

MODELLIERUNG MIT RADARREGENDATEN

POTENZIAL FÜR DIE VALIDIERUNG VON KANALNETZMODELLEN

Bei der Verwendung von punktuellen Regenschreiberdaten in hydrodynamischen Simulationen bleibt die räumliche Variabilität heterogener Niederschlagsereignisse weitgehend unberücksichtigt. Eine mögliche Alternative bietet die Anwendung von Radarregendaten. Anhand des Kanalnetzes der Stadt Basel zeigt dieser Beitrag den Nutzen und die Anwendungsgrenzen von Radardaten für die Validierung des Kanalnetzes auf.

Rahel Buss; Janine Rusch, Hunziker Betatech AG

Sebastian Würfel; Martin Hofmann, Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt

Markus Gresch, Hunziker Betatech AG*

RÉSUMÉ

MODÉLISATION DE L'ÉCOULEMENT DES PRÉCIPITATIONS GRÂCE AUX DONNÉES DE PRÉCIPITATIONS OBTENUES PAR RADAR

À l'aide du réseau de canalisations de la ville de Bâle, cet article montre l'avantage ainsi que les limites d'application des données de précipitations fournies par les radars pour la simulation hydrodynamique de l'écoulement au sein du réseau. Il s'agit de déterminer si, et le cas échéant dans quelles conditions, les processus d'écoulement au sein du réseau de canalisations peuvent être représentés avec plus de précision du fait de l'utilisation de données radar plutôt que de données ponctuelles de pluviomètres. À cet effet, un modèle de réseau de canalisations validé par des données de mesure a été élaboré pour la ville de Bâle. Ensuite, différentes simulations basées sur des données de pluviomètres et des données radar ont été évaluées et comparées avec des valeurs de mesure d'écoulement obtenues dans 17 sites différents. L'analyse et l'interprétation des hydrogrammes montrent l'influence jouée par les caractéristiques des précipitations, les particularités du bassin versant et le type de données de précipitations. Une évaluation statistique des événements et points de mesure sélectionnés montre que les données radar calibrées permettent en général d'obtenir les résultats les plus précis en ce qui concerne le débit de pointe et la dynamique des hydrogrammes d'écoulement. Les avantages offerts par les données radar calibrées prédominent surtout lors de précipitations intenses et très hétérogènes.

EINLEITUNG

Die urbane Hydrologie wird durch einen hohen Anteil an befestigten Flächen und durch schnelle Abflussprozesse mit kurzer Reaktionszeit dominiert. Dies erfordert eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung von Regendaten auf einer innerstädtischen Skala [1]. In urbanen hydrologischen Modellen ist der verwendete Regen aufgrund der räumlichen Verteilung einer der grössten Unsicherheitsfaktoren [1, 2]. Eine uniforme Regenverteilung kann insbesondere dann nicht angenommen werden, wenn das Einzugsgebiet grösser als die räumliche Repräsentativität einer punktuellen Niederschlagsmessung ist, die wiederum stark ereignisabhängig ist. Eine mögliche Lösung für die bessere Abbildung der räumlichen Verteilung des Regens und damit ein Vermeiden einer lokalen Unter- oder Überschätzung der Regenintensität und des -volumens besteht darin, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Radardaten zu verwenden. Anhand des Kanalnetzes der Stadt Basel zeigt dieser Beitrag den Nutzen und die Anwendungsgrenzen von Radardaten für die hydrodynamische Simulation des Kanalnetzes auf. Im Zentrum steht die Frage, ob und unter welchen Bedingungen Abflussprozesse im Kanalsystem durch die Anwendung von Radardaten zutreffender beschrieben werden können als durch die Anwen-

* Kontakt: markus.gresch@hunziker-betatech.ch

(Bild: ©justoomm/123RF.com)

dung punktueller Regenschreiberdaten. Für die Stadt Basel wurde zu diesem Zweck ein mit Messdaten validiertes Kanalnetzmodell erstellt. Verschiedene Simulationsläufe, basierend auf Regenschreiberdaten und Radardaten, wurden ausgewertet und mit Abflussmesswerten an 17 verschiedenen Standorten verglichen. Die Analyse und Interpretation der Ganglinien zeigt auf dem Stadtgebiet den Einfluss von Niederschlagscharakteristik, Einzugsgebietseigenschaften und Art der Niederschlagsdaten auf. Eine statistische Auswertung der Abweichung von berechneter und gemessener Abflussganglinie für ausgewählte Ereignisse und Messstellen ermöglicht eine Aussage zu den Anwendungsgrenzen von Radar- und Regenschreiberdaten für Kanalnetz-berechnungen.

METHODIK

MODELLAUFBAU UND VALIDIERUNG

Das Kanalnetzmodell wurde, basierend auf aktuellen Katasterdaten, unter Einbezug des Versickerungskatasters, der Trinkwasserverbrauchsdaten und der Daten für die Berechnung der Niederschlagsableitungsgebühr neu aufgebaut [3]. Zur Validierung des Kanalnetzmodells wurde während drei Monaten an 33 Stellen im Kanalnetz eine kontinuierliche Abflussmessung, basierend auf dem Ultraschall-Kreuzkorrelations-Messprinzip, durchgeführt sowie drei Regenschreiber und zwei Distrometer installiert (vgl. Fig. 1, Distrometer bei RM02 und RM03). Ausgewählt für die Analyse wurden sieben Regenereignisse mit unterschiedlicher Charakteristik bezüglich Intensität und Dauer (Tab. 1).

Die Regenradar-Rohdaten (DX-Produkt des DWD, Station Feldberg, Auflösung 5 min) wurden bezüglich physikalischer Einflüsse korrigiert, anhand der Distrometerdaten am Standort Dufourstrasse ereignisspezifisch kalibriert und mit den Daten der drei Regenschreiber validiert. Eine Korrektur physikalischer Einflüsse auf die Radarmessung ist erforderlich, da nicht korrigierte Radardaten das Regenereignis systematisch

unterschätzen, was sich wiederum in der Form, Spitze und dem Volumen der berechneten Abflussganglinien niederschlägt [4].

Die Simulationen zur Validierung des Modells wurden im Anschluss basierend auf den aufbereiteten Radarregendaten durchgeführt. Ein Vergleich von im Rahmen der Messkampagne aufgezeichneten Abflussganglinien mit den mittels Radardaten simulierten Ganglinien erlaubte

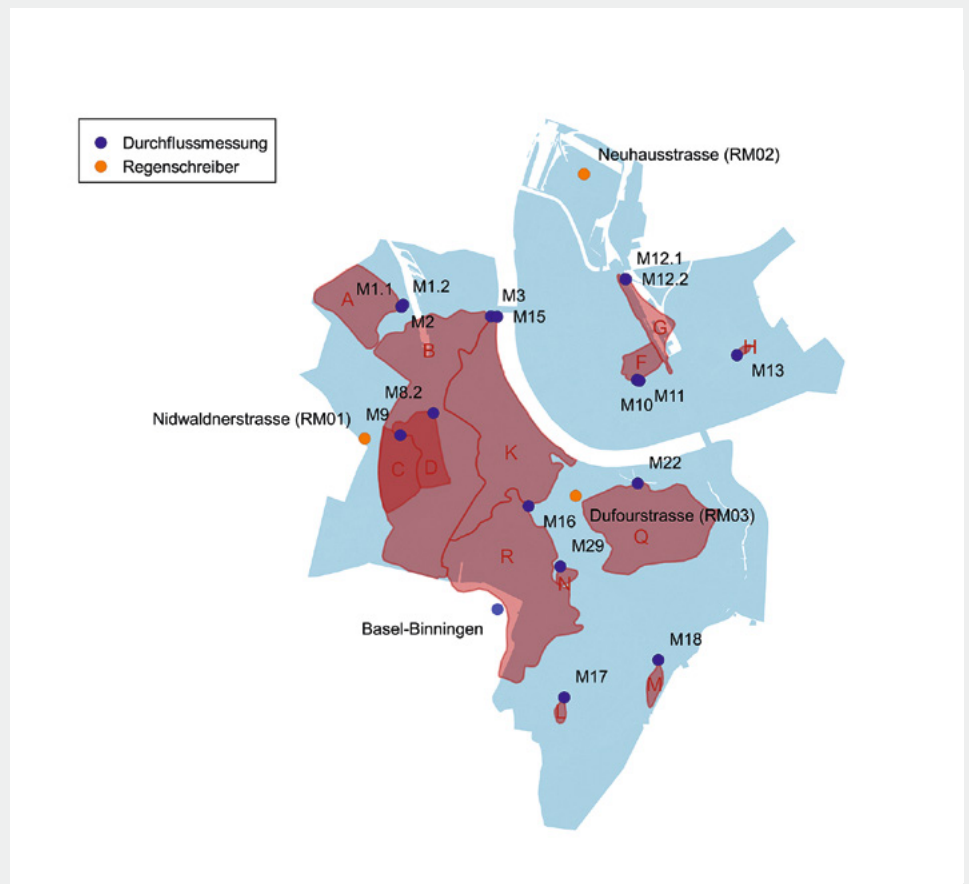


Fig. 1 In der Auswertung berücksichtigte Messstellen mit zugehörigen Teileinzugsgebieten in der Stadt Basel.

Nr.	Beschreibung	Dauer (Jahr 2019)		RM01 (Nidwaldnerstr.)		RM02 (Neuhausstr.)		RM03 (Dufourstr.)	
		Von	Bis	Vol. [mm]	Max. Int. [mm/10 min]	Vol. [mm]	Max. Int. [mm/10 min]	Vol. [mm]	Max. Int. [mm/10 min]
1	Schwacher Dauerregen, homogen	14.07 17:00	15.07 05:00	12,8	1,4	12,3	1,5	17,7	1,7
2	Intensives kurzes Ereignis, heterogen	27.07 14:00	27.07 20:00	10,8	4,4	22,3	10,2	11,1	4,1
3	Schwacher Dauerregen, homogen	28.07 02:00	28.07 19:00	13,4	1,4	13,5	2,1	14,3	2,1
4	Intensives kurzes Ereignis, heterogen	05.08 20:00	06.08 08:00	23,6	9,2	37,7	11,4	17,2	3,3
5	Dauerregen, homogen	06.08 14:00	06.08 22:00	3,2	1,9	3,7	3,0	2,5	1,3
6	Dauerregen, leicht heterogen	07.08 04:00	08.08 01:00	24,4	3,7	20,0	3,4	28,2	6,0
7	Dauerregen, homogen	11.08 14:00	12.08 08:00	12,8	3,0	13,1	3,2	12,0	2,2

Tab. 1 Ausgewählte Niederschlagsereignisse, aufgezeichnet im Rahmen der Messkampagne.

eine Kontrolle der Fließwege in dem hochgradig vermaschten Kanalnetzsystem, eine Überprüfung von Flächendaten in Bezug auf deren Abflusswirksamkeit sowie eine Validierung von Parametern des Niederschlag-Abfluss-Modells.

ANALYSE DER NIEDERSCHLAGSDATEN UND SIMULATIONSERGEBNISSE

Das validierte Modell konnte dazu genutzt werden, die simulierten Abflussganglinien in Abhängigkeit von verschiedenen Regeninputdaten zu vergleichen.

1. Kalibrierte Radardaten

Ungleichmässige Überregnung mit Radardaten, die gemäss obiger Beschrei-

bung korrigiert und validiert wurden (Kantenlänge 500 × 500 m).

2. Radardaten RADOLAN-YW (nachfolgend bezeichnet als «unkalibrierte Radardaten») Ungleichmässige Überregnung mit Radardaten des RADOLAN-YW-Produktes des DWD [5]. Bei diesem frei verfügbaren Produkt handelt es sich um quasi-angeichene Radarmessungen mit einer räumlichen Auflösung von 1 × 1 km. Ausgangsprodukt ist ebenfalls das DX-Produkt des DWD [6, 7].

3. Regenschreiber-Messkampagne

Überregnung, basierend auf Messwerten der drei Regenschreiber RM01,

RM02 und RM03, erhoben im Rahmen der Messkampagne. Die Zuordnung zu den Teileinzugsgebieten erfolgte mittels *Thiessen-Polygon*-Methode.

4. Regenschreiber MeteoSchweiz

Überregnung, basierend auf Messwerten des Regenschreibers der Messstation Basel-Binningen (Daten: *MeteoSchweiz* [8]).

Figur 2 zeigt die verschiedenen Inputdaten. Die *Teilfiguren 2a* und *2b* zeigen die Raster der kalibrierten bzw. der unkalibrierten Radardaten. Die *Teilfiguren 2c* und *2d* zeigen die Standorte der entsprechenden Regenschreiber. Um die Vergleichbarkeit der Simulationsergeb-

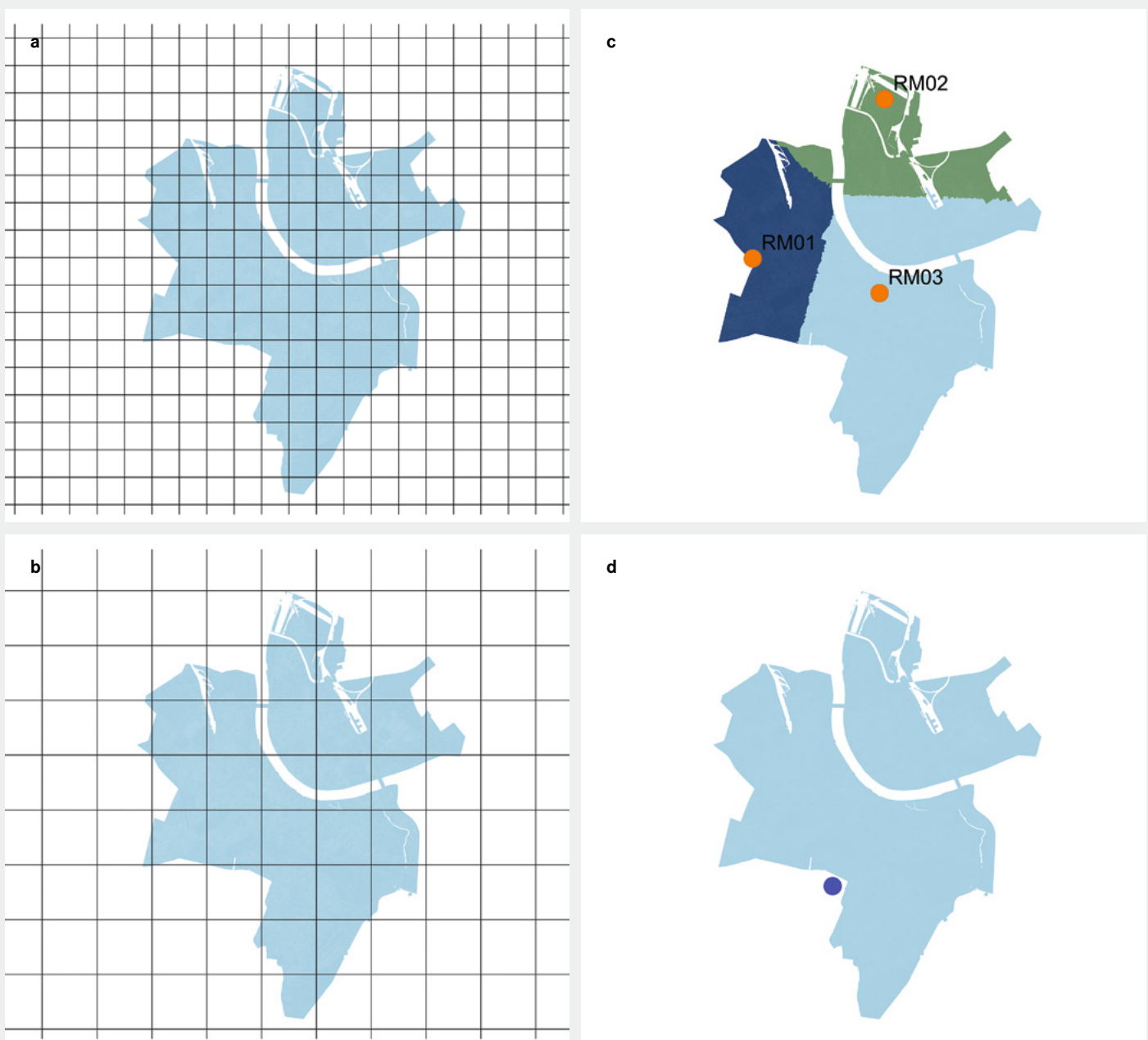


Fig. 2 Raster der kalibrierten Radardaten (a), Raster der unkalibrierten Radardaten (b), Standort der Regenschreiber der Messkampagne (c), Standort des Regenschreibers MeteoSchweiz Basel-Binningen (d).

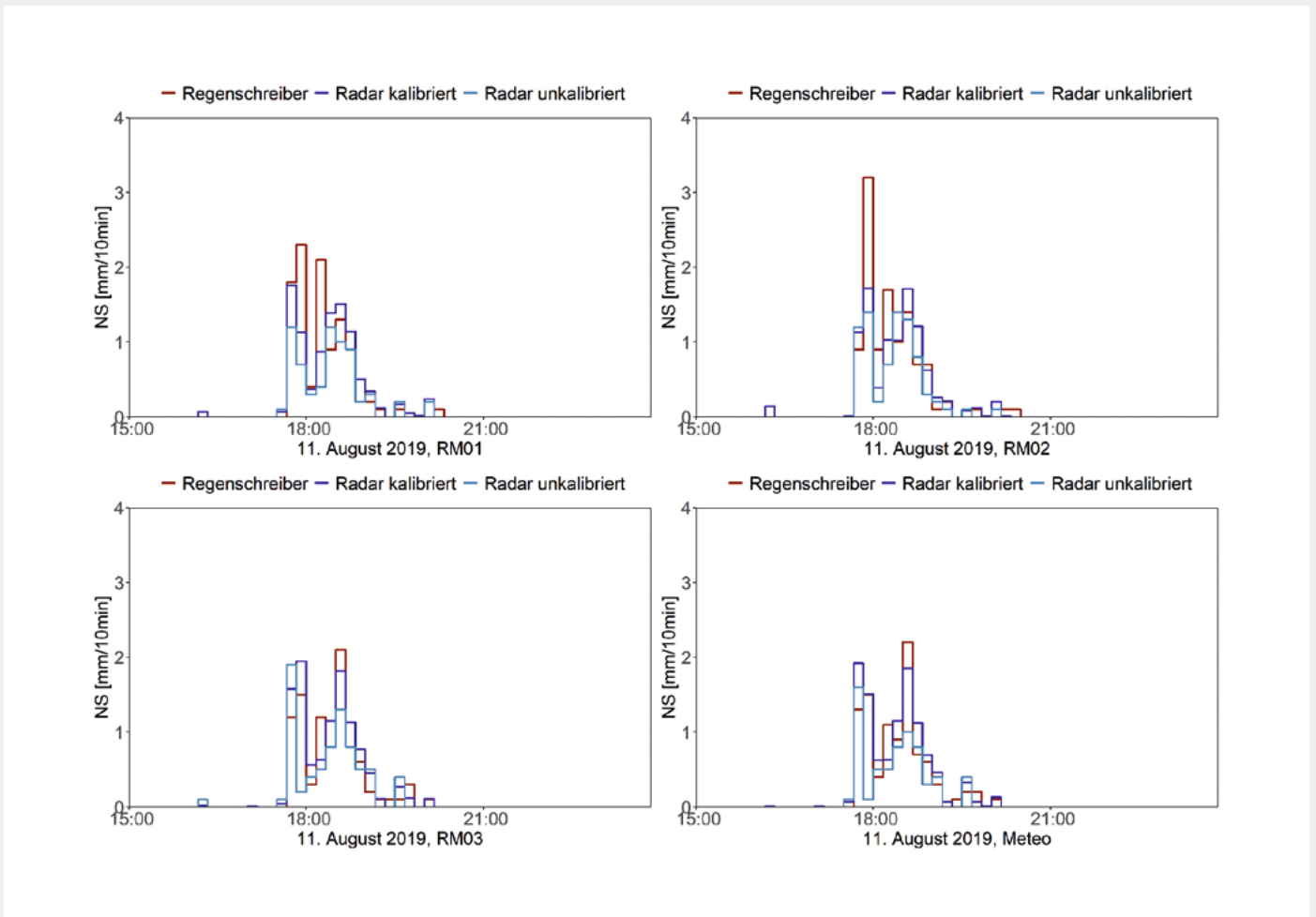


Fig. 3 Vergleich von Niederschlagshöhen der Regenschreiber des Niederschlagsereignisses vom 11. August 2019 mit den Radarmesswerten der entsprechenden Rasterzelle.

nisse sicherzustellen, wurden sämtliche Regeninputdaten der geringsten zeitlichen Auflösung von zehn Minuten angeglichen. In der Auswertung berücksichtigt wurden diejenigen Messstellen, denen ein eindeutig abzugrenzendes Teileinzugsgebiet zugewiesen werden kann. Die für die Auswertung relevanten Teileinzugsgebiete und Durchflussmessungen sind in *Figur 1* ersichtlich.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

NIEDERSCHLAGSDATEN

Zunächst wurden die Niederschlagsdaten analysiert. Hierzu wurden die Niederschlagshöhen der verschiedenen Regenschreiber mit den Radardaten der entsprechenden Rasterzelle verglichen (*Fig. 3*).

Beim ausgewählten Niederschlagsereignis zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Radardaten der entsprechenden Rasterzelle mit den Messwerten der Bodenstationen. Dabei ist ersichtlich, dass die

Niederschlagsspitze mit den kalibrierten Radardaten genauer erfasst wird als mit den unkalibrierten Radardaten. Um die Abweichung zwischen Radardaten und Regenschreiber quantifizieren zu können, wurden die Niederschlags-

summen der entsprechenden Radarrasterzellen den Messwerten der jeweiligen Regenschreiber gegenübergestellt und die Steigung der einfachen linearen Regression durch den Ursprung berechnet (*Fig. 4*). Die Methodik basiert auf einem

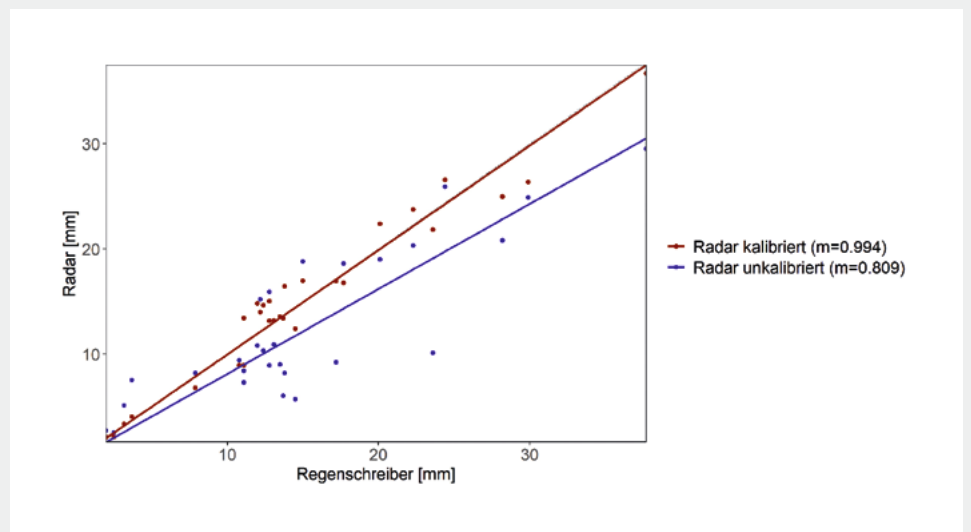


Fig. 4 Streudiagramm mit einfacher linearer Regressionskurve ohne Achsenabstand für den Vergleich von Radar- und Regenschreiberdaten in der entsprechenden Rasterzelle.

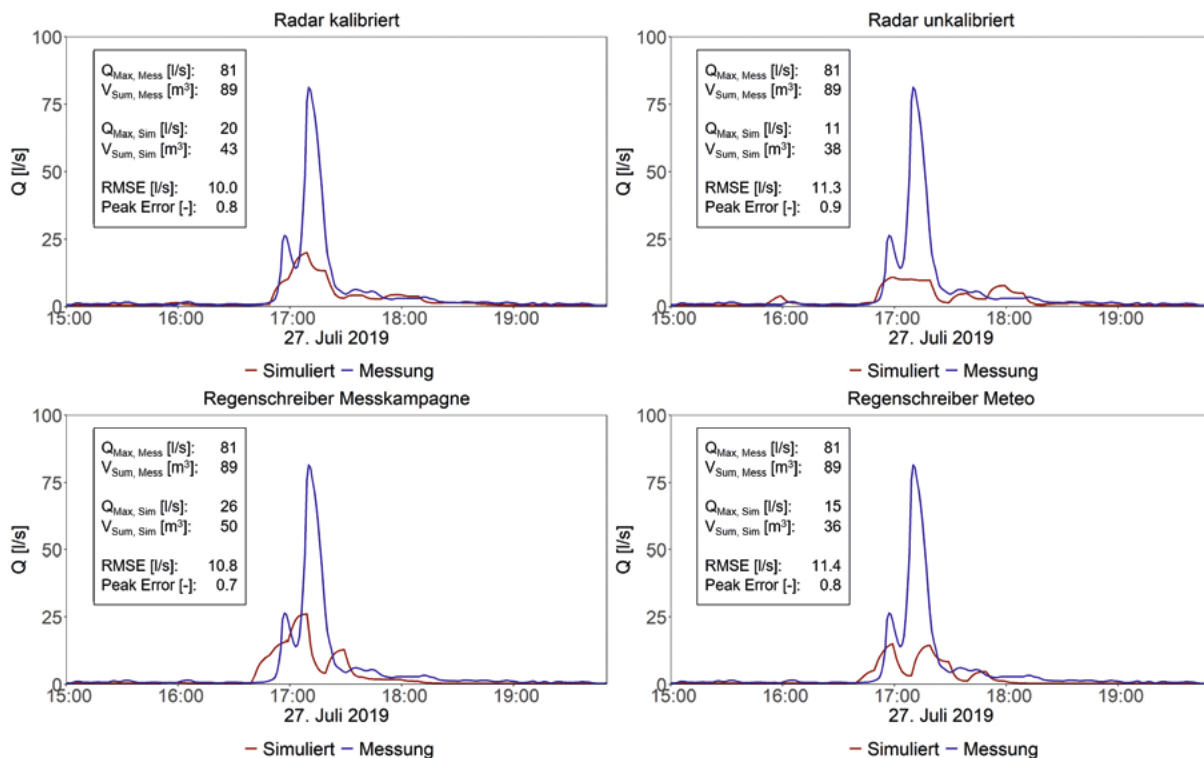


Fig. 5 Simulierte Durchflussganglinie der Messstelle M13 (rot), verglichen mit der tatsächlich gemessenen Durchflussganglinie (blau) für das Niederschlagsereignis vom 27. Juli 2019. Berechnet wurden die gemessene maximale Durchflussmenge ($Q_{Max, Mess}$), das gemessene Abflussvolumen ($V_{Sum, Mess}$), die simulierte maximale Durchflussmenge ($Q_{Max, Sim}$), das simulierte Abflussvolumen ($V_{Sum, Sim}$) und der Peak Error.

von Krämer *et al.* in umfassenderen Untersuchungen angewandten Vorgehen [9, 10]. Der systematische Fehler bei der Erfassung der Niederschlagssumme gilt dabei als wichtiger Indikator, da diese das Niederschlagsvolumen und Letzteres wiederum die Dynamik und die Spitze der Abflussganglinie bestimmt [9].

In der vorliegenden Analyse zeigt der Vergleich der Niederschlagssummen der Regenschreiber mit den kalibrierten Radardaten eine gute Übereinstimmung. Mit einer Steigung von $m = 0,994$ ist der systematische Fehler der durch die kalibrierten Radardaten erfassten Niederschlagssumme gering. Bei den unkalibrierten Radardaten hingegen ergibt sich eine Steigung von 0,809. Dies deutet auf eine systematische Unterschätzung der Regensummen hin. Verglichen mit den kalibrierten Radardaten, ist auch eine deutlich grössere Abweichung der einzelnen Datenpunkte zur Regressionsgeraden ersichtlich. Dadurch zeigt sich die Wichtigkeit der Verwendung von kalibrierten Radardaten [6, 9].

ABFLUSSGANGLINIEN

Die im Rahmen der Messkampagne gemessenen Abflussganglinien wurden mit den basierend auf den verschiedenen Regeninputdaten simulierten Ganglinien verglichen. Im Folgenden werden die Abflussganglinien für zwei ausgewählte Niederschlagsereignisse (27. Juli 2019; 11. August 2019) sowie zwei ausgewählte Teilzugsgebiete unterschiedlicher Grösse (M13, ca. 1 ha; M22, ca. 100 ha) betrachtet und diskutiert.

Die Ergebnisse des Niederschlagsereignisses vom 27. Juli 2019 sind in den Figuren 5 und 6 ersichtlich. Bei der Messstelle M13 (Fig. 5) kann die tatsächlich gemessene Abflussspitze weder mittels Überregnung mit Regenschreiberdaten noch mittels Einspeisung von Radardaten erreicht werden. Mit ca. einem Hektar ist das Einzugsgebiet auch für die räumlich höher aufgelösten Radardaten zu klein, um bei heterogenen Niederschlagsereignissen genaue Resultate erzielen zu können.

Bei Messstelle M22 (Fig. 6) kann die Simulation auf Basis der kalibrierten

Radarmessung die Spitze und den Verlauf der Ganglinie besser abbilden als die Simulation, die auf den Daten der Regenschreiber basiert. Während die Simulation bei Überregnung mit den Niederschlagsdaten der Messkampagne die Spitze leicht überschätzt, wird diese mit den Meteorodaten unterschätzt. Dies kann mit der Lage der Regenschreiber und der räumlich variablen Niederschlagsintensität begründet werden. Bei der Anwendung unkalibrierter Radardaten tritt ebenfalls eine Unterschätzung der Abflussspitze ein.

Die Ergebnisse des Niederschlagsereignisses vom 11. August 2019 sind in den Figuren 7 und 8 ersichtlich. Bei Messstelle M13 (Fig. 7) können sämtliche Niederschlagsinputdaten eine gute Übereinstimmung der Abflusskurven erzielen. Da es sich um ein räumlich sehr homogen verteiltes Niederschlagsereignis handelt, scheint die kleine Einzugsgebietsgrösse das Ergebnis nicht zu beeinflussen; unabhängig von der räumlichen Auflösung können sämtliche Messmethoden das

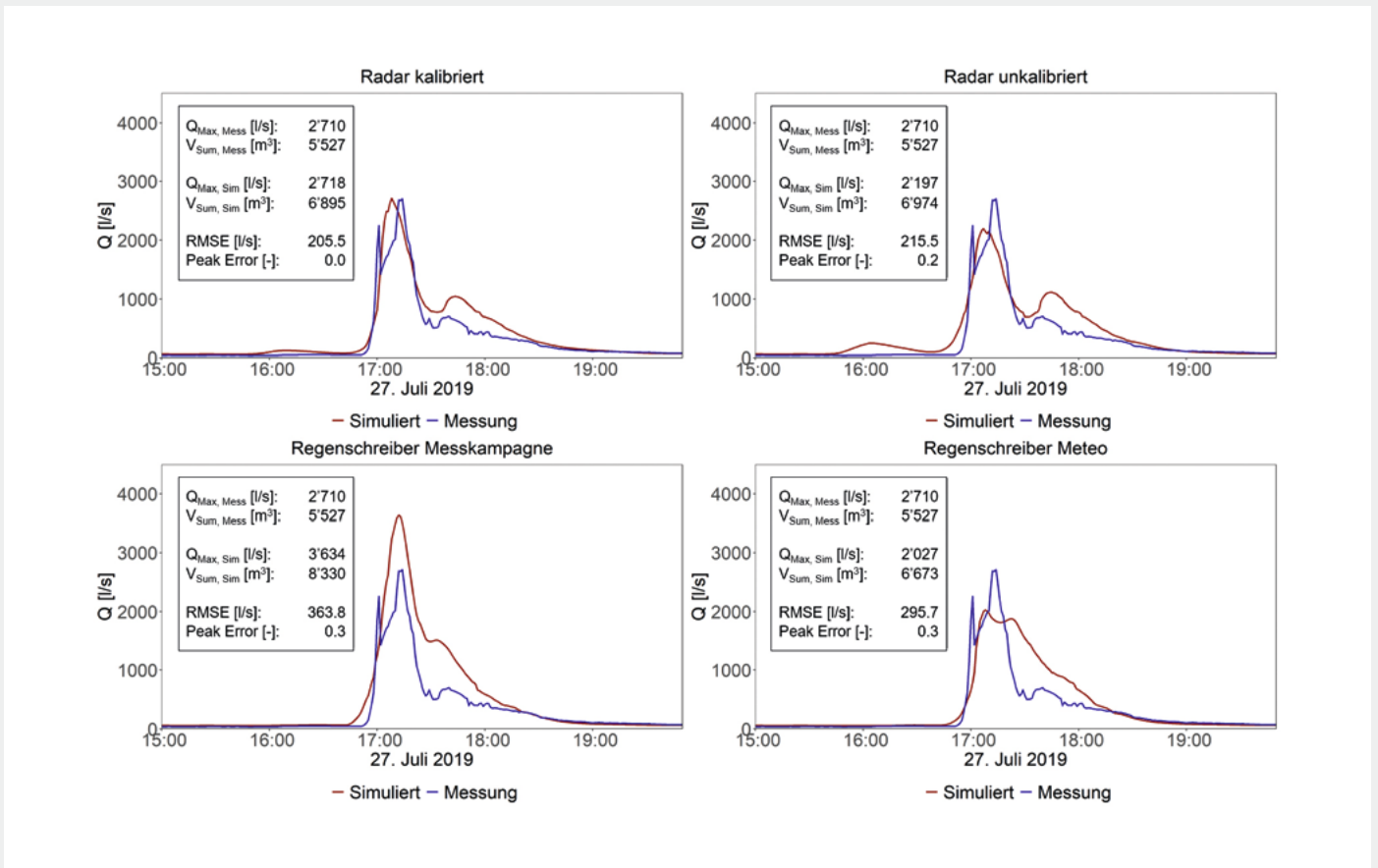


Fig. 6 Simulierte Durchflusskurve der Messstelle M22 (rot), verglichen mit der tatsächlich gemessenen Durchflusskurve (blau), für das Niederschlagsereignis vom 27. Juli 2019.

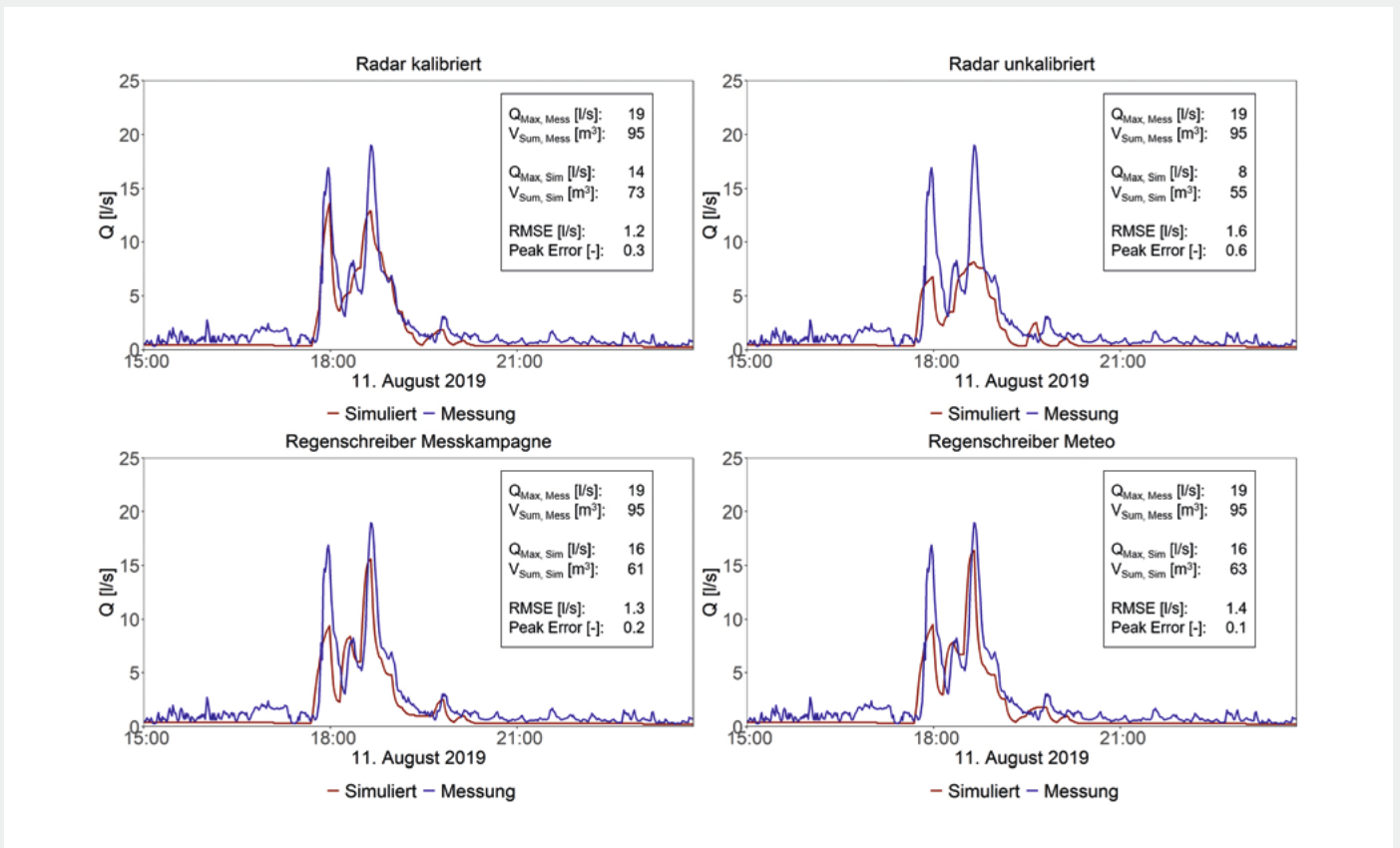


Fig. 7 Simulierte Durchflusskurve der Messstelle M13 (rot), verglichen mit der tatsächlich gemessenen Durchflusskurve (blau), für das Niederschlagsereignis vom 11. August 2019.

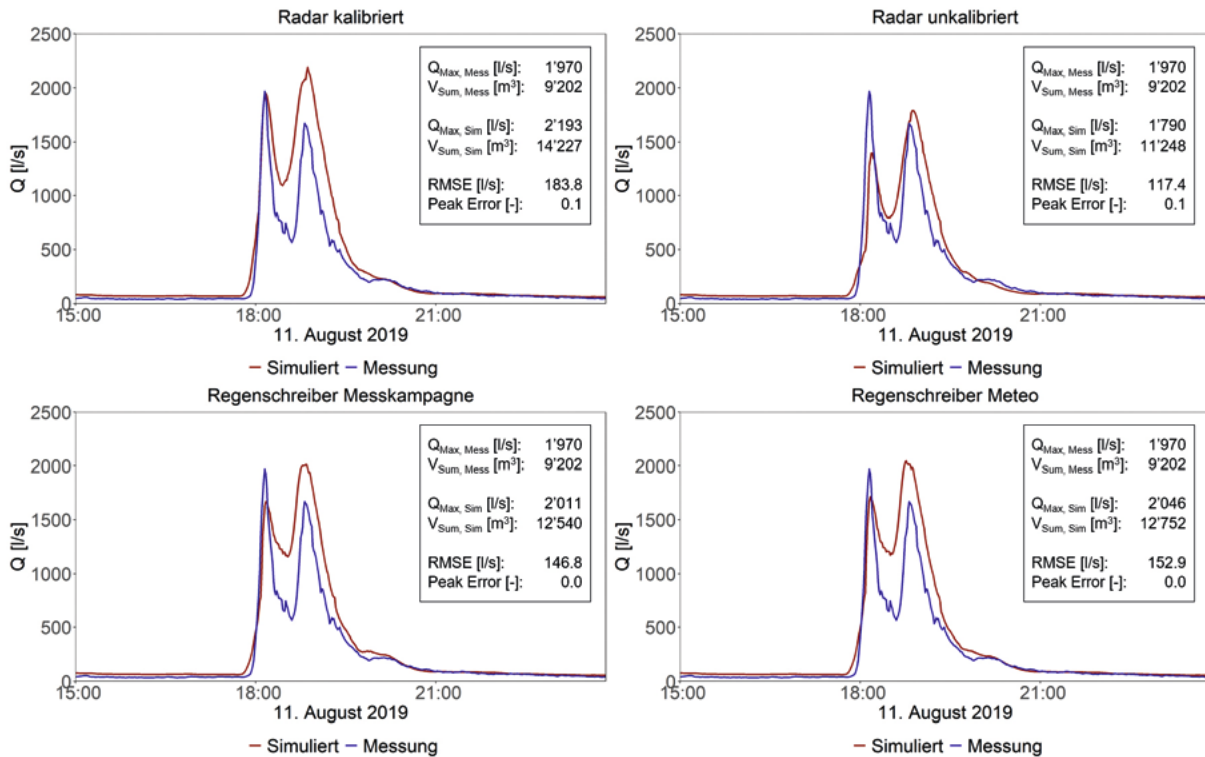


Fig. 8 Simulierte Durchflusskurve der Messstelle M22 (rot), verglichen mit der tatsächlich gemessenen Durchflusskurve (blau), für das Niederschlagsereignis vom 11. August 2019.

Niederschlagsdaten	Peak Error (Arithmetisches Mittel)	Vergleich RMSE (Anteil in %)
Radar kalibriert	0.36	34
Radar unkalibriert	0.39	24
Regenschreiber-Messkampagne	0.55	29
Regenschreiber Meteo	0.69	13

Tab. 2 Konsolidierte Ergebnisse der statistischen Auswertung.

Niederschlagsgeschehen genügend genau erfassen.

Auch bei Messstelle M22 zeigen alle Simulationsergebnisse eine gute Übereinstimmung mit der gemessenen Abflusskurve. Aufgrund der homogenen Verteilung des Regens bleibt der Vorteil von Radardaten zur Abbildung der räumlichen Niederschlagsvariabilität ungenutzt.

STATISTISCHE AUSWERTUNG

Um eine allgemeine Aussage zum Einfluss von Radar- und Regenschreiberdaten auf die Simulationsergebnisse treffen zu können, wurde die Abweichung von simulierter und gemessener Durchflusskurve für die ausgewählten Ereignisse und Messstellen statistisch ausgewertet.

Berechnet wurden der *Peak Error* (Betrag der relativen Abweichung der jeweiligen Abflussspitze) sowie der *Root Mean Square Error* (RMSE) je Messstelle und je Niederschlagsereignis. Die konsolidierten Ergebnisse der Analysen sind in *Tabelle 2* ersichtlich. In *Spalte 2* ist das arithmetische Mittel der berechneten *Peak Errors* aufgeführt. Damit wird die Genauigkeit der Simulationsergebnisse in Bezug auf die maximale Abflussspitze Q_{max} aufgezeigt. *Spalte 3* zeigt auf, wie oft die jeweilige Messmethode den geringsten RMSE im Vergleich mit allen übrigen Messmethoden erzeugt (dargestellt als Anteil, berechnet auf Grundlage sämtlicher relevanter Ganglinien). Bei der Berechnung des RMSE wird die Ganglinie von Beginn

bis Ende eines Regenereignisses berücksichtigt und damit eine Beurteilung der Erfassung der Abflussdynamik ermöglicht.

Gemessen am arithmetischen Mittel, ergeben sich bei der Simulation mit den kalibrierten Radardaten die geringsten *Peak Errors*. Auch ist der RMSE bei Anwendung der kalibrierten Radardaten in 34% der Fälle geringer als bei allen übrigen Messmethoden. In Bezug auf die Spitze und die Dynamik der Abflussganglinie erzielen die kalibrierten Radardaten somit die genauesten Ergebnisse.

Mit 0,39 weisen die unkalibrierten Radardaten ebenfalls nur ein leicht höheres arithmetisches Mittel der *Peak Errors* auf. Zu beachten ist allerdings, dass die relative Abweichung (vor Anwendung der Betragsfunktion zur Berechnung des *Peak Errors*) in knapp 60% der Fälle negativ ist; die Abflussspitze wird somit häufig unterschätzt. Bei der Verwendung von kalibrierten Radardaten bzw. von Niederschlagsdaten der Messkampagne erfolgt eine Unterschätzung der Abflussspitze in weit weniger Fällen.

Die punktuelle Regenmessung mit nur einem Regenschreiber weist den höchsten mittleren Peak Error auf. Ein Regenschreiber reicht nicht aus, um die Dynamik der Regenereignisse im Einzugsgebiet der Stadt Basel zu erfassen. Demgegenüber erzielen die drei Regenschreiber der Messkampagne bereits ein deutlich besseres Resultat; sie vermögen die räumliche Variabilität der Regenereignisse bereits vergleichsweise gut abzubilden. Die Berechnung des RMSE zeigt zudem, dass bei Anwendung dreier Regenschreiber auch die Dynamik generell besser abgebildet wird als bei der Einspeisung der Niederschlagsdaten eines Regenschreibers. Detailliertere Analysen zeigen, dass bei Einspeisung der Daten dreier Regenschreiber in über 60% der Fälle eine bessere Übereinstimmung mit den gemessenen Ganglinien erzielt werden kann als bei der Simulation mit Daten von nur einer Messstation.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Insgesamt zeigt sich, dass die Wahl der Niederschlagsdaten einen entscheidenden Einfluss auf die Simulationsergebnisse ausübt. Wie vor allem die Einzelfallbetrachtung und -interpretation zeigt, ist das Ergebnis dabei abhängig von verschiedenen Faktoren einschliesslich der Intensität und räumlichen Verteilung des Niederschlags.

Die vorliegende Analyse zeigt auf, dass kalibrierte Radardaten im Allgemeinen die genauesten Ergebnisse bezüglich Spitze und Dynamik der Abflussganglinie erzielen. Vor allem bei intensiven, sehr heterogenen Niederschlagsereig-

nissen überwiegen die Vorteile räumlich verteilter kalibrierter Radardaten. Die Grenzen von Radardaten liegen bei sehr kleinen Einzugsgebieten, kombiniert mit sehr heterogenen Ereignissen, bei denen auch die höhere räumliche Auflösung der Radardaten nicht ausreicht, die Dynamik des Niederschlags zu erfassen. Ein Vergleich von Regenschreiberdaten zeigt, dass bei der ungleichmässigen Überregung mit Daten dreier Regenschreiber im Einzugsgebiet der Stadt Basel bereits deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden können als bei Einspeisung einer einzigen punktuellen Niederschlagsmessung. Bei den Radardaten spielt vor allem die Aufbereitung der Daten eine entscheidende Rolle. So erzielt die Simulation mit Radardaten, die mit lokal erhobenen Distrometerdaten kalibriert wurden, im Allgemeinen bessere Resultate als die quasi-angeeichten Radardaten des YW-Produktes des DWD.

Die Resultate der Analyse zeigen die Vorteile der Verwendung hoch aufgelöster Regendaten für das Einzugsgebiet der Stadt Basel und zeigen die Grenzen der Anwendbarkeit für sehr kleine Teileinzugsgebiete auf. Die hydrodynamische Simulation zeigt, dass für die Generierung von Spitzenabflüssen eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung der Regendaten erforderlich ist. Die Einzugsgebietseigenschaften und die Regencharakteristik sind entscheidende Faktoren für die zu erreichende Genauigkeit und Belastbarkeit der simulierten Abflussganglinien. Bei der Interpretation der Abflussganglinien sind dabei neben der Unsicherheit und Fehlern der Regendaten immer auch die Modellunsicherhei-

ten bezüglich Einzugsgebietsflächen und Abflussparameter sowie die Unsicherheiten der Abflussmessungen zu berücksichtigen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Thorndahl, S. et al. (2017): Weather radar rainfall data in urban hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 1359–1380
- [2] Einfalt, T. et al. (2004): Towards a roadmap for use of radar rainfall data in urban drainage. *Journal of Hydrology* 299: 186–202
- [3] Gresch, M.; Dainton, R. (2019): Automatisierte Erstellung von Einzugsgebieten für die Generelle Entwässerungsplanung. *Aqua Urbanica* 2019
- [4] itwh GmbH (2019): Radarregendatenaufbereitung für die Modellkalibrierung, Basel. Erläuterungsbericht
- [5] Winterrath, T. et al. (2018): RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichte Radarmessungen (RADOLAN), 5-Minuten-Niederschlagsraten (YW)
- [6] Krämer, S. et al. (2019): Ereignisbezogene Überflutungsmodellierung mit Radarregendaten. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 12: 412–419
- [7] Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorologie (2018): RADKLIM. Erstellung einer radargestützten hochaufgelösten Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderungen des Extremverhaltens von Niederschlag
- [8] Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2019): Zehnminuten-Niederschlagssumme am Standort Basel-Binningen
- [9] Krämer, S. et al. (2019) : Radarregendaten für die Stadtentwässerung – Welche Güte ist erreichbar? *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 12: 100–108
- [10] Krämer, S. et al. (2009): Korrektur von C-Band-Radardaten für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung. *Grundlagen, Algorithmen und Verifikation. Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2: 479–486

Rondellen zur Beschriftung von Einlaufschächten

Effektiver Schutz und Sensibilisierung durch Rondellen zur Beschriftung von Einlaufschächten, die direkt in einen Bach oder einen See fliessen bzw. im Grundwasser versickern.

Jetzt im VSA-Shop
vsa.ch/rondelle

