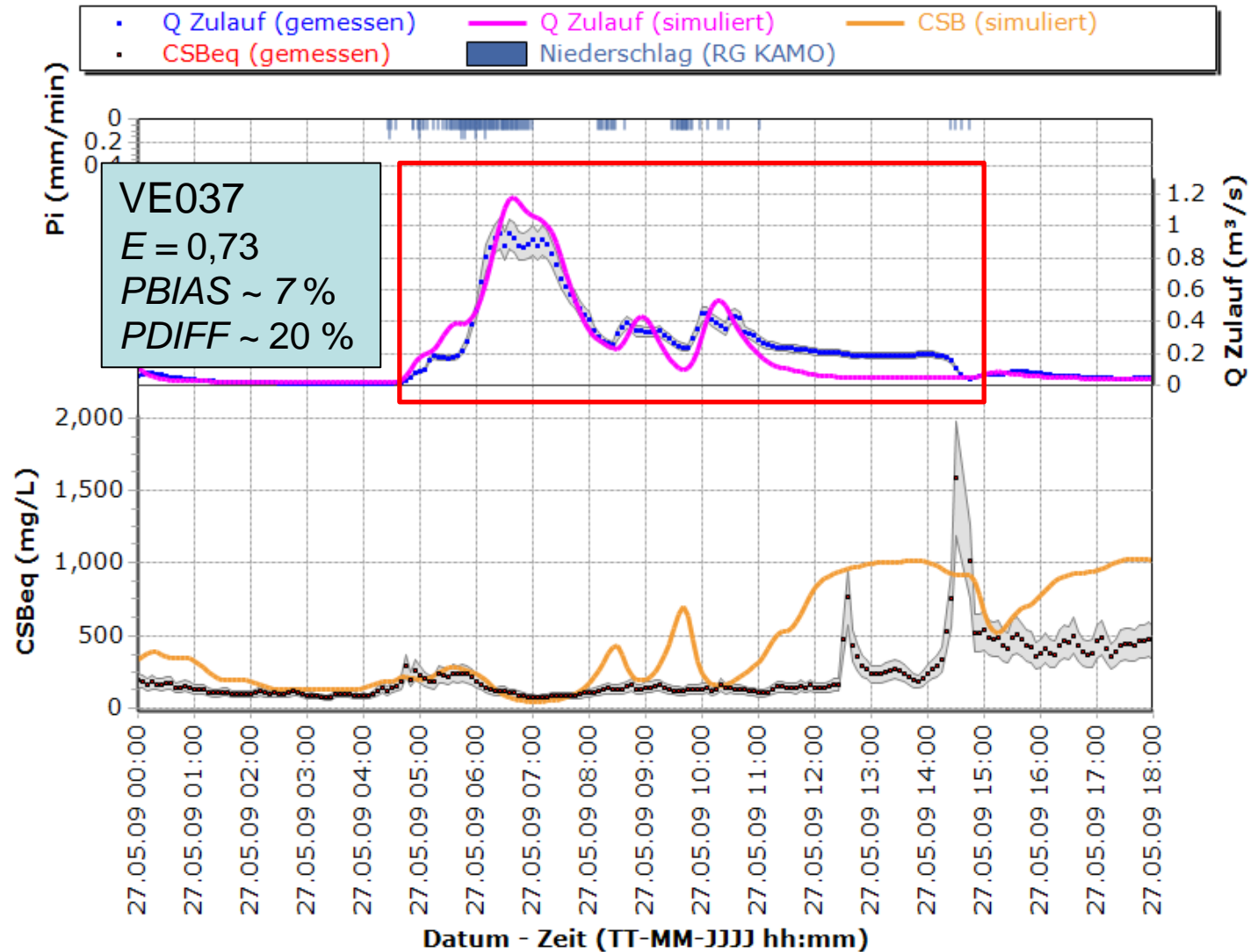
Validierungsereignis VE037



2./3. Mai 2011, Graz

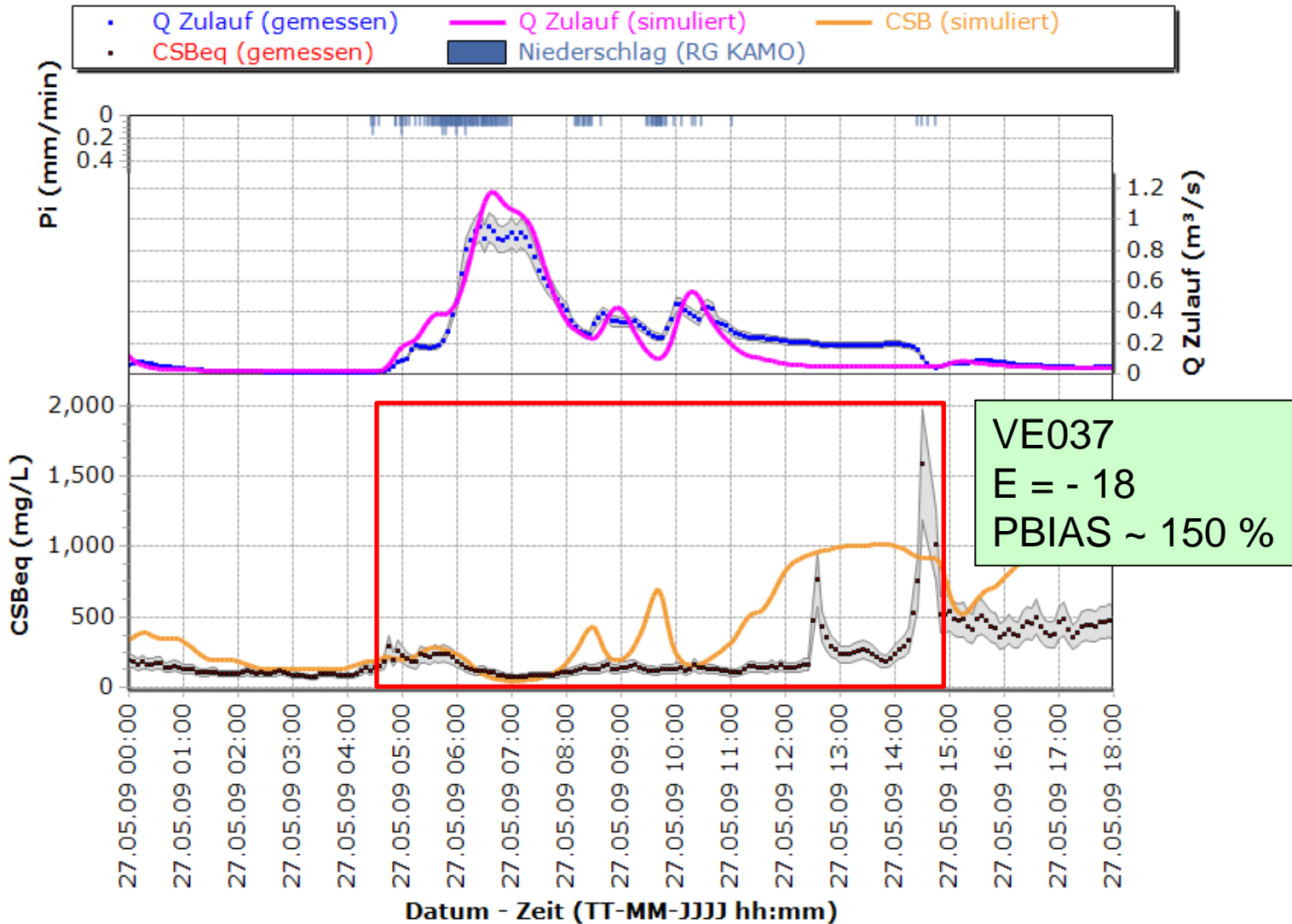
Ergebnisse Validierung (2/4)

Validierungsereignis VE037



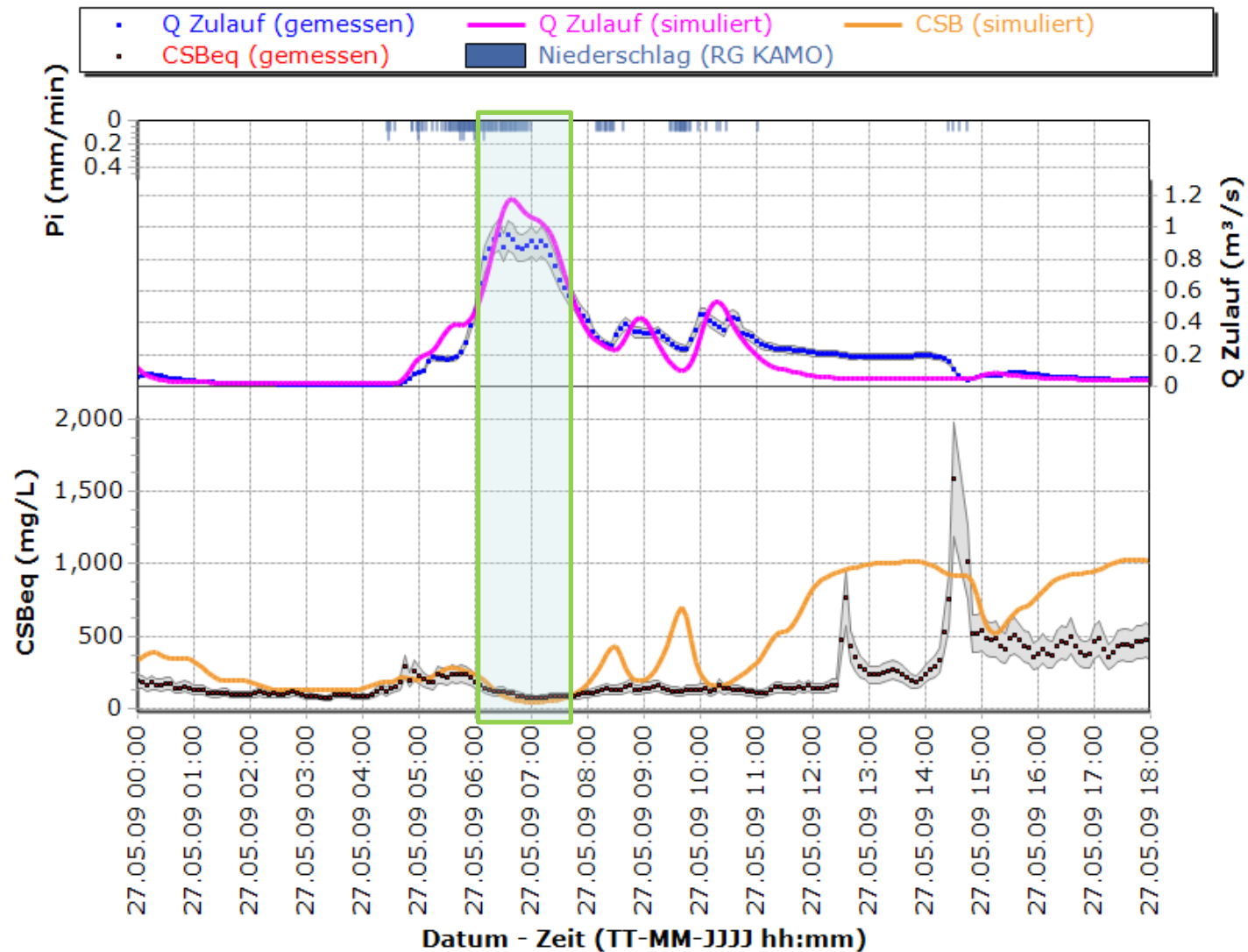
Ergebnisse Validierung (3/4)

Validierungsereignis VE037



Ergebnisse Validierung (4/4)

Validierungsereignis VE037



2./3. Mai 2011, Graz

Zusammenfassung – Datenvalidierung

- Visuelle Datenanalyse
 - Dynamik im Systemverhalten erkennen und Besonderheiten identifizieren
- Semi-automatische Datenvalidierung
 - Prüfung der Daten auf Gültigkeit auf Basis mehrerer Tests
 - Minimum-Maximum und Kreuzvalidierungs-Test vor allem für hydraulischen Variablen geeignet.
 - Die Abweichungen vom gleitenden Mittel für Schmutzstoffkonzentrationen

Zusammenfassung – Kalibrierung

- Multikriterielle Optimierung auf mehrere Ereignisse
- Hydraulisches Modell im Allgemeinen zufriedenstellen kalibriert
 - Volumenfehlern $< 20 \%$
 - Spitzenabfluss zwischen -15 und $+25 \%$
 - Nash-Sutcliffe Koeffizient $> 0,6$
 - Entleerung des Stauraumkanals und erhöhter Trockenwetterabfluss nach starken Ereignissen nicht ausreichend abgebildet.

Zusammenfassung – Kalibrierung

- Schmutzfrachtmodell
 - Durch fehlerhafte Hydraulik beeinflusst
 - Stauraumkanalentleerung generell nicht abbildbar
 - Konzentrationsganglinie während der Entlastungsabflüsse jedoch tendenziell besser getroffen.
- Umfassende Bewertung der Modellgüte erst durch hochaufgelöste Messungen möglich
 - Erfassung der vollständigen Dynamik
 - Grundlage zur sinnvollen Auswertung von unterschiedlichsten Zielfunktionen

Zusammenfassung – Ausblick

- Erhebung der Ursachen für
 - erhöhten Abfluss nach Ereignissen und
 - langer Entleerzeiten des Stauraumkanals
- Anpassung des Modells und Kalibrierung
- Unsicherheitsanalyse
- **Einsatz der Methoden auch in Praxis**
 - EU-FP7 Projekt „SUDPLAN“
(www.sudplan.eu) Einzugsgebiet der Stadt Linz in SWMM, Regelblatt 19