

Großräumige Analyse von Landschaftswasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im Einzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil)

Frank Wendland, Ralf Kunkel

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund zunehmender umweltpolitischer Berichts- und Informationspflichten erlangen auf ganze Flusseinzugsgebiete bezogene Analysen und Übersichten immer mehr an Bedeutung. Großräumige modellgestützte Analysen zur räumlichen Verteilung der Abflusskomponenten und ihres Weg-/Zeitverhaltens werden darüber hinaus für die Untersuchung der diffusen Nährstoffbelastung von Flüssen benötigt, da sie eine unerlässliche Basis für die nach der Herkunft und den Haupteintragspfaden (Abflusskomponenten) differenzierte Quantifizierung der Stoffeinträge in die Flusssysteme darstellen. Das von den beiden Autoren bearbeitete Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, die drei eng miteinander verzahnten Gebietskenngrößen Landschaftswasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu zu quantifizieren, in ihrem großräumigen Zusammenspiel zu analysieren und zu kartographischen Gesamtübersichten des Elbeeinzugsgebietes aufzubereiten.

2 Grundlegende Verfahrensweise

Für die Durchführung der Arbeiten waren maßstabsabhängige Anforderungen an Methoden und Datengrundlagen zu beachten. Generell musste sichergestellt sein, dass es mit den eingesetzten Modellen möglich war, die betrachteten Gebietskenngrößen flächendeckend für das gesamte Elbeeinzugsgebiet bestimmen zu können. Des Weiteren musste Gewähr leisten sein, dass die für eine bestimmte Methode benötigten Datengrundlagen vollständig, flächendeckend und in sich homogen für das Einzugsgebiet der Elbe (deutscher Teil) vorlagen.

Bezogen auf den Bearbeitungsmaßstab 1:500.000 wurden zunächst die für die Modellierungen erforderlichen Gebietskenngrößen flächendifferenziert für das gesamte Elbeeinzugsgebiet erfasst. Grundlage hierfür waren digital vorliegende aktuelle klimatische, pedologische, geologische, topographische und hydrologische Daten, die von den zuständigen Bundes- und Landesbehörden zur Verfügung gestellt oder im Rahmen von Unteraufträgen für die Projektarbeiten aufbereitet wurden. Die Modellierung, Analyse und kartographische Darstellung erfolgt eingebettet in das geographische Informationssystem GRASS.

3 Der Landschaftswasserhaushalt im Elbeeinzugsgebiet

Der Austrag von Pflanzennährstoffen in das Grundwasser bzw. die Oberflächengewässer ist immer an die aus einer Region abfließende Wassermenge gebunden. Die Analyse des Landschaftswasserhaushalts ist daher eine wichtige Voraussetzung für eintragspfadbezogene Untersuchungen zum Nährstoffeintrag in Oberflächengewässer und das Grundwasser.

Zur Erstellung einer gebietsumfassenden Übersicht zum Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe (deutscher Teil) wurden die realen Verdunstungs-, Gesamtabfluss-, Direktabfluss- („schnelle Abflusskomponente“) und grundwasserbürtigen Abflusshöhen („langsame Abflusskomponente“) für die langjährigen Mittelwerte flächendifferenziert quantifiziert und im Hinblick auf die regionalen Hauptaustragspfade für Pflanzennährstoffe analysiert (Kunkel und Wendland 1998). Die berechneten Abflusshöhen wurden in 120 Teileinzugsgebieten an gemessenen Pegeldurchflusswerten validiert. Hierbei ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Abflusswerten, so dass davon ausgegangen werden kann, dass das verwendete Verfahren zur Quantifizierung des Abflusses realistische Ergebnisse liefert.

In Abb. 1 sind die berechneten Basisabflusshöhen für die hydrologische Periode 1961–1990 dargestellt. Die Werte umfassen eine Spanne zwischen weniger als 25 mm/a und mehr als 350 mm/a. Hierin spiegelt sich die Vielfältigkeit der klimatischen, bodenkundlichen und geologischen Standortssitua-

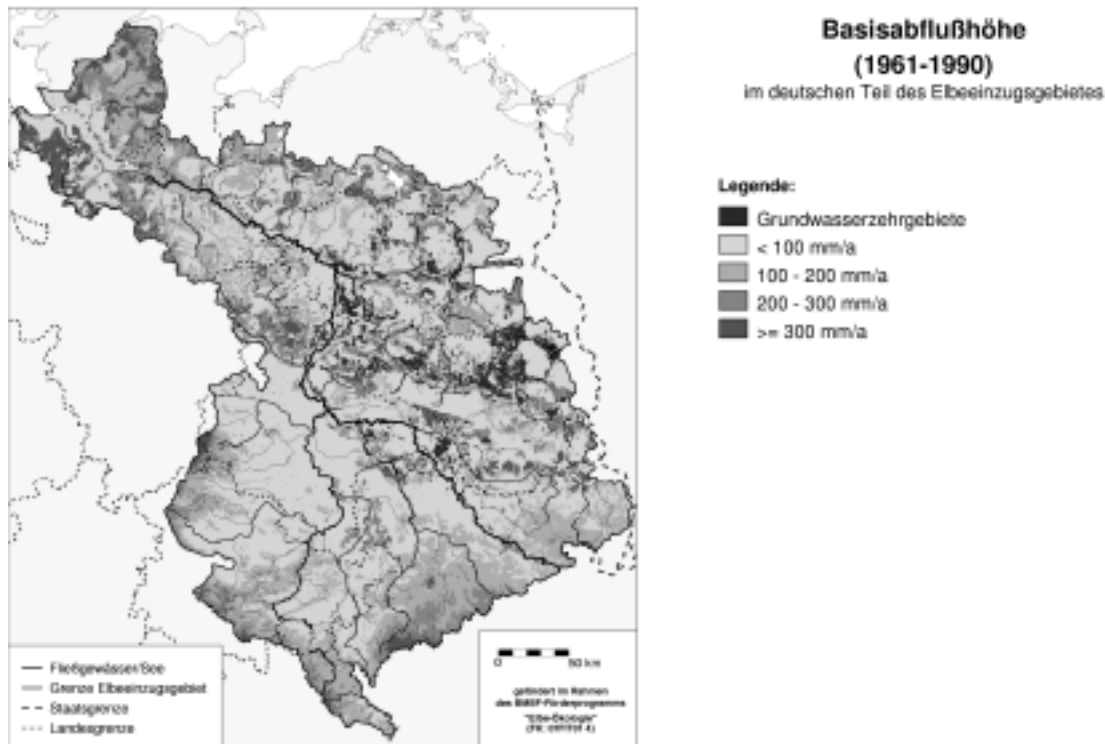


Abb. 1. Berechnete Basisabflusshöhen für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes.

nen wider. In grundwasserfernen, ebenen Lockergesteinsregionen (z.B. auf Sanderflächen) entspricht der Basisabfluss weitestgehend dem Gesamtabfluss und beträgt im Allgemeinen mehr als 150 mm/a. In grundwasser- und staunässebeeinflussten Lockergesteinsregionen (z.B. in den Flussmarschen im Nordwestteil) beträgt der Basisabfluss weniger als 50 mm/a. Der überwiegende Abflussanteil (mehr als 80%) wird dort als Direktabfluss abgeführt und erreicht die Vorfluter über die Bodenoberfläche oder über die ungesättigte Bodenzone. Gleiches gilt für Gebiete, in denen paläozoische und kristalline Gesteine im Untergrund anstehen. Dort können die Basisabflusshöhen zwar 250 mm/a und mehr betragen, der Basisabfluss trägt dort jedoch nur mit weniger als 40 % zum Gesamtabfluss bei.

In Regionen mit geringen Basisabfluss- und dementsprechend hohen Direktflussanteilen besteht die Gefahr, dass Pflanzennährstoffe mit einer nur geringen Zeitverzögerung in die Oberflächengewässer gelangen. Da die Effektivität von Retentionsvorgängen (Transformations-, Rückhalte- und Abbauprozesse) im Boden und Grundwasser auf Grund der kurzen Verweilzeiten nur gering ist, weisen diese Regionen ein im Allgemeinen hohes Gefährdungspotenzial für diffus eingetragene Pflanzennährstoffe auf. Andererseits kann für diese Gebiete davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratreinträge bereits nach kurzer Zeit Wirkung zeigen. Im Gegensatz hierzu ist der Nährstoffaustrag in Regionen mit hohen Basisabflussanteilen vor allem an den Grundwasserabstrom gekoppelt. Je nach Verweilzeit der grundwasserbürtigen Abflusskomponente (vgl. Abschnitt 2) und den Milieubedingungen des Grundwassers (vgl. Abschnitt 3) weisen diese Gebiete eine Langzeitgefährdung für diffus eingetragene Pflanzennährstoffe auf, d. h. aktuelle Nährstoffeinträge verbleiben u.U. Jahrzehnte im Untergrund, bis sie schließlich in die Oberflächengewässer gelangen.

4 Das Weg-/Zeitverhalten des Grundwasserabflusses

Auf Grund des unterschiedlichen Weg-/Zeitverhaltens des grundwasserbürtigen Abflusses in verschiedenen Landschaftsräumen werden aus dem durchwurzelten Boden ausgewaschene Pflanzennährstoffe nach unterschiedlich langen Zeiträumen in die Oberflächengewässer eingetragen. Die Verweilzeiten des Grundwassers (Kunkel und Wendland 1999) sind daher wichtig für eine Analyse der Langzeitgefährdung der Grundwasservorkommen hinsichtlich diffuser Stoffeinträge, d.h. für eine regional differenzierte Abschätzung über die Zeiträume, die die grundwasserbürtige Abflusskomponente nach

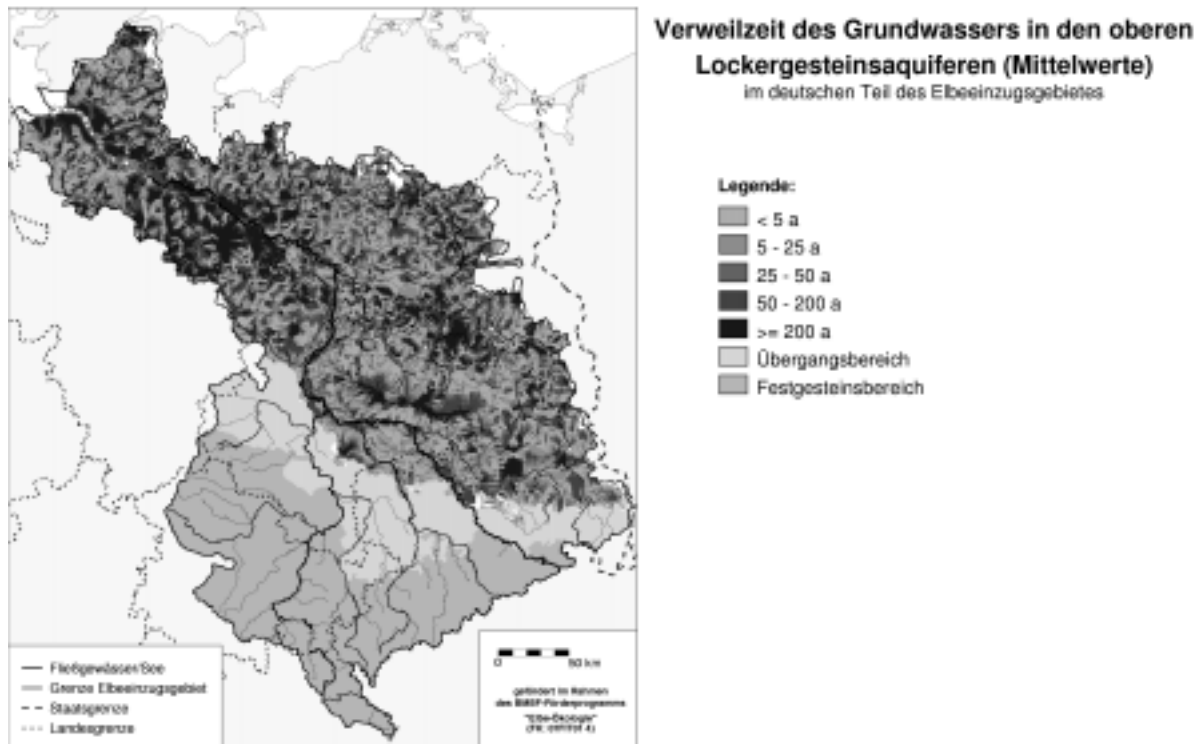


Abb. 2. Berechnete mittlere Grundwasserverweilzeiten im deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes

der Einsickerung in das grundwasserführende Gestein benötigt, bis sie in ein Oberflächengewässer übertritt.

Die Verweilzeitenanalyse erfolgte auf Basis des für den Einsatz bei überregionalen (makroskalige) Fragestellungen konzipierten Verweilzeitenmodells WEKU (Kunkel und Wendland 1997). Die Berechnung der Verweilzeiten wird in zwei Schritten durchgeführt. In einem ersten Schritt wird aus den hydrogeologischen Kenngrößen Durchlässigkeitsbeiwert, nutzbarer Hohlraumanteil und hydraulischer Gradient die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im oberen Aquifer ermittelt. In einem zweiten Schritt werden aus Grundwassergleichenplänen die lateralen Fließwege der unterirdischen Abflussanteile bis zum Eintritt in ein Oberflächengewässer abgeleitet. Die Verweilzeit der grundwasserbürtigen Abflusskomponente ergibt sich dann durch Verknüpfung der Abstandsgeschwindigkeit mit den Fließstrecken des Grundwassers bis zum wirksamen Vorfluter.

Abb. 2 zeigt die berechneten mittleren Verweilzeiten des Grundwassers im oberen Aquifer des Flusseinzugsgebietes der Elbe. Je nach Standortsituation ist von Verweilzeiten zwischen weniger als einem Jahr und mehr als 250 Jahren auszugehen. Als gewichtetes Mittel ergibt sich eine Verweilzeit von ca. 25 Jahren. Die Gründe für hohe Verweilzeiten liegen zum einen in den großen Fließstrecken bis zum wirksamen Vorfluter, zum Anderen aber auch in den in diesen Gebieten vorhandenen niedrigen mittleren Abstandsgeschwindigkeiten. Deutlich geringere Verweilzeiten im Bereich von weniger als ca. 10 Jahren treten vor allem in Regionen mit hohen hydraulischen Gradienten sowie in Gebieten in direkter Nachbarschaft zu einem wirksamen Vorfluter auf.

4 Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes

Nitrat kann im Grundwasserleiter über mikrobiell gesteuerte Redox-Reaktionen mineralisiert, also in chemisch einfacher gebaute reduzierte Verbindungen überführt werden. Grundvoraussetzung hierfür sind geringe Sauerstoffkonzentrationen sowie die Anwesenheit von organischen Kohlenstoff- und/oder Eisensulfid-Verbindungen (Pyrit) im Aquifer. So weist ein typisches nitratabbauendes Grundwasser in der Regel hohe Gehalte an zweiwertigem Eisen und Mangan ($>0,1$ mg Fe(II)/l bzw. $>0,01$ mg Mn(II)/l) auf, während im Allgemeinen nur geringe Nitrat- und Sauerstoffgehalte (<2 mg /l) auf-

treten. Nicht-nitratabbauende Grundwässer zeichnen sich in der Regel durch hohe Sauerstoffkonzentrationen und geringe Eisen (II)- und Mangan(II)-gehalte aus.

Die Analyse des Nitratabbauvermögens der oberen Aquifere des Elbeeinzugsgebietes (Wendland und Kunkel 1999) erfolgte differenziert nach den grundwasserführenden Gesteinseinheiten auf der Basis von Grundwassergütedaten von ca. 8100 Grundwassermessstellen der ehemaligen DDR des Zeitraums 1960–1989 sowie von ca. 400 Analysen des Monitoringmessnetzes der Bundesländer aus dem Zeitraum 1987–1994. Hierzu wurden die Häufigkeitsverteilungen für die Grundwasserparameter Nitrat, Eisen (II), Mangan(II) und Sauerstoff ausgewertet und die wesentlichen Verteilungskenngrößen der untersuchten Grundwasserinhaltsstoffe analysiert. Aus dem sich hieraus ergebenden Gesamtbild wurde dann auf den Grundwassertyp geschlossen und eine Einstufung der hydrogeologischen Gesteinseinheiten in die Klasse der nitratabbauenden bzw. nicht-nitratabbauenden Aquifere vorgenommen. Zusätzlich wurde hierbei die Einschätzung von Fachleuten aus konsultierten Landesbehörden elbeanrainender Bundesländer berücksichtigt.

Eine grundwasserführende Gesteinseinheit wurde dem Grundtyp mit überwiegend nitratabbauenden Eigenschaften dann zugeordnet, wenn die Auswertung der Sauerstoff- und Nitratgehalte für mehr als 75% der Grundwasseranalysen aus der betreffenden Gesteinseinheit ein gehäuftes Auftreten geringerer Konzentrationen ($< 2 \text{ mg/l}$) zeigt. Zugleich liegen für weniger als 25% der Grundwasseranalysen Eisen (II)-Konzentrationen oberhalb von $0,1 \text{ mg Fe(II)/l}$ bzw. die Mangan (II)- Konzentrationen oberhalb von $0,01 \text{ mg Mn(II)/l}$ vor. Beispiele für Gesteinseinheiten, die großflächig diesem Grundwassertyp zuzuordnen sind, stellen „Glaziofluviale Sande“ und „Moränenablagerungen“ dar. In den überwiegend als nicht nitratabbauend eingestuften Aquiferen gehen relativ hohe Nitrat- und Sauerstoffkonzentrationen mit geringen Fe(II)- und Mn(II)-Konzentrationen einher. Diesem Grundwassertyp sind die meisten Festgesteinseinheiten (z.B. Sandsteine, Kalksteine, Schiefergesteine) zugehörig. Die Gesteinseinheit „Hochflächensand/Sander“ wurde einem Mischtyp zugeordnet, der Kennzeichen sowohl reduzierter als auch oxidiertes Aquifere aufweist.

5 Nutzungsmöglichkeiten der Projektergebnisse

Im Projekt wurden modellgestützte Gesamtübersichten zu wasserwirtschaftlich relevanten Gebietskenngrößen flächendeckend für das Elbeeinzugsgebiet abgeleitet. Diese können zusammen mit den hierzu erstellten bzw. aufbereiteten digitalen Datengrundlagen durch gewässerkundliche Dienststellen des Bundes und der Länder für überregionale wasserwirtschaftliche Raum- und Landesplanungen genutzt werden, z.B. für internationale und nationale Berichts- und Informationspflichten im Rahmen der neuen Wasserrahmenrichtlinie der EU. Für die in diesem Zusammenhang zu erstellenden überregionalen Flussgebietspläne können die o.a. Gebietsübersichten eine angemessene Grundlage für die elbeanrainenden Bundesländer darstellen.

Die Nutzung der im Rahmen des Forschungsvorhabens (weiter)entwickelten und angewendeten Modelle ist nicht auf einen Einsatz im Elbeeinzugsgebiet eingeschränkt. Die Modellinstrumentarien sind so aufgebaut, dass eine Übertragung und Anwendungen in anderen großen Flusseinzugsgebieten möglich ist. Darüber hinaus ist das bestehende Modellinstrumentarium durch Schnittstellen mit makroskaligen Stoffhaushaltsmodellen verknüpfbar, so dass es für großräumige Stoffstromanalysen, z.B. zur N- Belastung des Grundwassers, eingesetzt werden kann.

Literatur

- Kunkel, R., Wendland, F. (1997) WEKU – a GIS-supported stochastic model of groundwater residence times in upper aquifers for the supraregional groundwater management. *Envir. Geol.* 30 (1/2), 1-9
- Kunkel, R., Wendland, F. (1998) Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe. *Schriften des FZ Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 12, 107 S., Jülich*
- Kunkel, R., Wendland, F. (1999) Das Weg-/Zeitverhalten des grundwasserbürtigen Abflussteils im Flußeinzugsgebiet der Elbe. *Schriften des FZ Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 19, 122 S., Jülich*
- Wendland, F., Kunkel, R. (1999) Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes. *Schriften des FZ Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 13, 166 S., Jülich*