

RoGeR – ein bodenhydrologisches Modell für die Beantwortung einer Vielzahl hydrologischer Fragen

Andreas Steinbrich, Hannes Leistert und Markus Weiler (Freiburg)

Zusammenfassung

Das bodenhydrologische Modell RoGeR wurde in den letzten Jahren an der Professur für Hydrologie in Freiburg entwickelt. Dabei handelt es sich um ein physikalisch basiertes Modell, das die Prozesse der Abflussbildung, des Bodenwasserhaushalts und der Abflusskonzentration räumlich und zeitlich hoch aufgelöst abbilden kann. RoGeR berücksichtigt auch Prozesse, die in hydrologischen Modellen oft vernachlässigt werden, wie z. B. Infiltration und Zwischenabfluss durch präferenzielle Fließwege, oder die Infiltration von lateral abfließendem Wasser auf seinem Fließweg. Das Modell wurde inzwischen im Rahmen vieler Projekte angewendet und geprüft. Es kann von interessierten Nutzern kostenfrei bezogen werden.

Schlagwörter: RoGeR, hydrologisches Modell, Fließweg, Abflussbildung, Bodenwasserhaushalt, Infiltration

DOI: 10.3243/kwe2021.02.004

Abstract

RoGeR – a soil hydrological model for responding to a large number of hydrological issues

The Run-off Generation Research (RoGeR) model was developed at the University of Freiburg's Institute of Hydrology in the past few years. This physically-based model can map the processes of run-off generation, the groundwater balance and run-off concentration at high temporal and spatial resolution. RoGeR also takes account of processes that hydrological models often neglect, for instance infiltration and interflow through preferential flow paths, or infiltration of lateral run-off on its flow path. This model has now been used and tested in many projects. It is also available to interested users free of charge.

Key Words: RoGeR, hydrological model, flow path, run-off generation, groundwater balance, infiltration

Was ist RoGeR?

Das Akronym RoGeR steht für **Runoff Generation Research Model**. RoGeR ist ein prozessbasiertes, hydrologisches Modell, das nicht kalibriert werden muss. Wie der Name suggeriert liegt der Fokus, zumindest in der Ur-Version, auf den Prozessen der Abflussbildung. In der Weiterentwicklung des Modells wurden weitere Prozesse des Wasserhaushaltes sowie der Abflusskonzentration (2D-Hydraulik) implementiert. Alle Prozesse werden physikalisch basiert und räumlich und zeitlich hoch aufgelöst abgebildet. Dabei wird immer versucht, die aktuellen Erkenntnisse aus der hydrologischen Forschung zu berücksichtigen. Durch die zielführende Einbindung vorhandener Forschungserkenntnisse und die explizite räumlich verteilte Parametrisierung muss RoGeR nicht kalibriert werden [1]. Es kann auf der Plot- oder Hangskale genauso eingesetzt werden wie in mesoskaligen Einzugsgebieten.

RoGeR nutzt zur Parametrisierung flächendeckend verfügbare Daten zur Beschreibung der Eigenschaften der Landoberfläche, des Bodens, des geologischen Untergrundes sowie räumlich verteilte meteorologische Eingangsdaten. Die ursprüngliche Version von RoGeR ist ein ereignisbasiertes Niederschlag-Abfluss-Modell, das entwickelt wurde, um die Entstehung von Hochwasser-Ereignissen, die durch Regen hervorgerufen werden, abbilden zu können und eine detaillierte Beschreibung der Abflussprozesse zu ermöglichen. In Abhängigkeit von Vorfeuchtebedingungen und Nieder-

schlagstyp tragen unterschiedliche Prozesse in unterschiedlichem Maße zur Abflussbildung bei. Dies steuert die Dynamik des Abflussgeschehens, der Abflussreaktion und damit die Form der Abflussganglinie. Kurze Starkniederschläge hoher Intensität überschreiten oft das Infiltrationsvermögen der Böden und initiieren oberflächennahe Abflussprozesse. Dies führt zu einem schnellen Anstieg und Abfallen der Hochwasserwelle. Langanhaltende Landregen mit geringen Intensitäten können den Bodenspeicher füllen und stoßen Abflussprozesse im Untergrund an. Die resultierende Abflussganglinie zeichnet sich durch einen langsameren Anstieg und einen stark verzögerten Rückgang der Hochwasserwelle aus.

Aus der ursprünglichen Version wurde RoGeR mit Blick auf weitere Fragestellungen kontinuierlich weiterentwickelt. Zur Abbildung des Wasserhaushaltes über einen längeren Zeitraum mussten weitere Prozesse im Modell implementiert werden, wie z. B. die Verdunstung (Evaporation und Transpiration), Schneeschmelze oder die Umverteilung von Oberflächenabfluss in Städten von ganz oder teilweise versiegelten Flächen auf unversiegelte Flächen oder Versickerungsanlagen. So sind inzwischen folgende Versionen von RoGeR entstanden, die alle auf die gleiche Prozessbeschreibung der Abflussbildung und der Bodenhydrologie zurückgreifen:

RoGeR_WB ist ein raster-basiertes Abflussbildungs- und Wasserhaushaltsmodell. Es bildet die Abflussbildungsprozesse

abhängig von der Niederschlagsintensität in Intervallen von zehn Minuten oder einer Stunde ab. In niederschlagsfreien Zeiten wird der Zeitschritt auf einen Tag erhöht um die langsameren Verdunstungs- und Umverteilungsprozesse im Boden zu beschreiben.

RoGeR_WB_Urban entspricht im wesentlichen RoGeR_WB. Der Zusatz Urban weist darauf hin, dass die spezifischen Eigenschaften urbaner Flächen, wie z. B. Pflaster, Gründächer oder Versickerungsanlagen im Modell implizit berücksichtigt werden können.

RoGeR_WB_1D wurde aus RoGeR_WB als 1D-Version abgeleitet, um eine schnelle Modellierung des Wasserhaushalts zu ermöglichen, bei der keine lateralen Prozesse berücksichtigt werden müssen. RoGeR_WB_1D kann jegliche geometrische Einheiten (Raster oder Polygon) modellieren, da die Eingangsdaten als Tabellen definiert werden.

RoGeR_Dyn ist, wie das ursprüngliche Modell RoGeR, ein ereignisbasiertes N-A-Modell. Anders als in RoGeR, dass für die Abbildung der Abflusskonzentration ein geomorphologisches Unit-Hydrograph-Verfahren anwendet, wird die Abflusskonzentration hier hydraulisch mit einem dynamischen 2D-Ansatz modelliert. Außerdem wird bei jedem Modellschritt die mögliche Infiltration von Oberflächenabfluss auf dem Fließweg ermittelt. Auch der Zwischenabfluss im Boden kann dynamisch und unter Berücksichtigung von Tiefenperkolation (Grundwasserneubildung) entlang des Fließweges modelliert werden.

Ro_Dyn ist ein reines Abfluss-Konzentrations-Modell. Ausgehend von räumlich verteilten Werten des lokal gebildeten Oberflächenabflusses (Effektivniederschlag) wird die Abflusskonzentration zweidimensional hydraulisch modelliert. Es wird keine Infiltration auf dem Fließweg berücksichtigt.

RoGeR_WB_Dyn verbindet Abflussbildungsprozesse, Bodenwasserhaushalt und dynamische Abflusskonzentration von Oberflächen- und Zwischenabfluss. Es ist damit z. B. in der Lage, die Wirkung von Wasser, das sich unterirdisch in einem Hang bewegt, auf den Wasserhaushalt abzubilden. Während die rein ereignisbasierten Versionen von RoGeR mit einem variablen Zeitintervall operieren, ist dieses bei allen Wasserhaushaltsvarianten des Modells in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität auf zehn Minuten, eine Stunde oder einen Tag festgelegt.

Wie ist RoGeR entstanden?

Im Rahmen des Projektes Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA) wurden vom Institut für Hydrologie an der Universität Freiburg in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) flächendeckende thematische Übersichtskarten für die Fachbereiche Hydrologie, Wasserwirtschaft, Hydropedologie und Bodenschutz erarbeitet. In diesem Zusammenhang ergab sich auch die Fragestellung nach der Abflussbildung. Um diese landesweit abbilden zu können, wurde eigens dafür ein Modell entwickelt. Dies firmierte zunächst unter dem Akronym DRO-Gen, für **DistributedRunOffGeneration Model**. Es wird in frühen Publikationen auch so benannt. Um den Modellnamen salonfähiger zu machen, wurde das Modell aber später in RoGeR umbenannt. Aus dem Modell resultieren die Atlastafeln 6.5, 6.6 und 6.7 des WaBoA [1].

In Folgeprojekten, im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), wurde das Modell aufgrund neu-

er Datenquellen weiterentwickelt und weiter verifiziert. Im Rahmen eines Projektes zur Quantifizierung des Wasserhaushalts siedlungsgeprägter Gewässer (WaSiG) [2] wurde die Weiterentwicklung von RoGeR von einem rein ereignisbasierten N-A-Modell zu einem Wasserhaushaltsmodell betrieben. In diesem Zusammenhang wurde auch die Parametrisierung typischer urbaner Flächen für RoGeR_WB_Urban abgeleitet [3].

Was kann RoGeR?

Abflussbildung: Alle RoGeR-Modelle können die Abflussbildung zeitlich hoch aufgelöst und physikalisch basiert abbilden. Dabei werden die Abflusskomponenten Horton'scher Oberflächenabfluss, schneller Zwischenabfluss über präferenzielle Fließwege, langsamer Zwischenabfluss durch die Bodenmatrix, Oberflächenabfluss auf Sättigungsflächen und Tiefenperkolation in das Grundwasser unterschieden (Abbildung 1). Der Infiltrationsprozess durch die Bodenoberfläche wird dabei aufgrund der, für zeitlich variable Niederschlagsintensitäten angepassten, Green-Ampt-Methode [4] abgebildet. Auch Infiltration durch Makroporen [5] und Trockenrisse [6] werden im Modell berücksichtigt. Die ereignisbasierten N-A-Modelle von RoGeR können für beliebige Zeitschritte angewendet werden. Die Wasserhaushaltsmodelle ändern während des Modelllaufs in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität die Schrittweite zwischen zehn Minuten, einer Stunde und einem Tag. Dies gewährleistet, dass die Wirkung kurzzeitig hoher Intensitäten bei der Abflussbildung auch für Modellläufe über mehrere Jahre berücksichtigt werden kann. Im Falle geringer Intensitäten reicht auch ein Zeitschritt von einer Stunde. Fällt kein Niederschlag wird auf Tagesbasis gerechnet. Damit bleibt die Rechenzeit trotz Berücksichtigung zeitlich hoch aufgelöster Prozesse auch für einen Modellzeitraum von mehreren Jahren im vertretbaren Rahmen. Gleichzeitig wird die häufige Mittelung der Niederschläge über den Modellzeitschritt, der typischerweise einen Tag beträgt und bei vielen Wasserhaushaltsmodellen praktiziert wird, vermieden. Dies führt zu einer genaueren Beschreibung der Abflussbildung.

Abflusskonzentration: Für die Modellierung der Abflusskonzentration stehen zwei Methoden alternativ zur Verfügung.

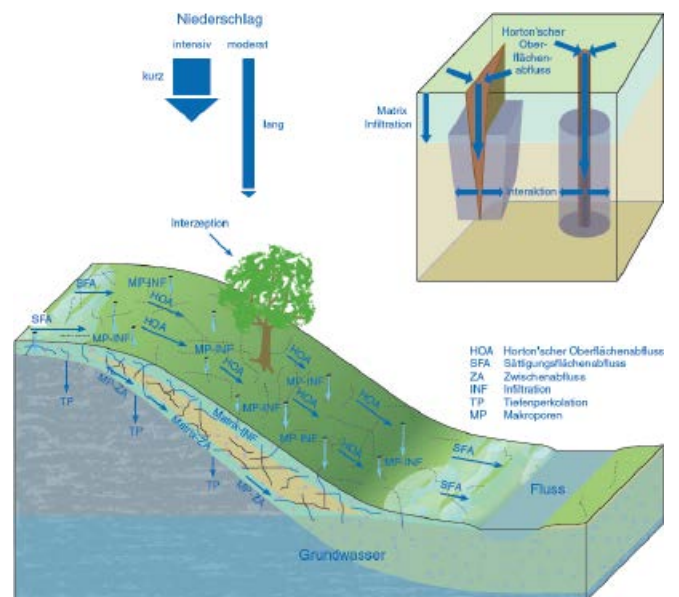


Abb. 1: In RoGeR berücksichtigte Prozesse der Abflussbildung

Für das ursprüngliche ereignisbasierte N-A-Modell RoGeR wurde ein geomorphologisches Unit-Hydrograph-Verfahren entwickelt [6]. Dabei wird für die drei Komponenten Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Tiefenperkolation (Grundwasserabfluss) je ein Unit-Hydrograph abgeleitet. Damit kann für jede der Komponenten eine Ganglinie an einem beliebigen Punkt im Einzugsgebiet (z. B. an einem Pegel) abgeleitet werden (Abbildung 2).

In den Modellvarianten RoGeR_Dyn und RoGeR_WB_Dyn wird die Abflusskonzentration des Oberflächenabflusses und des Zwischenabflusses dynamisch modelliert. Dabei wird zu jedem Zeitschritt auf jeder Zelle bei der Modellierung der Infiltration sowohl der fallende Niederschlag als auch das lateral zufließende Wasser berücksichtigt. Für den Oberflächenabfluss wird dafür eine 2-D explizites Verfahren zur Lösung des diffusen Wellenansatzes (im steilen Gelände die kinematische Welle) in Kombination mit der Manning-Strickler Gleichung verwendet. Für den Zwischenabfluss wird ein synonymes Verfahren angewandt, jedoch in Kombination mit Darcy und präferentiell lateralen Zwischenabfluss. Im Falle des Zwischenabflusses wird für jede Zelle das Wasser berücksichtigt, das lokal aus dem Boden für die Bildung von Zwischenabfluss zur Verfügung steht, und Wasser, das lateral zufließt.

Bei der dynamischen Modellierung kann am Pegel nicht mehr zwischen den verschiedenen Abflusskomponenten unterschieden werden. Besonders bei kurzen Starkniederschlägen wirkt sich die Infiltration des Oberflächenabflusses auf dem Fließweg im Vergleich zum Unit Hydrograph Verfahren deutlich aus. Da insgesamt mehr Wasser infiltriert, fällt die resultierende Abflussreaktion am Pegel schwächer aus. In aktuellen Testläufen betrug am Pegel die Abflussreduktion der dynamischen Modellierung im Vergleich zum Unit Hydrograph Verfahren zwischen 15 und 75 %. Die Modellvariante RoDyn modelliert hydraulisch zweidimensional die Konzentration von Oberflächenabfluss. Die Prozesse der Abflussbildung und des Zwischenabflusses werden hier nicht berücksichtigt.

Verdunstung: Die RoGeR-Wasserhaushaltsmodelle (RoGeR_WB) berücksichtigen die Verdunstung von Wasserflächen, aus dem Interzeptionsspeicher des Baumbestandes, und separat der Strauch- und Grasschicht. (auch unter Bäumen) und aus dem Boden selbst sowie außerdem die Verdunstung und Sublimation aus der Schneedecke. Dabei wird die potenzielle Verdunstung, die als Eingangsgröße auf Tagesbasis definiert wird, in Abhängigkeit von Wasserverfügbarkeit und kurzweiliger Strahlung reduziert [7]. Die potenzielle Verdunstung steht im Modell in zwei Schichten sowohl am Boden und in der Gras- und Strauchschicht als auch in der Baumschicht zur Verfügung. So ist es möglich, dass die aktuelle Verdunstung höher ist als die potenzielle. Der Strahlungsinput kann aufgrund von Beschattung reduziert sein. Dies kann in den rasterbasierten Modellversionen in Form von Beschattungs-Rastern in Abhängigkeit von der Jahreszeit berücksichtigt werden. Insbesondere bei der Modellierung des urbanen Wasserhaushalts spielt die Wirkung von Gebäuden auf den Strahlungshaushalt eine bedeutende Rolle [7].

Schneespeicher und Schneeschmelze: Der Schneespeicher besteht aus einem flüssigen und einem festen Anteil. Schneefall und Schmelze werden mittels eines modifizierten Tag-Grad Verfahrens ermittelt [8]. Unterschreitet die Lufttemperatur eine Grenztemperatur, wird angenommen, dass der Niederschlag als Schnee gefallen ist (Schneeakkumulation).

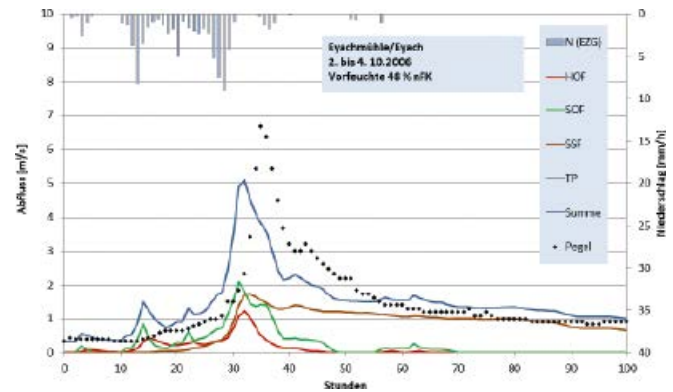


Abb. 2: Abflussganglinien der Abflusskomponenten, resultierende Abflusssumme, gemessener Abfluss und Niederschlag am Beispiel eines Hochwasserereignisses am Pegel Eyachmühle/Eyach

Bei Überschreitung wird der Niederschlag in flüssiger Form simuliert. Wenn Schnee vorhanden ist, kann dieser an der Oberfläche Schneeschmelze auslösen. Die Schneedecke wirkt dabei aber zunächst als Speicher für das Schmelzwasser bzw. auch für flüssigen Niederschlag. Überschüssiges Wasser, das aus der Schneedecke exfiltriert, geht in den Interzeptionsspeicher über bzw. steht dem Boden zur Infiltration zur Verfügung.

Boden-Wasserhaushalt und Tiefenperkolation: Der Bodenwasserspeicher ist durch die Parameter nutzbare Feldkapazität (nFK), Luftkapazität (LK) oder drainierbare Porosität und permanenter Welkepunkt (pWP) definiert. Der Boden wird in die Wurzelzone und den Boden unter der Wurzelzone gegliedert. Verdunstung aus dem Boden findet nur aus der Wurzelzone statt. Zwischen den beiden Bodenzonen findet entsprechend des Matrixpotenzials ein Austausch von Wasser statt. Aus dem Unterboden kann in Abhängigkeit des Wassergehaltes Wasser an die darunter liegende geologische Schicht abgegeben werden (Tiefenperkolation). Dieses Wasser entspricht der Grundwasserneubildung. Bei hohen Grundwasserständen ist auch kapillarer Aufstieg möglich [9]. Im Falle, dass die Feldkapazität überschritten wird, kann sich, abhängig von der Durchlässigkeit des geologischen Untergrundes, über diesem eine gesättigte Zone ausbilden (Abbildung 1). In dieser findet Zwischenabfluss statt. Die Menge des Zwischenabflusses hängt von der lateralen Durchlässigkeit des Bodens an der Basis, der Tiefe des Bodens und vom Gefälle ab [6]. Präferenzielle laterale Fließwege in dieser Zone werden in RoGeR in Abhängigkeit von der Landnutzung und vom Skelettgehalt des Bodens parametrisiert [6].

Urbane Prozesse: Urbane Flächen weisen eine besondere Beschaffenheit der Geländeoberfläche auf wie z. B. Pflasterflächen, Gründächer oder Versickerungsanlagen. Wasser wird von versiegelten Flächen auf unversiegelte Flächen, wie z. B. Versickerungsmulden, umverteilt. Dies kann in RoGeR_WB_Urban abgebildet werden. Wenn Quell- und Zielflächen der Wasserumverteilung bekannt sind, können beliebig viele dieser räumlichen Zusammenhänge in zwei Eingangsrastern definiert werden. Der Oberflächenabfluss, der sich in einem Zeitschritt auf einer Quellfläche bildet, wird im nächsten Zeitschritt der Zielfläche als Input zugeschlagen und kann dort gegebenenfalls infiltrieren. Damit können auch konventionelle Siedlungsentwässerungen abgebildet werden [10]. Zu den Eigenschaften von Gründächern und Pflasterflächen wurden ausführliche

Felduntersuchungen durchgeführt [2, 3, 7] die in einer neuen Parametrisierung für RoGeR mündeten.

Was braucht RoGeR?

RoGeR muss nicht unbedingt kalibriert werden, da neben einem detaillierten Prozessverständnis eine große Zahl räumlich

verteilter physikalischer Eingangsgrößen in das Modell eingehen, die durch umfangreiche Voruntersuchungen und Tests (siehe unten) verifiziert worden sind. Das bedeutet aber auch, dass die Parametrisierung des Modells mit viel Sorgfalt und einem beträchtlichen Arbeitsaufwand durchgeführt werden muss. Die fortschreitende Bereitstellung und Verbesserung von GIS-Datenbeständen ist hierbei sehr hilfreich. Somit stellt das

| Parameter | Einheit | Quelle / Kommentar |
|---|-------------------|--|
| Einzugsgebiet/Oberfläche | | |
| EZG | 1/no Data | Definition des Gebietes (nicht erforderlich für 1D) |
| Gefälle | [%] | aus Digitalem Höhenmodell (DHM) |
| Fließrichtung | D8 | |
| Füllhöhe von Senken | [m] | |
| Fließzeiten Oberflächenabfluss | [h] | |
| Fließzeiten Zwischenabfluss | [h] | DHM, BK50 oder BÜK |
| Fließzeiten Grundwasserabfluss | [h] | DHM, Hydrogeologie |
| Landnutzung | | ATKIS, CORINE... |
| Versiegelungsgrad | [%] | WaBoA, ATKIS, CORINE.. |
| Makroporendichte (vertikale) | [m ²] | In Abhängigkeit von Landnutzungen und Skelettgehalt des Bodens |
| Länge der vertikalen Makroporen | [cm] | |
| Makroporendichte (hangparallele) | [m ²] | |
| Mittlere Grundwasser-flurabstände | [cm] | DEM, Gewässernetz, Isolinien-Pläne, GW-Messstellen |
| Hydrogeologie | | |
| Ks Untergrund | [mm/h] | z. B. aus Hydrogeologischer Karte 1:50.000 bzw. |
| Boden | | |
| Texturklasse nach KA5 | | BK50, BÜK ... |
| Bodenmächtigkeit | [cm] | |
| nFK | [mm] [vol %] | |
| Luftkapazität | [mm] [vol %] | |
| Permanenter Welkepunkt | [vol %] | |
| Ks Oberboden | [mm/h] | |
| Muldenspeicher | [mm] | |
| Ereignisbasiert | | |
| Vorfeuchte | [% nFK] | WH-Modell, Messung... |
| Trockenrisstiefe | [cm] | |
| Niederschlag | [mm] | Zeitreihe oder ein Raster je Zeitschritt |
| Parameter | | |
| RoGeR_WB | | |
| Urban | [Code/0] | 0 keine, 1 Pflaster, 2 Dach (glatt), 3 Platzhalter mit Vers. > 0 |
| Stadt-Bäume | [ID/0] | 0 keine, 1 Laub, 2 Misch, 3 Nadel Darunter immer die sonst definierte Landnutzung |
| Quellen | [ID/0] | Flächen von denen Abfluss umverteilt wird (nur RoGeR_WBM_Urban) |
| Ziele | [ID/0] | Flächen auf die Abfluss verteilt wird (nur RoGeR_WBM_Urban) |
| Ausgabe | [ID/0] | Flächen für die die Abflüsse ausgegeben werden (nur RoGeR_WBM_Urban) |
| Kanalanschluss | [%] | Anteil der angeschlossenen Fläche |
| Wichtung Sommer | [] | Anteil der direkten Strahlung im Vergleich zu einer ebenen Fläche als Wichtung für die potenzielle Verdunstung |
| Wichtung Winter | [] | |
| Wichtung Frühjahr und Herbst | [] | |
| Wichtung diffuse Strahlung | [] | |
| Zeitvariant | | |
| Niederschlag | [mm] | Zeitreihe Auflösung 10 min |
| Temperatur | [°C] | Zeitreihe Auflösung 1 d |
| Potenzielle Verdunstung | [mm] | Zeitreihe Auflösung 1 d |
| Abweichung vom mittleren Grundwasserflurabstand | [cm] | Zeitreihe Auflösung 1 d (optional) |

Tabelle 1: Für RoGeR erforderliche Eingangsparameter

| | | | |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------|
| Nur RoGeR (Urversion) | Nur RoGeR_WB_Urban | Nur RoGeR_Dyn, Ro_Dyn, RoGeR_WB_Dyn | Nur RoGeR_WB |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------|

sogenannte Preprocessing die größte Herausforderung bei der Anwendung von RoGeR dar. Natürlich können Parameter in RoGeR auch kalibriert werden, was besonders für Parameter, die den Untergrund beschreiben, notwendig sein kann.

Geodaten

Für die rasterbasierten Versionen von RoGeR wird eine beträchtliche Zahl an Eingangsrastern für die räumlich verteilten Parameter benötigt (siehe Tab. 1). Diese müssen einheitlich sein bezüglich Ausdehnung und Auflösung. Für die 1D-Version muss eine Tabelle als Eingangsdatensatz generiert werden. Diese hat für jeden Eingangsparameter eine Spalte und für jede zu modellierende Fläche eine Zeile. Welche Eingangsgrößen RoGeR benötigt werden und wo diese bezogen werden können, ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Klimadaten

Für die ereignisbasierten N-A-Modelle von RoGeR kann der Niederschlag als Niederschlagsraster für jeden Zeitschritt eingelesen werden um direkt Niederschlags-Radardaten zu nutzen. Zusätzlich kann auch eine Niederschlag-Zeitreihe eingelesen werden, entweder in Zusammenhang mit einem Rasterfeld welches die räumlichen Verteilung definiert oder ohne eine räumliche Variation um direkt Stationsdaten zu nutzen.

Die Wasserhaushaltsmodelle benötigen als Eingangsdaten Zeitreihen. Beim Niederschlag ist eine Zeitreihe mit der Auflö-

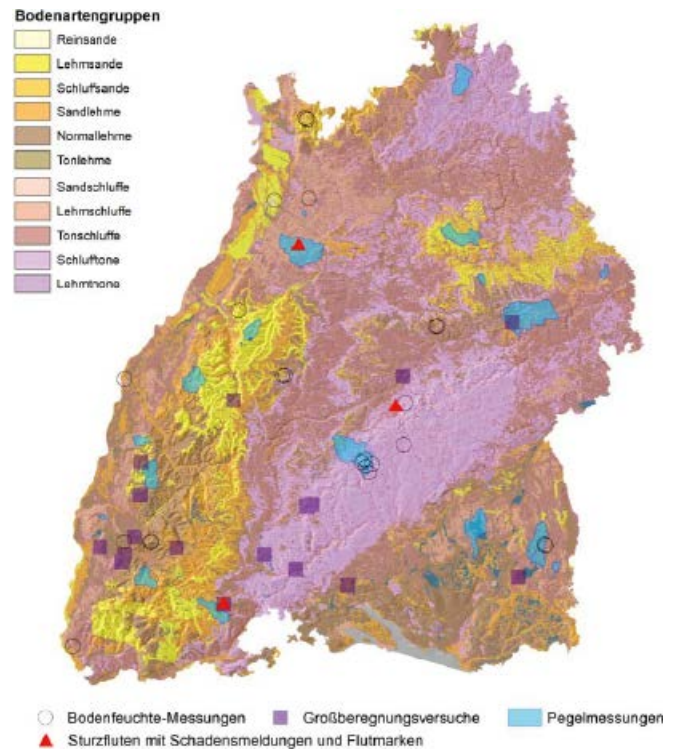


Abb. 3: Standorte in Baden-Württemberg für die Modellrechnungen mit Messdaten überprüft werden konnten

sung von zehn Minuten einzugeben. Temperatur und potenzielle Verdunstung müssen für den gleichen Zeitraum als Tageswerte vorliegen.

Wie wurde RoGeR getestet?

Kalibrierte Modelle werden darauf optimiert, die zu modellierenden Zielgrößen anhand der verwendeten Eingangsdaten möglichst gut abzubilden. Bei RoGeR wird angestrebt, dass die Zielgrößen ohne Kalibrierung gut reproduziert werden können. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, musste das Modell umfassend erprobt werden. Um zu testen, wie gut es funktioniert, wurde eine große Zahl an beobachteten Zeitreihen von Abfluss, Sickerwasser, Verdunstung und Bodenfeuchte nachgebildet und die Modellierungen validiert. Die Ergebnisse all dieser Modellierungen können hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden. Wir verweisen deshalb auf folgende Arbeiten bzw. Quellen:

- Modellierung von 48 Hochwasserereignissen an 19 Pegeln in Baden-Württemberg (Abbildung 3) [6, 11, 12]
- Modellierung von Sturzfluten als Folge von drei Starkregenereignissen in Baden-Württemberg (Abbildung 3) [13, 14, 15, 16] und von drei Starkregenereignissen in Luxemburg [17, 18] und jeweils Vergleich mit gemeldeten Schäden und Flutmarken.
- Modellierung von sieben Großberegnungsversuchen an sechs Standorten in der Schweiz [6]
- Modellierung der Abflussbildung aus 132 Großberegnungsversuche an 32 Standorten in Baden-Württemberg (Abbildung 3) [19, 20]
- Modellierung von langjährigen Bodenfeuchtemessungen an 24 Standorten in Baden-Württemberg (Abbildung 3)

www.dwa.de



Noch auf der Suche
nach einem neuen Job?

Hier ist er doch:
www.dwa.de/jobs



| Projekt | Aufgaben für RoGeR |
|--|---|
| Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg [1] | Darstellung der Abflussbildungsprozesse in flächendeckenden Karten für Baden-Württemberg |
| Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg [24] | Landesweite Bereitstellung von Oberflächenabfluss-Kennwerten (OAK) |
| Starkregenrisikomanagement in Bayern | Modellierung der Abflussbildung bei Starkregen für verschiedenen Gemeinden in Bayern durch BjörnSEN Beratende Ingenieure |
| LARSIM-Weiterentwicklungen für Starkregenereignisse [14] | Anpassung des Modells LARSIM aufgrund der in RoGeR verwendeten Algorithmen zur Abflussbildung bei sommerlichen Starkregenereignissen für die operationelle Hochwasservorhersage in Baden-Württemberg |
| DWA-Merkblatt M-922, Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung [25] | Quantifizierung der Wirkung von Makroporen auf den Infiltrationsprozess in den Oberboden für die verschiedenen Boden-Texturklassen der Bodenkundliche Kartieranleitung [26] |
| Forschungsprojekt zur Erarbeitung von Grundlagen für die landesweite Abschätzung der Vulnerabilität von Grundwasser gegenüber Stoffeinträgen durch Sickerwasser und eines flächendetaillierten Grundwasserneubildungs-Index (GwN-I) [23, 27] | Landesweite räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Modellierung des langjährigen Wasserhaushalts zur Quantifizierung der Grundwasserneubildung. Modellierung der lokalen Grundwasserneubildung sowie der lateraler Umverteilung von Oberflächen- und Zwischenabfluss |
| Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer (WaSiG) [2, 3, 10, 21, 22] | Ermittlung des langjährigen Wasserhaushalts für die Pilotgebiete Vauban (Freiburg im Breisgau), Oxford Kaserne (Münster) und Kronsberg (Braunschweig), sowie Ermittlung des langjährigen, nicht urbanen, Referenz-Wasserhaushalts für diese Gebiete. |
| Der naturnahe Wasserhaushalt als Leitbild in der Siedlungswasserbewirtschaftung Analyse der Langzeitauswirkungen auf Grundwasserneubildung, Verdunstung und Abflussbildung im urbanen Raum [7] | Ermittlung des langjährigen Wasserhaushalts für 9 Stadteile von Freiburg im Breisgau. Zeitlich hoch aufgelöste Modellierung des Inputs in die Kanalisation in Folge von Niederschlag durch Regen für zwei Jahre für zwei Stadteile von Freiburg. |
| Masterarbeit an der Professur für Hydrologie Freiburg „Potenzial von unkalibrierten Niederschlag-Abfluss-Modellen im Vergleich zu kalibrierten Modellen“ [28] | Vergleich von RoGeR_WB_1D mit dem kalibrierten N-A-Modell HBV in 9 mesoskaligen Einzugsgebieten in Baden-Württemberg |
| Einfluss von Forststraßen und Rückegassen auf das Abflussverhalten im Forschungseinzugsgebiet Rosalia „Doktorarbeit an der BoKu Wien“ (noch nicht abgeschlossen) | Gegenüberstellung eines historischen Zustandes ohne Rückegassen und Forststraßen im dem Ist-Zustand bezüglich der Abflussbildung |

Tabelle 2: Bisherige Anwendungen von RoGeR

- Modellierung von langjährigen Sickerwasser an drei Großlysimetern bei St. Arnold (Nord-Rhein-Westfalen) [21]
- Modellierung von langjährigen Sickerwasser und Bodenfeuchte am wägbaren Lysimeter Riedholzbach (Schweiz) [22, 23]
- Modellierung der Kanalabflüsse in Folge von Regen für zwei Stadteile von Freiburg im Breisgau über zwei Jahre [7]

Wo wurde RoGeR bisher angewendet?

RoGeR wurde und wird für viele Fragestellungen angewendet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Projekte und die verfolgten Fragestellungen.

Wo liegen die Schwächen von RoGeR?

Ein Nachteil von RoGeR ist sicher der Aufwand, den es mit sich bringt, die Modell-Eingangsdaten zu generieren. Die 1D-Version des Wasserhaushaltsmodells macht es dem Nutzer da etwas leichter. Da RoGeR in ständiger Entwicklung ist, gibt es aktuell keine komfortable Benutzeroberfläche. Die Steuerung erfolgt

über Dateien, in die Pfade, Einheiten etc. eingetragen werden. Die bisherige Resonanz von Nutzern hat gezeigt, dass die Komplexität des Modells einige potenzielle Fehlerquellen für den Bearbeiter mit sich bringt, was viel Sorgfalt und Kontrollen erfordert. Auch können durchaus noch Fehler im Code vorhanden sein, die unter den bisherigen Bedingungen und Eingangsdaten noch nicht virulent geworden sind. Die Erzeugung der Eingangsdaten, das Editieren der Steuerdateien und die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse erfordern somit viel Sorgfalt, sollten aber durch Personen zu meistern sein, die Erfahrung mit komplexen, verteilten hydrologischen Modellen besitzen.

Wer kann RoGeR wie anwenden?

Da die Entwicklung von RoGeR aus öffentlichen Mitteln finanziert wurde und wird, soll RoGeR öffentlich verfügbar gemacht werden. Für die ursprüngliche ereignisbasierte N-A-Version von RoGeR mit Abflusskonzentration über ein geomorphologisches Unit-Hydrograph-Verfahren kann eine ausführbare Datei mit einem Testdatensatz bei der Professur für Hydrologie Freiburg

kostenfrei bezogen werden. Dies gilt auch für die Version RoGeR_WB_1D. Die Bereitstellung weiterer Versionen erfolgt sukzessive. Sobald eine weitere Version verfügbar ist, wird auf der RoGeR-Homepage (<http://www.hydrology.uni-freiburg.de/roger/>) darauf hingewiesen.

Ausblick

Die Entwicklung und Nutzung von RoGeR geht weiter. Im IpsPro-Verbundvorhaben wird aktuell in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, dem Institut für Geographie an der Universität Hamburg und dem Staatsbetrieb Sachsenforst das Borkenkäfer-Frühwarnsystem IpsRisk für die Fläche der BRD entwickelt [29]. Dazu wird eine eigens angepasste Version von RoGeR_WB_Dyn zur Modellierung der Trockenstress-Disposition von Fichten für Borkenkäferbefall implementiert. Das Befallsrisiko wird in Form einer täglich aktualisierten, online frei verfügbaren Karte Waldbesitzenden und Waldbewirtschaftenden sowie weiteren Interessierten zur Verfügung gestellt werden.

Ein aktueller Schwerpunkt liegt daher in der Verbesserung des Verfahrens zur Abflusskonzentration mittels Geomorphologischem Unit Hydrograph (GUH). Außerdem ist bisher die dynamische Modellierung der Abflusskonzentration, besonders unter Berücksichtigung der Infiltration auf dem Fließweg, sehr rechenintensiv. Anhand des dynamischen Modells können jedoch Wasserhöhen zeitlich und räumlich detailliert abgebildet werden. Wir suchen anhand von beobachteten Starkregenereignissen in kleinen gemessenen Einzugsgebieten nach einer geeigneten Verteilungsannahme zur Übertragung des dynamischen Verfahrens auf das GUH-Verfahren. Damit könnte erheblich Rechenzeit eingespart werden. Auch für die Abschätzung der Fließweginfiltration suchen wir nach geeigneten Übertra-

gungsfunktionen aus dem dynamischen Modell in das GUH-Modell.

Wir begrüßen eine breite Anwendung von RoGeR durch viele Akteure. Durch den Austausch mit vielen Nutzern und deren Erfahrungen können wir RoGeR potenziell weiter verbessern und gezielt entwickeln. Dazu können gegebenenfalls auch angepasste Versionen bereitgestellt werden. Eine ausführliche Dokumentation der im Laufe der Weiterentwicklung von RoGeR implementierten Methoden steht aktuell auf unserer Agenda.

Literatur

- [1] Steinbrich A, Weiler M (2012): *Abflussbildung und Abflusskomponenten (Atlas Tafel 6.5), Einzugsgebietsbezogene Abflussbildung (Atlas Tafel 6.6), Direktabflusshöhe: Hundertjähriges Niederschlagsereignis (Atlas Tafel 6.7)*, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart (2001): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, 4. Lieferung 2012.
- [2] Scherer, I., Henrichs, M., Uhl M., Schuetz, T., Weiler, M., Hackenbroch, K., König, F. und T. Freytag (2017): *Planungsinstrumente und Bewirtschaftungskonzepte für den Wasserhaushalt in Siedlungen*, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 4 (17), S. 221–228.
- [3] Schaffitel A, Schütz T, Weiler M (2020): *A distributed soil moisture, temperature and infiltrometer dataset for permeable pavements and green spaces*. Earth Syst. Sci. Data, 12, 501–517, 2020
- [4] Peschke G (1985): *Zur Bildung und Berechnung von Regenabfluss*. Wissensch. Zeitschrift der TU Dresden, Nr. 34(4), 195–200.
- [5] Beven, K J, Clarke, R T (1986): *On the variation of infiltration into a homogeneous soil matrix containing a population of macropores*. Water Resources Research, 22 (3), 383–388
- [6] Steinbrich A, Leistert H, Weiler M (2016): *Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution*. Environmental Earth Sciences (2016) 75:1423. doi:10.1007/s12665-016-6234-9
- [7] Weiler M, Schütz T, Schaffitel A, Koelbing M, Brendt T, Steinbrich A (2019): *Der naturnahe Wasserhaushalt als Leitbild in der Siedlungswasserbewirtschaftung - Analyse der Langzeitauswirkungen auf Grundwasserneubildung, Verdunstung und Abflussbildung im urbanen Raum*. Freiburg HydroNotes, Band 5.
- [8] *Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele*; Herausgeber: LARSIM-Entwicklergemeinschaft – Hochwasserzentralen LUBW, BLFU, LfU RP, HLNUG, BAFU; <http://www.larsim.info/dokumentation/LARSIM-Dokumentation.pdf>, Stand: 05.12.2017
- [9] Salvucci, G D (1993): *An Approximate Solution for Steady Vertical Flux of Moisture Through an Unsaturated Homogeneous Soil*. Water Resources Research, 29 (11), 3749–3753.
- [10] Weiler M, Schütz T, et al. (2018): *ReWaM – Verbundprojekt WaSiG: Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer: Planungsinstrumente und Bewirtschaftungskonzepte, Teilprojekt 2*. Abschlussbericht. Technischen Informationsbibliothek (TIB), 50p
- [11] Steinbrich A, Stölzle M, Weiler M (2016): *Generierung von konsistenten Grundlagendaten zur Berechnung von Starkregenereignissen für eine Starkregengefahrenkartierung in Baden-Württemberg*. Projektbericht an die LUBW, unveröffentlicht.
- [12] Haag I, Aigner D, Krumm J, Antonetti M, Regenauer J, Steinbrich A, Weiler M (2018): *LARSIM-Weiterentwicklungen für Starkregenereignisse*. Projektbericht an die LUBW, unveröffentlicht.
- [13] Weiler, M., Pohl, S., Steinbrich, A (2017): *Starkregenrisikomanagement – Untersuchungen in Pilotgebieten*. 6. KLIWA-Symposium, 2017: 170–179:
- [14] Pohl S, Steinbrich A, Weiler M (2017): *Validierung der Oberflächenabflüsse nach Starkregen durch RoGeR an einem Schadensereignis in Bonndorf im Juni 2015*. Projektbericht an die LUBW, unveröffentlicht.
- [15] Pohl S, Steinbrich A, Weiler M (2017): *Validierung der Oberflächenabflüsse nach Starkregen durch RoGeR für das Schadensereignis in Bretten im Juni 2015*
- [16] Grohe E (2019): *Pluvialer und hydraulischer Index im Kontext von Starkregen und Starkregengefahrenkarten*. Masterarbeit an der Professur für Hydrologie, unveröffentlicht.

Anzeige

Unser Expertentipp



Foto: Gianni Crestani - Pixabay



DWA-Regelwerk
Marktlat DWA-M 921
Bodenerosion durch Wasser – Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen



DWA-Regelwerk
Marktlat DWA-M 922
Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung

| WebSeminar | DWA-M 921 (Entwurf) | DWA-M 922 |
|--|--|--|
| <p>Boden als Schutzgut und Baumedium bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern 24. Februar 2021 Online 144,00 € / 120,00 €**</p> | <p>Bodenerosion durch Wasser – Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen Februar 2020 111 Seiten, A4 ISBN: 978-3-88721-853-9 96,50 € / 77,20 €*</p> | <p>Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung März 2020 194 Seiten, A4 ISBN: 978-3-88721-912-3 140,50 € / 112,40 €*</p> |

*] für fördernde DWA-Mitglieder
**] für DWA-Mitglieder

- [17] Lavandier G (2019): *Validierung des Modells RoGeR für Starkregeneignisse in Luxemburg mit realen Einsatzdaten*. Masterarbeit an der Professur für Hydrologie, unveröffentlicht.
- [18] Krier R (2017): *Einflussfaktoren auf Sturzfluten und deren Potenzial zur Modellierung*. Masterarbeit an der Professur für Hydrologie, unveröffentlicht.
- [19] Ries F, Kirn L, Weiler M (2018): *Validierung von Oberflächenabflüssen nach Starkregen an Hängen in Baden-Württemberg*. Projektbericht an die LUBW, unveröffentlicht.
- [20] Ries F, Kirn L, Weiler M (2020): *Runoff reaction from extreme rainfall events on natural hillslopes: a data set from 132 large-scale sprinkling experiments in south-western Germany*, 2020 Earth Syst. Sci. Data, Copernicus Publications, volume: 12, issue: 1, pages: 245–255
- [21] Steinbrich A, Henrichs M, Leistert H, Scherer I, Schütz T, Uhl M, Weiler M (2018): *Ermittlung eines naturnahen Wasserhaushalts als Planungsziel für Siedlungen*. In Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 62. Jahrgang, Heft 6, Dezember 2018. DOI: 10.5675/HY-WA_2018_6_3.
- [22] Leistert H, Steinbrich A, Schütz T, Weiler M (2018): *Wie kann die hydrologische Komplexität von Städten hinreichend in einem Wasserhaushaltsmodell abgebildet werden?* In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 39.18, M³ – Messen, Modellieren, Managen in Hydrologie und Wasserressourcenbewirtschaftung. Beiträge zum Tag der Hydrologie am 22./23. März 2018 in Dresden. Schütze N, Müller U, Schwarze R, Wöhling T, Gundermann J (Herausgeber). Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie. Dresden 20018.
- [23] Steinbrich A, Leistert H, Weiler M (2020): *Forschungsprojekt zur Erarbeitung von Grundlagen für die landesweite Abschätzung der Vulnerabilität von Grundwasser gegenüber Stoffeinträgen durch Sickerwasser und eines flächendetaillierten Grundwasserneubildungs-Index (GwN-I)*. Projektbericht an die LUBW, unveröffentlicht.
- [24] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016): *Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg*
- [25] DWA (2020): DWA-Merkblatt M-922, *Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung*
- [26] Ad-hoc-AG Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. Auflage, Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 438 S.
- [27] Steinbrich A, Leistert H, Stölzle M, Weiler M (2020): *Weichenstellung im Untergrund – vom Baseflow-Index zum Grundwasser-Neubildungs-Index?* In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 42.20. Hydrologie: Verbindung der Umweltsphären und –Disziplinen. Eingereichte Beiträge zum geplanten Tag der Hydrologie 2020 in Potsdam. Bronstert A, Guse B, Blume T, Hattermann F, Oswald S, Thieken A (Hrsg.). S. 93–96.
- [28] Siegismund J (2020): *Potenzial von unkalibrierten Niederschlag-Abfluss-Modellen im Vergleich zu kalibrierten Modellen*. Masterarbeit an der Professur für Hydrologie Freiburg (unveröffentlicht).
- [29] Hallas T, Puhlmann H, Wehberg J, Conrad O (2020): *Development of an operational early warning system to enhance bark beetle risk management – Application of soil water balance models to assess the drought-stress induced disposition of spruce forests to bark beetle infestations*. EGU General Assembly. Wien, Mai 2020. DOI: 10.5194/egusphere-egu2020-18323.

Autoren

Prof. Dr. Markus Weiler
 Dipl. Hydrol. Hannes Leistert
 Dipl. Hydrol. Andreas Steinbrich
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
 Friedrichstraße 39
 79098 Freiburg

E-Mail: markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de



WIR TRAUERN 2020 UM

ÄGYPTEN: 13. Juli **Mohamed Monir**, Printjournalist | AFGHANISTAN: 30. Mai **Amiri Samir**, Fernsehjournalist | 30. Mai **Sabih Schafik**, Fernsehmitarbeiter | 12. November **Daji Alijas**, Radiojournalist | 10. Dezember **Malalai Maiwand**, Fernsehjournalistin | 10. Dezember **Taher Chan**, Fernsehmitarbeiter/Fahrer | BANGLADESCH: 11. Oktober **Ilyas Hossain**, Zeitungsreporter | HONDURAS: 1. Juli **Jorge Posas**, Fernsehjournalist | 1. Juli **German Gerardo Vallecillo**, Fernsehjournalist | 28. September **Luis Almendares**, freier Journalist | INDIEN: 19. Juni **Shubham Mani Tripathi**, Zeitungsreporter | 8. November **Isravel Moses**, Fernsehjournalist | 12. November **Parag Bhuyan**, Print-/Fernsehjournalist | 28. November **Rakesh Singh »Nirbhik«**, Printjournalist | IRAK: 10. Januar **Safaa Ghali**, Kameramann | 10. Januar **Ahmad Abdelsamad**, Fernsehreporter | 20. Januar **Jussef Satar**, Fotojournalist | 11. Februar **Nisar Thanun**, Fernsehgeschäftsführer | 6. Juli **Hischam al-Haschimi**, Publizist | 12. August **Huner Rasul**, Fernsehjournalist | IRAN: 12. Dezember **Ruhollah Sam**, Blogger | JEMEN: 2. Juni **Nabil Hassan**, Foto-/Videojournalist | KOLUMBIEN: 13. August **Abelardo Liz**, Radioreporter | MEXIKO: 1. Februar **Víctor Fernando Álvarez Chávez**, Online-journalist | 30. März **Maria Elena Ferral Hernández**, Zeitungsreporterin | 16. Mai **Jorge Miguel Armenta Ávalos**, Printjournalist | 2. August **Pablo Morrugares**, Onlinejournalist | 9. September **Julio Valdivia Rodríguez**, Polizeireporter | 29. Oktober **Arturo Alba Medina**, Fernsehjournalist | 9. November **Israel Vázquez Rangel**, Onlinejournalist | 9. Dezember **Jaime Castaño Zacarias**, Fotojournalist | NIGERIA: 21. Januar **Alex Ogbu**, Korrespondent | 24. Oktober **Onifade Pelumi**, Fernsehjournalist | PAKISTAN: 15. Februar **Aziz Memon**, Print-/Fernsehjournalist | 26. Mai **Zulfiqar Mandrani**, Printjournalist | 23. Juli **Anwar Jan Kethran**, Printjournalist | 25. September **Abid Hussain Abidi**, Printjournalist | PARAGUAY: 12. Februar **Lourenço »Léo« Veras**, Onlinejournalist | PHILIPPINEN: 5. Mai **Rex Cornelio**, Radiojournalist | 14. September **Jobert Bercasio**, Fernsehjournalist | 10. November **Virgilio »Vir« Maganes**, Radiojournalist | RUSSLAND: 9. November **Alexander Tolmatschew**, Printjournalist | SAUDI-ARABIEN: 19. Juli **Saleh al-Schehi**, Printjournalist | SOMALIA: 16. Februar **Abdulwali Ali Hassan**, Reporter | 4. Mai **Said Yusuf Ali**, Fernsehjournalist | SYRIEN: 5. Februar **Amdschad Aktalati**, Fotograf | 20. Februar **Abdel Nasser Hadsch Hamdan**, Fotograf | 26. Oktober **Raschid Bakr**, Reporter/Kameramann | 12. Dezember **Hussein Chattab**, Fernsehjournalist | VENEZUELA: 18. August **José Carmelo Bislick**, Radiojournalist

Ihre Spende für die Pressefreiheit: www.reporter-ohne-grenzen.de/spenden

