

Wasser- und Stickstoffhaushalt im Festgesteinseinzugsgebiet der Elbe

Robert Schwarze, Frank Drewlow, Werner Dröge, Andreas Beblík, Uwe Grünewald

1 Einleitung

Die Kenntnis der Umsatzräume, Fließwege und Verweilzeiten des Wassers im Gewässereinzugsgebiet ist Voraussetzung für Untersuchungen zum Weg- und Zeitverhalten der Schadstoffausträge über die Boden und Grundwasserpassage. Am Beispiel des Wasser- und Stickstoffhaushaltes wird für ein typisches Festgesteinseinzugsgebiet der Elbe (Freiberger und Zwickauer Mulde) der Kausalzusammenhang zwischen Steuergrößen (z.B. Bewirtschaftung, Landnutzung) und Stoffaustrag ins Gewässer untersucht. Das Vorhaben bedient sich eines genesteten Modellansatzes. Dabei wird zunächst in sehr gut untersuchten Experimentalgebieten (z.B. Hölzelbergbach 0,76 km²; Talsperre Saidenbach 70 km²) Modellentwicklung und –verifizierung betrieben. In einer stufenweisen Ausweitung auf größere Flussgebiete (Flöha ca. 650 km², Freiberger und Zwickauer Mulde ca. 6.000 km²) wird der methodische Ansatz erweitert (Flusslaufmodell, Talsperrenbewirtschaftung etc.). Kennzeichnendes Element der räumlichen Gliederung ist der landwirtschaftliche Schlag. Rechenschritt ist der Tag, Ergebnisse werden als aktuelle Monatswerte bzw. langjährige Mittelwerte erstellt. Mit dem Übergang vom Kleinstgebiet zum wasserwirtschaftlich relevanten Flussgebiet ist der Einfluss einer zunehmend stärker generalisierten Datengrundlage (z.B. Landbewirtschaftung: Übergang vom realen Schlag zu regional gültigen Bewirtschaftungsszenarien) zu berücksichtigen. Die im Folgenden dargelegten Zwischenergebnisse beziehen sich auf die Aufbereitung der Daten und die darauf basierende regelgestützte Gebietsgliederung mittels GIS, welche nach dem Kaskadenkonzept (Schwarze 1985; Schwarze et al. 1998) vorgenommen wird. Weiterhin werden Messungen und Berechnungen zur Bestimmung der Verweilzeit und erste Berechnungsergebnisse zum Wasser- und Stickstoffhaushalt vorgestellt.

2 Daten für die Gebietsgliederung

Die für die Gebietsgliederung notwendigen Eingangsdaten beinhalten Informationen zur Topographie und Topologie, zur Geologie und den Böden sowie zur Landnutzung. Im Einzelnen liegen vor:

- digitales Geländemodell „MILGEO“ (25 m Raster, Höhengenaugkeitsangaben ± 1 m),
- Gewässernetz, Einzugsgebietsgrenzen der Topograph. Karte 1 : 50.000 (hochgezeichnet, digitalisiert),
- geologische Grundkarte 1 : 25.000 (hochgezeichnet und digitalisiert),
- Landnutzung Maßstab 1 : 100.000 aus „Daten zur Bodenbedeckung für die Bundesrepublik Deutschland“ des Statistischen Bundesamtes in Wiesbaden (digitale Daten; deutschlandweit verfügbar),
- Landnutzung aus der „Biotoptypenkartierung von Sachsen“ im Maßstab 1 : 10.000 (digitale Daten),
- Boden aus der landwirtschaftlichen (MMK) bzw. forstlichen (FSK) Standortkartierung (digitale Daten für Sachsen, nur ein vorläufiger Stand der Bearbeitung durch die jeweilige Fachbehörde).

Diese Daten wurden georeferenziert und sind auf einem Stand, der eine weitere Bearbeitung und Verschneidung im GIS ermöglicht. Für den Boden ist einschränkend zu bemerken, dass mit der MMK und FSK ein Datensatz vorliegt, welcher mangels Alternativen nur als Kompromiss mit eingeschränktem Informationsgehalt angesehen werden kann. Große Probleme bereitet in diesen Karten die Zusammenfassung größerer Flächen, für die der Anteil von verschiedenen Böden nur in 20% -Stufen vorliegt. Die für den Mittelgebirgsbereich notwendige lagegerechte Zuordnung sowie die Bestimmung von Profilen ist mit vertretbarem Aufwand nur als „Expertenschätzung“ realisierbar. Dafür wurden primär von der Morphologie ausgehende GIS-gestützte Zuordnungsregeln erarbeitet. In Sachsen wird gegenwärtig eine aktuelle Bodenkarte (Maßstab 1 : 50.000 – BK 50) erstellt, von welcher zurzeit im Untersuchungsgebiet nur die Blätter „Olbernhau“ und „Freiberg“ als Analogdruck vorhanden sind. Diese Karte ist perspektivisch das geeignete Instrumentarium, um hydrologisch relevante Bodenparameter abzuleiten, weil sie abgesehen von der Aktualisierung gegenüber der MMK/ FSK den Vorteil hat, dass keine „Freiflächen“ (Flächen, die nicht landwirtschaftlicher oder forstlicher Nutzung unterliegen) verbleiben und die Mächtigkeit, Schichtung und Bodenart (Profile nach KA4) angegeben werden. Für das Einzugsgebiet des Pegels Borstendorf/Flöha (Untersuchungsgebiet Stickstoff) wurden die Polygone der MMK und der FSK zusam-

mengeführt und bereinigt. Da ein Teil des Untersuchungsgebietes Borstendorf von der BK 50 (Blatt Olbernhau) abgedeckt wird, können in Abhängigkeit von den substrattypischen Eigenschaften der Böden Charakteristika wie die Schichtmächtigkeit aus der BK50 auf die MMK/FSK – Polygone übertragen werden und so deren Informationsgehalte bezüglich der relevanten hydrologischen Parameter verbessert werden. Dieses Vorgehen (Regelkatalog und Zuordnungsvorschriften) wurde im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach als einem Teilgebiet von Borstendorf entwickelt und praktiziert (Puhmann 1998). Die Übertragung auf das gesamte von Gneis unterlagerte Gebiet der Mulde (ca. 60% des Untersuchungsraums) ist wegen der relativen Gleichartigkeit der pedologischen Situation vertretbar. Für das Restgebiet (andere Lithofaziesseinheiten siehe Abb. 1) muss man gegenwärtig ausschließlich auf die MMK/FSK zurückgreifen und deren eingeschränkten Informationsgehalt bis zur flächendeckenden Fertigstellung der BK 50 in Kauf nehmen. Gerade beim Boden (bis zu 90% des Abflusses passieren den Boden, Ablauf der Stickstoffumsatzprozesse) birgt das Risiken für die Güte der im Vorhaben zu treffenden Aussagen. Es muss deutlich gesagt werden, dass gerade Ungenauigkeiten in der Bodenansprache, aber auch aller anderen Geodaten schnell zu einem Rauschen der Modellergebnisse führen können, das größer als die z.B. durch Nutzungsänderungen hervorgerufene Veränderung ist (Schwarze et al. 1999a).

3 Regelgestützte Gebietsgliederung mit Hilfe des Kaskadenkonzeptes

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Mittelgebirge bzw. Mittelgebirgsvorland. Die hydrologischen Prozesse sind damit in hohem Maße von den Gefälleverhältnissen abhängig. Die Kaskaden werden mit Hilfe des digitalen Geländemodells (MILGEO) nach topologischen Gesichtspunkten im GIS erstellt. In einem Einzugsgebiet sind die Kaskaden auf beiden Seiten des Fließgewässers angeordnet. Die Abgrenzung der Kaskaden untereinander erfolgt entlang topografischer Teileinzugsgebietsgrenzen. Eine Wechselwirkung zwischen Kaskaden existiert nicht, d.h. eine Wasserbewegung erfolgt nur innerhalb einer Kaskade von der Einzugsgebietsgrenze in Richtung Vorfluter. Durch den Verschnitt der Kaskade mit den zugeordneten Geoinformationen entstehen zahlreiche Splitterflächen mit heterogenen Eigenschaften, welche regelgestützt zu hydrologisch sinnvollen Einheiten zusammengefasst werden. Die Zusammenfassung gleichartiger Flächen wird in der Reihenfolge Hydrogeologie (Lithofazieskonzept), Boden, Landnutzung (Erhalt der Schlagstruktur) durchgeführt mit dem Ergebnis, das Segmente als Flächen gleicher Eigenschaften entstehen, welche in der Kaskade streifenförmig hintereinander angeordnet sind. Zwischen den Segmenten einer Kaskade können Wechselwirkungen bei der Prozessmodellierung lagegerecht erfasst werden. In die Regeln zur Segmentierung fließen typische Eigenschaften ein, welchen eine regionalisierte Vorstellung der Gebietsstruktur zu Grunde liegt. So lassen sich z.B. typische Abfolgen von verschiedenen Böden vom Bereich der Wasserscheide bis zur Talaue festlegen, in deren Folge charakteristische Landnutzungsmuster entstehen. Durch die Zusammenfassung zu hydrologisch homogenen Segmentflächen entstehen die elementaren Berechnungseinheiten für die Wasser- und Stickstoffhaushaltsmodellierung. Die Parametrisierung der Modelle erfolgt ausschließlich mit aus den Gebieteigenschaften objektiv ableitbaren Parametern unter Zuhilfenahme eines Expertensystems.

4 Bestimmung der Verweilzeit des Wassers im Gebietsuntergrund

Im Folgenden wird ein Überblick zu ersten Ergebnissen der Verweilzeitberechnung gegeben. Diese konzentrieren sich zunächst auf die Bestimmung des Anteils und der mittleren Verweilzeit der langsamen Grundwasserabflusskomponente. Während mehrerer Trockenperioden wurden 1999 Wasserproben aus 40 Gebieten mit unterschiedlichen Lithofaziesseigenschaften gewonnen (Abb.1). Die Altersdatierung beruht auf Messungen des Umweltisotops Tritium. Nach Vorliegen erster Messwerte konnten die Verweilzeiten für mehrere überwiegend im Gneis gelegene Einzugsgebiete bestimmt werden (Tab.1). Untersuchungen für weitere Lithofaziesseinheiten befinden sich in Arbeit. Endgültige Ergebnisse werden nach Einbeziehung der Messungen aus weiteren Trockenperioden erfolgen können.

Bereits jetzt ist aber zu erkennen, dass die Verweilzeiten des Grundwassers in den Gneisgebieten des Erzgebirges alle eine ähnliche Größenordnung aufweisen, wohingegen der Anteil des Grundwasserabflusses RG2 am Gesamtabfluss von Gebiet zu Gebiet deutlich differiert. Ursachen liegen einerseits im unterschiedlichen Niederschlagsangebot, andererseits insbesondere in der unterschiedlichen Landnutzung (RG2 bei Wald höher als bei Landwirtschaft) und im tektonischen Zerrüttungsgrad be-

gründet (Schwarze et al. 1994, 1999b). Für den Stickstoffaustrag aus Gneisgebieten kann die generelle Aussage getroffen werden, dass etwa ein Drittel des Abflusses im Mittel aus Wasser besteht, das etwa 20 Jahre im Gebiet gespeichert war. Das bedeutet, dass Veränderungen in der Bewirtschaftung und im Stickstoffaustrag aus den Böden sich beim Trockenwetterabfluss nur mit großer zeitlicher Verzögerung und Dämpfung widerspiegeln werden.

Tab.1. Verweilzeit des Grundwassers in ausgewählten Einzugsgebieten der Mulde (vorläufige Ergebnisse)

Einzugsgebiet (Größe in km ²)	Lithofazies-Einheit	Niederschlag (mm/a)	Gesamt-abfluss R (mm/a)	Grundwasser-abfluss RG2 (mm/a)	Anteil RG2 an R (%)	Mittlere Verweilzeit (a)
Wernersbach (4,57)	Magmatisches Ergussgestein	895	237	26	11	38
Rauschenbach 2/ Rauschenfluss (7,4)	Gneis/ magmat. Tiefengestein	1.170	629	92	15	23
Hölzelbergbach (0,764)	Gneis	940	371	162	44	21
Lippersdorfer Bach (4,7)	Gneis	953	432	176	41	23
Saidenbach (22,2)	Gneis	929	411	149	36	18,5
Gänsebach (1,01)	Gneis	958	372	112	30	15
Lautenbach (10,7)	Gneis	972	373	101	27	15
Wolfsgrund/ Chemnitzbach (37,2)	Gneis	1.044	555	156	28	19
Berthelsdorf/ Freiberger Mulde (89,5)	Gneis	958	467	140	30	20
Rothen-tal/ Natzschung (75)	Gneis	1.160	581	163	28	23
Zöblitz/ Schwarze Pockau (129)	Gneis	1.164	571	163	29	19

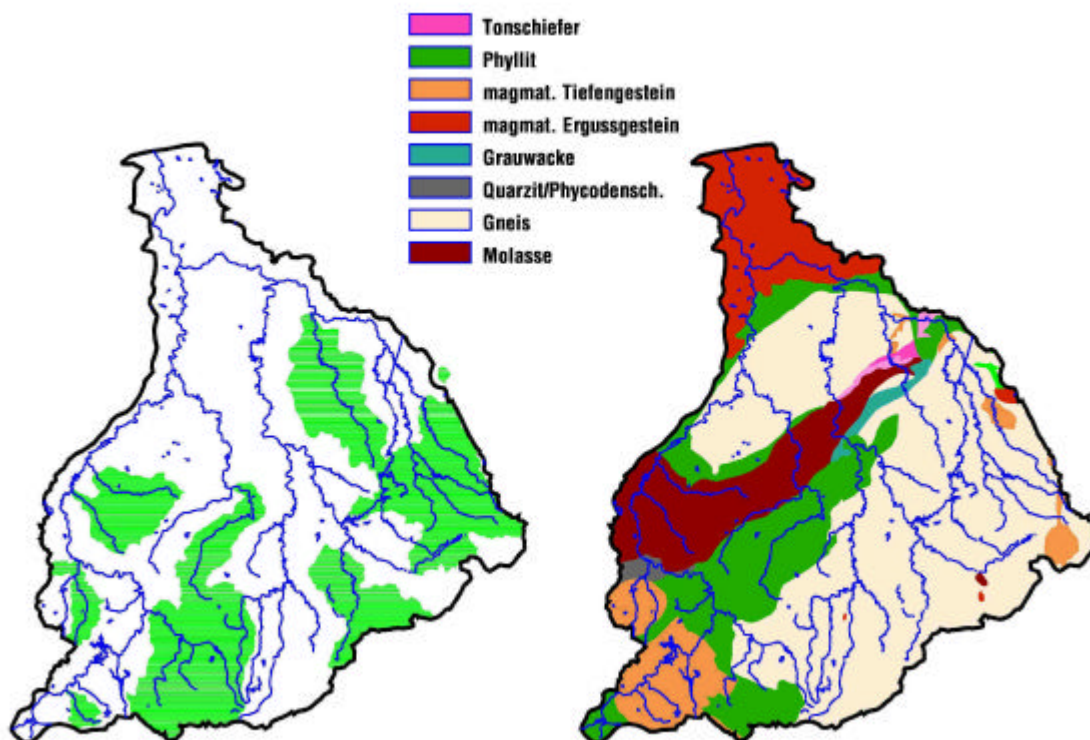


Abb. 1. Gebiete (links) und Lithofazies (rechts) für die Verweilzeitberechnung im Muldeinzugsgebiet

5 Modellierung des Stickstoff- und Wasserhaushaltes

In Zusammenarbeit der beiden Arbeitsgruppen in Dresden und Cottbus wurde mit MESO-N ein Modell zur Berechnung des Wasser- und Stickstoffhaushaltes geschaffen, in dem der Übergang vom landwirtschaftlichen Schlag zum Einzugsgebiet realisiert wurde. Bei der Erstellung von MESO-N konnte auf bestehende Kernmodelle zurückgegriffen werden, z.B. auf MINERVA (Richter und Beblík 1996) zur Berechnung einer Segmentfläche. Diese wurden überarbeitet und speziell für den Wasserhaushalt ergänzt durch Ansätze aus dem Modell AKWA-M (Münch 1994). Der Übergang von der Segmentfläche zum Kaskaden- bzw. Gebietsabfluss erfolgte durch die Berücksichtigung der lateralen Komponente und des Bausteins SLOWCOMP zur verweilzeitgerechten Modellierung der Grundwasserabflusskomponenten (Schwarze et al. 1999b).

Erste Ergebnisse des simulierten Wasser- und Stickstoffhaushaltes mit MESO-N liegen vor (Abb.2). Die Testrechnungen wurden mit objektiv aus den Gebietseigenschaften abgeleiteten Parametern ohne Kalibrierung durchgeführt. Dabei zeigt sich bereits eine gute Übereinstimmung von berechnetem und beobachtetem Gesamtabfluss (Q_{sim} , Q_{beo}). Beim Vergleich des berechneten und des realen Grundwasserabflusses (QG_{sim} , QG_{beo}) erscheint der modellierte Grundwasserabfluss noch zu groß. Größere Abweichungen gibt es auch bei der Berechnung des Direktabflusses (Spitzen der Gesamtganlinie). Hier soll insbesondere durch eine höhere zeitliche Auflösung der Infiltrationsberechnung durch Berücksichtigung des Informationsgehaltes der Niederschlag-Dauer-Häufigkeitsbeziehung zukünftig eine Verbesserung erreicht werden (Eisenreich 1999).

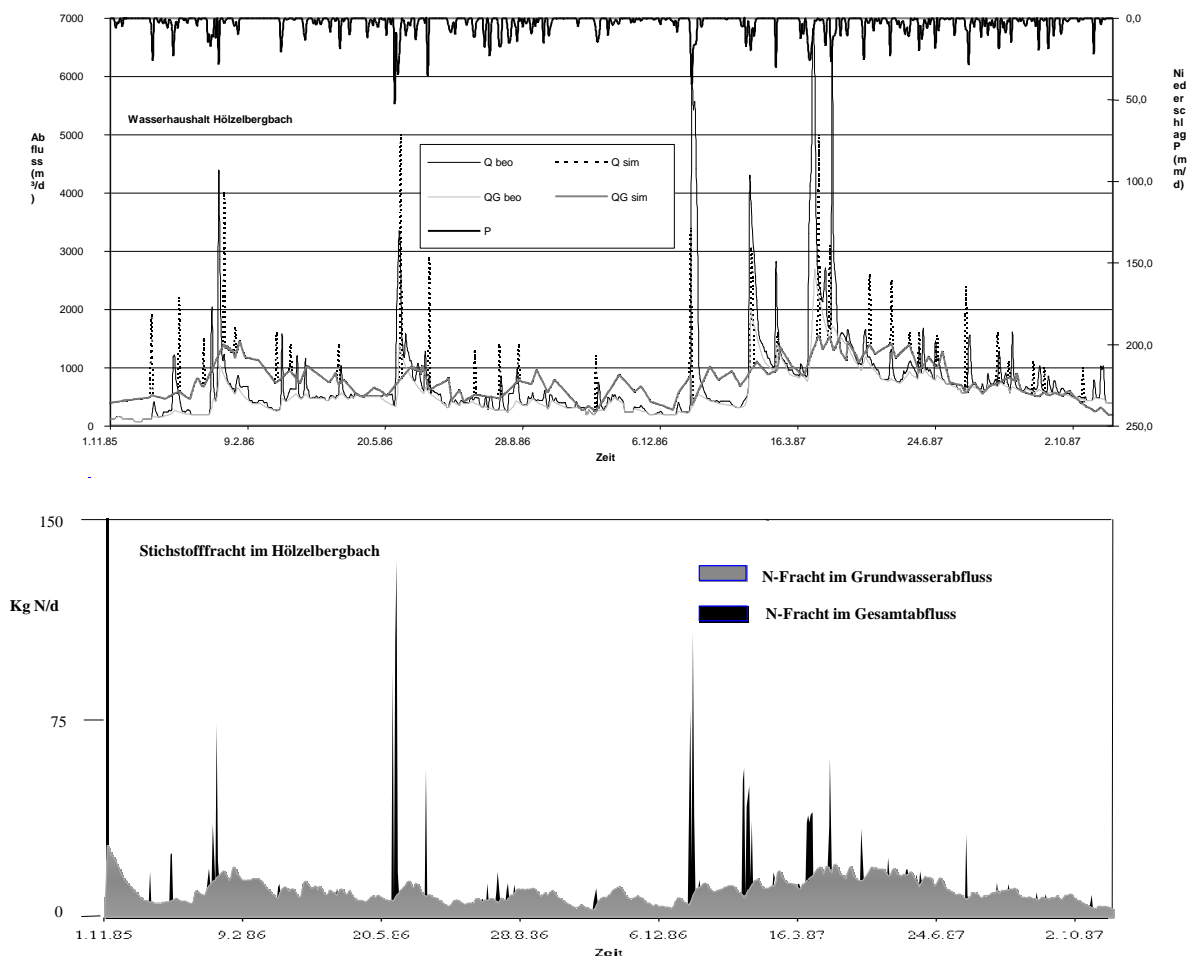


Abb. 2. Wasser – und Stickstoffhaushalt im Hölzelbergbach, gerechnet mit Meso-N

Literatur

- Eisenreich, K. (1999) Bereitstellung von Niederschlagsdaten hoher zeitlicher Auflösung aus Tageswerten für die Infiltrationsberechnung. Jahresarbeit. TU Dresden, Inst f. Hydrologie und Meteorologie
- Münch, A. (1994) Wasserhaushaltsberechnungen für Mittelgebirgseinzugsgebiete unter Berücksichtigung einer sich ändernden Landnutzung. TU Dresden, Fak. f. Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Diss.
- Puhlmann, H. (1998) Ermittlung bodenhydraulischer Parameter für die Flächen der MMK im Einzugsgebiet der TS Saidenbach. Praktikumsbericht. TU Dresden, Inst f. Hydrologie und Meteorologie
- Richter, G.M., Beblík, A. (1996) Nitrataustrag aus Ackerböden ins Grundwasser unterschiedlich belasteter Trinkwasser-Einzugsgebiete Niedersachsens. Braunschweig (TU BS – IfGG).235 pp. (Abschlußbericht zum F+E-Vorhaben BEO Fkz.0339121C)
- Schwarze, R. (1985) Gegliederte Analyse und Synthese des Niederschlag-Abfluß-Prozesses von Einzugsgebieten. TU Dresden, Fak. f. Bau-, Wasser- und Forstwesen, Diss.
- Schwarze, R., Dröge, W., Opherden, K. (1999a) Regional analysis and modelling of groundwater runoff components from catchments in hard rock areas. IAHS Publ. No 254, 1999
- Schwarze, R., Dröge, W., Opherden, K. (1999b) Regionalisierung von Abflußkomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. In DFG: Hydrologie und Regionalisierung, WILEY-VCH Verlag, Weinheim
- Schwarze, R., Grünewald, U., Beblík, A., Dröge, W., Drewlow, F. (1998) Potentielle Auswirkungen von Umweltveränderungen auf das Fließweg- und Zeitverhalten verschiedener Abflußkomponenten und den daran gekoppelten flächennutzungsabhängigen Stickstoffaustrag aus Festgesteinseinzugsgebieten der Elbe“. Zwischenbericht innerhalb des BMBF-Forschungsvorhabens „Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe
- Schwarze, R., Herrmann, A., Mendel, O. (1994) Regionalisation of runoff components for Central European basins. IAHS Publ. 221, 1994