

Reviewprozess WRRL: Expertenbefragung Erläuterungen Grundwasserökosysteme und Kolmation

Erstellt vom BUND-Bundesarbeitskreis Wasser
2. März 2019

Vorbemerkung

Der BUND Bundesarbeitskreis Wasser (BAK Wasser) begrüßt die EU-weite Anhörung zur Review der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), wie sie derzeit zum Fitness-Checks der Richtlinie und ihrer Tochterrichtlinien erfolgt

Aufbauend auf die vom BAK Wasser mit erarbeiteten Verbände-übergreifenden Forderungen zur WRRL-Überprüfung (vgl. veröffentlichte Kurzfassung des betreffenden Dokuments von BUND, DNR, Grüne Liga, Nabu und WWF v. Mai 2018) ¹ legt der Arbeitskreis nun zu wichtigen Detailfragen seine Expertise vor, um die Forderungen zu präzisieren bzw. zu ergänzen. Eingeführt und fachlich näher erläutert werden konkret die gewässerpolitischen Anregungen zu den Handlungsfeldern "Schutz der Grundwasserökosysteme vor Verunreinigungen" und "Vorkehrungen gegen die Kolmation von Fließgewässern".

Die Expertise wurde von der BAK - Unterarbeitsgruppe Grundwasser erstellt.

Laut Beschluss vom 16.2.2019 hat der BAK Wasser der fachlichen Einschätzung zu den beiden Handlungsfeldern zugestimmt und sich dafür ausgesprochen, dass die Anregungen auch im Rahmen der Überprüfung der WRRL und ihrer Tochterrichtlinien eingebracht werden.

Der BAK Wasser dankt allen, die an der Erstellung dieser Expertise mitgewirkt haben, insbesondere Christian Schweer, Dr. Hans Jürgen Hahn, Dr. Hans-Joachim Grommelt, Dr. Ralf Köhler, Hermann-Josef Löw und Dr. Volker Sokollek.

A. Allgemeines

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in der geltenden Fassung soll nicht geändert werden, sondern vielmehr ihre Ausführungsbestimmungen konsequent Anwendung finden. Zugleich ist die Umsetzung der WRRL über die WRRL-Tochterrichtlinien zu stärken (= Grundwasserrichtlinie (GWRL) - Richtlinien 2006/118EG in Verbindung mit Richtlinie 2014/80/EU - sowie Richtlinie zu den Umweltqualitätsnormen in der Wasserpolitik - Richtlinie 2008/105/EG in Verbindung mit Richtlinie 2013/39/EU). Zur Sicherstellung und Stärkung der WRRL-Umsetzung über die Tochterrichtlinien zählen insbesondere folgende Prinzipien:

- Klärung offener Fragen gemäß bzw. im Sinne von Art. 20 WRRL allein auf Basis neuer fachlich- wissenschaftlicher Erkenntnisse (technisch-wissenschaftlicher Fortschritt) statt auf Grundlage politischer Erwägungen oder wirtschaftlicher Interessen.
- Bestätigung und Verstärkung des Schutzniveaus durch Aufnahme zusätzlicher Indikatoren/Parameter (i.S. Art. 8 GWRL).

¹ Vgl. BUND, DNR, Grüne Liga, Nabu und WWF (2018): Forderungen der Umweltverbände zur Überprüfung der Wasserrahmenrichtlinie (Kurzfassung): https://www.dnr.de/fileadmin/Positionen/2018-05-30_Eckpunkte_Umweltverbaende_WRRLFitnessCheck_kurz.pdf

B. Schutz der Grundwasserökosysteme vor Verunreinigungen

B.1. Begründung

Zentral sind für das Grundwasser folgende rechtliche Aspekte zu würdigen:

a) Berücksichtigung aller aquatischen Ökosysteme:

- Art. 1 WRRL: Der Schutz aquatischer Ökosysteme wird explizit genannt.
- Art. 4 (5) GWRL: Sofern Grundwasser (GW) sich entsprechend des Flächenkriteriums in einem guten chemischen Zustand befindet, ist im Einzugsbereich einer auffälligen Messstelle dafür zu sorgen, dass betroffene aquatische Ökosysteme geschützt werden.
- Art. 5(2) GWRL: Eine Trendumkehr ist herbeizuführen, wenn sonst eine signifikante Gefahr für die Qualität aquatischer Ökosysteme besteht. Eine Verschlechterung ist zu verhindern.
- Zudem gilt Erwägungsgrundsatz 20 GWRL: Bessere Kriterien für den Schutz und die Qualität des Grundwasserökosystems (GWÖ) sind zu erarbeiten, Erkenntnisse bei Umsetzung und Überarbeitung zu berücksichtigen.
- Zusätzlich wird der Schutz des Lebensraums Grundwasser durch die UN-Resolution zur Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung v. 2015 unterstützt (s.u.).²

b) Präzisierung bzw. Klärung geltender Schutzanforderungen (= Aspekt der Umsetzung)

- Zur Charakterisierung der ökologischen Verhältnisse im Grundwasser ist nicht zwangsläufig die Einführung des "guten ökologischen Zustandes" einzuführen. Vielmehr können zusätzliche Indikatoren für die Überwachung mit der Bewertung zur Einhaltung bestehender Schutzanforderungen diese Aufgabe erfüllen (= guter chemischer Zustand bzw. Verschlechterungsverbot gemäß Art. 4 WRRL)
- Grundlage für bessere Indikatoren bzw. Kriterien: Techn. Anpassungen zum Schutz der Grundwasserökosysteme sind EG-GWRL-Erwägungsgrundsatz 20 und EG-GWRL-Artikel 8.

c) Schutz nicht nur vor "chemischer" Verschmutzung

- Art. 4 WRRL und Art. 1 GWRL grenzen eine Verschlechterung nicht allein auf nachteilige chemische Veränderungen ein.
- Grundwasser-Erwärmung: laut Wasserrahmenrichtlinie (Art. 2 Ziffer 33 WRRL) ist Wärme eine "Verschmutzung".
- Gemäß Art. 2 Ziffer 33 WRRL bedeutet eine Verschmutzung eine Schädigung eines aquatischen Ökosystems (= Aspekt der Verschlechterung).

² Vgl. UN: Transformation unserer Welt, die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, Vereinte Nationen, Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25.9.2015, www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf.

Gemäß Art. 1 GWRL bezieht sich eine Verschmutzung zwar insbesondere auf Belastungen des Grundwassers durch Schadstoffe, nicht aber explizit und allein auf diese Art der Verunreinigung.

- Gemäß Art. 2 GWRL bezieht sich eine Umweltqualitätsnorm oder ein Schwellenwert nicht allein auf chemische Parameter (Schadstoffkonzentrationen), sondern sie können auch generell auf Verschmutzungsindikatoren beruhen, sofern dieses zum Schutz der Umwelt und Gesundheit erforderlich ist.
- Die unter a) genannten Regelungen beziehen sich nicht nur, aber auch auf Verschmutzungsindikatoren.
- Art. 8 GWRL regelt, dass Anhang II B geändert werden kann, auch um weitere Indikatoren - und nicht nur Schadstoffe - hinzuzufügen .

d) Weitere relevante Aspekte für den Schutz von Grundwasserökosystemen

Das Grundwasser ist der größte und älteste kontinentale Lebensraum. Trotzdem wird Grundwasser in der europäischen und deutschen Rechtspraxis bisher als Ressource und nicht als Lebensraum behandelt, und Wärme ist in Zeiten des Klimawandels und der flächendeckenden geothermischen Nutzung des Grundwassers kein zu monitorender Parameter . Fachlich und rechtlich ist die Diskriminierung der Grundwasserökosysteme gegenüber den Ökosystemen der Oberflächengewässer nicht zu begründen.

Auf der globalen Ebene wird die hier vertretene Sichtweise – Grundwasser ist ein schützenswertes Ökosystem - durch die UN – Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung unterstützt. Zum Ziel 6. der Agenda „Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten“ gehört das Unterziel 6.6 „Bis 2020 wasserverbundene Ökosysteme schützen und wiederherstellen, darunter Berge, Wälder, Feuchtgebiete, Flüsse, Grundwasserleiter und Seen“ (Resolution der UN-Generalversammlung vom 25.09.2015 „Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“). Nach dem Wortlaut des Punktes 6.6 gehören Grundwasserleiter eindeutig zu den Ökosystemen und sind diesbezüglich zu schützen.

In Deutschland bzw. Europa wird der Lebensraumbezug über die Definition des Grundwassers als Gewässer im deutschen Wasserhaushaltsgesetz bzw. als „aquatisches Ökosystem“ in der Europäischen Grundwasserrichtlinie hergestellt. Die Wasserrahmenrichtlinie und die EG-GWRL setzen die einschlägigen rechtlichen Vorgaben (EU-Recht steht über nationalem Recht):

- Die geforderte „Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme“ gilt gleichermaßen für „Grundwasser“ und „Binnenoberflächengewässer“ (Artikel 1 a, WRRL). In GWRL Artikel 1 wird auf die Verhinderung und Begrenzung der Grundwasserverschmutzung sowie auf das Verschlechterungsverbot hingewiesen.
- „Wärme“ ist als Verschmutzung definiert, die aquatische Ökosysteme schädigen kann (Art. 2, Ziffer 33, WRRL).
- Der EU-Gesetzgeber sieht in den Umweltzielen der WRRL vor, dass „die Verschmutzung des Grundwassers durch Schadstoffe schrittweise zu reduzieren“ ist (Artikel 4 (1) b) iii). Zugleich ist gemäß Art. 4 (1) b) i) das Verschlechterungsverbot einzuhalten. Das beinhaltet nach unserer Auffassung - und unter besonderer Berücksichtigung von Art. 2.33 WRRL (Verschmutzung) und Art. 2 GWRL (Grundwasserqualitätsnorm und Schwellenwerte auch auf Grundlage von Verunreinigungsindikatoren) - ebenso die Verhinderung einer Gewässerbelastung durch Wärme, die ggf. auch mit einer unerwünschten, das heißt

anthropogen beeinflussten Mikrobiologie, einhergehen kann. Dieses Umweltziel ist zusammen mit den anderen in Artikel 4 genannten Umweltzielen die vorgegebene Rechtsgrundlage der EU für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (Artikel 4 Absatz 1 im Wortlaut).

- Dort wo eine Verbesserung begründbar unmöglich ist, gilt zumindest das Minimierungsgebot (Artikel 4 (5) b) zweiter Spiegelstrich).
- In der GWRL von 2006 wird im Erwägungsgrundsatz (20) ausdrücklich ausgesagt: „Forschungsarbeiten sollten durchgeführt werden, um bessere Kriterien für die Qualität und den Schutz des Grundwasserökosystems zu erhalten. Erforderlichenfalls sollten die gewonnenen Erkenntnisse bei der Umsetzung oder Überarbeitung dieser Richtlinie berücksichtigt werden. Es ist notwendig, solche Forschungsarbeiten sowie die Verbreitung von Wissen, Erfahrung und Forschungserkenntnissen zu fördern und zu finanzieren.“ Seit der Verabschiedung der GWRL sind inzwischen über zehn Jahre vergangen, und es liegen umfangreiche neue Forschungsergebnisse vor, die die Bedeutung von Grundwasserökosystemen belegen und deren Bewertung auf ökologischer Grundlage ermöglichen.
- Art. 8 GWRL (= technische Anpassung der GWRL auf Grundlage neuer wissenschaftlich-fachlicher Erkenntnisse) dient eindeutig der Verbesserung im Sinne des Schutzes aquatischer Ökosysteme und bezieht sich nicht nur auf eine Weiterentwicklung von Anhang II oder allein auf chemische Verschmutzungsindikatoren. Bzgl. der Grundwasser-Beurteilung sei zudem auf Art. 4 (5) GWRL und Art. 5(2) GWRL verwiesen, wo aquatische Ökosysteme benannt sind. In Verbindung mit Erwägungsgrundsatz 20 (= bessere Kriterien für Grundwasserökosysteme, GWÖ) kann so Klarheit z.B. in dem Anhang II B GWRL hergestellt werden.

Die WRRL ist aus diesem Grund in der geltenden Fassung beizubehalten und ihre Umsetzung auch über die konsequente Anwendung der Vorgaben aus der GWRL sicherzustellen und zu stärken.

Einen Schritt weiter, nämlich bereits bei der Umsetzung, ist der Tierarzneimittelleitfaden („Guideline on assessing the environmental and human health risks of veterinary medicinal products in groundwater“, EMA/CVMP/ERA/103555/2015) der Europäischen Arzneimittelagentur (European Medicines Agency) vom 30. April 2018. Zentraler Ansatz dieses Leitfadens ist die Bewertung und Vermeidung der Auswirkungen von Tierarzneimitteln auf Grundwasserökosysteme. Damit werden erstmals Grundwasserökosysteme in angewandtem Kontext in der EU berücksichtigt. In Verbindung mit der Verordnung zur Zulassung von Tierarzneimitteln (VO EU 2019/6, Anhang II, Teil III Nr. 6) ist der Schutz der Grundwasserökosysteme verbindlich.

Eine Übersicht über die rechtliche Situation der Grundwasserökosysteme geben Hahn et al. (2018).

e) Zusätzliche Indikatoren zur Bewertung liegen nun vor

Zusätzliche Indikatoren helfen, Trends früher zu erkennen und erlauben eine verbesserte Bewertung. Ihre Berücksichtigung bei der Umsetzung der Grundwasserrichtlinie wird deshalb dringend empfohlen:

- Wärme ist eine Verschmutzung. Temperaturmessungen bzw. Abweichungen von der regionalen Referenz zeigen den Grad der thermischen Nutzung bzw. lassen Trends erkennen (Tissen et al in Vorber.). Grundwasserökosysteme und Arten reagieren empfindlich auf Erwärmung (Griebler et al 2015, Spengler 2017). Wirbellose Grundwassertiere ermöglichen die Definition regionaler Temperaturschwellenwerte und die thermische Bewertung des Grundwassers (Spengler & Hahn 2018).

Seit Inkrafttreten der EG-GWRL 2006 wurden neue Ansätze für die ökologisch begründete Bewertung des Grundwassers entwickelt:

- Invertebratenfauna/Erfassung auf der Ebene höherer Taxa (Großgruppen) kann durch jedes Planungsbüro kostengünstig und mit standardisierten Methoden durchgeführt werden (Guderitz & Hahn et al. 2012, Abramov et al. 2019, in Vorber.)
- Die Erfassung auf Großgruppenebene erlaubt weitgehende Aussagen zur Naturnähe der untersuchten Wässer (Griebler et al. 2014, Korbel & Hose 2011), zur Intensität der Landnutzung (Stein et al. 2010), zur Stärke des Oberflächeneintrags bzw. Vulnerabilität (Hahn et al 2006) und zur Stabilität der Standorte (Gutjahr 2013). Erste Arbeiten zu regionalen Referenzen liegen vor (Hahn 2009, Stein et al. 2012, Gutjahr et al. 2014).
- Mikrobiologie: Durch das einfache, kostengünstige BAE-Verfahren (Griebler et al. 2018) sind Aussagen zur Stärke des Oberflächeneintrags und zur verfügbaren Energie (organisches Material) möglich.
- Ökotoxikologie: Ein Leitfaden für ökotoxikologische Verfahren mit Grundwassercrustaceen ist in Vorbereitung (DiLorenzo, in Vorber., a, b). Für Grundwasserökosysteme wird im Vergleich zu Oberflächenökosystemen ein Bewertungsfaktor (assessment factor) von 10 angenommen, d.h. dass die Schwellenwerte für Grundwasserökosysteme um den Faktor 10 niedriger als für Oberflächenökosysteme anzusetzen sind (Tierarzneimittelleitfaden 2018). Nach unserer Auffassung ist deshalb die bestehende Mindestliste für Schwellenwerte (z.B. GWRL, Anhang II) entsprechend zu überprüfen und ggf. anzupassen.

B.2. Gewässerpolitische Handlungsempfehlungen

Deshalb wird dringend empfohlen:

- die WRRL in ihrer geltenden Fassung beizubehalten. Zugleich muss die Umsetzung ihrer Anforderungen auch über die konsequente Anwendung der Erwägungsgrundsätze und Vorgaben aus der EG-Grundwasserrichtlinie wirksamer sichergestellt und gestärkt werden, weil neue fachlich -wissenschaftliche Erkenntnisse diese Anpassungen erfordern. Der Schutz der Grundwasserökosysteme vor Verunreinigungen ist aus diesem Grund durch zusätzliche Kriterien (Uhl et al, in Druck), insbesondere über die Aufnahme der oben genannten Indikatoren in die Mindestliste an Parametern in Anhang II b der GWRL (als technische Anpassung) zu verbessern.
- Wärme als Belastungs- und Monitoring- Parameter (als technische Anpassung) in Anhang II b der GWRL zu berücksichtigen.
- dass die Europäische Kommission darstellt, über welche weiteren Vorkehrungen sich die Grundwasserökosysteme besser schützen und überwachen lassen, ohne dabei die geltende Fassung der WRRL zu verändern

C. Vorkehrungen gegen die Kolmation von Fließgewässern

C.1. Zum Verständnis und zur Bedeutung der Kolmation

Unter Kolmation versteht man das Verstopfen der Lückensysteme der Gewässersohle von Oberflächengewässern (Hyporheische Zone, HZ). Erhöhte Feinsedimentfrachten (insbesondere Korngrößen unter 0,2 mm, also Feinsand, Schluff, Ton), die v. a. aus anthropogen überprägten Einzugsgebieten in die Gewässer gelangen, verstärken oft die Kolmationsprozesse. Obwohl es vermehrt Hinweise darauf gibt, dass die Kolmation eine große Rolle bei der Degradation von Fließgewässerbiozönosen spielt (Wharton et al. 2017), wird sie bei der Zustandsbewertung der Fließgewässer nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nicht explizit berücksichtigt. Bereits bis zum Jahre 2015 verlangte die WRRL für die nicht schwerwiegend veränderten Gewässer das Erreichen des Guten Ökologischen Zustandes. In begründeten Ausnahmefällen ist diese Qualitätsanforderung

spätestens bis 2027 zu erfüllen. Alle bisherigen Untersuchungen weisen allerdings darauf hin, dass bei Fließgewässern die meisten Maßnahmen nicht zur Zielerreichung führen (z.B. Haase et al. 2015, DBU-Bericht) - vermutlich auch eine Folge der Kolmation (Stein et al. 2018a).

C.2. Zusätzliche Indikatoren

Zwischen der Bewertung nach EG-WRRL (Makrozoobenthos), der Interstitialfauna und der Kolmation scheint ein direkter Zusammenhang zu bestehen (Stein et al. 2018b). Kolmationsmessungen wie auch die Erfassung der Interstitialfauna auf Großgruppenniveau liefern deshalb vertiefte Information über die möglichen Ursachen eines nicht guten Gewässerzustandes. Damit können sie, auf der Grundlage eines angepassten Monitorings, ein Ansatzpunkt für zielgerichtete Maßnahmen zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes sein. Hinzu kommt, dass Feinsedimente Vektoren für zahlreiche Schadstoffe sind, so dass für viele kolmatierte Fließgewässer von einer erhöhten Schadstoffbelastung auszugehen ist. Die zusätzliche Berücksichtigung kolmationsrelevanter Parameter, z. B. bei der Umsetzung der EG-UQN-Richtlinie (z.B. bei der Ableitung von UQN für zusätzliche prioritäre Stoffe gemäß Art. 3), wird auch aus folgenden Gründen dringend empfohlen.

- Die quantitative Erfassung der Durchlässigkeit der Hyporheischen Zone ist mittlerweile möglich und erlaubt vor dem Hintergrund noch zu formulierender regionaler Referenzen eine objektive Bewertung (Stein et al. 2018a).
- Die Interstitialfauna spiegelt bereits auf Großgruppenniveau die Stärke der Kolmation wider, sodass die zeitnahe Entwicklung eines faunistisch begründeten Bewertungsverfahrens für die Kolmation realistisch ist (Stein et al. 2018b, DBU-Bericht). Vorkehrungen zur Analyse der Feinsedimente und Biota auf Schadstoffgehalte sind mit Einführung der EG-UQN-Richtlinie bereits grundsätzlich angelegt, bedürfen jedoch auch im Hinblick auf die Ableitung von stoffbezogenen UQN für die relevanten Kompartimenten einer weiteren Präzisierung.
- Die Integration der o.g. Parameter in die Bewirtschaftungspläne und deren Umsetzung sind die Grundlage für ein angepasstes Fließgewässer- und Sedimentmanagement, insbesondere auch in der Fläche. Voraussetzung dafür sind einzugsgebietsbezogene Bodenabtragsmodelle unter Berücksichtigungen der Transport- und Eintragspfade in das Gewässer.

C.3. Gewässerpolitische Handlungsempfehlungen

Deshalb wird dringend empfohlen:

- die WRRL in ihrer geltenden Fassung beizubehalten. Zugleich muss die Umsetzung ihrer Anforderungen wirksamer sichergestellt und gestärkt werden, weil neue fachlich - wissenschaftliche Erkenntnisse diese Anpassungen erfordern. Entsprechend ist
- die Kolmation bei der Anwendung der Richtlinie zu den Umweltqualitätsnormen in der Wasserpolitik (UQN-Richtlinie), z.B. bei der Ableitung von UQN für zusätzliche prioritäre Stoffe gemäß Art. 3 UQN-Richtlinie, zu berücksichtigen, indem die betreffenden Qualitätsanforderungen sich u..a auf Schadstoffgehalte im Sediment beziehen.
- dass die EU-Kommission darstellt, über welche weiteren Vorkehrungen sich die Kolmation besser eindämmen und überwachen lässt.
- das Thema Kolmation in die zuständige CIS-Arbeitsgruppe (z.B. AG Hydromorphologie) zu tragen.

D. Literatur

- Avramov et al. (in prep.): Leitfaden für die Ökologische Bewertung von Grundwasserqualität und Ökosystemleistungen.
- Di Lorenzo, T. et al. (in prep.a): Recommendations for ecotoxicity testing with stygofauna. Guidelines for good laboratory practices (GLP) for ecotoxicological studies with stygobiotic crustaceans. - Intended for STOKEN
- Di Lorenzo, T., Galassi, D. & Hose, G. (in prep. b): Groundwater ecosystem assessment in the molecular era: state of the art, gap analysis and prospects
- Griebler, C., Hug, K., Fillinger, L., Meyer, A. & Avramov, M. (2018): Der B-A-E Index – Ein mikrobiologisch-ökologisches Konzept zur Bewertung und Überwachung von Grundwasser. - DOI: 10.5675/HyWa 2018,6, 1
- Griebler, C., Kellermann, C., S., Hegler, F., Kuntz, D., & Walker-Hertkorn, S. (2015): Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften. – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung. - Umwelt Bundesamt, Dessau-Roßlau.
- Griebler, C., Stein, H., Kellermann, C., Steube, C., Berkhoff, S. Fuchs, A., Brielmann, H. & Hahn, H. J. (2014): Entwicklung biologischer Bewertungsmethoden und -kriterien für Grundwasserökosysteme. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan FKZ 3708 23 200, Umweltbundesamt Dessau, ISSN 1862-4804, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-biologischer-bewertungsmethoden>.
- Guderitz, I. & Hahn, H. J. (2012): Probenahme für mikrobiologische, molekularbiologische und faunistische Untersuchungen. - In: Grundwasser-Biologie – Grundlagen und Anwendungen, DWA/DVGW-Themenband T5/2012, 179-191.
- Gutjahr, S., Bork, J., Schmidt, S. I. & Hahn, H. J. (2013): Efficiency of sampling invertebrates in groundwater habitats. – *Limnologia* 43, 43-48, DOI 10.1016/j.limno.2012.08.001
- Gutjahr, S., Schmidt, S. I. & Hahn, H. J. (2014): A proposal for a groundwater habitat classification at local scale. – *Subterranean Biology* 14: 25–49 (2014), doi: 10.3897/subtbiol.14.5924.
- Haase, P., Birzle-Harder, B., Deffner, J., Hering, D., Januschke, K., Kaffenberger, N., Leps, M., Lorenz, A., Modrak, P., Stoll, S. & Sundermann, A. (2015): Ein neuer Blick auf Fließgewässer-Renaturierungen: Wirkung auf Fluss, Aue und Mensch. - Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (AZ 31007– 33/2) , Osnabrück.
- Hahn, H. J. (2006): A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats: The GW-Fauna-Index – *Limnologia* **36, 2**, 119-137.
- Hahn, H. J. (2009): A proposal for an extended typology of groundwater habitats – *Hydrogeology Journal*, 17, 77-81, Sonderband "Hydrogeological Ecosystems".

- Hahn, H. J., Schweer, C. & Griebler, C. (2018): Grundwasserökosysteme im Recht? - Eine kritische Betrachtung zur rechtlichen Stellung von Grundwasserökosystemen. - *Grundwasser* 23, 3, 209-218, <https://doi.org/10.1007/s00767-018-0394-3>.
- Korbel, K. L. & Hose, G. C. (2011): A tiered framework for assessing groundwater ecosystem health. - *Hydrobiologia* 2011,661,329–49.
- Robertson, A. Griebler, C., Malard, F., Galassi, D. & Hose G. (2017) Groundwater Ecology Report. <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>
- Spengler, C. & Hahn, H. J. (2018): Thermostress: Ökologisch begründete, thermische Schwellenwerte und Bewertungsansätze für das Grundwasser. - *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 11, 9, DOI: 10.3243/kwe2018.09.001.
- Spengler, C. (2017): Die Auswirkungen von anthropogenen Temperaturerhöhungen auf die Crustaceagemeinschaften im Grundwasser – Versuch einer Prognose zur Klimaerwärmung und lokalen Wärmeeinträgen. – Diss. Universität Koblenz Landau, Landau.
- Stein, H., Kellermann, C., Schmidt, S. I., Brielmann, H, Steube, C., Berkhoff, S. E., Fuchs, A., Hahn, H. J., Thulin, B. & Griebler, C. (2010): The potential use of fauna and bacteria as ecological indicators for the assessment of groundwater quality. - *J. Environ. Monit.*, 12, 242–254, DOI: 10.1039/B913484K.
- Stein, H., Griebler, C., Berkhoff, S. E., Matzke, D., Fuchs, A. & Hahn, H. J. (2012) Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. - *Scientific Reports* 2, 673, DOI: 10.1038/srep00673.
- Stein, H. Thurman, C., Schindler, H., Zumbroich T. & Hahn, H. J. (2018a): Vergleichende ökologische Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung der Kolmation von Fließgewässersedimenten mit Vorschlägen für eine Verfahrensweisung - Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Az 33590/01), Osnabrück.
- Stein, H., Näschen, C., Schindler, H., Zumbroich, T. & Hahn, H. J. (2018b): Verhindert Kolmation das Erreichen des guten ökologischen Zustands der Fließgewässer? – *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 11, 12, Schwerpunktheft Wasserrahmenrichtlinie, DOI: 10.3243/kwe2018.12.005.
- Tissen, C., Benz, S. A., Menberg, K., Bayer, T. & Blum, P. (in prep.): Groundwater Temperature Anomalies in Central Europe.
- Uhl, A., Hahn, H. J. & Griebler, C. (in Druck): Die neuen Bewirtschaftungspläne der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) - eine Chance für Grundwasserökosysteme. - *Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Ergebnisse der Jahrestagung 2018 (Kamp-Lintford), Hardeggen 2019.*
- Wharton, G., Mohajeri, S. H. & Righetti, M. (2017): The pernicious problem of streambed colmation: a multidisciplinary reflection on the mechanisms, causes, impacts and management challenges. - *WIREs Water* 4:e1231.