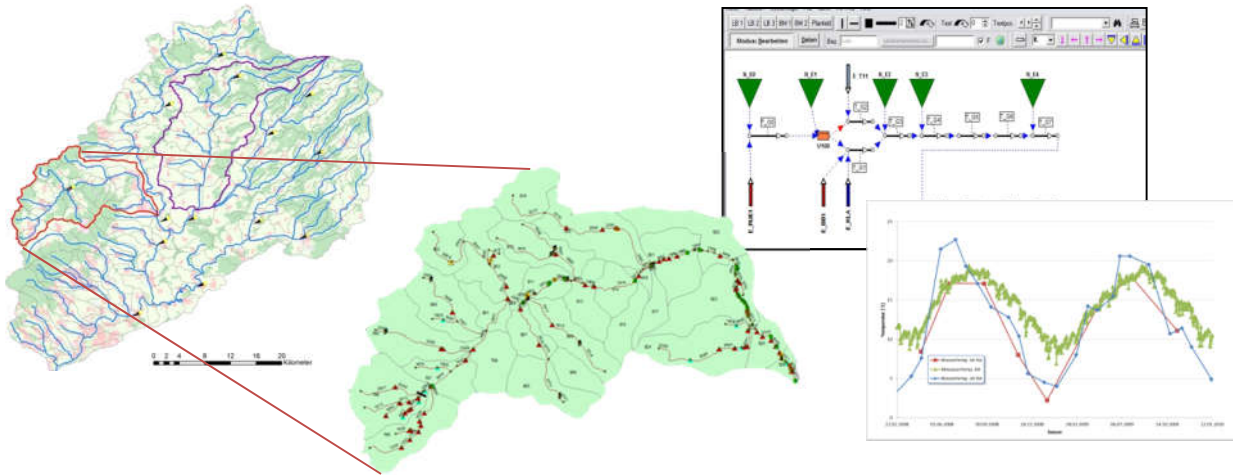


Abflussmodellierung als Planungsgrundlage für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung



1 Einführung

Aus §57 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und den Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) RL 2000/60/EG folgt, dass Gewässerbelastungen aus punktuellen Einleitungen und diffusen Quellen integriert zu analysieren sowie gewässerbezogen emissions- und immissionsorientiert zu bewerten sind. Um diesen grundlegenden Anforderungen gerecht zu werden, ist die Kenntnis der Abflussverhältnisse in einem Bewirtschaftungsraum unabdingbar. Je nach Problemstellung sind Aussagen über das Abflussgeschehen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen erforderlich. Im Rahmen des biologischen Monitorings können nur punktuelle, nicht auf einen Abfluss bezogene Informationen in meist geringer zeitlicher Auflösung zur Verfügung gestellt werden. Abflusspegel liegen nur an einem geringen Teil der Gewässer (meist am unteren Ende eines Einzugsgebiets) vor. Sowohl für die Defizitanalyse als auch für die Maßnahmenplanung sind wasserwirtschaftliche Modelle ein geeignetes Werkzeug, um planungsrelevante Informationen über das Abflussverhalten bereitzustellen. Die Wahl des Modelltyps und damit die räumliche und zeitliche Auflösung ist dabei abhängig von der zu beantworteten Fragestellung. Hydraulische Auswirkungen von Entlastungsereignissen an Mischwassereinleitungen oder aus Trenngebietsentwässerungen können nur mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung erfasst wer-

den. Für Frachtbilanzen und die Beurteilung mittlerer jährlicher Konzentration ausgewählter (Schad)Stoffe können die räumliche und zeitliche Auflösung verringert und der Betrachtungsraum erweitert werden.

Im Rahmen von NiddaMan wurden unterschiedliche Modelle eingesetzt, um für die verschiedenen räumlichen und zeitlichen Betrachtungsebenen zielgerichtet Daten zu erzeugen, die auch als Basis für die weiteren Planungsschritte verwendet werden können. Die gewählten Modelle sollen zudem in der Lage sein, Maßnahmen abzubilden, die auf der jeweiligen Planungsebene relevant sind. NiddaMan ist eines von 14 Projekten in der BMBF-Fördermaßnahme "Regionales Wasserressourcen-Management für nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland" (ReWaM) und Teil des BMBFFörderschwerpunktes "Nachhaltiges Wassermanagement" (NaWaM) im Rahmenprogramm "Forschung für Nachhaltige Entwicklung" (FONA). Wissenschaftler, Praktiker und Experten arbeiten unter anderem gemeinsam an der Frage, welche Bedeutung Spurenstoffe (z.B. Arzneimittel, Pestizide, Duftstoffe) für Fließgewässer haben und welche Maßnahmen Einträge am effektivsten reduzieren können. Das Einzugsgebiet der Nidda wurde als Modellregion für die umfangreichen Studien ausgewählt, da es stellvertretend für viele Oberflächengewässer einen Großteil möglicher Einflussfaktoren auf den Gewässerzustand beherbergt.

2 Modelle

Zur Untersuchung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen, insbesondere vor dem Hintergrund der Identifikation möglicher Belastungsquellen und Eintragspfade sowie zur Analyse verschiedener Szenarien, steht eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle zur Verfügung. Sie decken verschiedenste räumliche (wenige m² bis mehrere km²) und zeitliche Auflösungen (wenige Minuten bis Jahreswerte) ab. Für die Bearbeitung im Rahmen von NiddaMan wurde die Anwendung eines Wasserhaushaltsmodells sowie von Niederschlags-Abfluss-Modellen (N-A-Modell) für urbane und rurale Abflussgebiete näher untersucht.

Ein Wasserhaushaltsmodell ist ein hydrologisches Modell, das über längere Zeiträume (Kontinuumsmodell) das Abflussverhalten in einem Einzugsgebiet aufgrund von Niederschlagsereignissen und klimatischen Randbedingungen abbildet. Der gesamte Bodenwasserhaushalt wird simuliert, und wesentliche Einflussgrößen sind neben den klimatischen Treiberdaten der Bodenaufbau, die Landnutzung und die Gefälleverhältnisse im Einzugsgebiet. Das Wasserhaushaltsmodell ist insbesondere zur Untersuchung des Einflusses von Landnutzungs- und Klimaänderungen auf das Abflussregime geeignet.

Im Gegensatz hierzu simulieren die N-A-Modelle den Abfluss einer durch Niederschlag ausgelösten Hochwasserwelle ohne Berücksichtigung des Bodenwasserhaushalts (Ereignismodell). Abgebildet werden die Prozesse der Abflussbildung, der Abflusskonzentration und der Transformation der Abflusswelle. N-A-Modelle können in ruralen oder urbanen Gebieten (Schmutzfrachtberechnung) eingesetzt werden.

Eine grundlegende Anforderung an die Modelle war die allgemeine Zugänglichkeit der Programmsysteme sowie der erforderlichen Datengrundlage. Mit den wasserwirtschaftlichen Modellen werden zum einen die Abflussverhältnisse für die heutige Situation berechnet, um letztendlich die Ergebnisse der darauf aufbauenden Gewässergüte- und Stoffeintragsberechnungen mit vorliegenden Beobachtungen abgleichen zu können. Betrachtet werden aber auch die im Zuge des Vorhabens von den Verbundpartnern zur Verbesserung festgestellter Defizite erarbeiteten Maßnahmen. Sie werden in die wasserwirtschaftlichen Modelle eingearbeitet und dann in ihren Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse nachgewiesen. Eine darauf aufbauende Stoffeintrags- und Gewässergütemodellierung ermöglicht dann letztendlich auch eine Beurteilung der Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die angestrebte Verbesserung der gewässerökologischen Situation der Nidda und ihrer Nebengewässer.

2.1 Detaillierungsgrad und Modellebenen

Vor dem Hintergrund der Fragestellungen, denen sich NiddaMan gestellt hat, wurden zwei Betrachtungsebenen gewählt. Mit einem *Gesamtmodell Nidda* wird das komplette Einzugsgebiet der Nidda erfasst.

Das Einzugsgebiet der Nidda beträgt ca. 1.940 km². Es ist in seiner Ausdehnung von Nordosten nach Südwesten etwa 65 km lang und im Mittel 35 bis 42 km breit. In dem wasserreichen Naturraum befinden sich die Quellregionen von Nidda, Nidder, Wetter, Horloff, Usa und Seemenbach. Die Nidda selbst entspringt am Taufstein im Vogelsberg auf einer Höhe von ca. 720 müNN. Die Usa als wichtigster Zufluss der Wetter hat ihren Ursprung hingegen im Taunus, dem südöstlichen Eckpfeiler des Rheinischen Schiefergebirges. Im Gesamtgebiet münden etwa 900 Mischwasserentlastungen, 60 Kläranlagenabläufe, über 200 Einleitungen aus Trenngebieten sowie zahlreiche industrielle Direkteinleiter in die Gewässer. Für das Gesamtgebiet ist eine detaillierte Abbildung jeder Einleitung damit nicht zweckmäßig. In einer zweiten Ebene werden exemplarische zwei Einzugsgebiete mit unterschiedlichen Randbedingungen detaillierter abgebildet.

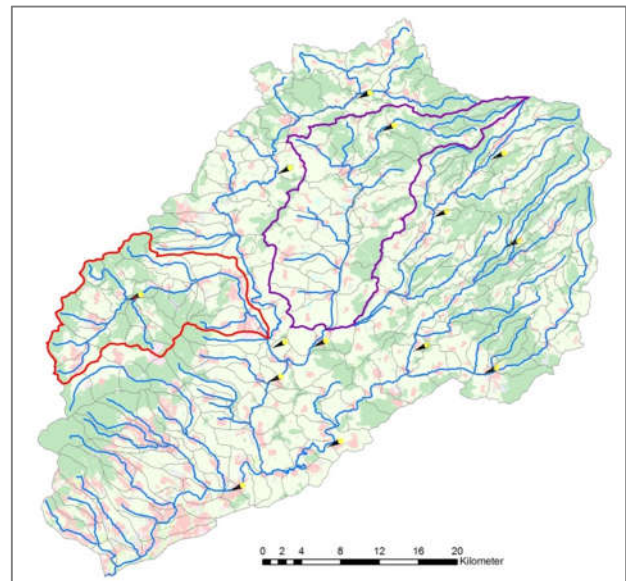


Abbildung 1: Gliederung (Teilgebiete, Hauptfließgewässer und Landnutzung) des Einzugsgebiets im Gesamtmodell mit Pegelstationen (Detailgebiet Usa – rot umrandet; Detailgebiet Horloff – violett umrandet)

Mit zunehmender Detaillierung steigt die Anforderung an die Datengrundlage. Während für Betrachtungen im kompletten Einzugsgebiet der Nidda Frachtbilanzen oder hydraulische Auswirkungen auf den Main von Interesse sind, werden in den Detailgebieten beispielsweise die lokalen hydraulischen Auswirkungen einzelner Einleitungen relevant. Für die Darstellung der Abflussverhältnisse im Gesamtgebiet wurde das Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model)

(LEG, 2017) gewählt. Das eingesetzte Modell ist ein Teil des vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zur operationellen Hochwasservorhersage verwendeten Modells für Südhessen. Die räumliche Auflösung beträgt im Mittel etwa 5 km², und die Zeitschrittweite der Berechnung erfolgt auf Tageswerten.

Das *Detailgebiet Usa* mit einer Einzugsgebietsgröße von etwa 185 km² spiegelt die typische Belastungssituation eines Mittelgebirgsbachs wider. Für die Abflussmodellierung stehen eine gute Datengrundlage sowie die Möglichkeit der Kalibrierung an zwei Pegelstandorten (Usingen/Kransberg und Friedberg) zur Verfügung. Das Abflussverhalten in den relevanten Fließgewässern wird mit einem 1-dimensionalen Gerinnebaustein abgebildet. Die Einleitungen von fünf Kläranlagen, 58 Mischwasserentlastungen und über 40 Trenngebieten werden durch ein angepasstes Schmutzfrachtmodell abgebildet (siehe Abbildung 2).

Für das *Detailgebiet Horloff* mit einer Einzugsgebietsgröße von 280 km² sind die Kalibriermöglichkeiten für die Abflussmodellierung eingeschränkt, da nur bei Ruppertsburg ein Pegel im Oberlauf vorhanden ist. Das Abflussverhalten wird zudem durch zahlreiche Verzweigungen, durchflossene Seen und das geringe Gefälle der Horloff im Bingenheimer Ried und der Horloff-Aue beeinflusst. Es werden insgesamt etwa 100 punktuelle Einleitungen (Kläranlagen, Mischwasserentlastungen, Trenngebietenentwässerung, industrielle Direkteinleiter) abgebildet. Insgesamt ist im Detailgebiet Horloff eine gegenüber dem Detailgebiet Usa deutlich reduzierte Datengrundlage vorhanden, die durch entsprechende Annahmen ergänzt werden muss.

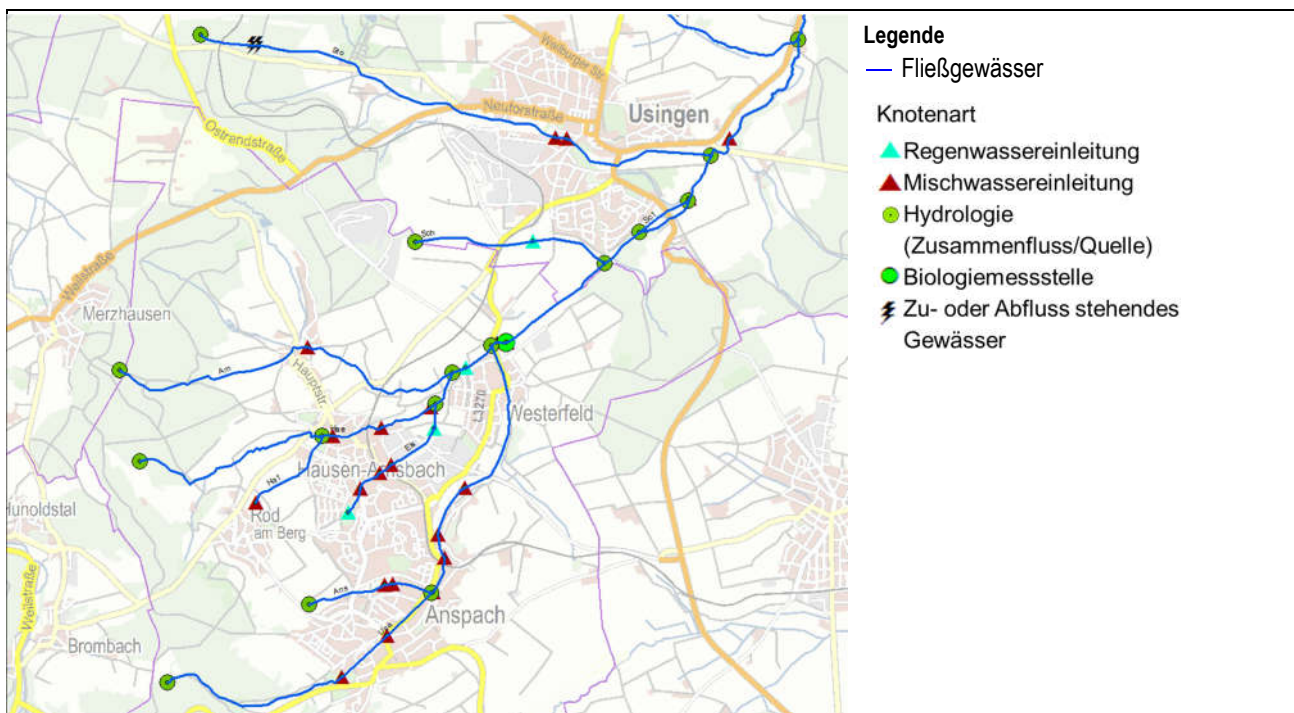


Abbildung 2: Auszug des Knoten-Kanten-Modells im Oberlauf der Usa

In den Detailgebieten wurde als N-A Modell für die Siedlungsgebiete die Software MOMENT (BGS Wasserwirtschaft GmbH, 2016) eingesetzt. Im Softwarepaket GINA (BGS Wasserwirtschaft GmbH, 2017) wird MOMENT mit dem N-A-Modell HYBNAT (BGS Wasserwirtschaft GmbH) gekoppelt. HYBNAT ist ein N-A-Modell, das zur Nachbildung des Wellenablaufes im Gerinne eine quasi-hydrodynamische Berechnung nutzt, die die Speicherwirkung unter Berücksichtigung der Wasserspiegellagen erfasst. In den Detailgebieten Usa und Horloff wurde mit dem Programmpaket GINA simuliert. Alle punktuellen

Einleitungen wurden ortsgenau dem Gewässer zugeführt und eine wesentlich höhere räumliche (wenige m² bis km²) und zeitliche Auflösung (5 Minuten) gewählt.

2.2 Modellkopplung

Für die Weiterverwendung der Ergebnisse der Abflussmodellierung in einem darauf aufbauenden Stofffluss- und Gewässergütemodell (MoRe [Modeling of Regionalized Emissions], Fuchs et al., 2017) sowie die Kopplung der Abflussmodelle untereinander musste eine integrierte

Modellumgebung geschaffen werden, damit die Eingangsdaten und Ergebnisse möglichst effizient in den unterschiedlichen Modellen genutzt werden können.

In das Modellsystem MoRe sind wesentliche punktuelle und diffuse Stoffeintragspfade für die Modellierung von Stoffflüssen implementiert. Die Abschätzung der Gewässerfracht auf Basis der Gesamteinträge erfolgt über die Berücksichtigung einer stoffabhängigen Retention. Der Modellaufbau basiert auf einem Knoten-Kanten-Modell. Für das Gesamtmodell Nidda mussten die Ergebnisse aus LARSIM aufbereitet werden, um für das Stofffluss- und Gewässergütemodell mittlere Abflüsse und Fließzeiten an den Knoten dieses Modells bereitstellen zu können. Für die Bearbeitung in den Detailgebieten erfolgte eine Erweiterung des Programmpakets GINA. Über eine GIS-Schnittstelle konnte das für das Modell MoRe erforderliche Knoten-Kanten-Modell direkt importiert und weiterverwendet werden. Zusätzlich wurde ein Baustein implementiert, der die Anbindung von Modellierungsergebnissen aus LARSIM ermöglicht, um insbesondere in den Kopfgebieten (Quellbereiche) eine adäquate Abbildung des Wasserhaushalts zu ermöglichen.

Letztendlich können die Ergebnisse aller verwendeten Abflussmodelle untereinander und mit dem eingesetzten Stofffluss- und Gewässergütemodell MoRe gekoppelt werden. Die Grundlagen für den Modellaufbau von GINA und MoRe wurden abgestimmt, sodass Änderungen bspw. für Szenarienrechnungen direkt in beiden Modellsystemen implementiert werden können. Das Aggregieren der Ergebnisse der Abflussmodellierung von 5 Minuten auf andere Zeitebenen (Tages-, Monats-, Jahreswerte) erfolgt entsprechend den Modellanforderungen automatisiert.

3 Verwertung der Modellierungsergebnisse für weitere Planungsschritte

Die Möglichkeiten der weiteren Verwendung der Modellierungsergebnisse sind abhängig von der Fragestellung, dem Detaillierungsgrad der Modellierung bzw. der vorab gewählten Modellebene.

Die zeitlich und räumlich verhältnismäßig grobe Auflösung im *Gesamtmodell* ermöglicht die Auswertung der Abflüsse auf Tages-, Monats- und Jahresbasis, um darauf aufbauend Frachtbilanzen erstellen zu können. Konkret wurden in NiddaMan die Ergebnisse für die Teilgebiete des LARSIM-Gesamtmodells über Interpolation auf das für die Güte- und Stoffflussmodellierung erstellte Knoten-Kanten-Modell übertragen. Neben den Abflussdaten (mittlerer Jahresabfluss und mittlerer Niedrigwasserabfluss) wurden aus den vorliegenden Gerinnetdaten mittlere Aufenthaltszeiten in den Gerinnestrecken ermittelt. Mittel- bis langfristige Szenarien, wie Landnutzungsänderungen (siehe Abbildung 3), Demographie

(Schließung Kläranlagen) oder Klimaveränderungen können prinzipiell abgebildet werden, während lokale kurzzeitige Effekte (z.B. hydraulische Belastung durch Punktquellen) nicht erfasst werden können. Die Abbildung des Gesamtgebiets mithilfe eines Wasserhaushaltsmodells ist daher als ein mögliches Werkzeug zur Abschätzung der Relevanz des Niddaeinzugsgebietes für Frachteinträge in die folgenden Flussgebiete zu betrachten. Die mittel- bis langfristigen Änderungen einzugsgebietsbezogener Größen auf den Abfluss und im Fall der Kopplung an ein Gewässergüte- und Stoffflussmodell auch Stofffrachten können prognostiziert werden.

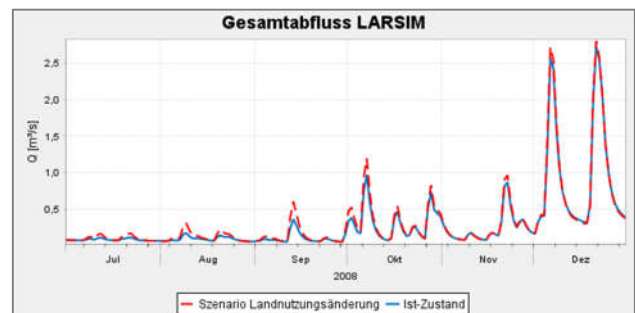


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung des Szenarios Landnutzungsänderung (Erhöhung des besiedelten Flächenanteils, Reduktion der Ackerfläche) auf den Abfluss mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM

In den *Detailgebieten* werden für die weitere Planung hochaufgelöste Abflussganglinien im Gewässer und an den Einleitstellen der Siedlungsentwässerung bereitgestellt. Für NiddaMan wurden in den Detailgebieten mehrere Fragestellungen bedient.

Die biologischen Daten, die im Rahmen von NiddaMan erhoben wurden, werden in statistischen Auswertungen einer Ursache-Wirkungsanalyse unterzogen, um Hauptstressoren identifizieren zu können. Neben stofflichen Parametern wurden aus der Abflussmodellierung Kennwerte, wie der Abfluss zum Zeitpunkt der Probenahme sowie der mittlere monatliche und jährliche Abfluss an der Stelle der Probenahme, abgeleitet und in die Datenbank integriert. Aus den hochaufgelösten Daten der Einleitungen der Siedlungsentwässerung (Kläranlagen, Regenwassereinleitungen und Mischwasserentlastungen) konnten sowohl ereignisbezogene Spitzenwerte als auch auf Tages-, Monats- und Jahresebene aggregierte Kennwerte extrahiert werden (z.B. jährliche Entlastungsvolumen und -frachten). Diese werden für die Gütemodellierung oder die direkte Ableitung von Maßnahmenbedarf an den Punktquellen herangezogen (siehe auch Fundneider et al., 2017). Aus der Modellierung des Gewässerabflusses und der Kenntnis der Abflüsse aus den Siedlungsgebieten kann die Rückrechnung des Abwasseranteils am Gesamtabfluss hochaufgelöst oder bei spezifischen Abflusskennwerten (MQ, MNQ) abgeleitet werden (vgl. Abbildung 4). Der Abwasseranteil konnte als relevanter

Parameter sowohl für die Defizitanalyse (bspw. über Rückkopplung zu biologischen Daten) als auch für die Maßnahmenplanung (z.B. für immissionsbasierte Herleitung von Grenzwerten) herausgearbeitet sowie orts- und zeitspezifisch ermittelt werden.

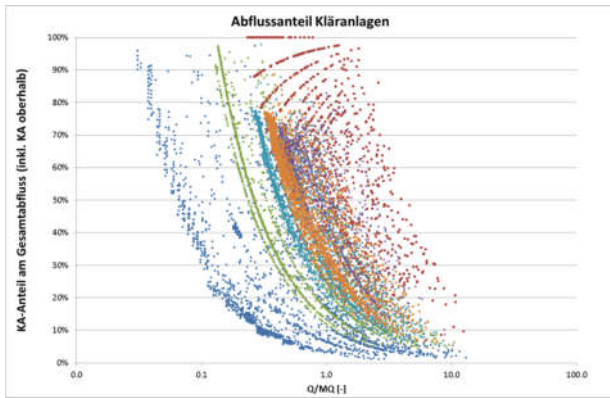


Abbildung 4: Beispielhafte Auswertung für den Abwasseranteil von Kläranlagen im Einzugsgebiet der Usa (farbige Differenzierung der Kläranlagen im EZG)

Für die Verwendung der Ergebnisse der Abflussmodellierung in MoRe konnten neben Abflüssen in verschiedenen zeitlichen Auflösungen sowie die statistischen Kennwerte (mittlere jährliche Abflüsse für jedes Modellierungsjahr sowie als Mittelwert [MQ, MQx], niedrigster jährlicher Tagesabfluss sowie mittlerer Niedrigwasserabfluss im Modellierungszeitraum [NQx, MNQ]) die Fließzeit in den Gerinneelementen für unterschiedliche Abflusszustände bereitgestellt werden.

4 Fazit

Um dem Anspruch einer integrierten und nachhaltigen Planung im Sinne der EU-WRRL gerecht zu werden, sind Modelle in der Wasserwirtschaft, insbesondere in komplex strukturierten Einzugsgebieten, effiziente Werkzeuge. Durch die Abbildung der Ist-Situation können in Kombination mit Messwerten aus biologischen und chemischen Erhebungen Defizite erkannt und Belastungsquellen identifiziert werden. Es gilt dabei mittels der Modelle zunächst die Ist-Situation möglichst realitätsnah abzubilden, um eine belastbare Grundlage für die Maßnahmenplanung (Szenarien) bereitstellen zu können.

In NiddaMan konnten verschiedene Fragestellungen in zwei Modellebenen beantwortet werden. Im Gesamtmodell für das Niddaeinzugsgebiet erfolgte die Kopplung des Wasserhaushaltsmodells LARSIM mit dem Stofffluss- und Gewässergütemodell MoRe. Die für die Stofffluss- und Gütemodellierung erforderlichen Kennwerte zur Abbildung des Abflussverhaltens (Abflüsse, Fließzeiten an Knoten und Kanten) wurden durch die Abflussmodellierung bereitgestellt.

In den Detailgebieten wurde eine räumlich und zeitlich höhere Auflösung mit einem gegenüber dem Ge-

samtgebiet deutlich erhöhten Datenbedarf gewählt. Das Programmpaket GINA (BGS Wasserwirtschaft GmbH) wurde um Schnittstellen erweitert, die eine effiziente Kopplung mit dem Stofffluss- und Gewässergütemodell MoRe und dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM ermöglichen. Die Ergebnisse der Abflussmodellierung in den Detailgebieten können in verschiedenen Zeitschritten und räumlich aggregiert werden. Im Rahmen von NiddaMan wurde der Abwasseranteil im Gewässer als maßgebender Belastungsindikator für die Einschätzung der stofflichen Belastungen herausgearbeitet. Der Abwasseranteil lässt Rückschlüsse auf Defizitursachen zu und kann zur immissionsbasierten Herleitung von Grenzwerten für Einleitung herangezogen werden. Die aufgebauten Modelle und Modellstrukturen ermöglichen Aussagen über die Auswirkungen unterschiedlichster Maßnahmen auf den Wasserhaushalt, das Abflussgeschehen und letztendlich auch über die transportierten Stofffrachten.

5 Literatur

- WHG – Wasserhaushaltsgesetz: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist.
- EU-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Brüssel.
- Fundneider et al. (2017): Immissionsbasierte Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft für einen ganzheitlichen Gewässerschutz. WissensWert Nr. 4, 2017.
- LEG (2017): - 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
- Fuchs, S., et al. (2017): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE) into Water Bodies: An Open-Source River Basin Management System. Water 2017, 9, 239
- BGS Wasserwirtschaft GmbH (2016): MOMENT 9 - Modellierung von Mischwasserentlastungen. Kurzbeschreibung. Darmstadt, 2016
<http://bgswasser.de/uploads/software/docs/moment9-kurzbeschreibung.pdf>
- BGS Wasserwirtschaft GmbH (2017): GINA-3 Gewässerbezogener Immissionsnachweis für Abwassereinleitungen. Kurzbeschreibung. Darmstadt, 2017
<http://bgswasser.de/uploads/software/docs/gina-kurzbeschreibung.pdf>

InternetNiddaMan: www.niddaman.deMORE: <http://isww.iwg.kit.edu/MoRE.php>LARSIM: www.larsim.infoHYBNAT: <http://bgswasser.de/leistungen/numerische-modellierung/hybnat/>MOMENT: <http://bgswasser.de/leistungen/numerische-modellierung/moment/>GINA: <http://bgswasser.de/leistungen/numerische-modellierung/gina/>**Herausgeber:** Projektverbund NiddaMan, Frankfurt, April 2018**Autoren:** Oliver Kraft, Stefan Wallisch, Mario Hammann**Kontakt:** BGS Wasserwirtschaft GmbH, Pfungstädter Str. 20, 64297 Darmstadt
Dr.-Ing. Oliver Kraft, email: o.kraft@bgswasser.de

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und ForschungInstitut für
sozial-ökologische
ForschungERHARD-KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGENKIT
Karlsruher Institut für TechnologieRegierungspräsidium
Darmstadt