



Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser

Britta Schmalz

FG Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Universität Darmstadt

Wiesbaden, 19.09.2017

Gliederung

- I. Einführung, Mechanismen, Prozesse und Methoden
- II. Ergebnisse aus Beispielgebieten
- III. Ausblick: Hessisches Studiengebiet



I. Einführung, Mechanismen, Prozesse und Methoden



Oberflächennahes Grundwasser

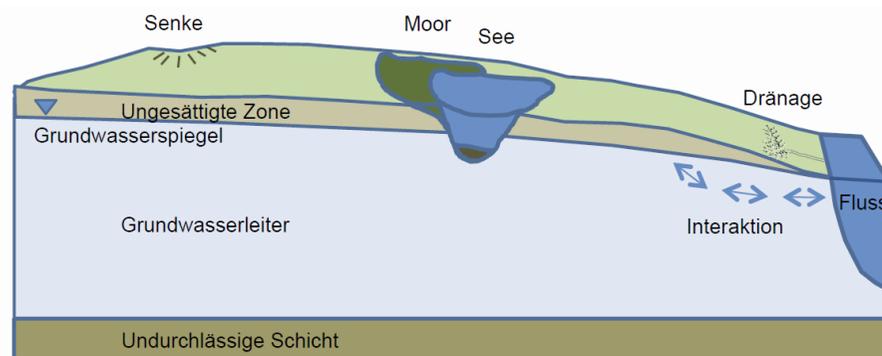


- Unterscheidung zwischen oberflächennahem und tiefem Grundwasser
- bodenkundlich: **Stauwasser** = oberflächennahes Grundwasser, das nicht ganzjährig vorhanden ist, sondern hauptsächlich während des Winterhalbjahres auftritt, wenn der Stauwasserhorizont flacher als 13 dm unter Geländeoberkante liegt (EGGELSMANN 1981)
- Norddeutsches Tiefland: >90% des Gewässerabflusses in **Verbindung** mit dem Grundwasser (KLUGE & TREPEL 2004)

- **Grundwasserstände** geprägt durch Klima, Morphologie und Geologie
- **Schwankungen** der Grundwasserstände sind abhängig von jahreszeitlichen bzw. mehrjährigen Unterschieden der Grundwasserneubildungsraten, dem Flurabstand und der Entfernung zum Vorfluter
- oberflächennahes Grundwasser im **Austausch** mit oberirdischen Gewässern und ungesättigter Bodenzone → am Jahreszyklus der Wasserumsätze im **Einzugsgebiet** beteiligt (WITTENBERG et al. 2005)
- Grundwasserströmung in Flussauen durch Wasserstandsdynamik im Vorfluter sowie die Dynamik des zuströmenden Grundwassers bestimmt

Vorkommen

- **Tiefland**



Typische Landschaftselemente und hydrologische Charakteristika in Tieflandgebieten (SCHMALZ 2016)



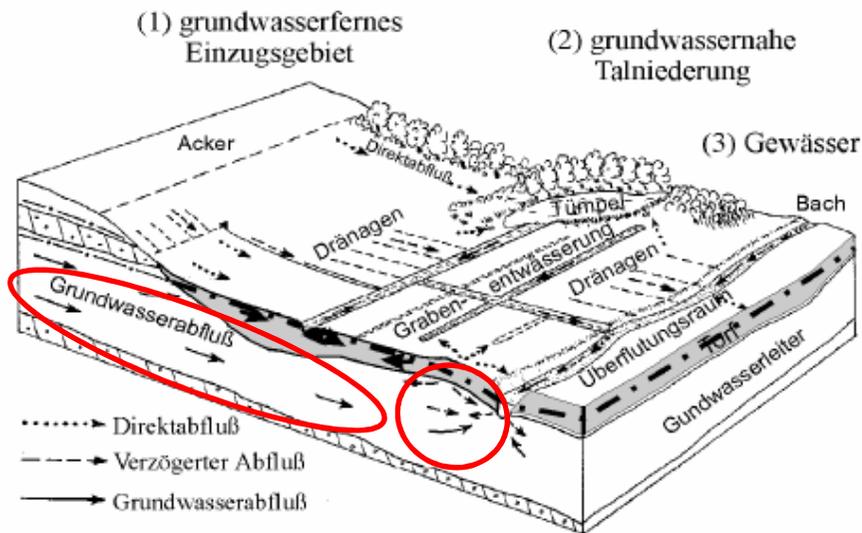
Beispiel für eine Moränenlandschaft (Kielstau-Einzugsgebiet in Schleswig-Holstein) (SCHMALZ 2016)

hydrologische Prozesse und Charakteristika in Tieflandgebieten

- flach; geringe Höhenunterschiede
- intensive Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser
- Wasserrückhalt in Senken, Mooren, Feuchtgebieten und Seen
- Veränderung des natürlichen Wasserhaushalts durch Fließgewässerregulierungen, Dränagesysteme landwirtschaftlicher Flächen und Entwässerung von Mooren

Vorkommen

- **Niederung**

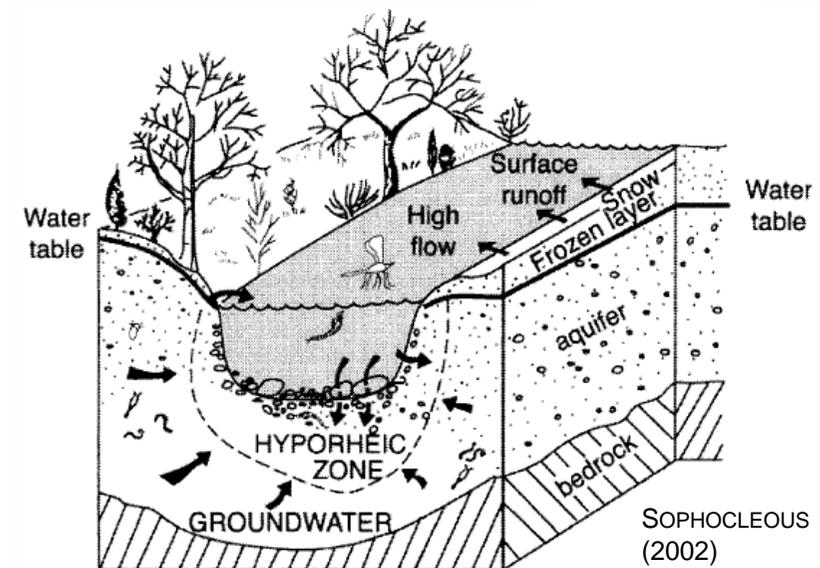


Die grundwassernahe Niederung in der Landschaft
(JELINEK 1999 verändert in MARTINI 2000)

- größere, vorwiegend ebene und tiefer als grundwasserferne Landflächen liegende Gebiete → Flussauen, Talniederungen, etc.
- Auen geprägt durch wechselseitigen Austausch zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser → starke Schwankungen der Wasserstände und Überflutungen

Hyporheisches Interstitial (Zone)

- Übergangszone zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser
- wichtig für den Austausch zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser
- Austauschprozesse innerhalb bzw. nahe des Flussbetts
- Mischprozesse zwischen Grund- und Oberflächenwasser
- hohe biogeochemische Aktivität
- starker Redoxgradient
- \leftrightarrow Kolmation



Veränderung des natürlichen Wasserhaushaltes



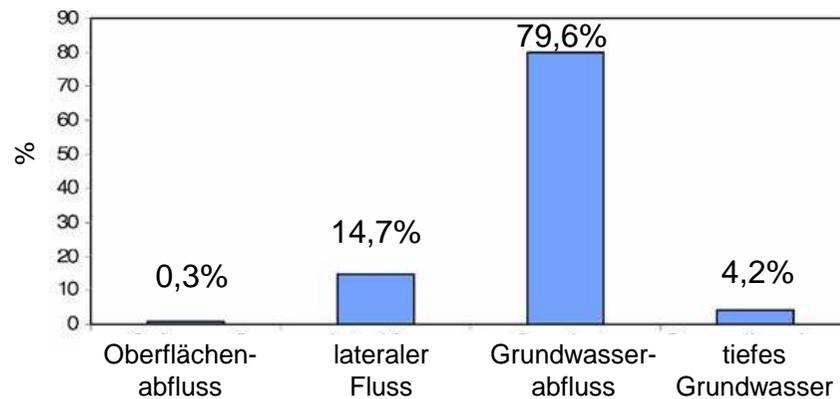
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- **Entwässerungsgräben** und **Rohrdränungen**, um die Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen zu verbessern oder überhaupt erst möglich zu machen
- DIN 1185 (2014): **Dränung** ist die Regelung des Bodenwasserhaushalts durch Rohrdränung und Unterbodenmelioration
- durch künstliches Abführen von überschüssigem Bodenwasser werden v.a. staunasse, grundwasserbeeinflusste Böden entwässert
- dadurch: Bewirtschaftung oder Neuerschließung von Flächen ermöglicht, Bodendurchlüftung verbessert, überschüssiges Wasser aus dem Wurzelraum der Kulturpflanze abgeführt, eine frühe Befahr- und Bearbeitbarkeit gesichert und höhere Erträge auf wasserbeeinflussten Flächen ermöglicht (FOHRER & SCHMALZ 2010)
- **Verweilzeit** des Grundwassers: bei Entwässerung über den regionalen Hauptvorfluter: Jahre bis Jahrzehnte; bei Entwässerung über einen Entwässerungsgraben, kleinen Bach oder eine Dränage: wenige Jahre bis Monate (KUNKEL & WENDLAND 1998)

Anteil Grundwasser- am Gesamtabfluss

In vielen Einzugsgebieten trägt der Grundwasserabfluss mit einem beträchtlichen Anteil zum Gesamtabfluss des Fließgewässers bei.

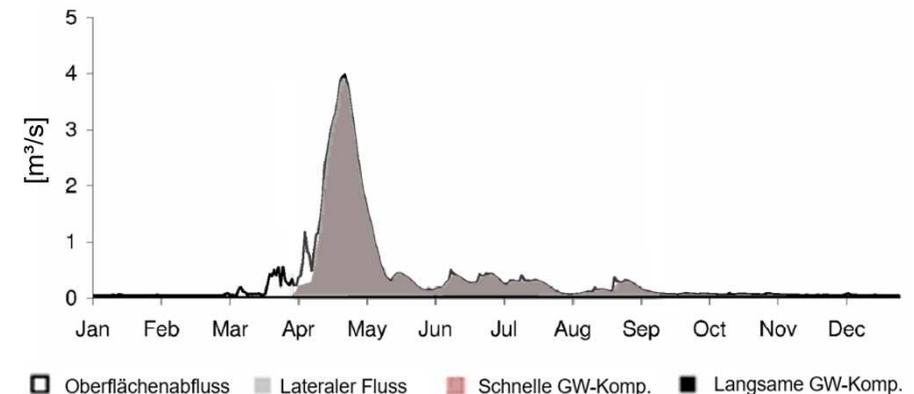
- Norddeutsches Tiefland (Kielstau-Einzugsgebiet, modelliert)



LAM et al. (2010, 2011)

- Westsibirisches Tiefland (Vagai- & Loktinka-Einzugsgebiete, modelliert)

	langsame Grundwasser- komponente	schnelle Grundwasser- komponente	lateraler Fluss	Oberflächen- abfluss
Vagai	13,8	74,6	0	11,1
Loktinka	15,4	75,2	0	9,4

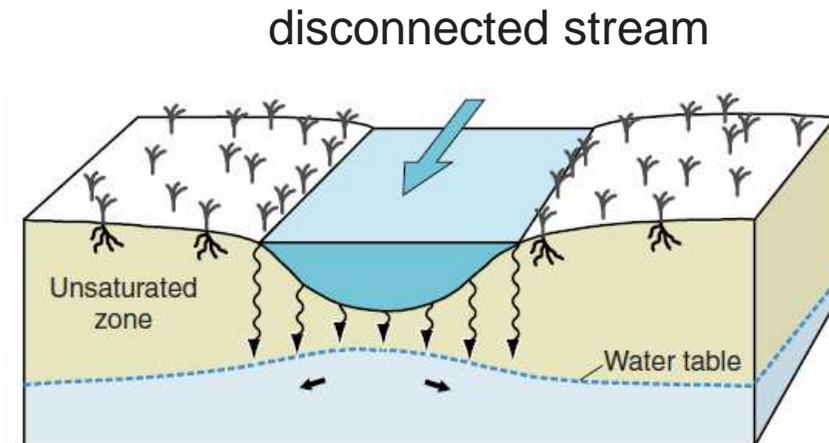


KIESEL et al. (in press), verändert

Wechselwirkung von Oberflächengewässern und oberflächennahem Grundwasser

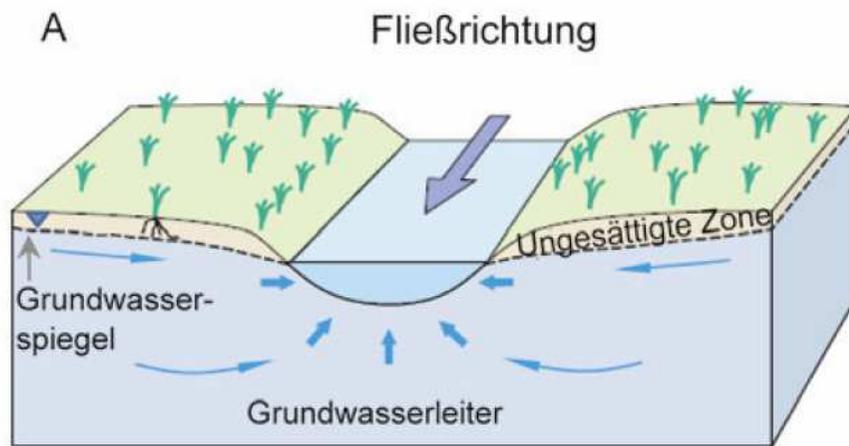
- Interaktion bedeutet, dass ein **Wasseraustausch in beiden Richtungen** möglich ist
- Die Fließpfade bestimmen die Stofftransportpfade und Transformationsprozesse in der Niederung
- Diffuse Stoffeinträge aus (entwässerten) Talniederungen erreichen Fließgewässer über den Grundwasserpfad oder Dränagen/Gräben

Gegensatz:
Ungesättigte Zone trennt Fließ-
gewässer vom Grundwasserkörper

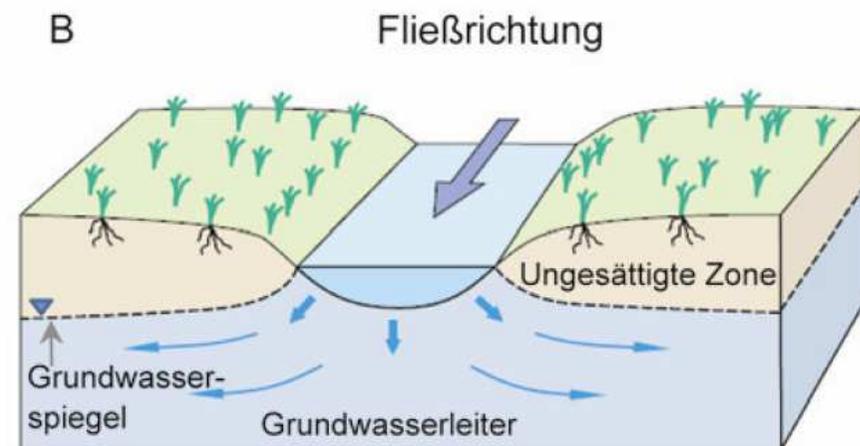


SIMONDS & SINCLAIR (2002)

Interaktion: Infiltration - Exfiltration



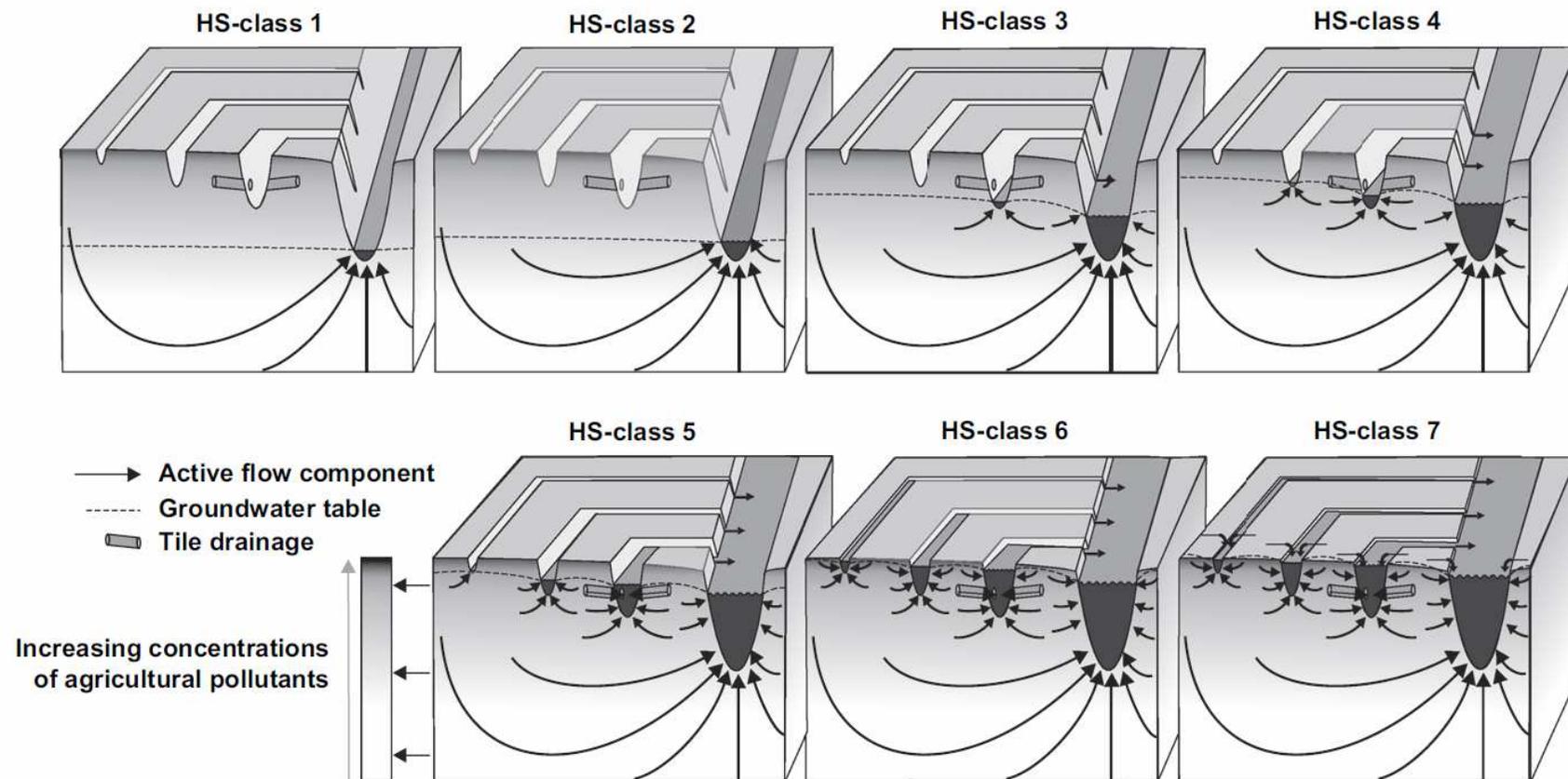
Exfiltration von Grundwasser
in das Fließgewässer
(effluenter Fluss)



Infiltration von Oberflächenwasser
in den Grundwasserleiter
(influenter Fluss)

Interaktion Oberflächengewässer-Grundwasser:
(SCHMALZ 2016, nach WINTER et al. 1998)

Interaktion



Konzeptionelles Modell: Grundwasserzustrom bei unterschiedlichen Strömungsverhältnissen von Basisabfluss (HS-Klasse 1) bis zu schnellen Strömungsverhältnissen (HS-Klasse 7)

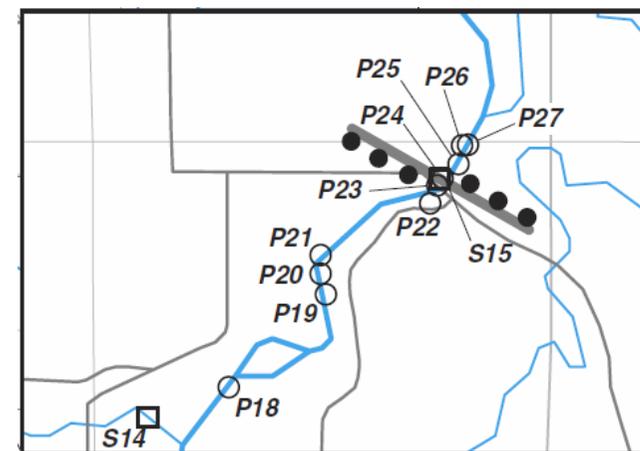
ROZEMEIJER & BROERS (2007)

Methoden: Messungen

- **Transekte**
- Mess- bzw. Beobachtungspunkte entlang einer geraden Linie
- räumlicher Bezug
- Wasserstände
- Hydrochemie
- hydraulische Leitfähigkeit
- Temperaturgradienten
- Fließgeschwindigkeit (z.B. Tracer)



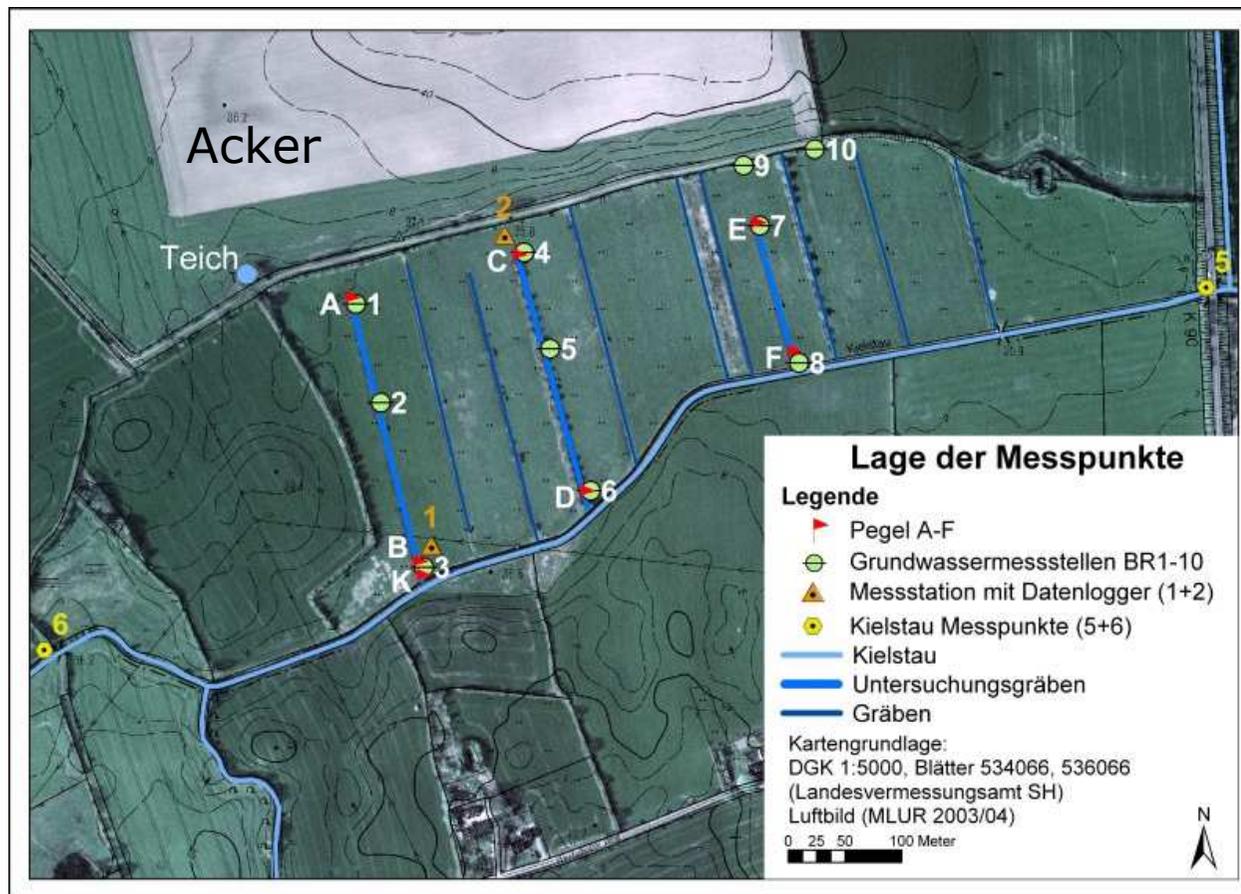
verändert nach <http://www.cacaponinstitute.org/data&protocols.htm>



SIMONDS & SINCLAIR (2002)

Methoden: Messungen

- **Messungen in einer Niederung**



- Bach
- Gräben
- Grundwassermessstellen
- Wasserstand
- Wasserqualität

SPRINGER (2006)

Methoden: Messungen

- Messungen in einer Niederung



Graben 1



Graben 4



Graben 8

untersuchte Gräben, Blickrichtung Kielstau (März 2006)

SPRINGER (2006)

Methoden: Messungen

- Messungen in einer Niederung



Lattenpegel in der
Kielstau (Pegel K)
mit Drucksensor

SPRINGER (2006)



Pegel E in Graben 8

SPRINGER (2006)

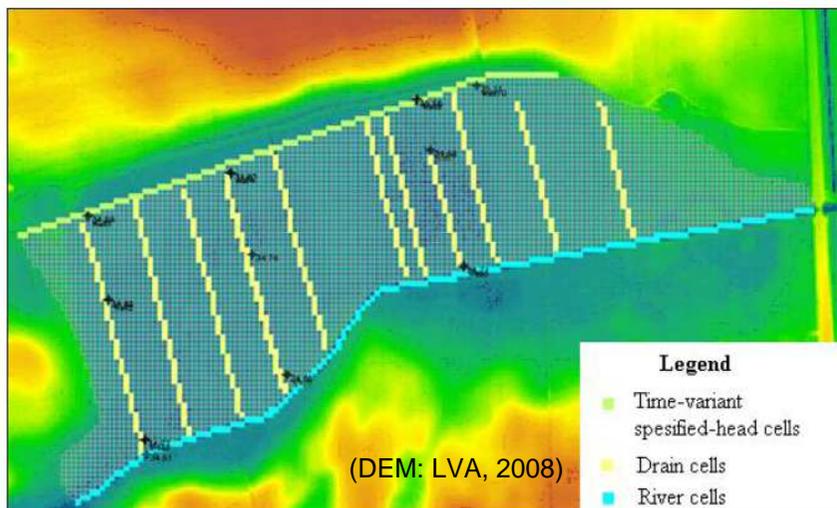


Grundwasser-
messstelle

Methoden: Modellansätze

3d-FD Grundwassermodell:

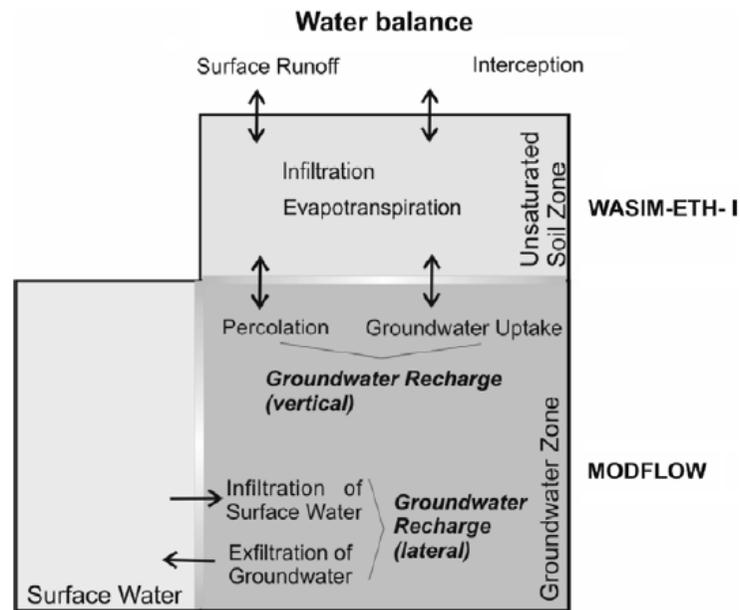
- MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988): modulares 3dim.- Finite-Differenzen- Grundwassermodell



BOLEKHAN (2012)

Gekoppelte Wasserhaushalt- und Grundwasserdynamik-Routinen:

- IWAN-Modell: WASIM-ETH und MODFLOW



KRAUSE et al. (2007), KRAUSE & BRONSTERT (2007)

Methoden: Modellierung von Tieflandgebieten



Anpassung an Tieflandbedingungen:

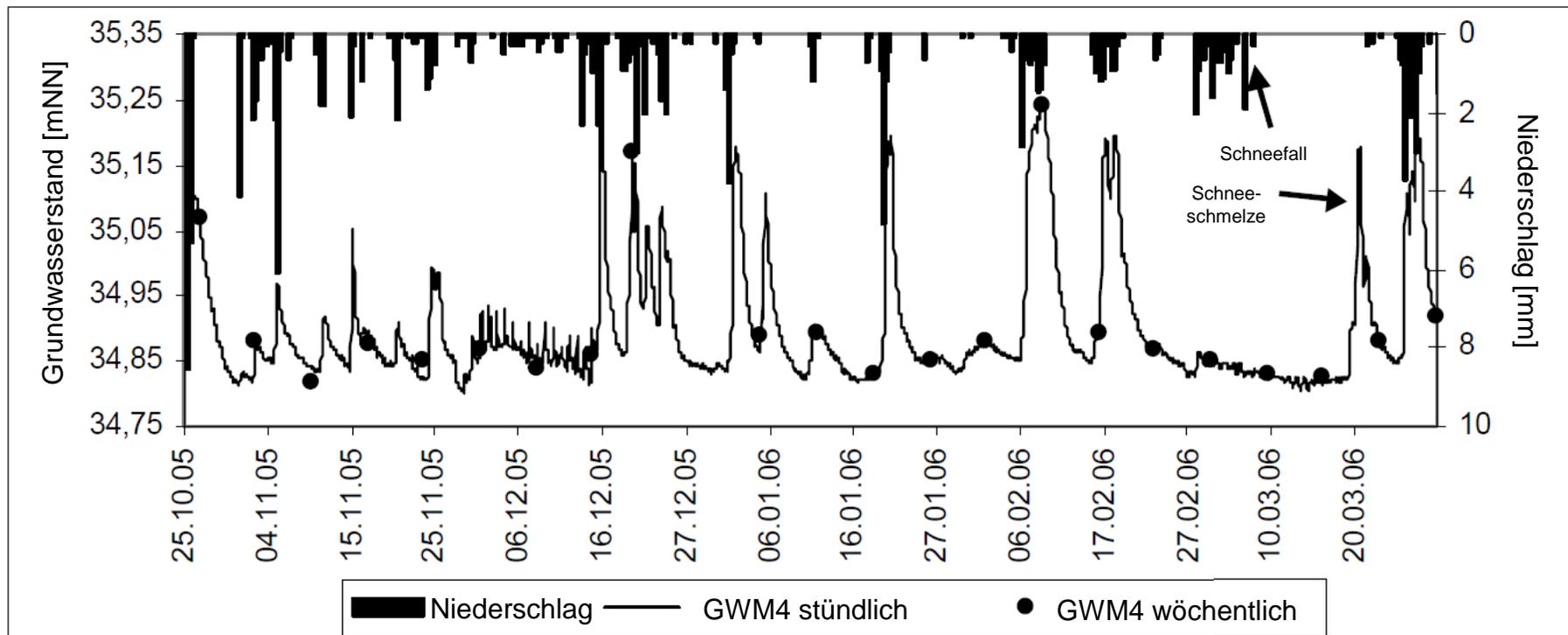
- Implementierung von **Senken** (KIESEL et al. 2010)
- Entwicklung eines nicht-linearen **Grundwasserspeicher**-Konzepts (PFANNERSTILL et al. 2014)
- Berücksichtigung von **Flussauen** und **Feuchtgebieten** (HATTERMANN et al. 2006)
- Berücksichtigung von **Dränagen**, z.B. durch Nutzung einer Dränflächenverteilungskarte (FOHRER et al. 2007; TETZLAFF et al. 2009) zur Simulation des Einflusses der Dränagen auf den Grundwasserabfluss (KIESEL et al. 2010) oder der Anteile des Dränageabflusses auf den Abfluss des Teileinzugsgebiets (KOCH et al. 2013)
- → hohe Sensitivitäten von Grundwasser- und Bodenparametern (SCHMALZ & FOHRER 2009) und Evapotranspiration (GUSE et al. 2014)

II. Ergebnisse aus Beispielgebieten



Messintervalle

- Vorteil höherer Messintervalle



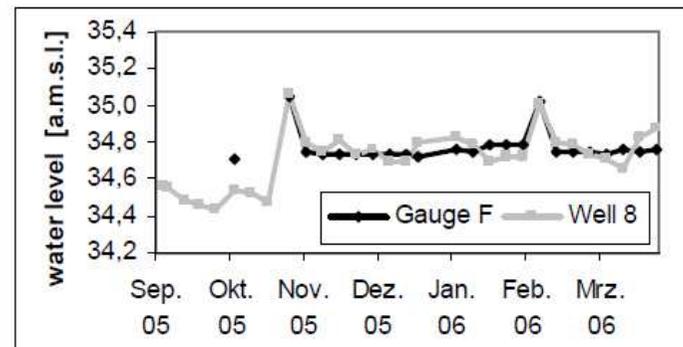
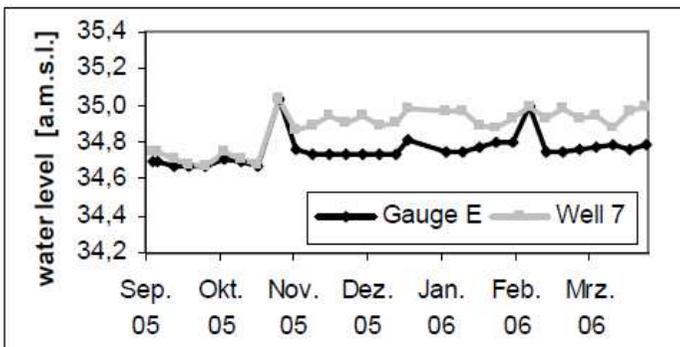
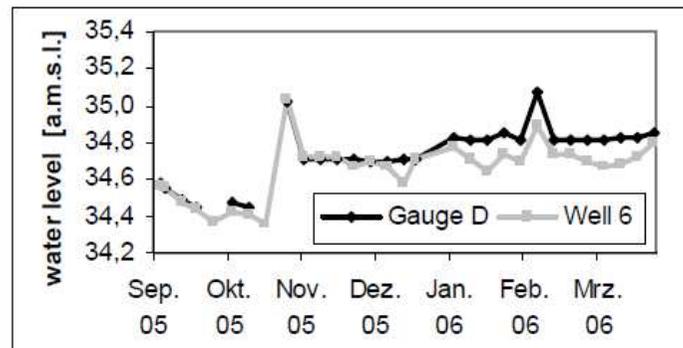
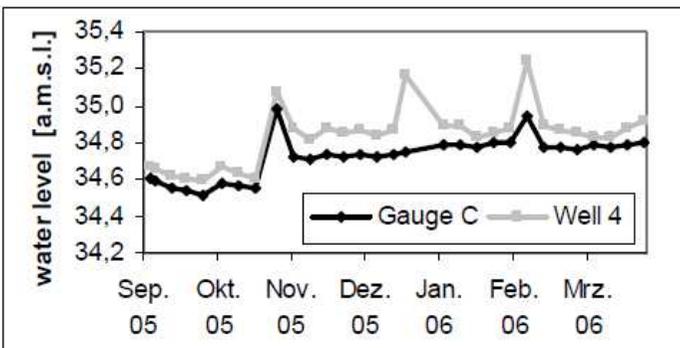
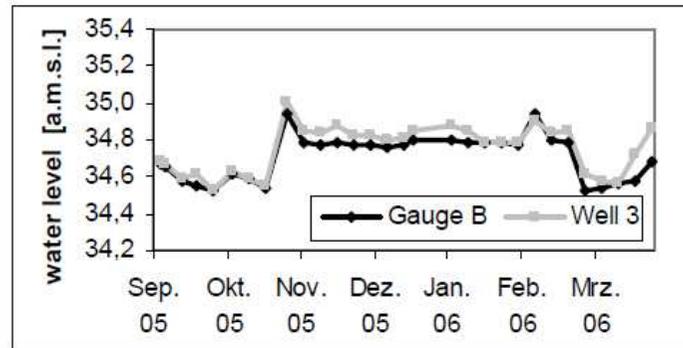
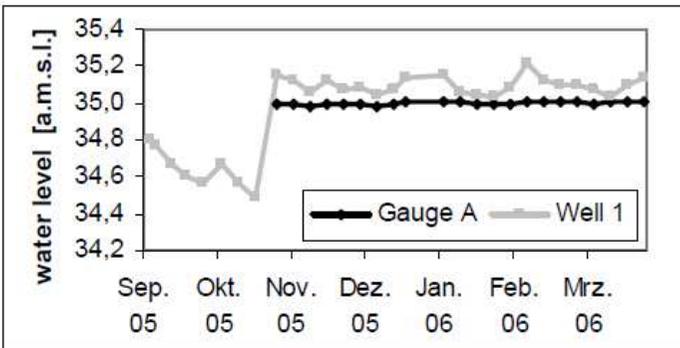
Grundwasserstände GW-Messstelle 4 mit stündlicher und wöchentlicher Auflösung
(Okt. 2005 – März 2006)

SCHMALZ et al. (2008), verändert

Wasserstände

Grabenbeginn bach-fern

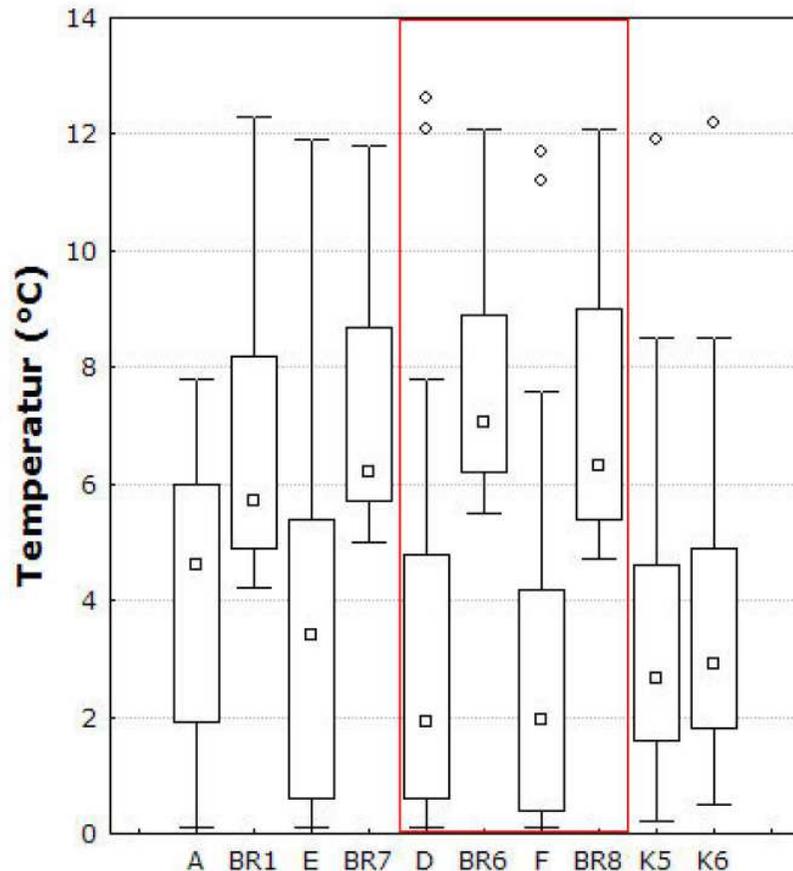
Grabenende bach-nah



- Bach-fern:
GW höher
Graben →
effluent

- Bach-nah:
Wechsel der
Fließbedin-
gungen
(influent –
effluent)

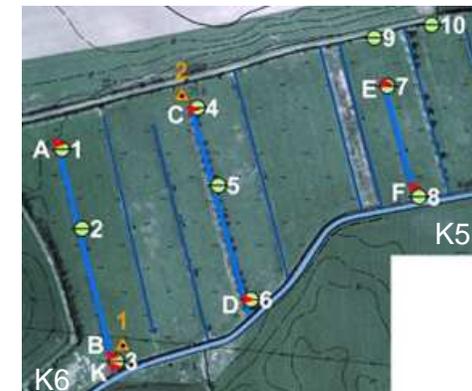
Temperaturen



- Grundwassertemperatur gegenüber Grabenwassertemperatur für betrachteten Winter-Zeitraum erhöht
- Differenzen am Grabenende höher als am Grabenanfang
- Niedrigste Mediane am Grabenende, gefolgt von Medianen der Bachtemperaturen

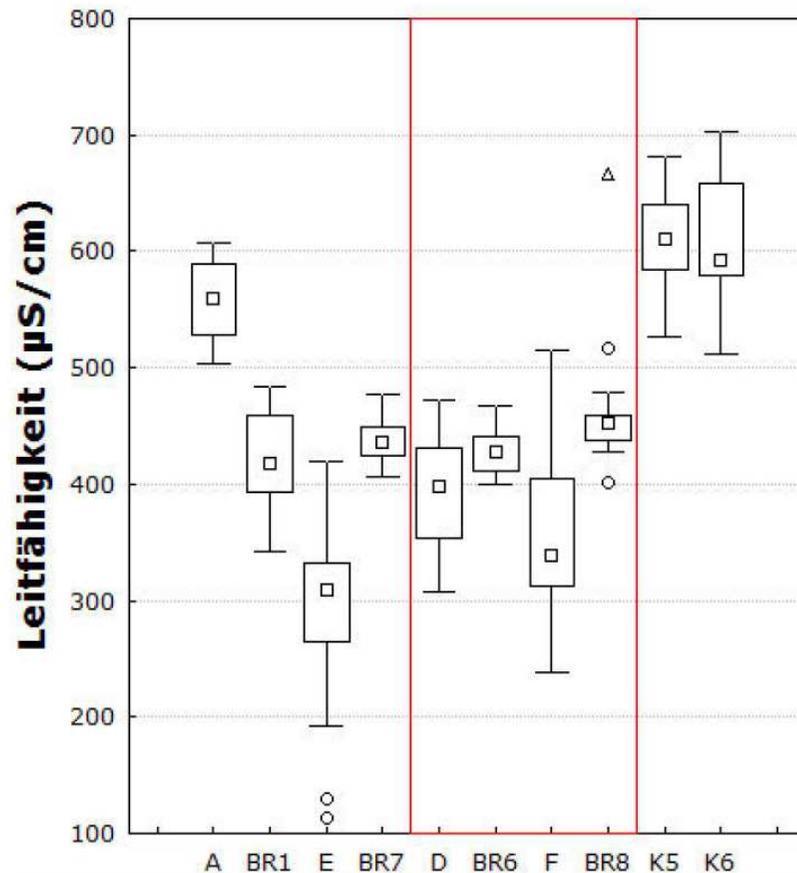
□ Median
 □ 25%-75%
 | Bereich ohne Ausreißer
 ◇ Ausreißer

Okt. 2005 – März 2006



SPRINGER (2006)

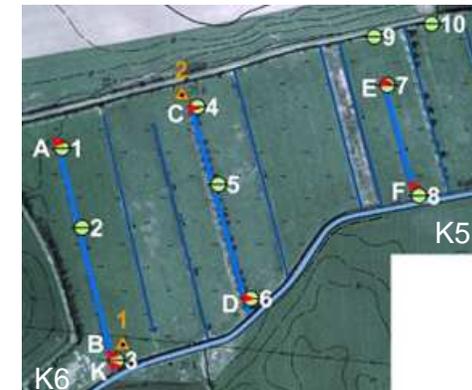
Wasserqualität – elektrische Leitfähigkeit



- Mediane Grundwasser ähnlich
- Grundwasser gegenüber dem Grabenwasser erhöht (außer Paar A-BR1)
- Gräben weisen hohe Variabilität auf (A hohe LF; E und F niedrige LF)

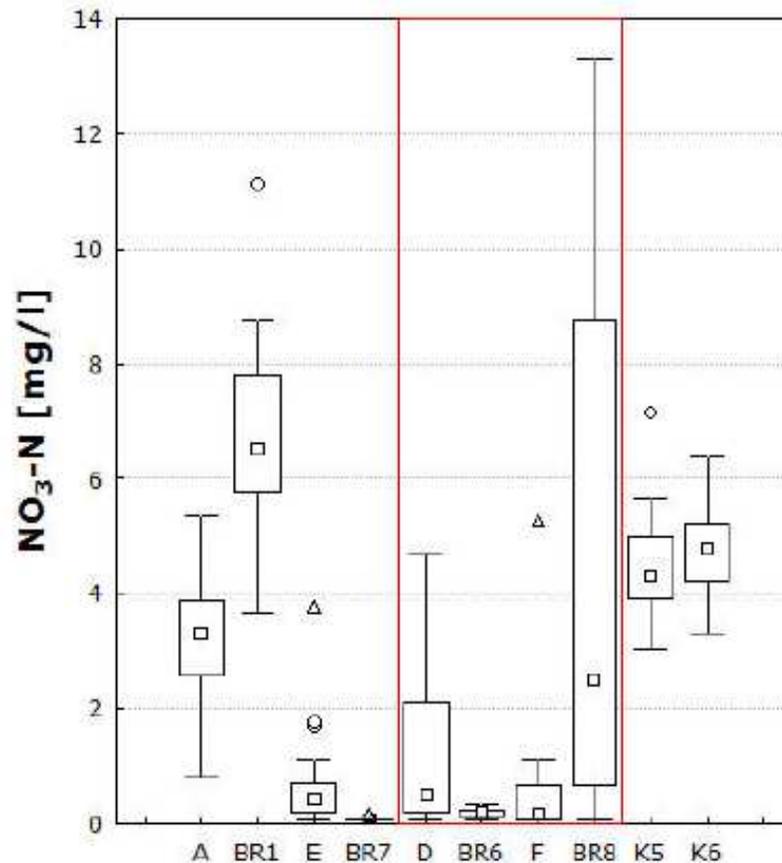
□ Median
 □ 25%-75%
 | Bereich ohne Ausreißer
 ◊ Ausreißer

Okt. 2005 – März 2006



SPRINGER (2006)

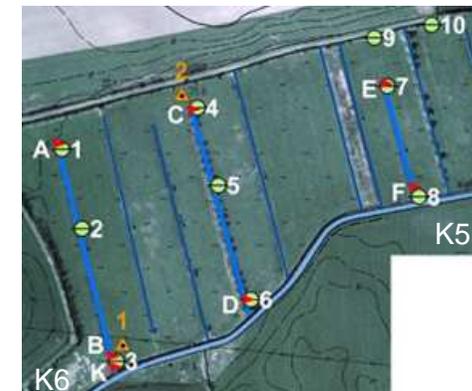
Wasserqualität – Nitrat



- Graben- und Grundwasser unterscheiden sich erheblich voneinander
- Grundwasser höhere Werte als Grabenwasser
- Kielstau: leichter Anstieg der Mediane von 4,33 mg/l (K5) auf 4,78 mg/l (K6)

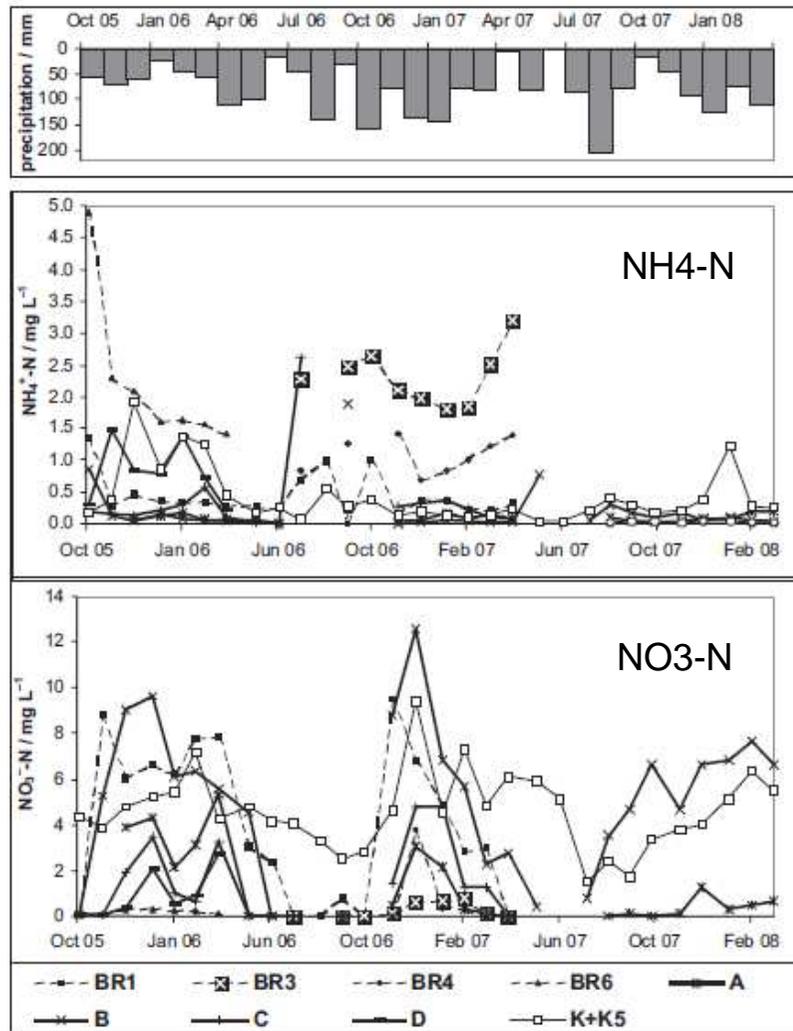
□ Median
 □ 25%-75%
 | Bereich ohne Ausreißer
 ◊ Ausreißer

Okt. 2005 – März 2006



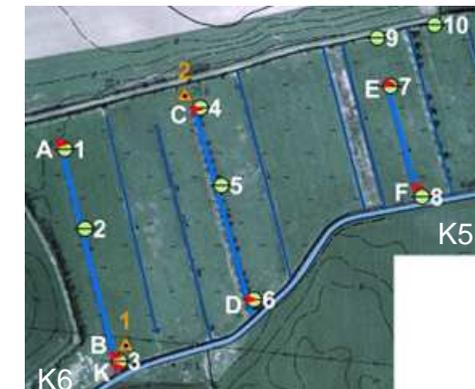
SPRINGER (2006)

Wasserqualität – Nitrat und Ammonium



- meist NH_4 höher in GW als in Gräben, aber höchste Konz. bachnah und in Kielstau
- höchste NO_3 -Konz. in Kielstau und in Gräben mit Zufluss von Acker

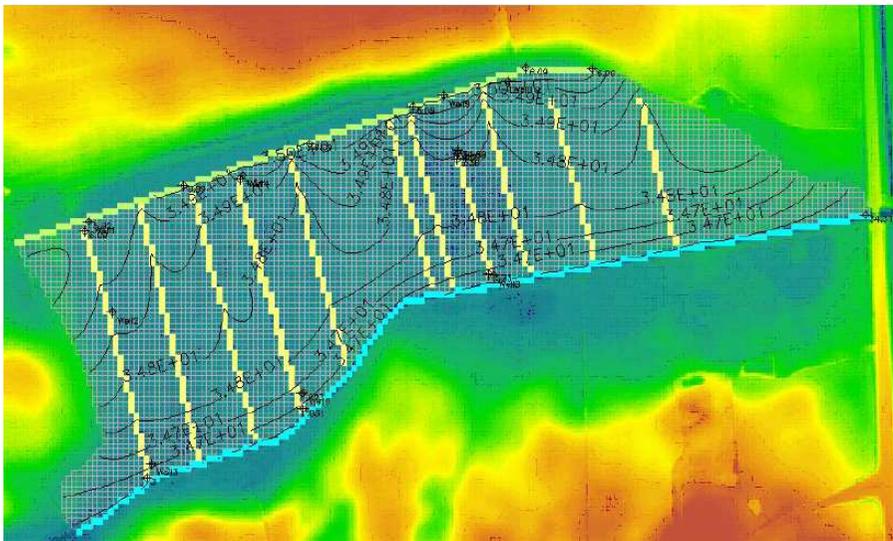
Monatliche Auflösung
Okt. 2005 – Feb 2008



SCHMALZ et al. (2009), verändert

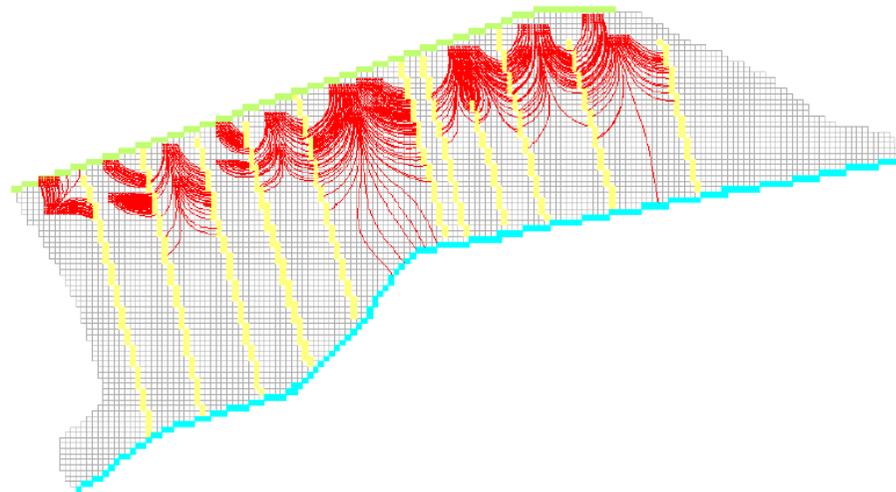
Modellergebnisse I

- Hydraulische Gradienten



- Hydraul. Gradienten: 34,6 – 35,0 mNN
- nehmen Richtung Bach ab
- Linienform zeigt Funktion der Gräben und Wasserbewegung in die Gräben

- Bahnlinienverfahren (vorwärts)

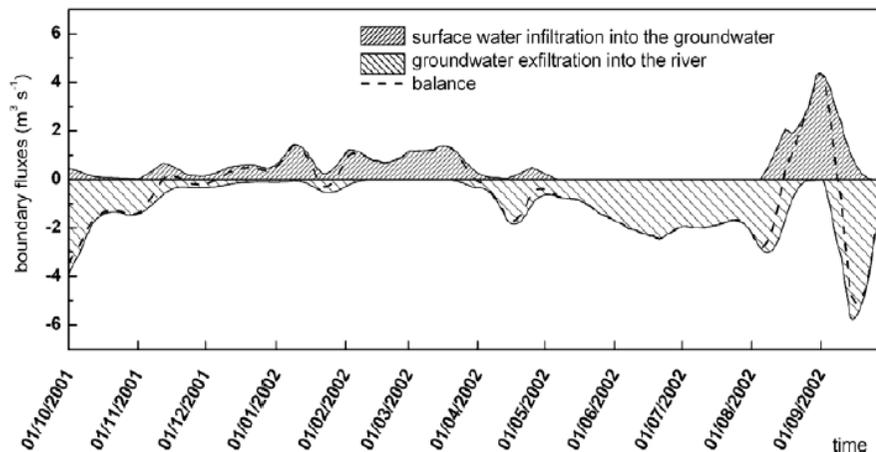


- Mehrheit der Partikel vom bach-fernen Bereich fließen in die Gräben
- hohe Verweilzeit
- geringe Grundwasserfließgeschwindigkeiten

BOLEKHAN (2012)

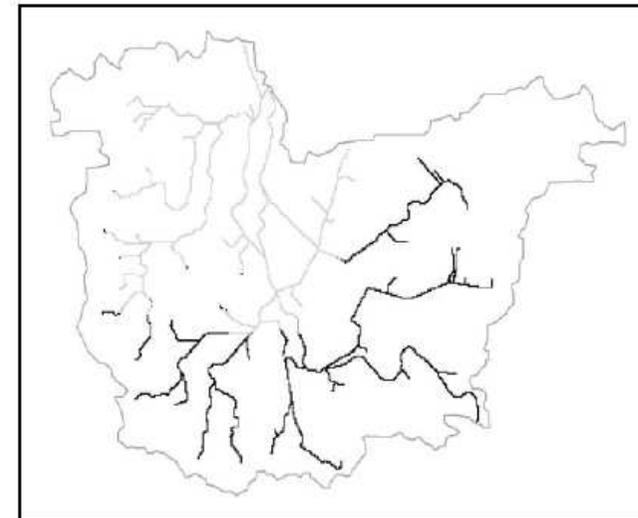
Modellergebnisse II

- **Simulierte Interaktion**
- Unteres Havel-Einzugsgebiet
- 01.10.2001–30.09.2002
- Grundwasser-Exfiltration, Oberflächenwasser-Infiltration



KRAUSE et al. 2007

- **Räumliche Variabilität der Interaktion**



~ gw-discharge (into the river)

~ gw-recharge (from the river)

KRAUSE & BRONSTERT (2007)

Fazit

-
- Tiefland, Niederungen und Auen geprägt durch einen **wechselseitigen Austausch** zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser
 - Zeitliche (saisonal, Ereignisse) und räumliche (Lokation innerhalb Niederung, Flussabschnitte) **Variabilität**
 - Prozessverständnis und Quantifizierung des Austausches für ein **nachhaltiges Flussgebietsmanagement** unabdingbar
 - EG-Wasserrahmenrichtlinie: Erreichen eines guten Zustandes für Oberflächengewässer und Grundwasserkörper → Betrachtung der Interaktion gehört zu flussgebietsbezogenem integrativem Bewirtschaftungsansatz

III. Ausblick: Hessisches Studiengebiet



Gersprenz-Einzugsgebiet

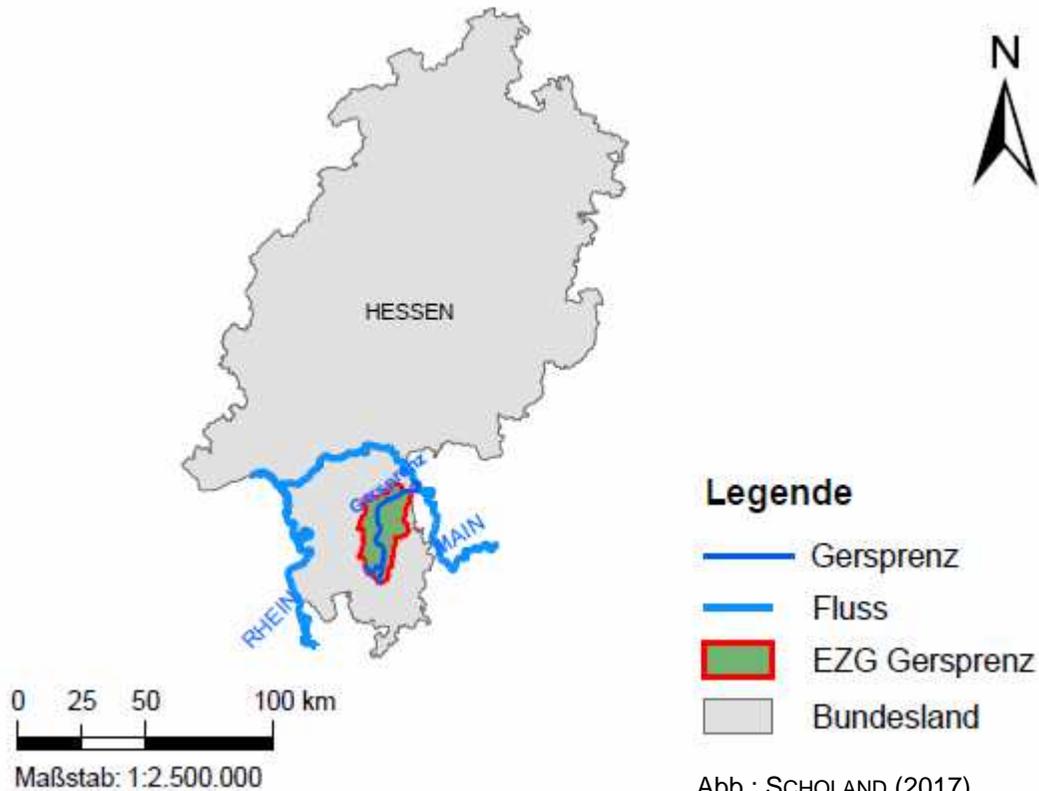
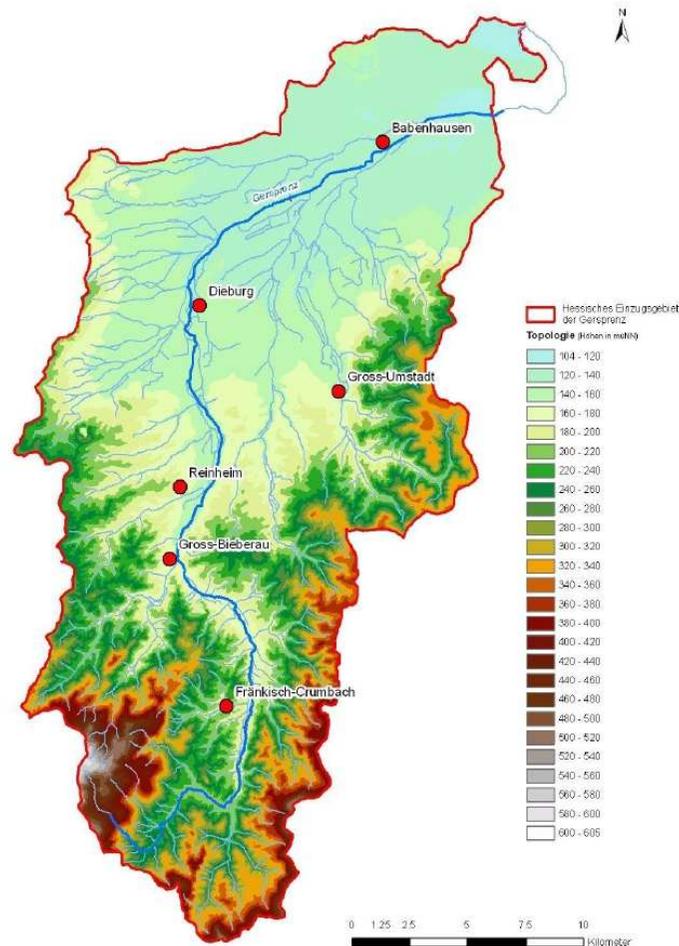


Abb.: SCHOLAND (2017)

- 515 km²,
davon 502 km² in Hessen
- Regierungsbezirk
Darmstadt

Gersprenz-Einzugsgebiet

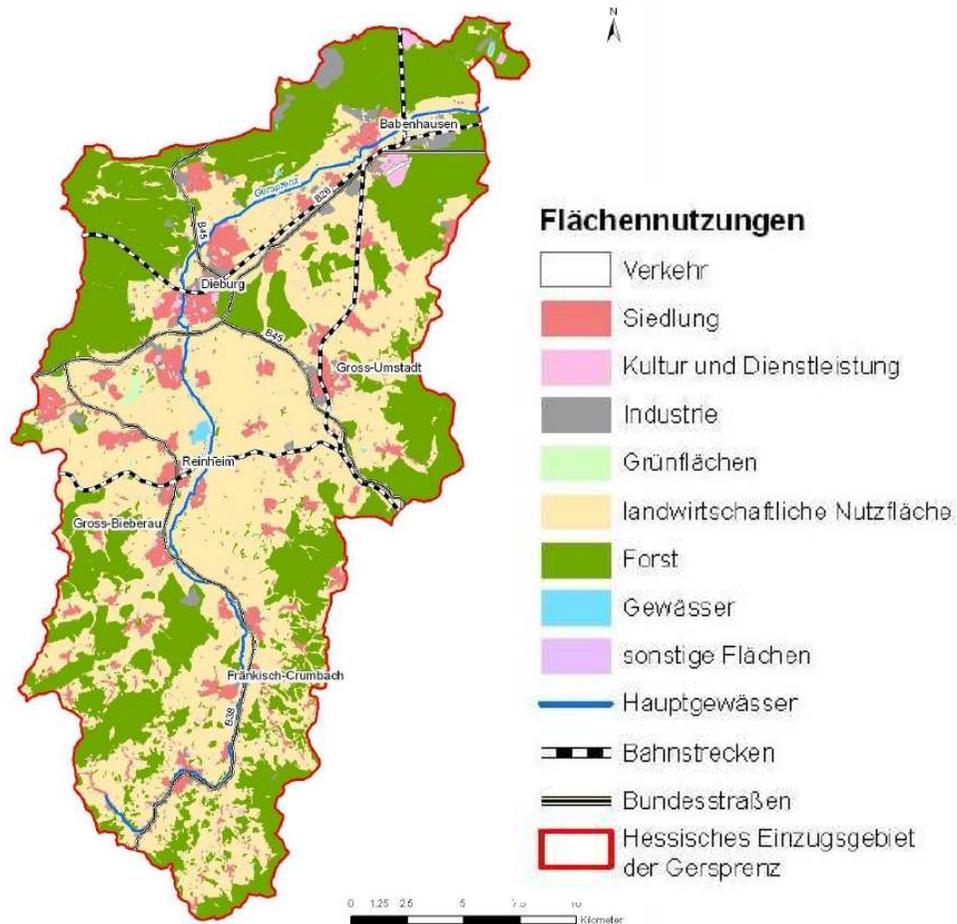


- ca. 600 – 100 m NN
- Mittelgebirge (Vorderer Odenwald)
- Hügellandschaft (Reinheimer Hügelland)
- Niederung (Untermainebene)

Abbildung 2.1: Topologie des hessischen Einzugsgebietes der Gersprenz (Datenbasis HLUg [6])

RP Darmstadt (2015)

Gersprenz-Einzugsgebiet



Landnutzung

49% Landwirtschaft

38% Forstwirtschaft

8% Siedlungs-/Verkehrsflächen

Abbildung 2.5: Verteilung der Landnutzung und überregional bedeutsame Verkehrswege im hessischen Einzugsgebiet der Gersprenz (Datenbasis gemäß [16])

RP Darmstadt (2015)

Gersprenz-Einzugsgebiet

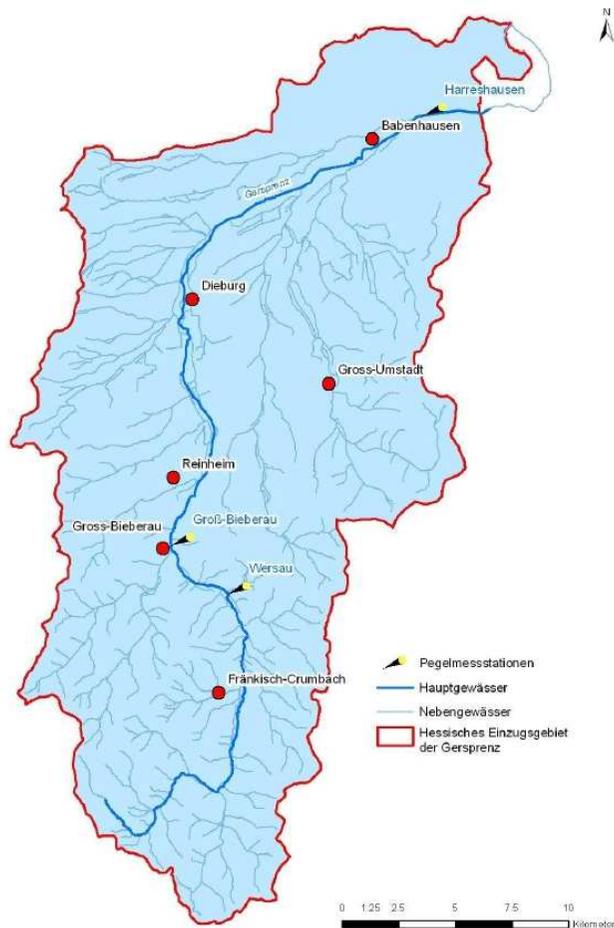
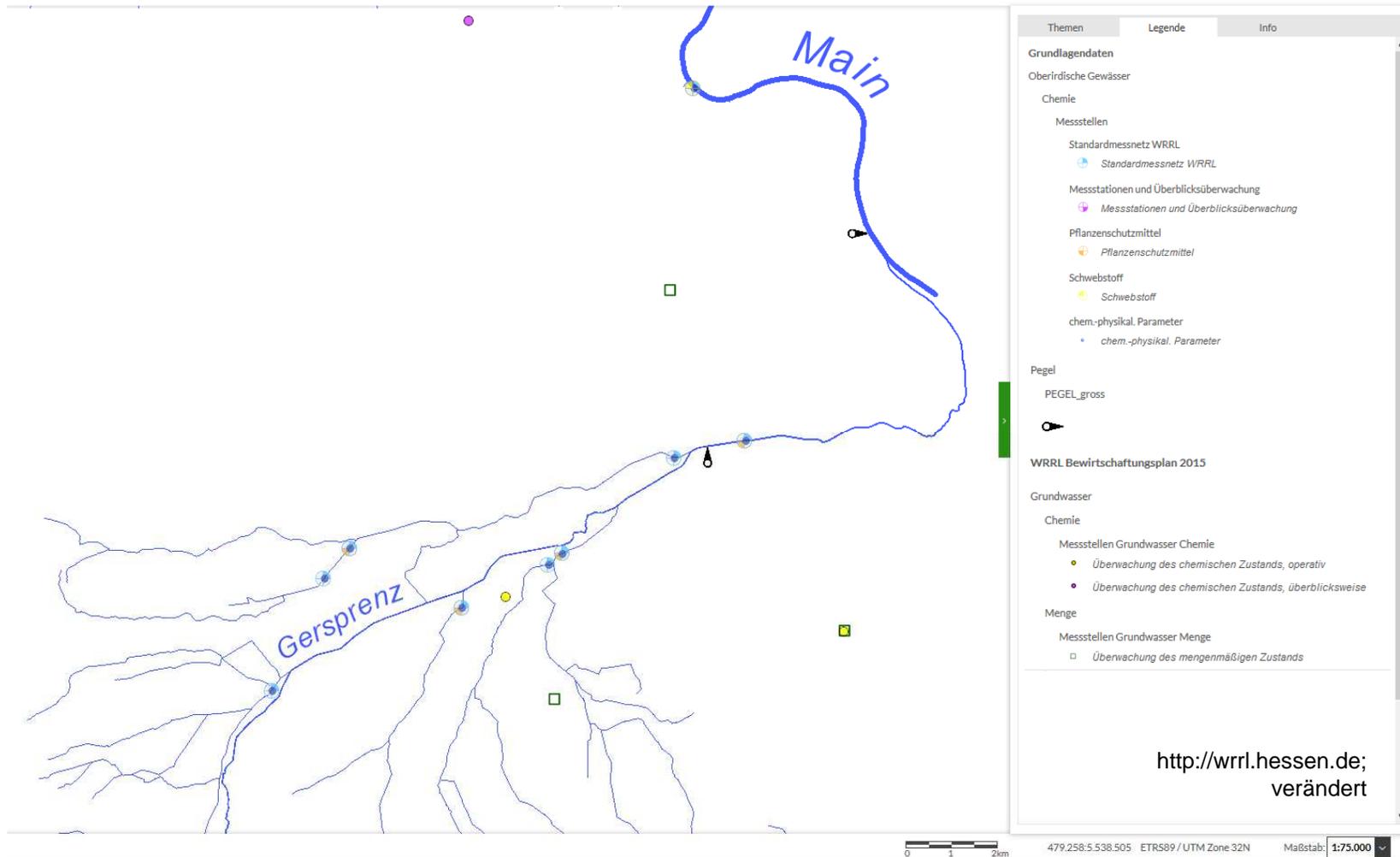


Abbildung 2.3: Im hessischen Einzugsgebiet gelegene Pegelmessstationen der Gersprenz (Datenbasis HLUG [6])

RP Darmstadt (2015)

- 515 km²
- 62 km (53 km),
Mündung bei Stockstadt in den Main
- Nebengewässer, z.B. Semme, Lache,
Fischbach und Wembach
- weitere hydrologische Elemente: Teiche,
Mühlkanäle und Stadt-/Burggräben
- Retentionsräume zur
Hochwasserentlastung, u.a. in den
Gemarkungen Groß-Zimmern, Groß-
Bieberau und Hergershausen
- 2 Landespegel, 5 Verbandspegel
- 10 Kläranlagen

Gersprenz-Einzugsgebiet



Vielen Dank für Ihr Interesse!

schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de



Foto: B. Schmalz

Referenzen

- BOLEKHAN, A. (2012): Assessment of nitrate removal in the riparian zone of the North German lowland river Kielstau. Masterarbeit im Studiengang Ecohydrology, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in Zusammenarbeit mit UNESCO-IHE Delft. 104 p.
- DIN 1185 (2014): Dränung. Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung und Unterbodenmelioration. 3 Teile. Berlin.
- EGGELSMANN, R. (1981): Ökohydrologische Aspekte von anthropogen beeinflussten und unbeeinflussten Mooren Norddeutschlands. Dissertation, Universität Oldenburg.
- FOHRER, N. & SCHMALZ, B. (2010): Be- und Entwässerung von Böden. In: Blume, H.P., Horn, R. und S. Thiele-Bruhn (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. 4. Auflage. Weinheim: 1-758.
- FOHRER, N., SCHMALZ, B., TAVARES, F. & GOLON, J. (2007): Ansätze zur Integration von landwirtschaftlichen Drainagen in die Modellierung des Landschaftswasserhaushalts von mesoskaligen Tieflandeinzugsgebieten. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51 (4): 164-169.
- GUSE, B., REUSSER, D.E. & FOHRER, N. (2014): How to improve the representation of hydrological processes in SWAT for a lowland catchment. Temporal analysis of parameter sensitivity and model performance. Hydrological Processes 28 (4): 2651-2670.
- HATTERMANN, F.F., KRYSANOVA, V., HABECK, A. & BRONSTERT, A. (2006): Integrating wetlands and riparian zones in river basin modelling. Ecological Modelling 199 (4): 379-392.
- JELINEK, S., KLUGE, W. & WIDMOSER, P. (1999): Über das Abflußverhalten kleiner Einzugsgebiete in Norddeutschland am Beispiel der oberen Stör in Schleswig-Holstein. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43(1): 3-17.
- KIESEL, J., FOHRER, N., SCHMALZ, B. & WHITE, M.J. (2010): Incorporating landscape depressions and tile drainages of lowland catchments into spatially distributed hydrologic modelling. Hydrol. Processes 24(11): 1472-1486. DOI: 10.1002/hyp.7607.
- KIESEL, J., PFANNERSTILL, M., SCHMALZ, B., KHOROSHAVIN, V., SHELUDKOV, A., VESHKURSEVA, T. & FOHRER, N.: Modelling of hydrological processes in snowmelt-governed permafrost-free catchments of the Western Siberian Lowlands. International Journal of Hydrology Science and Technology, in press.

Referenzen



- KLUGE, W. & TREPEL, M. (2004): Geohydrologische Einbindung von Niederungen in die Landschaft. *Wasserwirtschaft* 94(5): 9-14.
- KOCH, S., BAUWE, A. & LENNARTZ, B. (2013): Application of the SWAT Model for a Tile-Drained Lowland Catchment in NorthEastern Germany on Subbasin Scale. *Water Resources Management* 27: 791-805.
- KRAUSE, S. & BRONSTERT, A. (2007): The impact of groundwater–surface water interactions on the water balance of a mesoscale lowland river catchment in northeastern Germany. *Hydrol. Process.* 21: 169–184.
- KRAUSE, S., BRONSTERT, A. & ZEHE, E. (2007): Groundwater–surface water interactions in a North German lowland floodplain – Implications for the river discharge dynamics and riparian water balance. *Journal of Hydrology* 347: 404-417.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Modellgestützte Analyse der Grundwasserverweilzeiten in der Stromlandschaft Elbe. In: Bronstert, A., Krysanova, V., Schröder, A., Becker, A., Bork, H.-R. (Hrsg.): *Modellierung des Wasser- und Stofftransports in großen Einzugsgebieten*. PIK Report 43, S. 77-84. Potsdam.
- LAM, Q.D., SCHMALZ, B. & FOHRER, N. (2010): Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agric. Water Manage.* 97(2): 317-325. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.10.004.
- LAM, Q.D., SCHMALZ, B. & FOHRER, N. (2011): The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environ Monit Assess.* 183(1): 351-379. DOI: 10.1007/s10661-011-1926-9.
- MARTINI, M. (2000): Einfluß von Talniederungen auf den Stoffaustrag im Einzugsgebiet BuckenerAu / obere Stör (Schleswig-Holstein). Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- NÜTZMANN, G. & MEY, S. (2007): Model-based estimation of runoff changes in a small lowland watershed of northeastern Germany. *Journal of Hydrology* 334: 467-476.
- PFANNERSTILL, M., GUSE, B. & FOHRER, N. (2014): A multistorage groundwater concept for the SWAT model to emphasize nonlinear groundwater dynamics in lowland catchments. *Hydrological Processes* 28: 5599-5612.

Referenzen



- ROZEMEIJER, J.C. & BROERS, H.P. (2007): The groundwater contribution to surface water contamination in a region with intensive agricultural land use (Noord-Brabant, The Netherlands). *Environmental Pollution* 148: 695-706.
- RP Darmstadt (2015): Hochwasserrisikomanagementplan für die Gersprenz. Erläuterungsbericht (Langfassung). Stand: November 2015. Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt Darmstadt, & BGS Wasserwirtschaft GmbH, Darmstadt. 147 Seiten. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hochwasser/hwrmp/Gersprenz/berichte/HWRMP-Gersprenz_Langfassung.pdf.
- SCHMALZ, B. (2016): Tieflandhydrologie. Kapitel 18. In: Fohrer, N., Bormann, H., Miegel, K., Casper, M., Bronstert, A., Schumann, A., Weiler, M. (2016): *Hydrologie*. UTB. 1. Auflage. 320 S.
- SCHMALZ, B. & FOHRER, N. (2009): Comparing model sensitivities of different landscapes using the ecohydrological SWAT model. *Advances in Geosciences* 21: 91-98.
- SCHMALZ, B., SPRINGER, P. & FOHRER, N. (2008): Interactions between near-surface groundwater and surface water in a drained riparian wetland. *IAHS Publ.* 321: 21-29.
- SCHMALZ, B., SPRINGER, P. & FOHRER, N. (2009): Variability of water quality in a riparian wetland with interacting shallow groundwater and surface water. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172(6): 757-768. DOI: 10.1002/jpln.200800268.
- SIMONDS, F.W. & SINCLAIR, K.A. (2002): Surface Water-Ground Water Interactions Along the Lower Dungeness River and Vertical Hydraulic Conductivity of Streambed Sediments, Clallam County, Washington, September 1999-July 2001. U.S. Geological Survey, in cooperation with Clallam County. Water-Resources Investigations Report 02-4161. Washington State Department of Ecology Report 02-03-027. Tacoma, Washington.
- SOPHOCLEOUS, M. (2002): Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal* 10: 52-67.
- SPRINGER, P. (2006): Analyse der Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser am Beispiel einer Flussniederung im Norddeutschen Tiefland. Diplomarbeit im Fach Geographie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 164 p.

Referenzen

-
- TETZLAFF, B., KUHR, P., VERECKEN, H. & WENDLAND, F. (2009): Aerial photograph-based delineation of artificially drained areas as a basis for water balance and phosphorus modelling in large river basins. *Physics and Chemistry of the Earth* 34: 552-564.
 - WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L. & ALLEY, W.M. (1998): *Ground Water and Surface Water. A Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular 1139, Denver.
 - WITTENBERG, H., SCHÖNIGER, M. & SCHWARZE, R. (2005): Grundwasserabfluss. In: Bronstert, A. (Hrsg.): *Abflussbildung - Prozessbeschreibung und Fallbeispiele*. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. H. 13: 22-39. Hydrologische Wissenschaften. Fachgemeinschaft in der DWA. Hennef.