

# Hydrodynamik und Stofftransport in einem urban geprägten Karstgrundwassersystem

W4

REH, R., GEYER, T., LICHA, T., NÖDLER, K., SAUTER, M., SCHLÖSSER-KLUGER, I. & JAEGER-WUNDERER, M.

## 1 Das Projekt und Projektziel

Im nordwestlichen Hessen bilden am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges drei z. T. verkarstete Grundwasserleiter in den Karbonaten der Folgen z1 bis z3 des Zechsteins ein komplexes Grundwasserströmungssystem. Hinzu kommen lokal ausgebildete Grundwasserleiter in den Sedimenten des höheren Zechsteins der Folgen z5 bis z7. Durch die Entwässerung über drei Hauptquellgebiete entstehen mehrere unterirdische Wasserscheiden. Im Zentrum des Untersuchungsgebiets liegt das Stadtgebiet Korbachs, in dem mehrere Altablagerungen und Altstandorte Schadstoffe emittieren. Daneben existiert eine große Anzahl noch nicht untersuchter Verdachtsflächen. In der Vergangenheit wurden zahlreiche hydrogeologische und altlastentechnische Gutachten erstellt, die auf entweder räumlich oder zeitlich begrenzten Untersuchungen beruhen und daher nur grobe Bewertungen und Abschätzungen zu Fließ- und Transportprozessen in den Grundwasserleitern zulassen. Auf Grund der zahlreichen ungeklärten Fragen insbesondere hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Schadstoffeinträgen und den Trinkwassergewinnungsanlagen entstand die Idee der Entwicklung eines räumlich und zeitlich umfassenden hydrogeologischen Modells. Im Rahmen dieses Projekts fand eine wissenschaftliche Untersuchung statt, die eine Nutzung organischer Spurenstoffe als Indikatoren

bevorzugter Fließwege und Verweilzeiten des Wassers im Untergrund beinhaltet. Die Fragestellungen werden im Rahmen eines Kooperationsprojekts des HLUG, der Energie-Waldeck-Frankenberg GmbH (EWF) und der Universität Göttingen, GZG, Angewandte Geologie bearbeitet.

Das vorliegende Kooperationsprojekt ist Bestandteil der hydrogeologischen Landesaufnahme von Hessen. Seit Mitte der 90er Jahre wird in Hessen blattschnittfrei hydrogeologisch kartiert. Zielsetzung ist hierbei die Erarbeitung einer umfassenden Systembeschreibung hydrogeologischer Einheiten. Diese Herangehensweise bietet den Vorteil, dass alle Informationen, die zur Beschreibung und zum Verständnis einer hydrogeologischen Einheit notwendig sind, in einem überschaubaren Zeitraum gesammelt, erhoben und ausgewertet werden können. Als Hauptthemen werden die Grundwasserhydraulik, Grundwasserneubildung, Grundwasserbeschaffenheit und Wasserwirtschaft zu einer sich ergänzenden Systembeschreibung zusammengefasst. Die Ergebnisse bieten Planungs- und Ingenieurbüros, den Verwaltungs- und Genehmigungsbehörden, der Wasserwirtschaft, aber auch der Wissenschaft und interessierten Bürgerinnen und Bürgern ein umfassendes Grundlagenmaterial zur Hydrogeologie von Hessen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Das Gebiet gehört zum geologischen Strukturraum der Waldecker Scholle als Teileinheit des Mesozoischen Gebirges im Norden von Hessen. Hier stehen

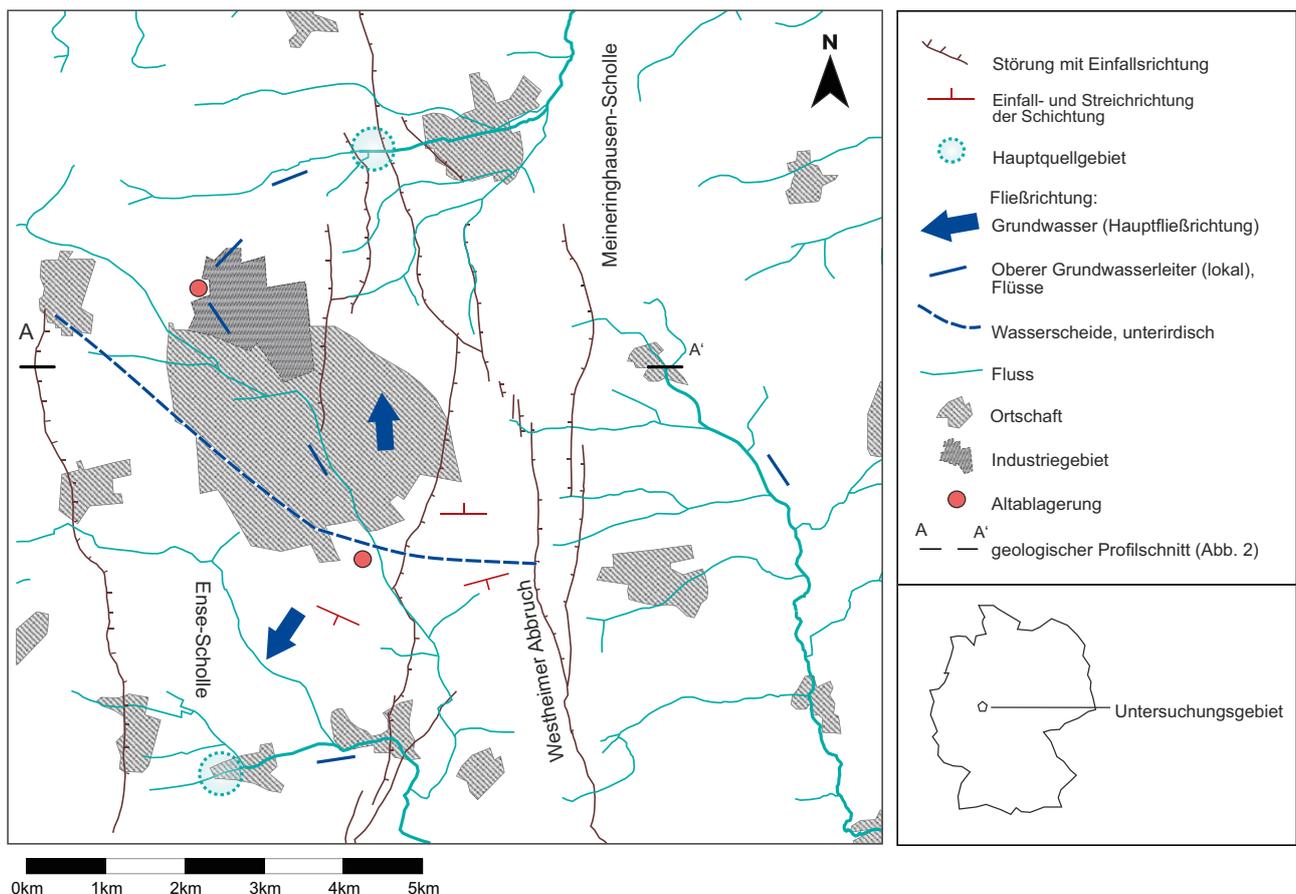
Gesteine des Zechsteins sowie des Unteren und Mittleren Buntsandsteins an. Unmittelbar westlich schließt sich das paläozoische Grundgebirge des

Rheinischen Schiefergebirges mit der sog. Waldecker Mulde an (HLUG 2011a). Das Untersuchungsgebiet nimmt eine Fläche von 65 km<sup>2</sup> ein (s. Abb. 1). Der nördliche Bereich entwässert über die Twiste, die in Nordostrichtung in die Diemel abfließt. Für den südlichen Teil bilden Werbe und Itter die Hauptvorfluter. Beide fließen in südöstliche Richtung und münden in die Eder. Das von stationären Messpegeln erfasste hydrologische Einzugsgebiet erstreckt sich auf rd. 119 km<sup>2</sup>.

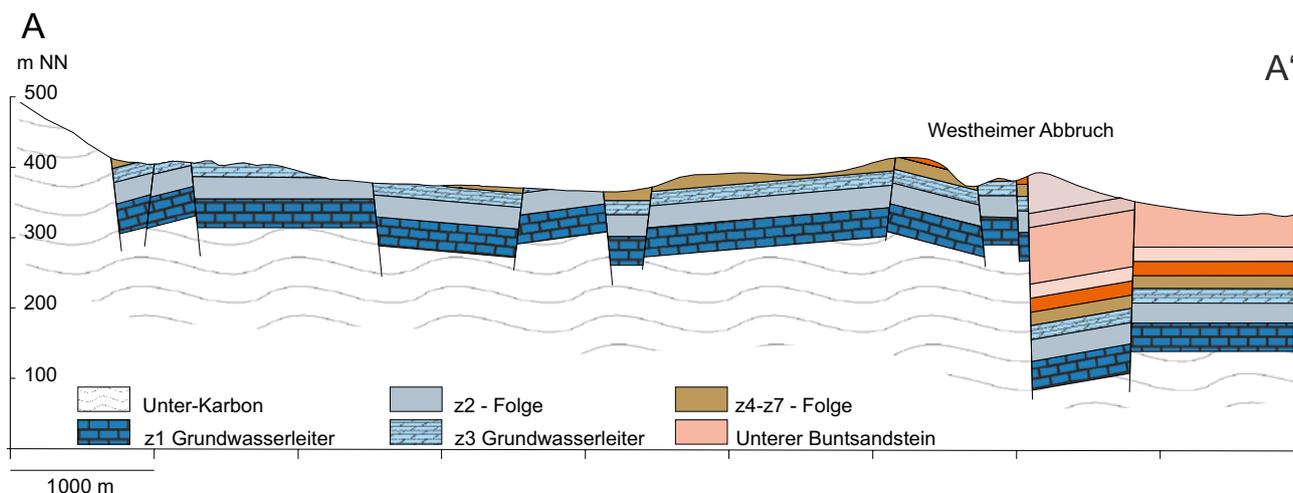
Die anstehenden Sedimente des Zechsteins wurden regional paläogeographisch in der sog. Korbacher Bucht am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges abgelagert (KULICK 1997). Nach KÄDING (2005) werden sieben Zechstein-Folgen (z1–z7) unterschieden, die lokal im Wesentlichen aus einer zyklischen Abfolge von feinklastischen und karbonatischen Sedimenten bestehen. Für die Grundwasserführung

sind vor allem die Zechsteinkarbonate der z1- bis z3-Folgen von Bedeutung (s. Tab. 1). Das Untersuchungsgebiet ist durch etwa Nord-Süd-verlaufende Störungen gegliedert (SCHRAFT et al. 2002). Das wichtigste tektonische Element ist der Westheimer Abbruch mit einem vertikalen Versatz von teilweise mehr als 100 m, durch den die Meiningershausen-Scholle im Osten gegenüber der Ense-Scholle abgeschoben ist. Dadurch stehen oberflächlich in der Ense-Scholle überwiegend Gesteine des Zechsteins an, während die Oberfläche der Meiningershausen-Scholle größtenteils von den Sandsteinen des Unteren Buntsandsteins gebildet wird (s. Abb. 2).

Das Untersuchungsgebiet liegt im Einzugsgebiet mehrerer Trinkwassergewinnungsanlagen sowie weiterer industrieller Grundwassernutzungen. Das Stadtgebiet ist von land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben.



**Abb. 1:** Lage des Untersuchungsgebiets mit tektonischen Einheiten und Hauptquellgebieten nach REH et al. (2012).



**Abb. 2:** Geologischer Schnitt West-Ost mit wesentlichen hydrogeologischen Einheiten.

**Tab. 1:** Lithostratigraphische und hydrogeologische Einheiten des Zechsteins in der Korbacher Bucht nach KÄDING (2005), REH et al. (2012) und Beschluss der Subkommission Perm Trias der DSK (2010).

Folge	Formation	Lithostratigraphie	Gesteine	Hydrogeologie	Mächtigkeit [m]
z7	Fulda (zFu)	Frankenberg-Formation (zFb) („Bröckelschiefer“, „Grenzsande“)	Sandstein, Schluffstein, Konglomerat, Tonstein	Grundwassergeringleiter	ca. 20
z6	Friesland (zFr)				
z5	Ohre (zO)				
z4	Aller (zA)	Aller-Ton („Roter Salzton“) (zAT)	Ton- und Schluffstein, Sandstein		1–3,5
z3	Leine (zL)	Leine-Karbonat (zLCA) („Plattendolomit“)	Dolomit, Kalkstein auch Ton-Feinsandstein	Grundwasserleiter	5–21
		Leine-Ton („Grauer Salzton“) (zLT)	Ton- und Sandstein, lokal Konglomerat		bis 7
z2	Staßfurt (zS)	Oberer-Staßfurt-Ton (zSoT)	Ton- bis Schluffstein		5–10
		Staßfurt-Anhydrit („Gipsmergel“) (zSAN)	Mergelstein, Gipsstein		
		Staßfurt-Karbonat („Hauptdolomit“) (zSCA)	Dolomit, Kalkstein	Grundwasserleiter	0–10
z1	Werra (zW)	Oberer Werra-Ton („Braunroter Salzton“) (zWoT)	Tonstein, Schluff- und Sandstein		5–40
		Randkarbonat (zWANCA)	Dolomit („Schaumkalk“)	Grundwasserleiter	bis 45
		Zechsteinkalk („Werra-Karbonat“) (zWCA)	Kalkstein („Stinkkalk“)		bis 28
		Kupferschiefer („Unterer Werra-Ton“) (zWT)	Kalkstein, Mergel („Produktuskalk“, „Kupfermergel“)		0–4,5
Karbon oder Rotliegendkonglomerat					

### 3 Methoden

Als Datenbasis wurden die Informationen aus mehreren Aktenarchiven zusammengeführt und ausgewertet. Zur gezielten Datenerhebung wurde in den Jahren 2010 und 2011 ein umfangreiches Messprogramm absolviert:

- Abfluss- und Quellschüttungsmessungen an den wesentlichen Entwässerungsstrukturen und Quellen,
- kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnungen,
- Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen und weiteren hydraulischen Tests,
- ausgedehntes Grundwassermonitoring über 2 Jahre mit Grundwasserprobennahmen bei maximalen und minimalen Abflussverhältnissen,
- hydrochemische Charakterisierung mit Bestimmung der Hauptinhaltsstoffe,

- Bestimmung von stabilen Wasserisotopen,
- simultane Bestimmung von 54 verschiedenen organischen Spurenstoffen mittels HPLC/ MS-MS-Detektion mit Bestimmungsgrenzen von 1,2–28 ng/l (NÖDLER et al. 2010).

Für die Geländeuntersuchungen wurde ausschließlich auf vorhandene Grundwasseraufschlüsse zurückgegriffen. Bohrarbeiten fanden im Rahmen des Projekts nicht statt.

Datengrundlage für die Identifikation der Altablagerungen und Altstandorte war die Altflächendatei des Landes Hessen. Dafür wurden vom HLUG entsprechende Daten des Fachinformationssystems Altflächen und Grundwasserschadensfälle ausgewertet und für das Projekt zur Verfügung gestellt.

### 4 Ergebnisse

Das Untersuchungsgebiet wird von zwei Bachläufen in Nordwest-Südost-Richtung gequert. Beide Bäche infiltrieren auf ihrer Fließstrecke in den Untergrund. Der Bachlauf, der das Stadtgebiet quert, ist zudem Hauptsammler für das auf den versiegelten Flächen abfließende Regenwasser, das südlich des Stadtgebiets im Untergrund versickert.

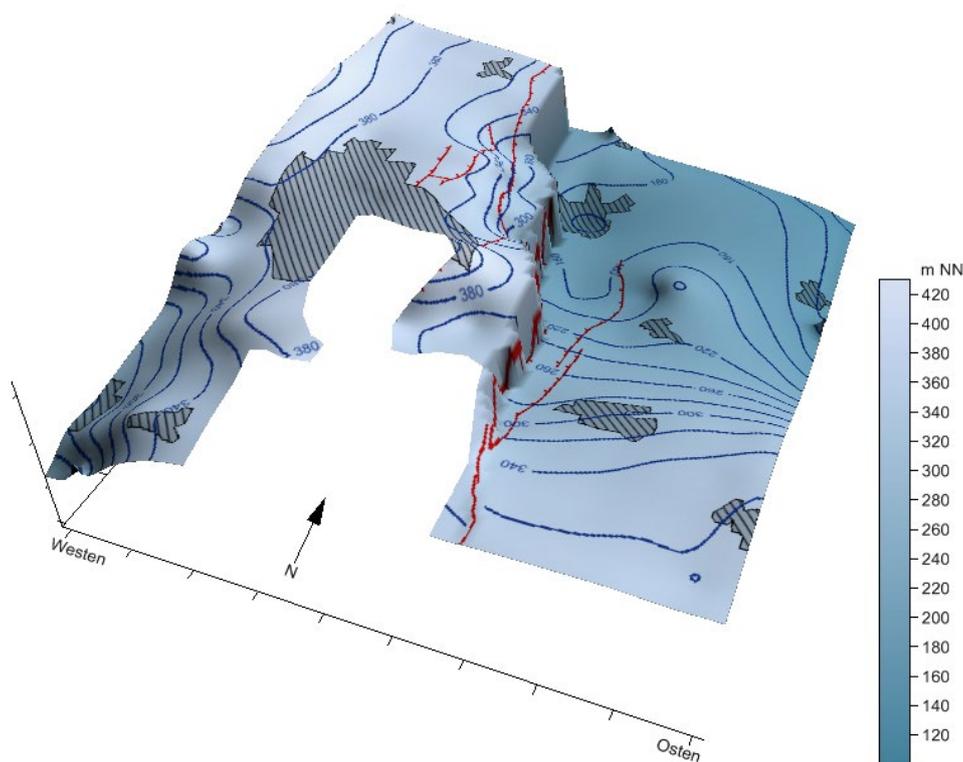
Aus den recherchierten geologischen Informationen wurden die in der Fläche vorliegenden geologischen Lagerungsverhältnisse konstruiert, wie beispielhaft für die Basis des Leine-Karbonats gezeigt wird (s. Abb. 3). Diese zeigt eine Plateaulage im Bereich des Stadtgebiets von Korbach und gibt erste Hinweise auf die Lage unterirdischer Wasserscheiden.

Die Grundwasserganglinien gruppieren sich in drei unterschiedlichen Höhenneiveaus, die jeweils den Grundwasserleitern der z1-, der z3- und der z5- bis z7-Folge zugeordnet werden können und damit einen Stockwerksbau belegen. In der zeitlichen und räumlichen Auflösung der monatlich erhobenen Messwerte spiegelt sich keine ausgeprägte Dynamik wider. Die Schwankungsbreite der Grundwasserspiegel beträgt 0,2–2,0 m zwischen Frühjahr und Herbst. In

diesem Zeitraum geht der Abfluss der Hauptentwässerungsstrukturen um 30–60 % zurück. Kurzfristig können vor allem in flachen Grundwasserleitern kleinräumig intensivere Schwankungen auftreten.

Das Grundwasser ist nach FURTAK & LANGGUTH (1967) als überwiegend hydrogenkarbonatisch normal erdalkalisch typisiert. Die zeitliche und räumliche Varianz ist gering.

Unmittelbar südlich des Stadtgebiets von Korbach ist eine unterirdische Wasserscheide zu postulieren (HÖLTING & MATTHESS 1963). Die durchgeführten Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich diese östlich des Westheimer Abbruchs fortsetzt. Ausgehend von der Wasserscheide herrschen entweder nord-nordost-gerichtete bzw. südwestweisende Grundwasserfließrichtungen vor. Unter Berücksichtigung der Wasserstandsmessungen befindet sich im Grundwasserleiter des Leine-Karbonats eine Wasserscheide im nordwestlich der Innenstadt liegenden Industrie- und Gewerbegebiet. Diese ist abweichend von der lagerungsbedingten Wasserscheide der Hauptquellgebiete an der Morphologie und den Bachläufen orientiert. Von der Ense-Scholle zur Meininghausen-

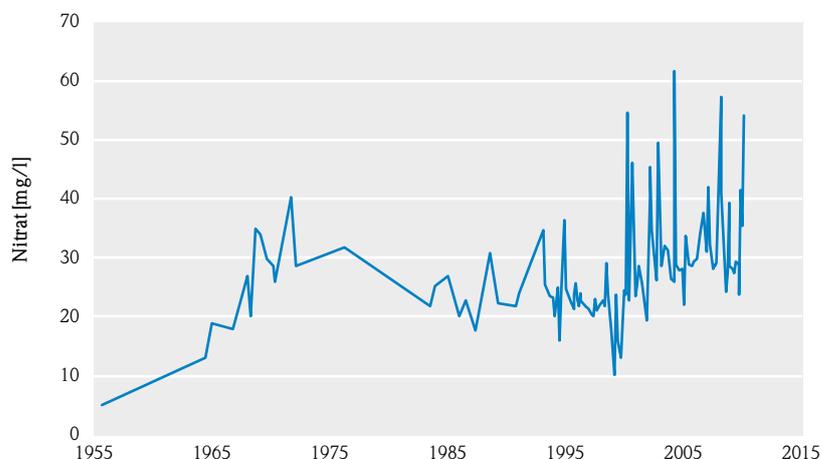


**Abb. 3:** Strukturplan der Basis des Leine-Karbonats (Störungen mit Versatzbeträgen < 20 m sind nicht berücksichtigt).

Scholle besteht ein hydraulisches Gefälle. Da die Grundwasserleiter des Zechsteins der Ense-Scholle an die geringer durchlässigen Schichten des Unteren Buntsandsteins der Meiningershausen-Scholle grenzen, ist der Grundwasserübertritt über dem Westheimer Abbruch limitiert. Dieses führt zu einer Umlenkung der Fließbewegung in nördliche und südliche Richtung.

Die durchgeführten hydraulischen Auswertungen verweisen in der Ense-Scholle auf einen halbgespannten Grundwasserleiter der z1-Folge und somit auf hydraulisch eingeschränkte Stockwerksverbindungen. Abb. 4 zeigt exemplarisch den Anstieg der Nitratkonzentrationen seit den 1950er Jahren für einen im Grundwasserleiter der z1-Folge verfilterten Brunnen der Ense-Scholle. Da der Brunnen u. a. vom

Anhand der Abflussmengen ergibt sich für das Gesamtgebiet eine Grundwassererneuerung von rd. 165 mm/a. Eine räumlich differenzierte Betrachtung der Wasserbilanz zeigt im Einzugsgebiet der Itter eine um ca. 20% höhere Abflusspende als in den Einzugsgebieten der Twiste und Werbe. Das Einzugsgebiet der Twiste wird durch die Störung in zwei Teileinzugsgebiete aufgeteilt, von denen das Teilgebiet der Meiningershausen-Scholle eine höhere Abflusspende aufweist als das der Ense-Scholle.



**Abb. 4:** Nitratkonzentrationen in einem Brunnen der Ense-Scholle aus GRUSCHU (2011).

Grundwasserleiter der z3-Folge überdeckt ist, zeigen auch die Nitratkonzentrationen hydraulische Stockwerksverbindungen an.

Untersuchungen zu organischen Spurenstoffen sind separat veröffentlicht (REH et al., 2012). Analysiert wurden Medikamente, Pestizide, Rostschutzmittel und abwassertypische Komponenten wie Koffein (NÖDLER et al. 2010) an rund 50 Grundwasseraufschlüssen im Untersuchungsgebiet. Die Untersuchungsergebnisse zu verschiedenen Stichtagsmessungen weisen eine geringe Variabilität des Verteilungsmusters der organischen Spurenstoffe auf. Die am häufigsten nachgewiesenen Stoffe sind Atrazin und die Metaboliten Desethylatrazin und Desisopropylatrazin sowie das Rostschutzmittel 1H-Benzotriazol. Die Konzentrationen liegen im Bereich der Grundwassernutzungen weit unterhalb toxikologischer Grenzwerte. Diese Stoffe haben unter-

schiedliche Einsatzgebiete, so dass unterschiedliche Eintragsfunktionen vorausgesetzt werden können. Im Stadtgebiet und nördlich davon wurden sowohl die größte Anzahl als auch die höchsten Konzentrationen der Stoffe gefunden (s. Abb. 5). Dieses Verteilungsmuster verweist auf bevorzugte Fließ- und Transportwege im Untergrund. Das Fehlen bzw. die relative Armut an Spurenstoffen in anderen Teilgebieten lässt eine Abgrenzung der Einzugsgebiete der Quellen und Trinkwassergewinnungsanlagen zu. Da Atrazin seit den 1990er Jahren in Deutschland nicht mehr als Pflanzenschutzmittelwirkstoff eingesetzt werden darf, zeigen die Untersuchungen neben der bevorzugten Stoffverteilung auch eine langzeitliche Fließkomponente im System an. Diese findet sich in allen untersuchten Grundwasserstockwerken. Eine hydraulische Verbindung zwischen den Stockwerken ist deshalb anzunehmen. Neben diesen Langzeitkomponenten wurden periodisch Antibiotika, wie

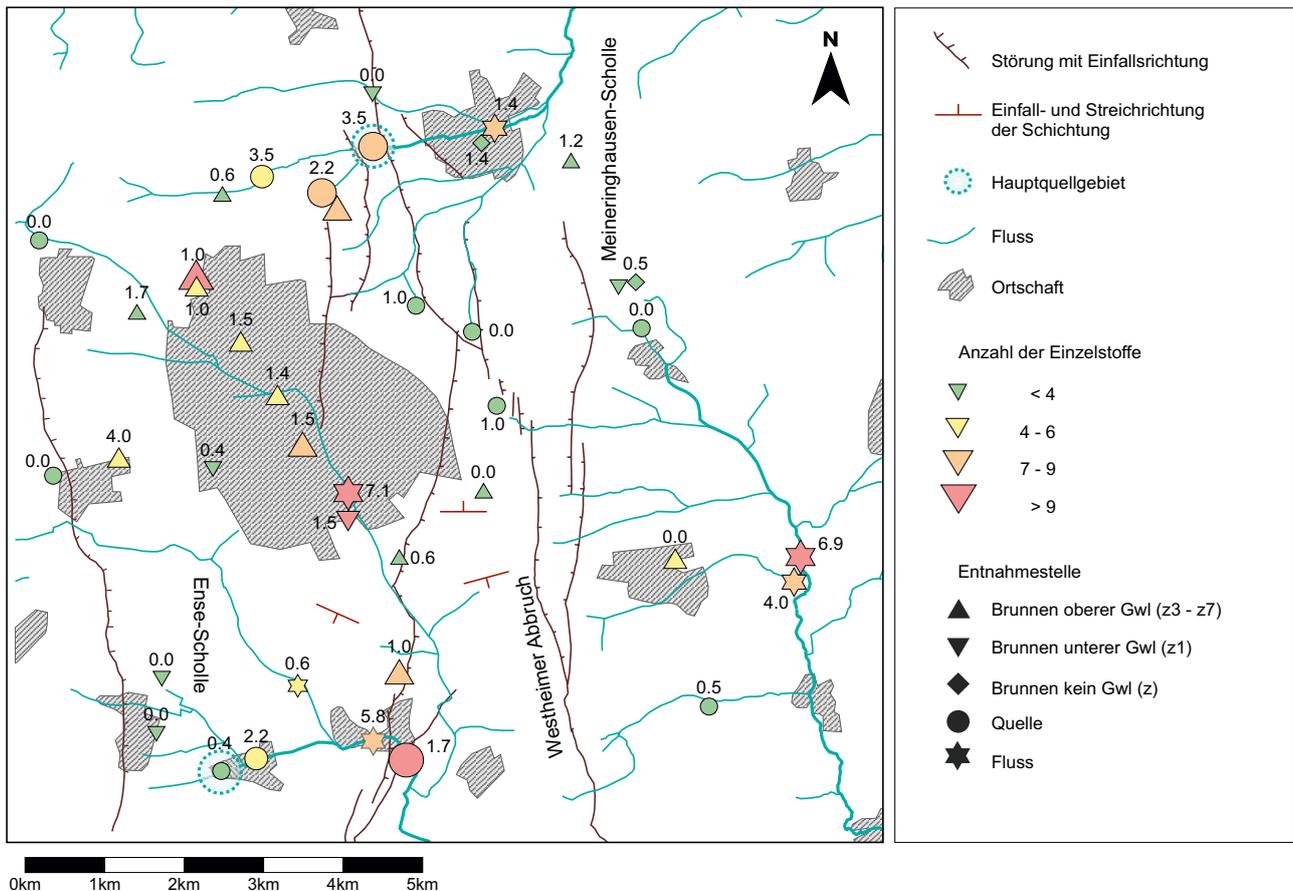


Abb. 5: Verteilung der Anzahl organischer Spurenstoffe mit Standardabweichung nach REH et al. (2012).

z. B. Erythromycin, nach Grundwasserneubildungsereignissen (insbesondere Schneeschmelzen) detektiert und zeigen eine kurzfristige Fließkomponente im Grundwasserleiter an. Das Verteilungsmuster der

organischen Spurenstoffe erlaubt Rückschlüsse auf das Verhalten anderer bereits eingetragener oder zukünftig freigesetzter Stoffe.

## 5 Zusammenfassung

Die wesentlichen hydraulischen Zusammenhänge konnten zu einer Modellvorstellung herausgearbeitet werden. Unterschiedliche methodische Ansätze führten zu ähnlichen Schlussfolgerungen. So leitet sich die Abgrenzung der Wassereinzugsgebiete sowohl aus geologisch-tektonischen Informationen als auch aus der Verteilung organischer Spurenstoffe ab. Die lokal im oberen Grundwasserleiter vorherrschende Grundwasserfließrichtung im nordwestlichen Stadt-

gebiet ist auf Grundlage der Wasserspiegelniveaus als auch aus der Verteilung von Spurenstoffen herleitbar. Limitierte hydraulische Stockwerksverbindungen können aus Pumpversuchen interpretiert und durch herkömmliche als auch durch Spurenstoff-Analytik untermauert werden. Die eingeschränkte hydraulische Durchlässigkeit der Störung des Westheimer Abbruchs ergibt sich aus der Wasserbilanz und wird durch die Spurenstoffanalytik bestätigt.

## 6 Literatur

- FURTAK, H. & LANGGUTH, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. International Association Hydrogeology, 7: 89–96; Hannover.
- HÖLTING, B. & MATTHES, G. (1963): Ein Sporentgiftversuch im Zechstein von Korbach/ Hessen.- Notizbl. HfB 91, 237–255; Wiesbaden.
- KÄDING, K.-C. (2005): Der Zechstein in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – Newsl. Stratigr., 41, 1/3: 123–127; Berlin.
- KULICK, J. (1997): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Blatt 4719 Korbach.- 2. Aufl., 272 S.; Wiesbaden.
- NÖDLER, K., LICHA, T., BESTER, K., SAUTER, M. (2010): Development of a multi-residue analytical method, based on liquid chromatography–tandem mass spectrometry, for the simultaneous determination of 46 micro-contaminants in aqueous samples.- Journal of Chromatography A, 1217 (2010), 6511–6521.
- REH, R., LICHA, T., GEYER, T., NÖDLER, K., SAUTER, M. (2012): Occurrence and spatial distribution of organic micro-pollutants in a complex hydrogeological karst system during low flow and high flow periods, results of a two-year study.- Science of the Total Environment, DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.11.005.
- SCHRAFT, A., FRITSCHKE, J.G., HEMFLER, M., MITTELBACH, G., RAMBOW, D., TANGERMANN, H. (2002): Die hydrogeologischen Einheiten Nordhessens, ihre Grundwasserneubildung und ihr nutzbares Grundwasserdargebot (Ldkrs. Waldeck-Frankenberg, Kassel, Schwalm-Eder, Werra-Meißner, Hersfeld-Rotenburg, Fulda und Stadt Kassel).- Geol. Jb. Hessen 129: 27–53, 9 Tab., 1 Anlage; Wiesbaden.

Internetquellen:

Deutsche Stratigraphische Kommission, Subkommission Perm-Trias (2010): Anträge und Beschlüsse zur stratigraphischen Nomenklatur und Klassifikation 1991–2011. [www.stratigraphie.de/perm-trias/](http://www.stratigraphie.de/perm-trias/)

HLUG (2011a): Umwelt Atlas Hessen, [www.umweltatlas.hessen.de](http://www.umweltatlas.hessen.de).

HLUG (2011b): Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen.- [gruschu.hessen.de](http://gruschu.hessen.de).

Datenbanken:

HLUG: Altflächendatei des Landes Hessen - Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FISAG).

## Autorinnen und Autoren

Roland Reh <sup>a,b)</sup>; Dr. Tobias Geyer <sup>a)</sup>; Dr. Tobias Licha <sup>a)</sup>; Karsten Nödler <sup>a)</sup>; Prof. Dr. Martin Sauter <sup>a)</sup>; Inga Schlösser-Kluger <sup>c)</sup>; Dr. Magarete Jaeger-Wunderer <sup>c)</sup>

<sup>a)</sup> Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Angewandte Geologie,

<sup>b)</sup> Geonik GmbH

<sup>c)</sup> Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)

im Rahmen des Kooperationsvertrages zwischen dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, der Energie Waldeck-Frankenberg GmbH und der Georg-August-Universität, Göttingen