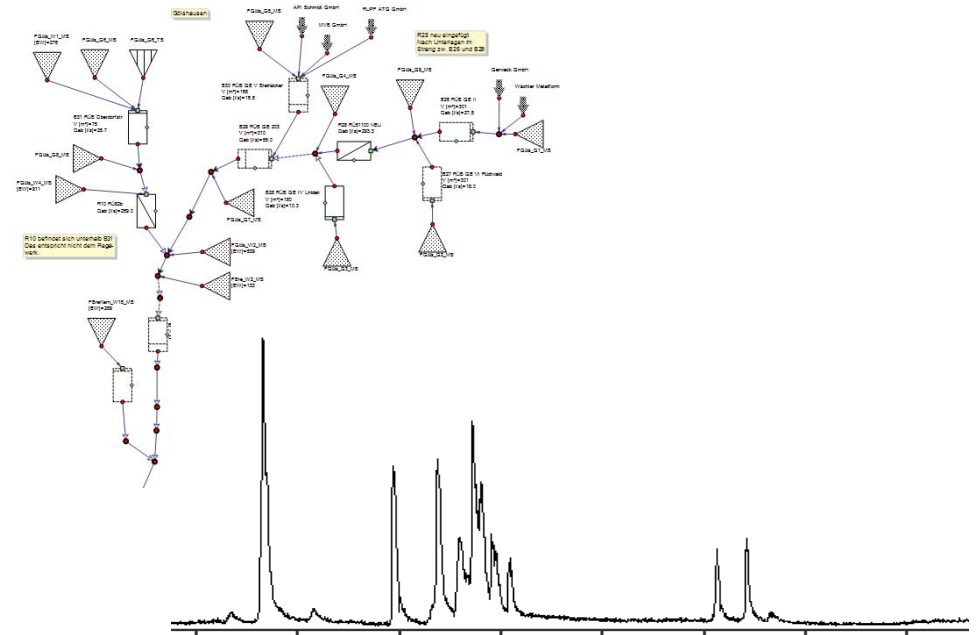
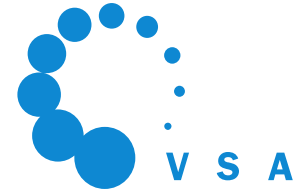




Einflüsse auf die Kalibrierbarkeit urbanhydrologischer Modelle

Glattfelden, 15.11.2022, Karim Sedki,
J. Neumann, Ch. Klippstein, U. Dittmer

Sedki et al. 2022. Einflüsse auf die Kalibrierbarkeit urbanhydrologischer Modelle



Inhalt

- I Veranlassung und Ziele**
- II Unsicherheitseinflüsse und Modellkalibrierung
- III Projektgebiet und N-A-Modell
- IV Ergebnisse und Diskussion
- V Schlussfolgerungen und Ausblick

Veranlassung

Messungen im Kanalnetz (Deletic et al. 2012, Schmitt et al. 2008)

- Wiedergabe des tatsächlichen Systemverhaltens
- Verwendung unerlässlich zur Modellkalibrierung
- Voraussetzung zur Betriebsüberwachung und -anpassung

(European Union, Brussels, 26.10.2022 COM(2022) 541 final 2022/0345 (COD) Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning urban wastewater treatment. URL: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en)

Modelle zur Vorhersage des Verhaltens und der Bewertung von Entwässerungssystemen in der Urbanhydrologie

- Häufig nicht oder unzureichend kalibriert (Tscheikner-Gratl et al. 2016)
- Eine Kompromisslösung für verlässliche Simulationsergebnisse in der Praxis nötig

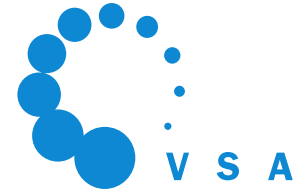
Untersuchungsziele

Wie ist die Kalibrierbarkeit urbanhydrologischer Modelle begrenzt?

- Vergleich verschiedener Methoden zur Flächenerhebung
- Variation der räumlichen Modellauflösung
- Test unterschiedlicher Ansätze zur Modellkalibrierung

Was beschränkt die Übertragbarkeit kalibrierter Modellparameter?

- Übertragbarkeit auf andere Gebiete (räumlich)
- Übertragbarkeit auf andere Ereignisse (zeitlich)
- Untersuchung von drei benachbarten Einzugsgebieten



Inhalt

- I Veranlassung und Ziele
- II Unsicherheitseinflüsse und Modellkalibrierung**
- III Projektgebiet und N-A-Modell
- IV Ergebnisse und Diskussion
- V Schlussfolgerungen und Ausblick

Konzept zur N-A-Kalibrierung

Natürlicher Prozess → Messung

Messdaten und Metadaten → Modellaufbau

Anwendung

↳ Auswertung

Kalibrierung

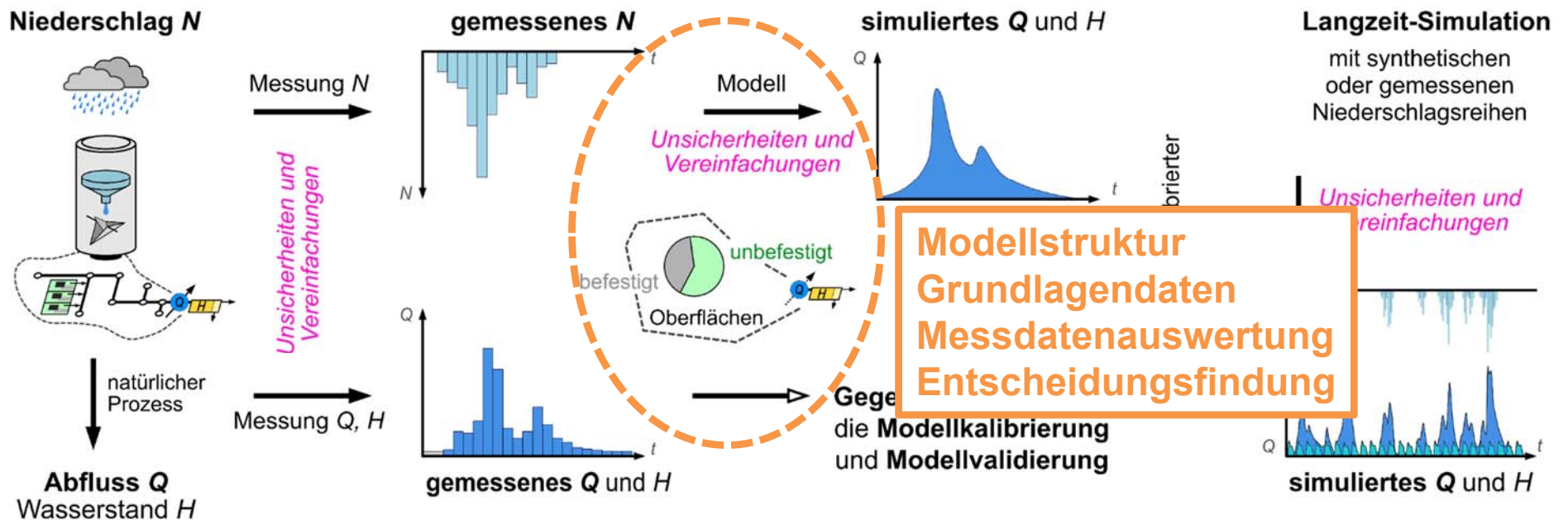


Abbildung: Schematische Darstellung der Datenerfassung und -verarbeitung zur Modellierung des Niederschlag-Abfluss-Prozess mit Angriffspunkten von Unsicherheitseinflüssen (eigene Darstellung nach Kleidorfer, 2009)

Messdatenauswertung

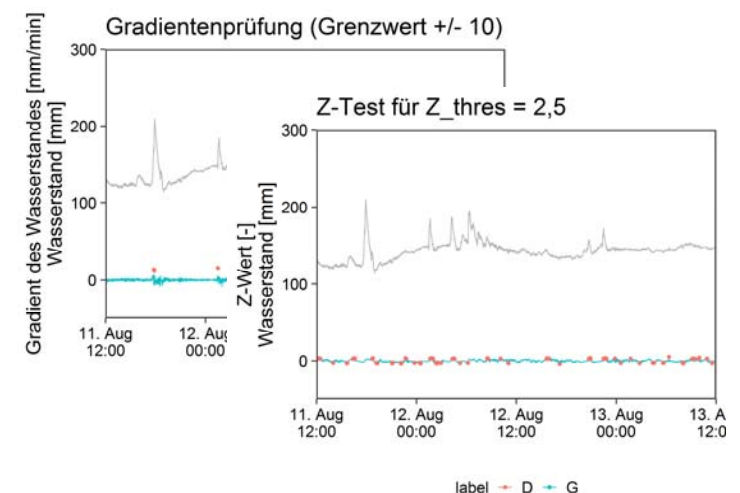
Ziel: Messdaten als Referenz für Modellkalibrierung

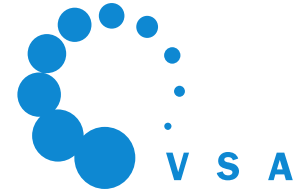
- Abbild des untersuchten (realen) Systems
- Ausschluss grober Fehler
- Bewertung der Plausibilität und Unsicherheit

Datenvalidierung im Projekt: (nach DWA-M 181, Bertrand-Krajewski et al. 2021)

- Plausibilitätsprüfungen
 - Trendanalyse für Höhenstandsmessdaten (Druck)
 - Redundante Höhenstandsmessungen
- Korrektur der Höhenstände
- Abfluss-Neu-Berechnung mit Gauckler-Manning-Strickler

Einzelwert-Plausibilisierung





Inhalt

- I Veranlassung und Ziele
- II Unsicherheitseinflüsse und Modellkalibrierung
- III Projektgebiet und N-A-Modell**
- IV Ergebnisse und Diskussion
- V Schlussfolgerungen und Ausblick

Projektgebiet und Messdaten

Drei Gebiete (M62, M65 und M67)

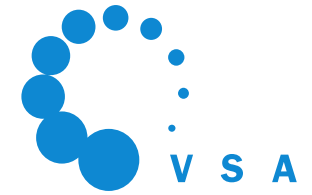
- Mischsystem
- Ländlich geprägte Struktur
- Aufgelockerte Bebauung
- Geringer Gewerbeanteil, keine Industrie

Messkampagne über 6 Monate

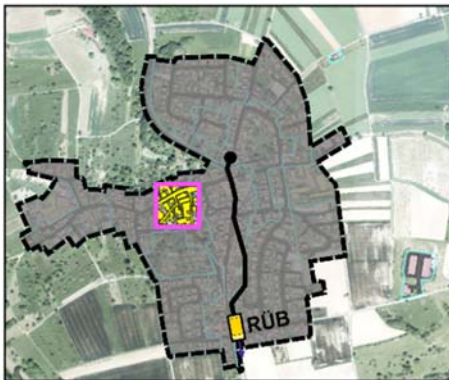
- Höhenstand, Fließgeschwindigkeit in Zulaufrohr RÜB
→ Durchfluss vor RÜB (Teilgebietsende)
- Lokaler Niederschlag (redundant)
- Kalibrierkurven Niederschlagsschreiber

Grundlagendaten und Modellstruktur

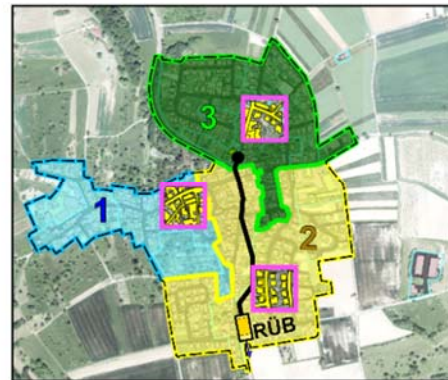
Ermittlung der befestigten Flächen $A_{E,k,b}$



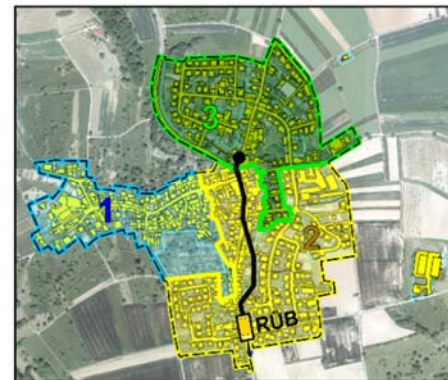
a: Referenzquadrat für gesamtes Einzugsgebiet



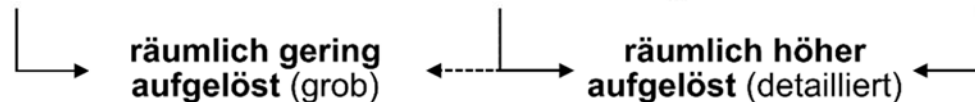
b: Referenzquadrat(e) für Teil-Einzugsgebiete



c: Einzelflächenerhebung für Teil-Einzugsgebiete



Abstraktion der realen Strukturen zur Abbildung im Simulationsmodell



- Dachflächen
- Nebenflächen
- Straßenflächen
- Referenzquadrat

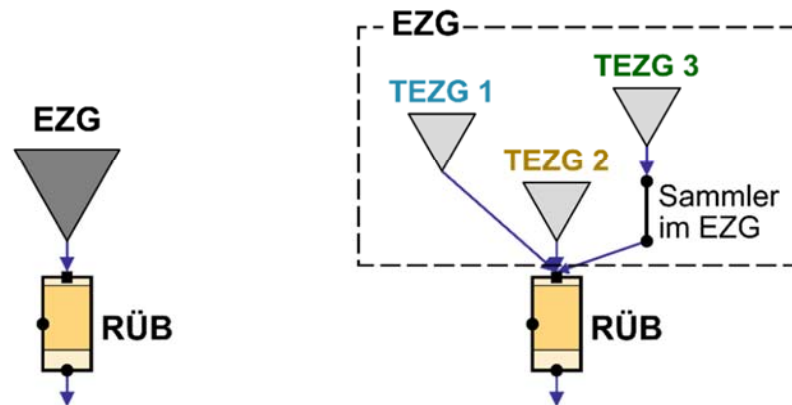


Abbildung: Schematischer Überblick über die Methoden zur Flächenerfassung aus Luftbildern und abgeleitete räumliche Modellstrukturen für urbanhydrologische Modellierungen (Sedki et al. 2022)

Beispiel: Flächenerhebung mit ALKIS & DOP

- Systematische Unterschätzung der Dachflächen (Überstände)
- Alle nicht genehmigungspflichtigen Gebäude und Nebenflächen fehlen
- Systematische Überschätzung befestigter Straßenflächen (Flurstück vollständig befestigt)

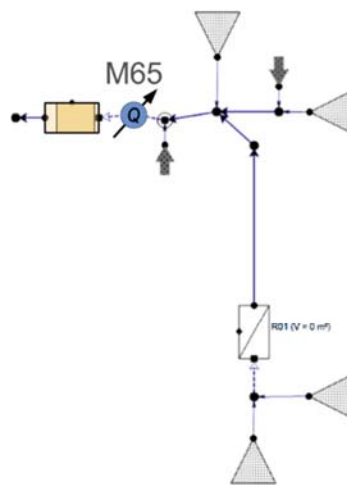
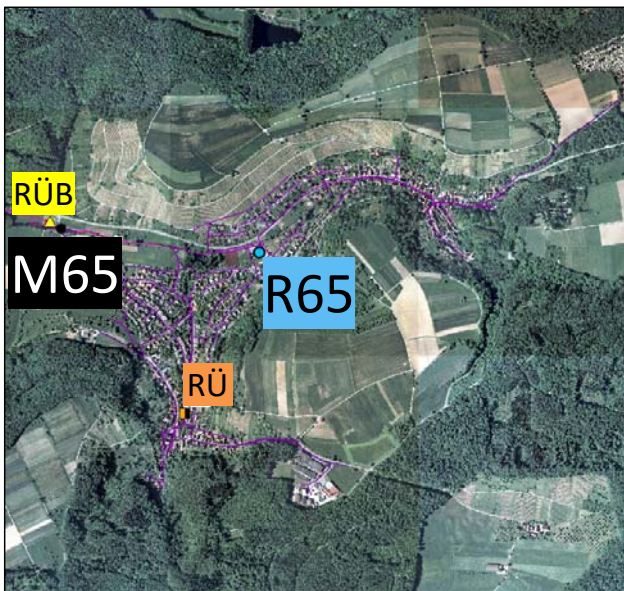
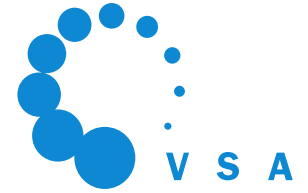
→ ALKIS als alleinige Datenquelle nicht ausreichend!

(ALKIS: Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem)

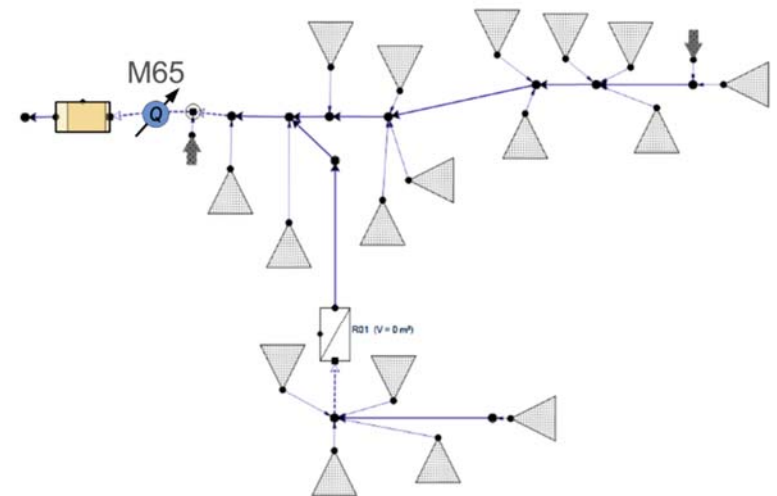


Abbildung: Manuell aus digitalem Orthophoto (DOP) erfasste Gebäudeumrisse, Orthophoto und ALKIS-Flächen (gelbe Umrisse)

Beispiel: Modellstrukturen für M65



geringe räumliche Auflösung
aus Referenzquadrat (a): 36,2 ha_{bef}
aus N-A-Bilanz: 29,2 ha_{bef}



höhere räumliche Auflösung
aus Referenzquadraten (b): 33,3 ha_{bef}
aus Einzelflächen (c): 29,7 ha_{bef}

Abbildung: Orthophoto und Modellstrukturen für das Gebiet zur Messstelle M65 mit niedriger und höherer räumlicher Auflösung

N-A-Modell

Hydrologisches Simulationsmodell KOSIM (itwh 2020)

Parameter zur Abflussbildung und -konzentration:

- Speicheranzahl und -konstante multipliziert zu TS [min]
- Benetzungsverluste V_{ben} [mm]
- Muldenverluste V_{muld} [mm]
- Anfangsabflussbeiwert $PsiA$ [-]
- Endabflussbeiwert $PsiE$

} Anfangsverluste

} Dauerverluste

Ergebnis der Sensitivitätsanalyse:
 $PsiE$ ist sensitivster Parameter

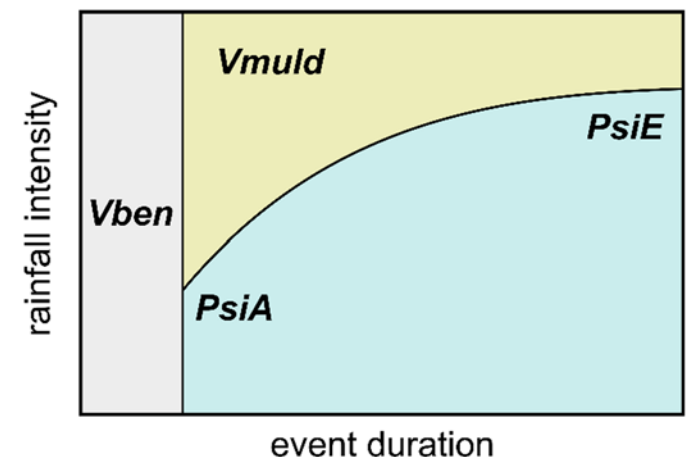
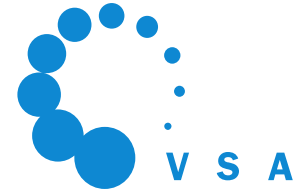


Abbildung: Abstrahiertes Schema der Abflussbildung und -konzentration mit Parametern in KOSIM (eigene Darstellung nach itwh 2012)



Inhalt

- I Veranlassung und Ziele
- II Unsicherheitseinflüsse und Modellkalibrierung
- III Projektgebiet und N-A-Modell
- IV Ergebnisse und Diskussion**
- V Schlussfolgerungen und Ausblick

Ereignisauswahl

Ziel: valide Ereignisse für

- Kalibrierung
- Validierung
- Systemoptimierung
(Handlungsempfehlungen)

Kalibrierung mit Einzelereignissen

- Grundsatz: Je mehr Ereignisse, desto sicherer ist das Kalibrier- oder Validierungsergebnis
(Sun & Bertrand-Krajewski 2012)
- ABER: vollständige Übereinstimmung mit einem Parameterset nicht erreichbar!

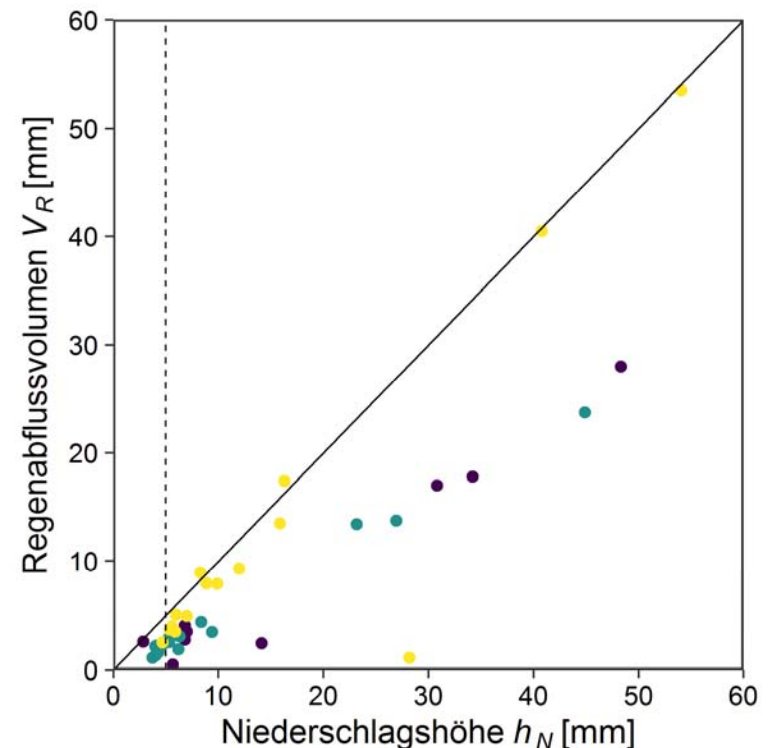


Abbildung: Bilanziertes
Regenabflussvolumen über der
Niederschlagshöhe je abgegrenztem
Einzelereignis

Kalibrierereignisse

Messdatenauswertung

- Aufteilung des Mischwasserabflusses
- Ereignisauswahl anhand Niederschlag (R-Package IETD, Duque 2020)
- Auswahl 5 geeigneter Kalibrierereignisse mit Kriterien von Schmitt et al. (2008)

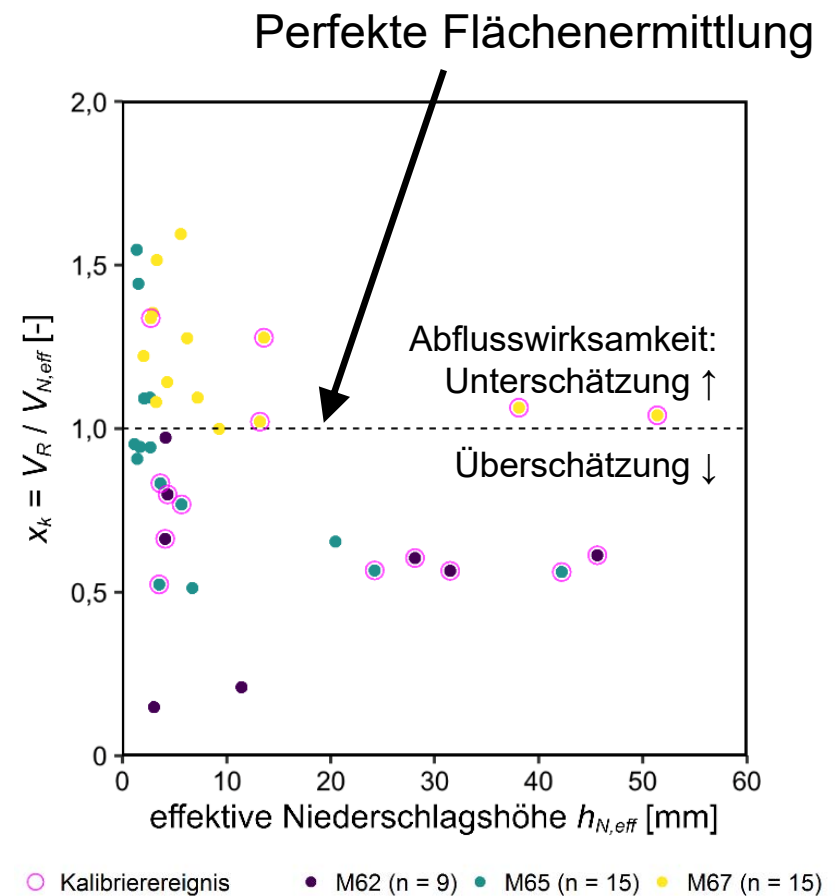


Abbildung: x_k -Wert (Quotient aus Regenabfluss- und effektivem Niederschlagsvolumen) über effektiver Niederschlagshöhe und Markierung der ausgewählten Kalibrierereignisse

Kalibriervarianten

Manuelle und automatische Kalibrierung (AMALGAM) getestet

- Kalibrierung mit Einzelereignissen
- Kalibrierung für Mischwasserabfluss bei Regenwetter
- Fokus auf Auto-Kalibrierung und Variationen:

(g) Alle Ereignisse gemeinsam

- Abweichungsmaße für jeden Abschnitt berechnet und für jede Simulation kombiniert
- 1 Kompromisslösung

(e) Ereignisse einzeln

- Berechnung von Abweichungsmaßen für jeden Abschnitt in jeder Simulation
- 5 Kompromisslösungen

→ Kompromisslösung = L_p -Metrik (Henrichs 2015)

Ergebnis Kalibriervarianten (Auto-Kalibrierung)

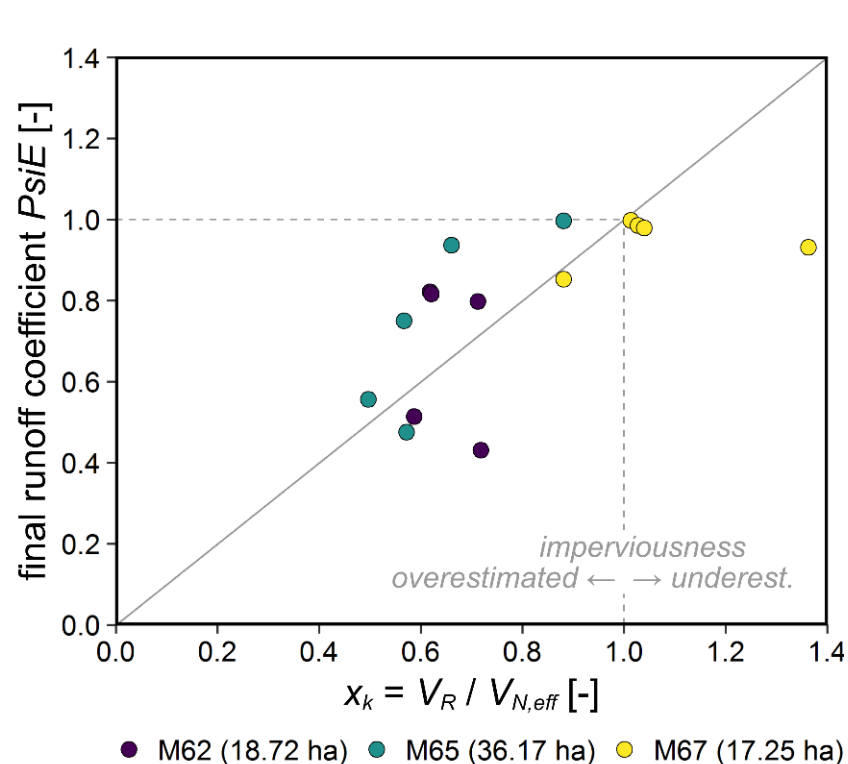


Abbildung: Validierung der Hypothese $x_k \approx \Psi_{iE}$ (Ψ_{iE} -Werte aus Kompromisslösungen in der Auto-Kalibrierungs-Variante (e) über x_k -Werte aus der Niederschlag-Abfluss-Bilanzierung für Einzelereignisse, die zur Kalibrierung verwendet wurden)

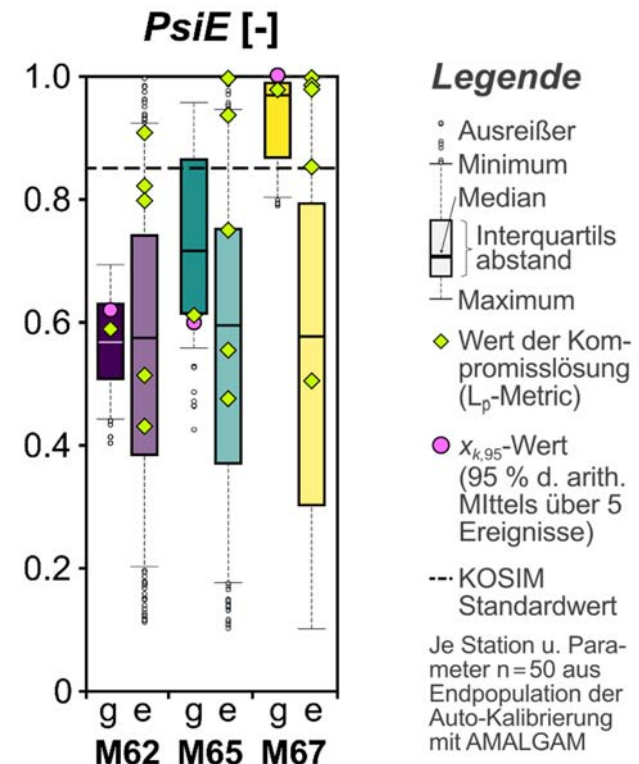
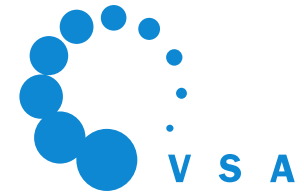


Abbildung: Übersicht über Ergebnisse der Auto-Kalibrierung mit KALIMOD und die x_k -Werte aus der Niederschlag-Abfluss-Bilanzierung (Vergleich der Kompromisslösungen aus der Autokalibrierung mit AMALGAM in KALIMOD für alle 5 Ereignisse pro Einzugsgebiet (g) „gemeinsam“ und für alle 5 Ereignisse (e) "einzeln" mit dem KOSIM-Standardwert)

Validierung

Zeitliche und Räumliche Übertragbarkeit



Validierungsereignis für M65 am 12.08.2017

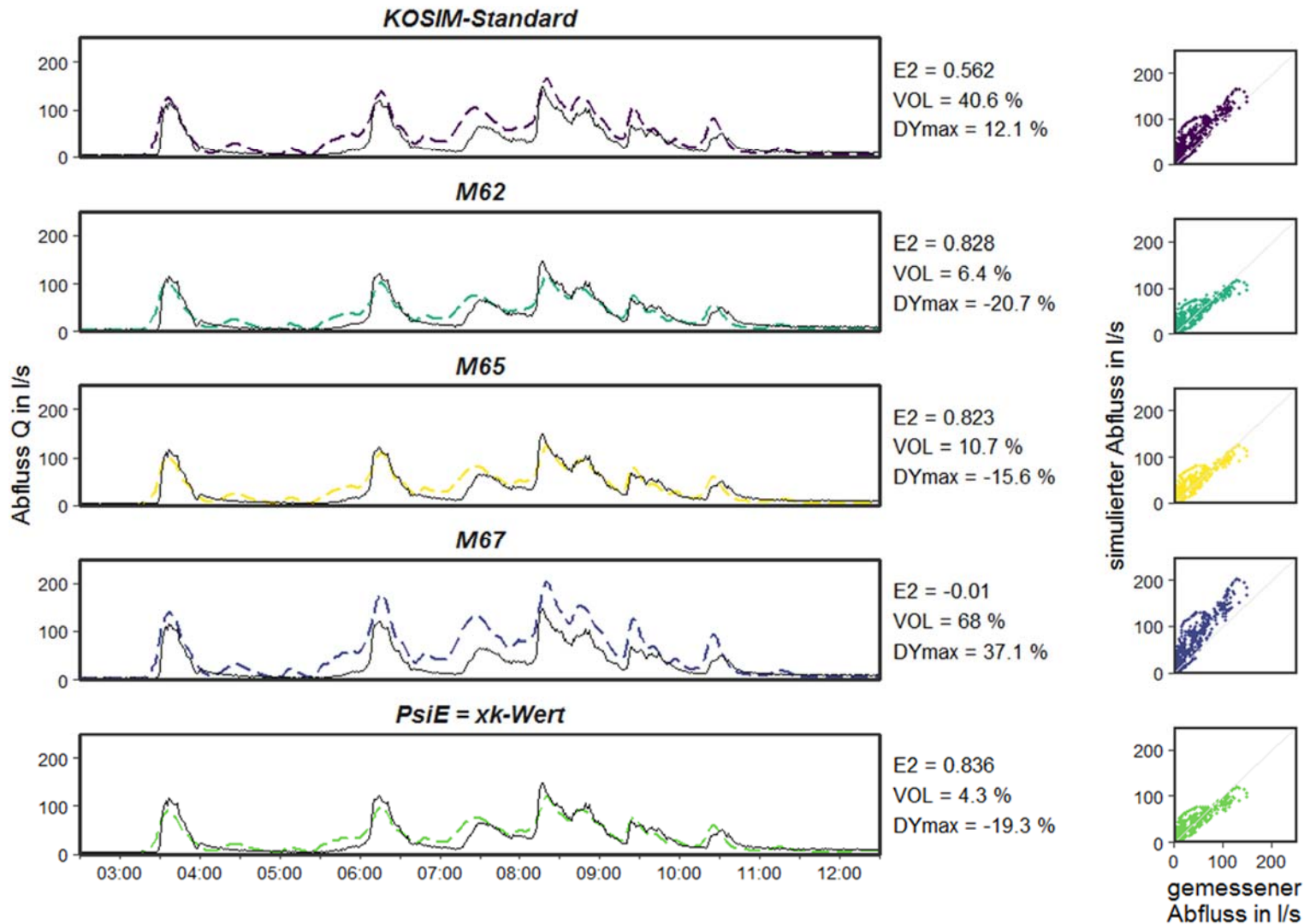
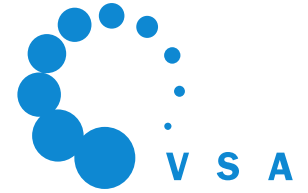


Abbildung:
Ganglinienvergleich für ein Validierungsereignis an Messstelle M65 (Prüfung der zeitlichen Übertragbarkeit mit dem Parameterset aus der Auto-Kalibrierung mit Messdaten von M65 und der räumlichen Übertragbarkeit für Parametersets von M62, M67, PsiE = xk-Wert sowie Ergebnis ohne Kalibrierung mit KOSIM-Standardparameterset)



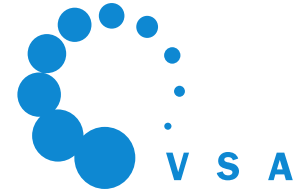
Inhalt

- I Veranlassung und Ziele
- II Unsicherheitseinflüsse und Modellkalibrierung
- III Projektgebiet und N-A-Modell
- IV Ergebnisse und Diskussion
- V Schlussfolgerungen und Ausblick**

Schlussfolgerungen

- Erfolg mit Auto-Kalibrierung hier vergleichbar mit manueller Kalibrier-Variante „xk-Wert = PsiE“
 - N-A-Bilanzierung geeignetes Werkzeug zur hydrologischen Modellierung (z. B. auch Validierung der Eingangsdaten)
- Räumliche Übertragung kalibrierter Parametersets nicht empfohlen
- Insbesondere bei Auto-Kalibrierung äquifinale Lösungen möglich
 - visuelle Prüfung (Erfahrungswerte und Expertenwissen) ergänzend sinnvoll

Ausblick



Kalibrierung für ein Parameterset unzureichend

- Ereignischarakterisierung und Vorbedingungsanalyse
- Temperaturdaten (Kanal und Oberfläche)
- Ereignistypen-Bildung und Typenabhängige Parametersets

Untersuchungen im Projekt PROBURB: A Probabilistic Machine Learning-based Framework to Improve Urban Drainage Modeling Reliability (Co-UDlabs)



Co-UDlabs
COLLABORATIVE URBAN DRAINAGE
RESEARCH LABS COMMUNITIES

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Karim Sedki, M. Sc.

Jonas Neumann, M. Sc.

Dipl.-Ing. Christian Klippstein

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Dittmer

Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern

Korrespondenz: karim.sedki@bauing.uni-kl.de



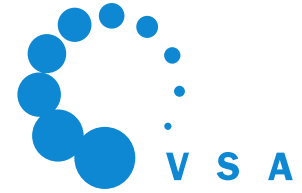
Die Autoren danken dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die Förderung der Arbeit im Rahmen des Forschungsprojekts „Nutzung der gemessenen Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken zur Erfolgskontrolle und zur verbesserten Systemplanung“.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Literatur



- Bertrand-Krajewski, J.-L., Clemens-Meyer, F. und Lepot, M. 2021 *Metrology in Urban Drainage and Stormwater Management: Plug and Pray*. IWA Publishing.
- Deletic, A., Dotto, C.B.S., McCarthy, D. T., Kleidorfer, M., Freni, G., Mannina, G., Uhl, M., Henrichs, M., Fletcher, T. D., Rauch, W., Bertrand-Krajewski, J. L. und Tait, S. 2012 Assessing uncertainties in urban drainage models. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **42-44**, 3–10.
- Di Pierro, F., Khu, S. T. und Savić, D. 2006 From single-objective to multiple-objective multiple-rainfall events automatic calibration of urban storm water runoff models using genetic algorithms. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, **54**(6-7), 57–64.
- Duque, L. F. 2020 Package 'IETD'. <https://cran.r-project.org/web/packages/IETD/IETD.pdf> (accessed 25 November 2020).
- DWA 2011 *Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V., Hennef, **DWA-M 181**, 98 pp.
- Henrichs, M. 2015 *Einfluss von Unsicherheiten auf die Kalibrierung urbanhydrologischer Modelle*. Dissertation. Technische Universität Dresden, Fakultät für Umweltwissenschaften, Dresden, Münster.
- itwh 2012 *Kontinuierliche Simulation zur Bemessung von Speicherbauwerken in urbanen Entwässerungssystemen (KOSIM Modellbeschreibung)*. Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover.
- itwh 2020 KOSIM: KOntinuierliches-Langzeit-SimulationsModell - Version 7.5.9, Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH. <https://itwh.de/de/release-notes/hystem-extran-kosim-version-7-5/>.
- Kleidorfer, M. 2009 *Uncertain calibration of urban drainage models: A scientific approach to solve practical problems*. Dissertation. Leopold Franzens Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Umwelttechnik, Innsbruck.
- Schmitt, T. G., Becker, M., Flores, C., Pfeiffer, E., Sitzmann, D. und Uhl, M. 2008 Modellkalibrierung zur Qualitätssicherung von Kanalnetzberechnungen. *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*, **55**(12), 1306–1312.
- Sedki, K., Neumann, J., Klippstein, C. und Dittmer, U. 2022 *Suitability of datasets for calibration: limitations and transferability*, 25th European Young Scientists Workshop (EJSW), 16 May 2022, St.-Maurice en Valgaudemar, Frankreich.
- Sun, S. und Bertrand-Krajewski, J.-L. 2012 On calibration data selection: The case of stormwater quality regression models. *Environmental Modelling & Software*, **35**, 61–73.
- Tscheikner-Gratl, F., Zeisl, P., Kinzel, C., Leimgruber, J., Ertl, T., Rauch, W. und Kleidorfer, M. 2016 Lost in calibration: why people still do not calibrate their models, and why they still should - a case study from urban drainage modelling. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, **74**(10), 2337–2348.
- Yapo, P. O., Gupta, H. V. und Sorooshian, S. 1996 Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. *Journal of Hydrology*, **181**(1-4), 23–48.

Abstraktion für Modellstrukturen

Modelle dienen der Vorhersage des Verhaltens und der Bewertung von Entwässerungssystemen in der Urbanhydrologie

- Modell = abstrahierte Realität
- Häufig nicht oder unzureichend kalibriert (Tscheikner-Gratl et al. 2016)
- Kompromisslösung für verlässliche Simulationsergebnisse in der Praxis nötig

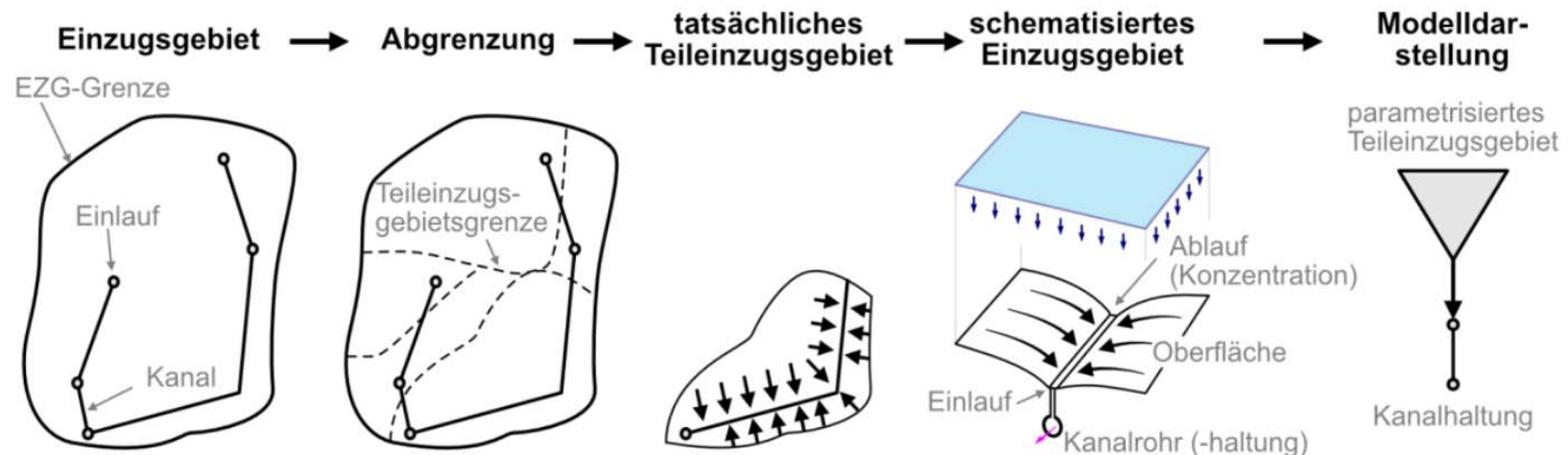
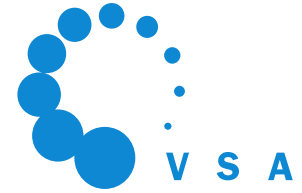


Abbildung: Schematische Darstellung des Abstraktionsprozesses am Beispiel der Systemgliederung für den Modellaufbau (modifiziert nach Di Pierro et al. 2005)

Auto-Kalibrierung (Henrichs 2015)



KALIMOD software

- AMALGAM algorithm for multi-objective optimization
- Calibration for sections of 5 selected events
- 50 parameter-sets per population (= children)

Zielfunktionen

- Nash-Sutcliffe-Effizienz ($E2$)
- Volumenabweichung (VOL)
- Maximalwertabweichung ($DYmax$)

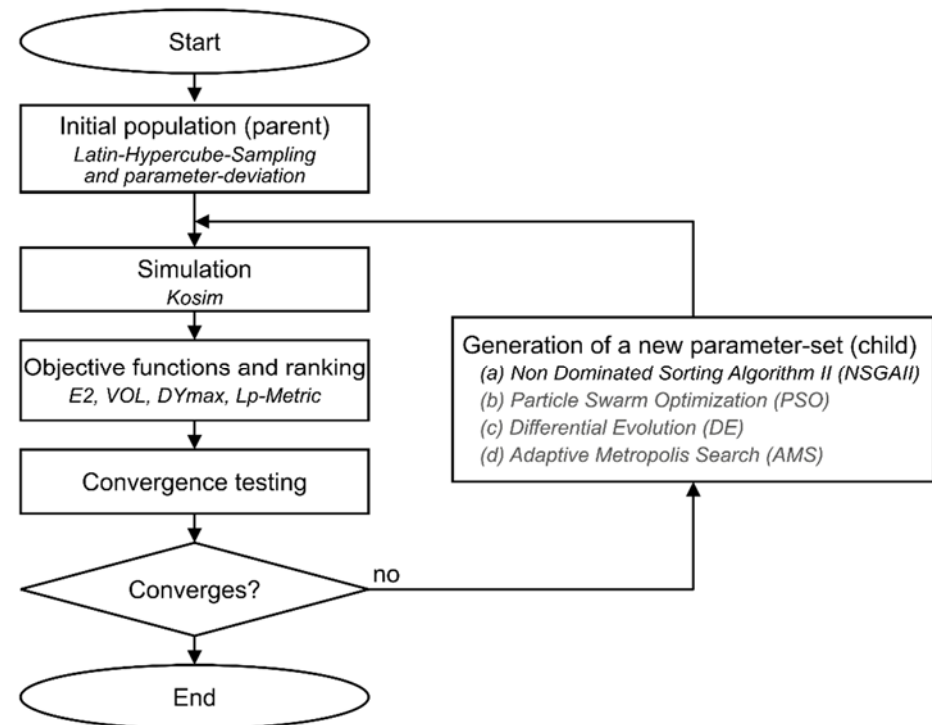


Abbildung: Schema der Auto-Kalibrierung mit AMALGAM in KALIMOD (eigene Darstellung nach Henrichs 2015)

Kompromisslösungen KALIMOD

Gegenüberstellung Modell-Struktur-Typen

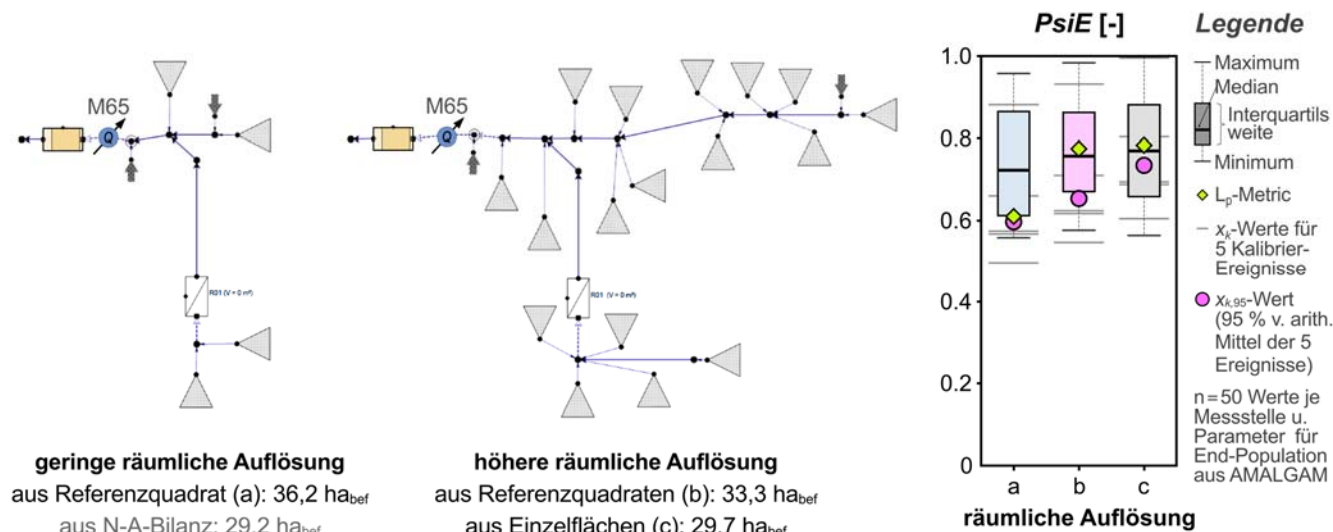
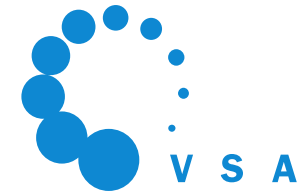


Abbildung: Ergebnisse der Auto-Kalibrierung für verschieden räumlich aufgelöste Modellstrukturen und Gegenüberstellung zu x_k -Werten für den Parameter PsiE an der Messstelle M65

Tabelle: Ergebniswerte aus der Auto-Kalibrierung für variierte räumliche Modellstrukturen und Abweichungsmaße das Kalibrierereignis Nr. 3 im Gebiet M65

Modellparameter / Abweichungsmaß	Kalibrierereignis	a (36.2 ha _{bef})	b (33.3 ha _{bef})	c (29.7 ha _{bef})
TS [min]	1 bis 5	64	57	93
Vben [mm]	1 bis 5	0,28	0,11	0,10
Vmuld [mm]	1 bis 5	0,59	2,26	2,25
PsiA [-]	1 bis 5	0,44	0,49	0,46
PsiE [-]	1 bis 5	0,58	0,77	0,78
E2 [-]	3	0,637 (o)	0,796 (+)	0,799 (+)
VOL [%]	3	+24,8 (-)	+1,4 (+)	+1,6 (+)
DYmax [%]	3	-20,5 (o)	+10,4 (+)	+9,2 (+)

Kompromisslösungen KALIMOD (Modell-Struktur-Typ a)

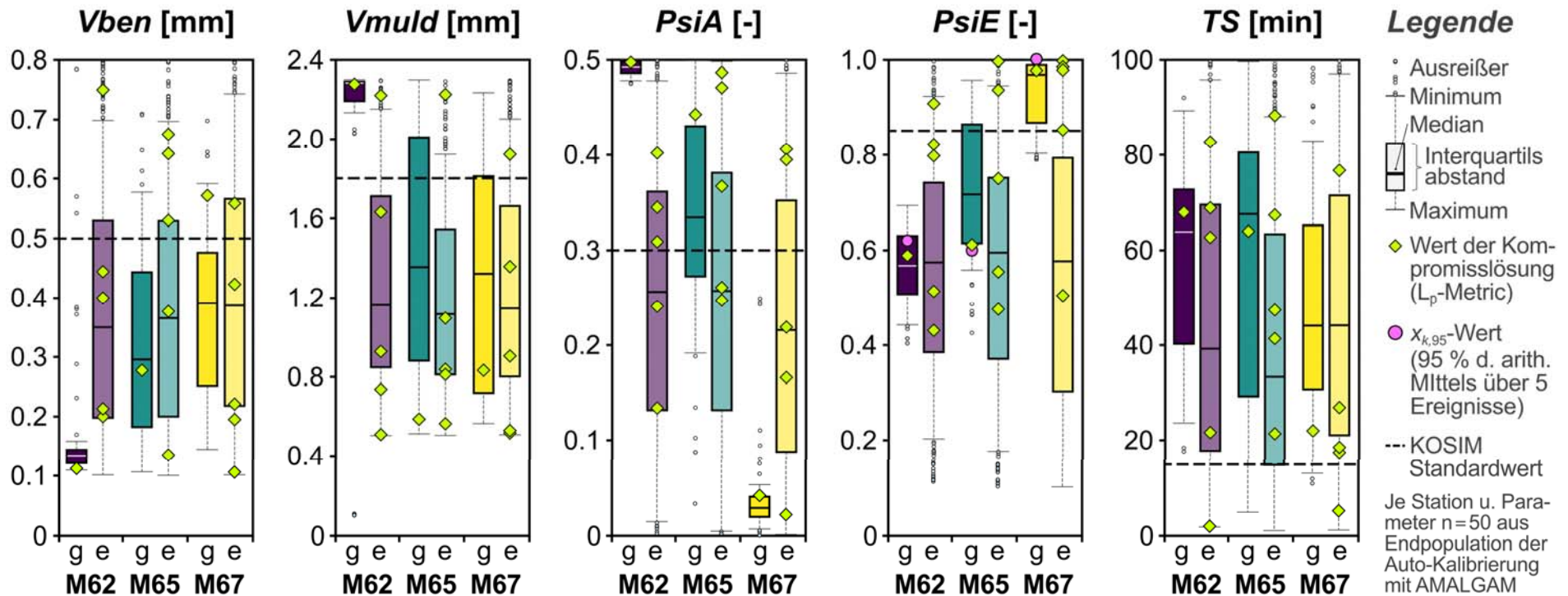
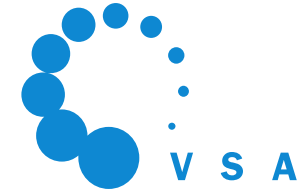
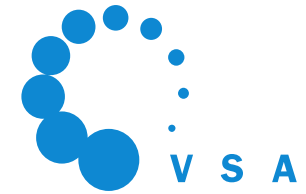


Abbildung: Übersicht der Ergebnisse aus der Auto-Kalibrierung mit KALIMOD und der x_k-Werte aus der Niederschlag-Abfluss-Bilanzierung (Vergleich der Kompromisslösungen aus der Auto-Kalibrierung mit AMALGAM in KALIMOD für alle 5 Ereignisse je Einzugsgebiet „gemeinsam“ (g) und für alle 5 Ereignisse „einzeln“ (e) mit dem KOSIM-Standardwert) für gering aufgelöste Modellstrukturen

Abweichungsmaße aus der Auto-Kalibrierung (Modell-Struktur-Typ a)



Variante	Kalibrierereignis	$E2$ [-]	VOL [%]	DY_{max} [%]	TS [min]	V_{ben} [mm]	V_{mul_d} [mm]	$PsiA$ [-]	$PsiE$ [-]
g	1	0.843 (+)	+0.2 (+)	-37.7 (-)					
	2	0.765 (+)	+0.6 (+)	-31.7 (-)					
	3	0.637 (o)	+24.8 (-)	-20.5 (o)	64	0.28	0.59	0.44	0.58
	4	0.314 (-)	+13,0 (o)	-23.3 (o)					
	5	0.271 (-)	+15.2 (o)	-30.4 (-)					
e	1	0.782 (+)	+15.2 (o)	-20.6 (o)	67	0.68	1.10	0.26	0.75
	2	0.587 (o)	+15.4 (o)	-20.3 (o)	21	0.53	0.84	0.47	0.48
	3	0.643 (o)	+22.4 (-)	-20.4 (o)	47	0.14	0.56	0.25	0.56
	4	0.295 (-)	+15.8 (o)	-22.2 (o)	88	0.64	2.23	0.49	0.94
	5	0.256 (-)	+7.1 (+)	-31.6 (-)	41	0.38	0.81	0.38	1,00