

Die trophische Situation in Hessen

W1

NINA BOXEN

1 Einleitung

Erst in den letzten Jahrzehnten wurden Indikationsverfahren zur Bewertung der Trophieverhältnisse entwickelt (SCHMEDITJE et al. 1998; CORING et al. 1999; ROTT et al. 1999). Dies ist der Tatsache geschuldet, dass zunächst das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung der organischen Belastung (Abwasserbelastung; KOLKWITZ und MARSSON 1908; LANGE-BERTALOT 1978) lag. Durch die seit den 1970er Jahren durchgeführten Sanierungsmaßnahmen im Abwasserbereich konnte die saprobielle Belastung erheblich reduziert werden, so dass die trophischen Belastungen vermehrt in den Fokus gerückt wurden und aktuell einen wesentlichen Beeinträchtigungsfaktor für den guten Zustand der Gewässer darstellen (Abbildung 1).

Trophie ist dabei als die Intensität der photoautotrophen Primärproduktion im Gewässer definiert. Diatomeen als photoautotrophe Organismen (Primärproduzenten) können also unmittelbar die trophischen Verhältnisse wiedergeben. Die entwickelten Indikationslisten für benthische Algen und die darauf beruhende Trophie- sowie Saprobiebewertung (Trophie- und Saprobienindex nach ROTT et al. (1997, 1999)) hat als Bewertungsmodul „Trophie- und Saprobienindex“ der Teilkomponente „Diatomeen“ der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“ Eingang in die nach der EU-WRRL geforderte ökologische Zustandsbewertung gefunden.

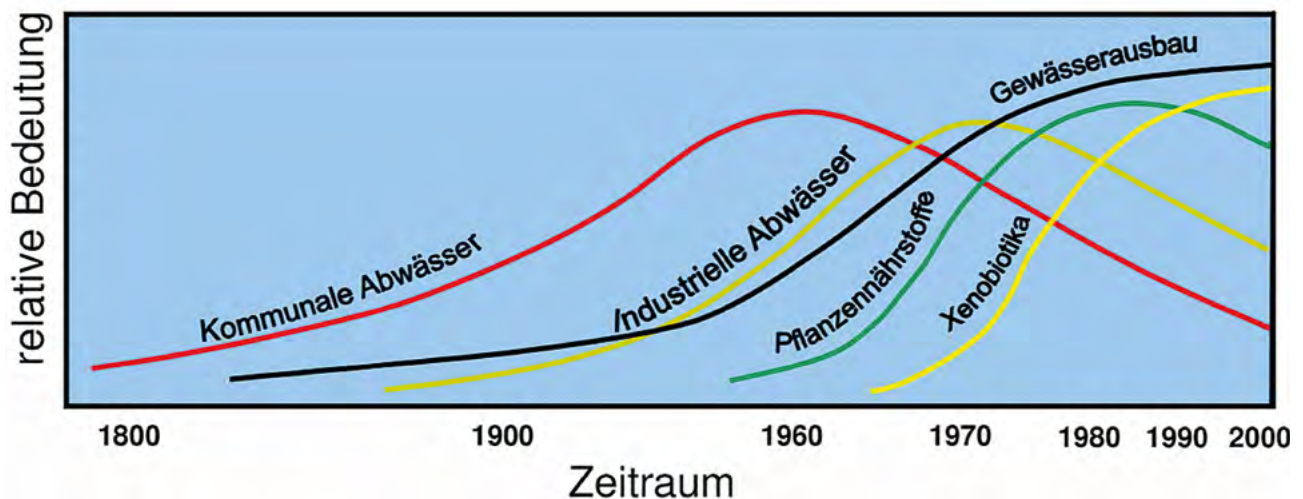


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Belastungsfaktoren von Fließgewässern (BORCHARDT 1998 in BRAUKMANN und HAAß 2012)

Um die trophische Situation in Hessen abbilden zu können, wurde in Analogie zur der im Jahr 2006 erstellten WRRL-konformen Gewässergütekarte (typspezifische Bewertung) im Rahmen einer Masterarbeit im HLNUG – Dezernat W1/Gewässerökologie – eine Trophiekarte für Hessen erarbeitet (BOXEN 2018). Die Trophiekarte soll allgemeinverständlich

einen Gesamtüberblick über den aktuellen Grad der trophischen Belastungen (Eutrophierung) der Fließgewässer liefern. Bestehende Defizite können damit aufgezeigt werden und so als Basis für wasserwirtschaftliche Maßnahmen bezüglich vorhandener Nährstoffbelastungen herangezogen werden (LAWA 2002; BANNING und HELSPER 2010).

2 Diatomeen

Bei Diatomeen handelt es sich um einzellige, eukaryotische und überwiegend photoautotrophe Algen. Sie stellen die artenreichste Gruppe der Algen dar und sind als einzige Algengruppe in der Lage, amorphe Kieselsäure ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, Siliziumdioxid) in ihre Zellwände einzubauen. Die kieselensäurehaltigen Zellwände sind damit das wichtigste Merkmal der Diatomeen. Der deutsche Name „Kieselalgen“ leitet sich daher von der Kieselsäure ab. Zudem zeichnen sich die Diatomeen durch goldbraun gefärbte Chloroplasten aus. Die goldbraune Färbung geht dabei auf das Pigment Fucoxanthin zurück (ROUND et al. 1990; MANN 1999; BATTARBEE et al. 2001; VAN DEN HOEK et al. 1993; GUTOWSKI et al. 2011).

Mit dem bloßen Auge sind allerdings die einzelligen Diatomeen nicht zu erkennen, da sich die Größenordnung einer Zelle in etwa zwischen 5 und 500 Mikrometer (Abbildung 2) bewegt. Erst als Algenüberzug werden die Diatomeen für das Auge erkennbar (HÜRLIMANN 2010).

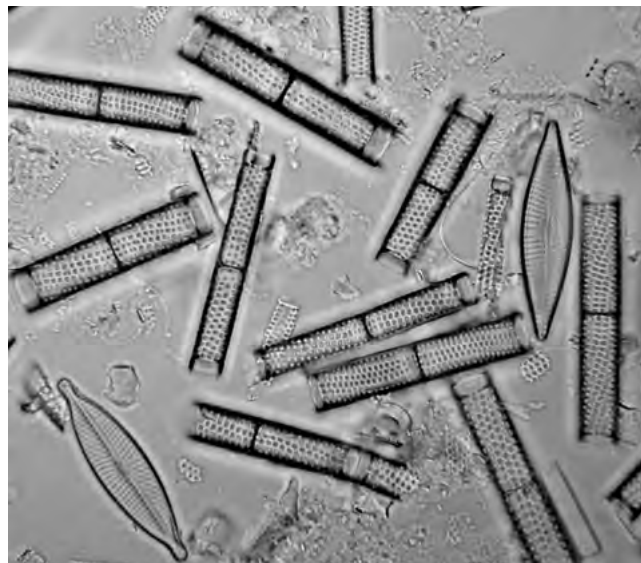


Abb. 2: Lichtmikroskopische Aufnahmen der Kieselalgenart *Aulacoseira* (© M. Werum)

Die Klasse der Diatomeen zeichnet sich durch einen großen Artenreichtum aus. Genaue Angaben zu Artenzahlen liegen jedoch nicht vor. Allein in Deutschland werden derzeit etwa 1 400 Diatomeenarten gezählt. Es ist davon auszugehen, dass noch weitere Arten in Deutschland existieren. Weltweit

werden rund 100 000 Arten vermutet, wobei diese Artenzahl zwischenzeitlich sogar um den Faktor 10 und mehr höher geschätzt wird (VAN DEN HOEK et al. 1993; SCHMEDTJE et al. 1998; HÜRLIMANN und NIEDERHAUSER 2007).

Diatomeen kommen weltweit nahezu in allen aquatischen Lebensräumen vor, insbesondere in Meeren, Fließgewässern und Seen, und sind damit im Süß- sowie im Salzwasser vertreten (DIXIE et al. 1992). Darüber hinaus besiedeln Diatomeen aber auch wechselfeuchte Habitate und den oberen Bereich des Erdbodens sowie künstliche Standorte wie z. B. offene Abwasserkanäle, Kläranlagen oder Trinkwassertröge (KRAMMER 1986; HÜRLIMANN und NIEDERHAUSER 2007).

Im Wasserkörper leben Diatomeen entweder planktisch, d. h. freischwebend in der Wassersäule und bilden damit einen Hauptbestandteil des Phytoplanktons oder sie leben benthisch, d. h. angeheftet an verschiedenen Substraten und gehören

daher zum Phytobenthos. Die benthischen Diatomeen werden veraltet auch als „Aufwuchsdiatomeen“ bezeichnet. Die Substrate können dabei pflanzlicher oder anorganischer Natur (z. B. Steine, Sand) sein (ROUND 1975; GUTOWSKI et al. 2011; VAN DEN HOEK et al. 1993; JOHN 2015).

3 Bewertung der trophischen Situation der hessischen Fließgewässer anhand der benthischen Diatomeen nach der EU-WRRL

Die Trophiebewertung der Fließgewässer erfolgt auf Grundlage des Bewertungsmoduls „Trophieindex“ der Teilkomponente Diatomeen aus dem nationalen Bewertungsverfahren PHYLIB (Acronym für: Makrophyten und Phytobenthos für eine leitbildbezogene Bewertung) für die biologische Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“. Das Modul „Trophieindex“ stellt ein Maß für die Nährstoffbelastung in einem Gewässer dar.

Durch den praktischen Einsatz des Trophieindex nach ROTT et al. (1999) in den letzten 15 Jahren im Zuge der EU-WRRL konnte der Erfahrungsschatz bzw. der Wissensstand bezüglich der trophischen Bewertung anhand der benthischen Diatomeen vergrößert werden. Daher wurde durch PFISTER et al. (2016) eine Überarbeitung des bestehenden Trophie- und Saprobiebewertungssystems nach ROTT et al. (1997, 1999) durchgeführt. Das Ergebnis der Überarbeitung ist eine taxonomisch aktualisierte und ergänzte Indikationsliste einschließlich angepasster bzw. neu definierter artspezifischer Trophie- und Saprobiewerte sowie Indikationsgewichte. Anstelle des derzeit im PHYLIB implementierten Trophieindex nach ROTT et al. (1999) wird deshalb hier der überarbeitete Trophieindex nach PFISTER et al. (2016) für die Trophiebewertung herangezogen.

Mit Hilfe statistischer Analysen (Korrelationsanalysen nach Pearson) anhand der hessischen Diatomeenaufnahmen konnte gezeigt werden, dass der Trophieindex nach PFISTER et al. (2016) sich im Vergleich zu

ROTT et al. (1999) durch höhere Korrelationskoeffizienten, insbesondere bei den Phosphorparametern ortho-Phosphat und Gesamt-Phosphor, auszeichnet.

Eine WRRL-konforme Bewertung hat leitbild- sowie gewässertypbezogen zu erfolgen. Für die Diatomeen wurde daher auch eine eigene organismen-basierte biozönotische Typologie entwickelt. Insgesamt können für Deutschland 17 Diatomeentypen (13 eigenständige Typen und 4 Subtypen) unterschieden werden (MÜLLER et al. 2017). In Hessen kommen davon 9 Diatomeentypen vor (siehe Tabelle 1).

Für die ökologische Zustandsbewertung werden die nach Pfister et al. (2016) berechneten Trophieindizes mit Hilfe einer gewässertypspezifischen Skala in eine der fünf ökologischen Zustandsklassen „sehr gut“ (ÖZKL 1) bis „schlecht“ (ÖZKL 5) überführt. Da der Trophieindex nach PFISTER et al. (2016) für die Trophiebewertung herangezogen wird, können die im nationalen Bewertungsverfahren „PHYLIB“ implementierten Klassengrenzen nicht verwendet werden. Dies liegt zum einen daran, dass die Trophieindizes nach PFISTER et al. (2016) im Durchschnitt niedriger als die entsprechenden Trophieindizes nach ROTT et al. (1999) liegen und zum anderen, da die in PHYLIB implementierten Klassengrenzen teilweise dem Fließgewässerkontinuum und dem geogenen Untergrund widersprechen. Aus diesem Grund wurden für den Trophieindex nach PFISTER et al. (2016) neue Trophieindexklassengrenzen für die ökologische Zustandsbewertung hergeleitet (Tabelle 1).

Tab. 1: Typspezifische Indexgrenzen der ökologischen Zustandsklassen für den Trophieindex nach PFISTER et al. (2016)

Umrechnung der Klassengrenzen gemäß der Regressionsgleichung: $y = 1,7701\ln(x) + 0,7496$				Ökologische Zustandsklassen				
				1	2	3	4	5
D-Typ	MZB-Typ	geomorphologischer Typ		Trophieindex nach PFISTER et al. (2016)				
D 5	5, 5.1	Bäche des Buntsandsteins & Grundgebirges (exklusive Subtyp 5.2 (Vulkanite))	EZG < 100 km ²	≤ 1,83	1,84 - 2,47	2,48 - 2,59	2,60 - 2,87	> 2,87
D 6	5.2	Bäche der Vulkangebiete	EZG < 100 km ²	≤ 2,18	2,19 - 2,60	2,61 - 2,74	2,75 - 2,96	> 2,96
D 7	9	Kleine silikatische Flüsse des Mittelgebirges	EZG ≥ 100 km ² & < 1 000 km ²					
D 8.1	6, 19	Bäche und Niederungsfließgewässer der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG < 100 km ²	≤ 2,47	2,48 - 2,66	2,67 - 2,85	2,86 - 3,01	> 3,01
D 8.2	9.1	Kleine Flüsse der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG ≥ 100 km ² & < 1 000 km ²	≤ 2,18	2,19 - 2,60	2,61 - 2,74	2,75 - 2,96	> 2,96
D 9.1	7	Bäche der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG < 100 km ²					
D 9.2	9.1	Kleine Flüsse der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG ≥ 100 km ² & < 1 000 km ²	≤ 2,25	2,26 - 2,66	2,67 - 2,76	2,77 - 2,97	> 2,97
D 10.1	9.2	Große Flüsse der Mittelgebirge	EZG ≥ 1 000 km ² & < 10 000 km ²	≤ 2,25	2,26 - 2,66	2,67 - 2,76	2,77 - 2,97	> 2,97
D 10.2	10	Ströme der Mittelgebirge	EZG ≥ 10 000 km ²	≤ 2,47	2,48 - 2,66	2,67 - 2,85	2,86 - 3,02	> 3,02

D-Typ = Diatomeentyp; EZG = Einzugsgebiet; MZG-Typ = Makrozoobenthostyp

1 = sehr guter ökologischer Zustand, 2 = guter ökologischer Zustand, 3 = mäßiger ökologischer Zustand, 4 = unbefriedigender ökologischer Zustand
5 = schlechter ökologischer Zustand

4 Datengrundlage

Das Messnetz der Teilkomponente Diatomeen umfasst derzeit 1 110 Messstellen an 383 hessischen Fließgewässern. Die 433 hessischen Fließgewässerswasserkörper weisen folglich im Durchschnitt über 2,5 Messstellen auf. An den 1 110 Messstellen wurden innerhalb des Zeitraumes von 2005 bis 2016 1 676 Probenahmen durchgeführt, so dass bereits 40 % der Messstellen mehrmals untersucht wurden. Die Verteilung der 1 676 Diatomeenaufnahmen auf die einzelnen Untersuchungsjahre sowie die Häufigkeit der Beprobung einer Messstelle im betrachteten Untersuchungszeitraum ist Abbildung 3 zu entnehmen.

Für die hessische Trophiekarte wurden alle 1 110 Messstellen aus dem Messnetz der Diatomeen berücksichtigt. Bei Messstellen mit mehr als einem Probenahmeergebnis wurde immer die aktuellste Untersuchung für die Bewertung herangezogen. Um alle 1 110 Messstellen für die Trophiekarte nutzen zu können, musste demnach auch auf Ergebnisse der ersten Untersuchungsdurchgänge zurückgegriffen werden. 70 % der Ergebnisse stammen aber aus den aktuelleren Untersuchungsdurchgängen aus den Jahren 2010 bis 2016.

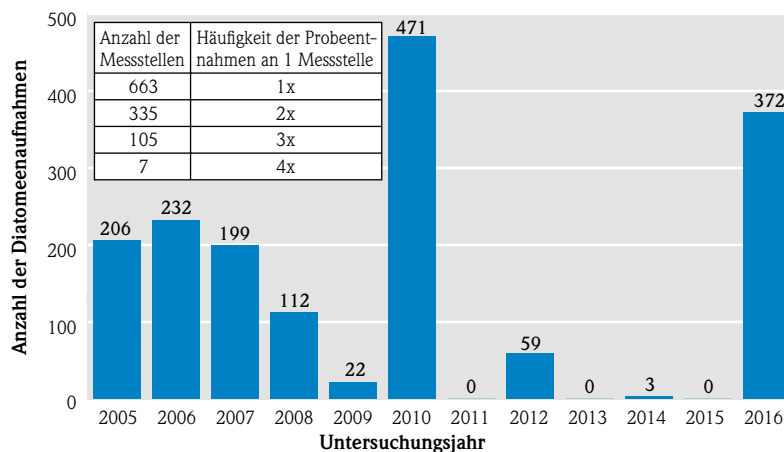


Abb. 3: Verteilung der Diatomeenaufnahmen auf die einzelnen Untersuchungsjahre sowie die Häufigkeit der Beprobung einer Messstelle Datengrundlage: Monitoring Biologie 2005–2016

5 Vorgehensweise zur Erstellung der Trophiebänder

Zur Darstellung der trophischen Situation werden die Fließgewässer als Trophiebänder abgebildet. Die Trophiebänder erhalten in Abhängigkeit zu der ökologischen Zustandsklasse als Ergebnis der Trophiebewertung eine bestimmte Farbgebung: sehr guter ökologischer Zustand = blau, guter ökologischer Zustand = grün, mäßiger ökologischer Zustand = gelb, unbefriedigender ökologischer Zustand = orange, schlechter ökologischer Zustand = rot.

Für die Erstellung der Trophiebänder muss zunächst jedem einzelnen Fließgewässerabschnitt der passende Diatomeentyp zugeordnet werden. Eine Zuordnung der Diatomeentypen erfolgt auf Basis einzelner hydrologischer Gewässerabschnitte. Im Zuge der Erstellung der Gewässergütekarten 2006, 2010

und 2016 wurde bereits den einzelnen Gewässerabschnitten der passende Makrozoobenthostyp zugewiesen (BANNING und HELSPER 2010), so dass auf dieser Grundlage die Zuordnung der Diatomeentypen erfolgen konnte. Die Diatomeentypenmittlung anhand des Makrozoobenthostyps kann Tabelle 1 entnommen werden.

Die Bewertung der trophischen Situation kann auf diese Weise für jeden einzelnen Gewässerabschnitt typspezifisch erfolgen. Abbildung 4 illustriert das Prinzip für die Übertragung der Bewertungsergebnisse auf einzelne Gewässerabschnitte (Trophiebänder) am Beispiel zweier bewerteter Messstellen an einem Fließgewässer, denen unterschiedliche Diatomeentypen zugewiesen wurden.

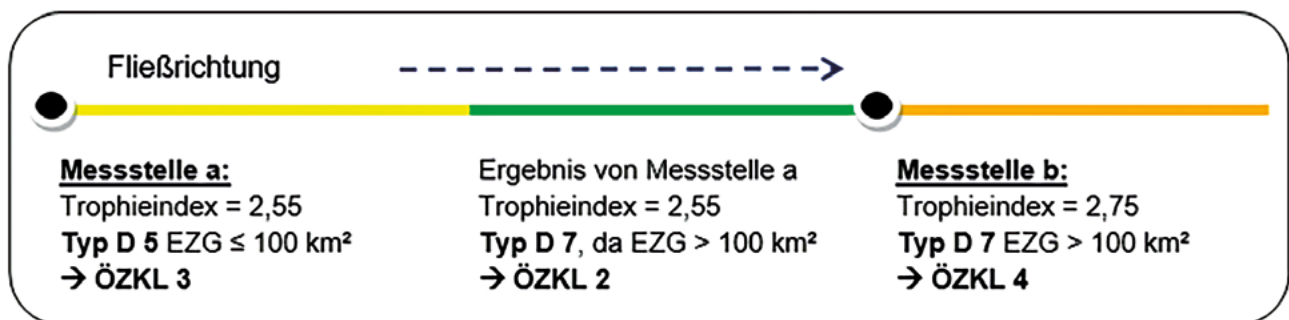


Abb. 4: Prinzip für die Übertragung der Bewertungsergebnisse auf einzelne Gewässerabschnitte am Beispiel zweier bewerteter Messstellen mit unterschiedlich zugewiesenem Diatomeentyp

Das Bewertungsergebnis der Messstelle a wird dabei in Fließrichtung bis zur nächsten Messstelle b übertragen. Zwischen den beiden Messstellen erfolgt aufgrund der Einzugsgebietsgröße ein Wechsel vom Diatomeentyp D 5 auf den Diatomeentyp D 7. Es resultieren dadurch drei Gewässerabschnitte, die in eine der fünf ökologischen Zustandsklassen einzustufen sind. Der Gewässerabschnitt von der Messstelle a bis zum Diatomeentypwechsel wird basierend auf dem Trophieindex von 2,55 für den Diatomeentyp D 5 in die ökologische Zustandsklasse 3 überführt, der Gewässerabschnitt vom Diatomeentypwechsel bis zur Messstelle b dagegen in die ökologische Zustandsklasse 2 für den

Diatomeentyp D 7. Auf Grundlage des Bewertungsergebnisses der Messstelle b (TI = 2,75) wird der Gewässerabschnitt unterhalb der Messstelle b für den Diatomeentyp D 7 in die ökologische Zustandsklasse 4 eingestuft (siehe Tabelle 1). Die Übertragung des Bewertungsergebnisses in Fließrichtung erfolgt dabei immer bis zur nächsten Messstelle oder bis zur Einmündung in das nächst größere Fließgewässer unter Beachtung etwaiger Diatomeentypwechsel.

Nur in den Oberläufen wird das Bewertungsergebnis der „ersten“ Messstelle (also der ersten Messstelle unterhalb der Quelle) auch bachaufwärts bis zur Quelle übertragen.

6 Kartografische Darstellung einschließlich Bewertung der trophischen Situation in Hessen

Abbildung 6 zeigt die derzeitige trophische Belastungssituation der Fließgewässer in Hessen. Basierend auf den 1 110 Messstellen konnten Fließgewässer auf einer Länge von insgesamt 6 429 km bewertet werden. Das Bewertungsergebnis einer Messstelle wurde demnach im Durchschnitt auf eine Gewässerstrecke von 5,8 km übertragen.

Abbildung 5 zeigt die prozentuale Verteilung der trophisch bewerteten Gewässerabschnitte (rechte Säule) auf die einzelnen ökologischen Zustandsklassen als Ergebnis der Trophiekarte. Zum Vergleich wird die

prozentuale Verteilung der saprobiell bewerteten Gewässerabschnitte (linke Säule) ebenfalls in Abbildung 5 dargestellt.

Es wird deutlich, dass nur 18 % der Gewässerabschnitte (1 143 km) einen sehr guten oder guten ökologischen Zustand in Bezug zur Trophie aufweisen. Für 82 % der Gewässerabschnitte (5 285 km) besteht demnach ein Handlungsbedarf zur Verbesserung der trophischen Situation. Ein Handlungsbedarf¹ zur Verbesserung der saprobiellen Situation liegt dagegen nur noch für 18 % der Gewässerabschnitte vor.

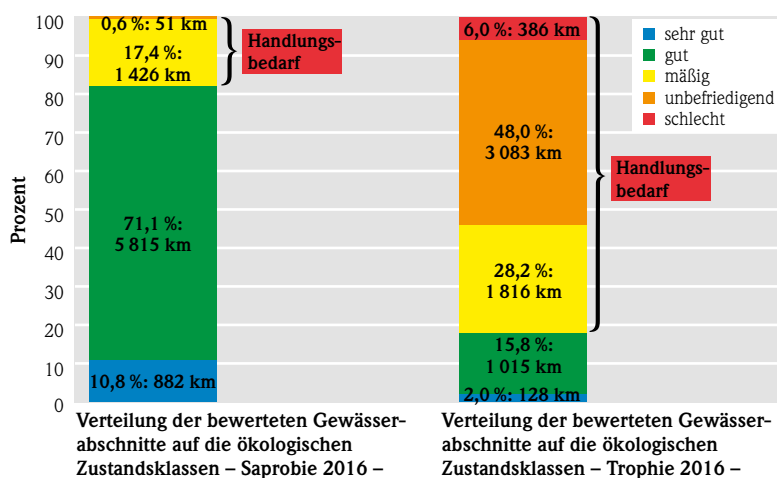


Abb. 5: Prozentuale Verteilung der bewerteten Gewässerabschnitte auf die ökologischen Zustandsklassen a) für die Saprobie 2016 (linke Säule) (Datengrundlage: Monitoring Biologie 1999–2015) b) für die Trophie 2016 (rechte Säule)

¹ Ein Handlungsbedarf besteht für die Bewertungsklassen mäßig, unbefriedigend und schlecht.

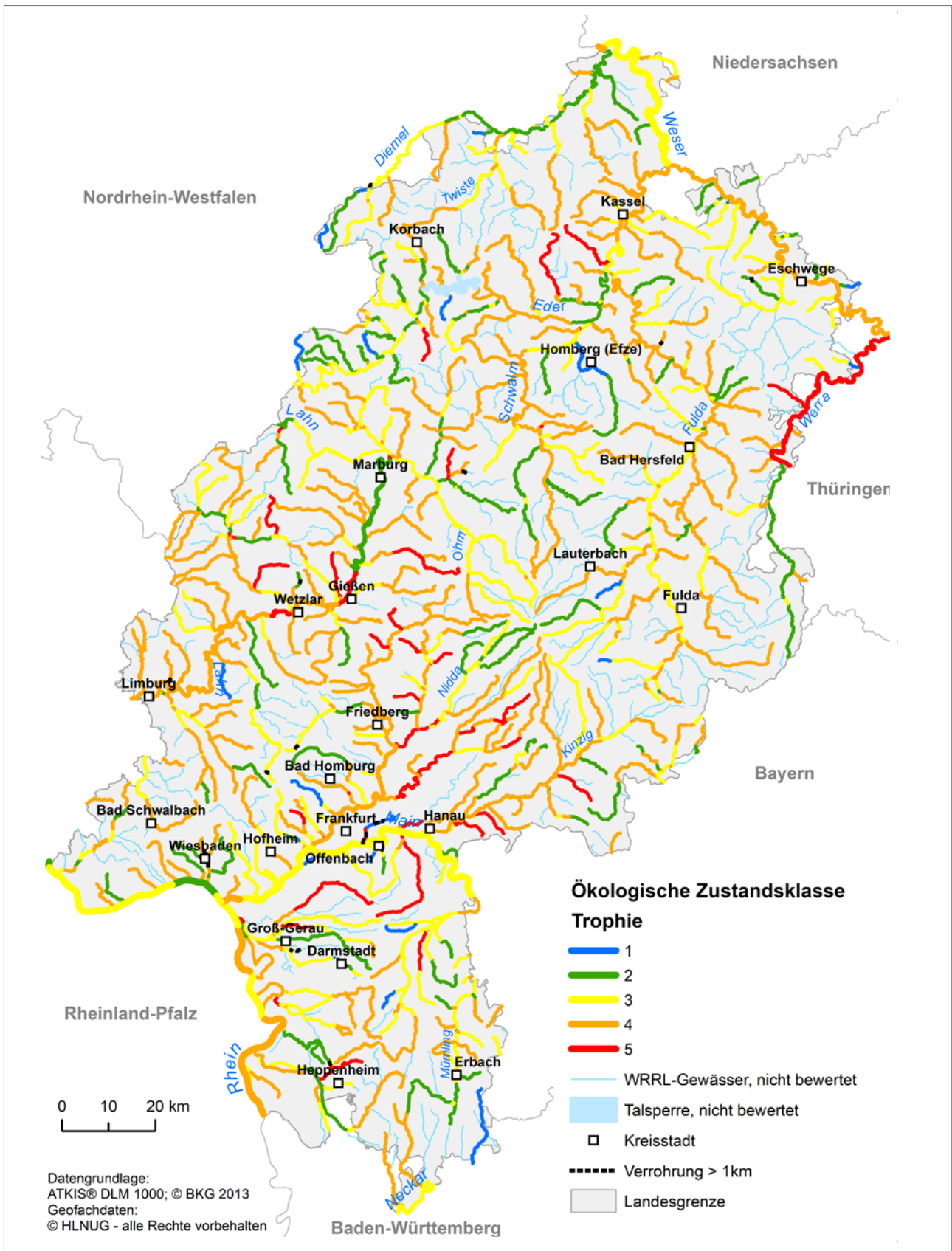


Abb. 6: Trophiekarte 2016: Gesamtüberblick über die trophische Belastungssituation der hessischen Fließgewässer

7 Analyse der bewerteten trophischen Situation

Zur Analyse der bewerteten trophischen Situation wurden unterschiedliche Vergleiche bzw. Abhängigkeiten zu den prozentualen Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers untersucht. Ausgewählte Vergleiche bzw. Abhängigkeiten werden im Folgenden dargestellt und erläutert.

Für einen Vergleich wurden die beiden ermittelten prozentualen Anteile saprobiell und trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers grafisch gegenübergestellt. Die grafische Gegenüberstellung der beiden prozentualen Anteile für 431 bewertete Wasserkörper ist Abbildung 7 zu entnehmen.

Nur 22 Wasserkörper zeigen weder trophisch noch saprobiell belastete Gewässerabschnitte. Lediglich 5 Wasserkörper weisen saprobiell belastete Gewässerabschnitte auf, ohne dass eine trophische Belastung vorliegt. Dagegen liegen bei vielen Wasserkörpern (n = 209) trophisch belastete Gewässerabschnitte vor, ohne dass eine saprobielle Belastung vorhanden ist. Bei diesen Wasserkörpern handelt es sich demnach um eine rein trophische Belastung, die sekundär zu keiner erhöhten organischen Belastung und damit verbundenen Sauerstoffdefiziten führt. Weiterhin weisen viele Wasserkörper (n = 195) sowohl

trophisch als auch saprobiell belastete Gewässerabschnitte auf. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die saprobiellen Belastungen sekundär als Folge einer Eutrophierung auftreten.

Abbildung 8 zeigt den prozentualen Anteil landwirtschaftlicher Flächen (linkes Box-Plot) und bewaldeter Flächen (rechtes Box-Plot) in Abhängigkeit zu den Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers für jeweils 377 Wasserkörper. Der Trend für die landwirtschaftlichen Flächen lässt sich wie folgt formulieren: je höher der prozentuale Anteil landwirtschaftlicher Flächen, desto höher wird auch der prozentuale Anteil trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers. Die Zunahme trophisch belasteter Gewässerabschnitte kann dabei auf die durch die zunehmende landwirtschaftliche Nutzung gleichfalls ansteigenden diffusen Nährstoffeinträge und/oder auf den abnehmenden Beschattungsgrad zurückgeführt werden. Der Trend für die bewaldeten Flächen lässt sich wie folgt formulieren: je höher der prozentuale Anteil bewaldeter Flächen, desto geringer ist der prozentuale Anteil trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers. Die Abnahme trophisch belasteter Gewässerabschnitte kann durch abnehmende diffuse

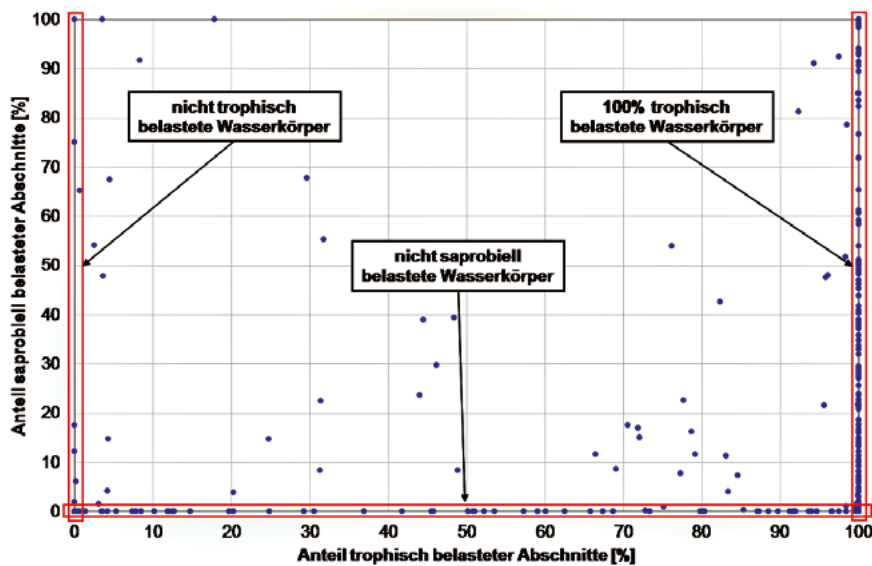


Abb. 7: Gegenüberstellung der prozentualen Anteile saprobiell und trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers (n = 431)

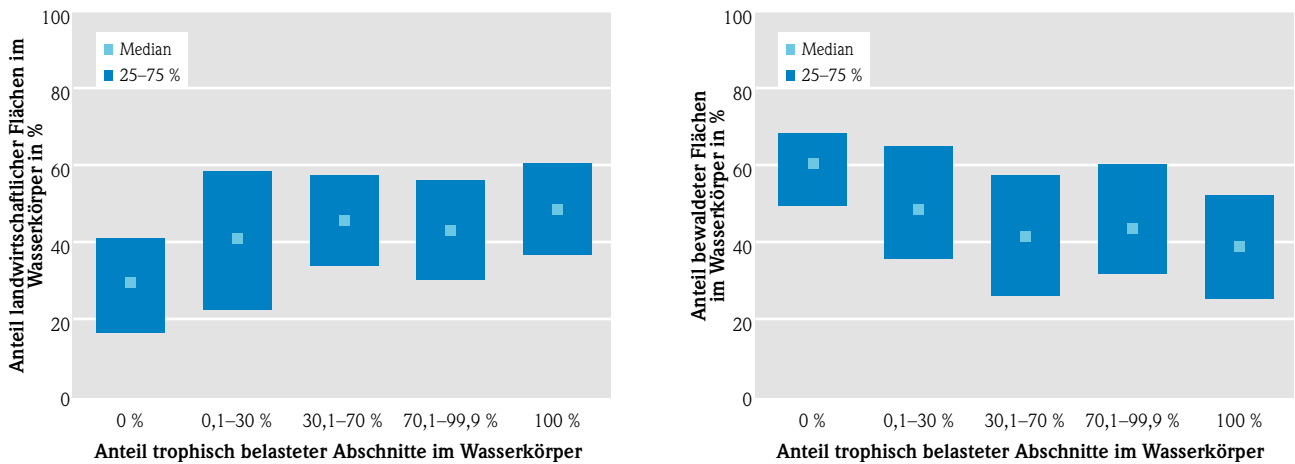


Abb. 8: Prozentualer Anteil landwirtschaftlicher Flächen (links) (n = 377) und bewaldeter Flächen (rechts) (n = 377) in Abhängigkeit zu den prozentualen Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers

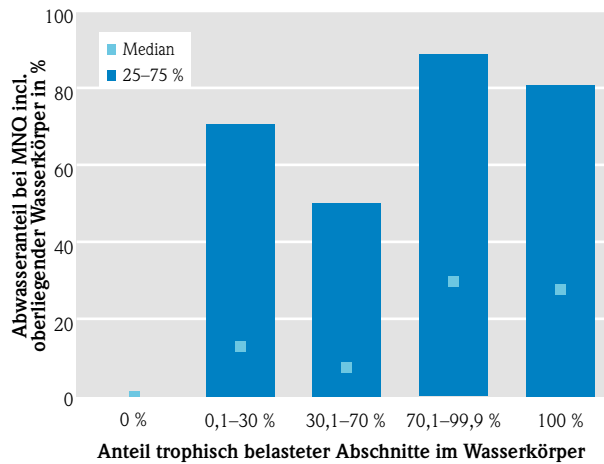


Abb. 9: Prozentualer Abwasseranteil bei MNO (einschließlich oberliegender Wasserkörper) in Abhängigkeit zu den prozentualen Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers (n = 377)

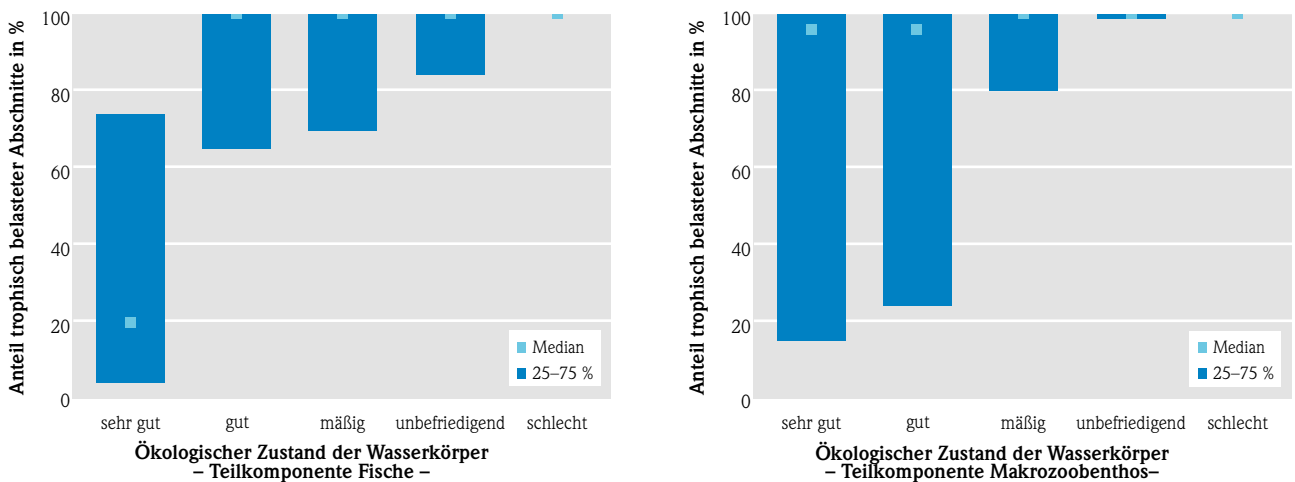


Abb. 10: Prozentuale Anteile trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers in Abhängigkeit zu der anhand der Fische (links; n = 346) und des Makrozoobenthos (rechts; n = 409) ermittelten ökologischen Zustandsklasse eines Wasserkörpers (Datengrundlage: Monitoring Fische 2004–2012 ; Monitoring Makrozoobenthos 2004–2014)

Nährstoffeinträge und/oder einen höheren Beschattungsgrad der Gewässer durch zunehmende Waldanteile begründet werden.

Beschattung führt zu einer Minderung der photosynthetisch nutzbaren Strahlung und kann dadurch das Wachstum der Diatomeen als photoautotrophe Organismen begrenzen. Zudem führt ein Gehölzbewuchs zu kühleren Wassertemperaturen in einem Fließgewässer. Bei der Auswertung der Ergebnisse konnte eindeutig ein deutlicher Zusammenhang zwischen Trophieindex und Wassertemperatur festgestellt werden. Zur Verbesserung der trophischen Situation können daher ungenutzte Gewässerrandstreifen beitragen, indem dort beschattende Gehölze etabliert werden.

Wie Auswertungen des HLNUG zeigen, finden diffuse Phosphoreinträge nur in vergleichsweise geringem Ausmaß statt. Die in die Gewässer eingetragenen Gesamtphosphorfrachten stammen hingegen mit 65 % überwiegend aus den kommunalen Kläranlagen (HMUKLV 2015a).

In Abbildung 9 ist der prozentuale Abwasseranteil bei MNO (einschließlich oberliegender Wasserkörper) in Abhängigkeit zu den prozentualen Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers dargestellt. Es zeigt sich, dass derzeit trophisch unbelastete Wasserkörper ($n = 19$) nur dann vorliegen, wenn kein Abwasser in den Wasserkörper eingeleitet wird. Allerdings ist auch zu erkennen, dass bei den gruppierten Wasserkörpern mit Anteilen an trophisch belasteten Gewässerabschnitten jeweils das 25 %-Perzentil bei einem Abwasseranteil von 0 % liegt. Dies bedeutet, dass in 25 % der Fälle die trophische Belastung keine Folge einer Abwassereinleitung ist. Zudem zeigen die gruppierten Wasserkörper mit Anteilen an trophisch

belasteten Gewässerabschnitten eine erhebliche Streuung über den Abwasseranteil. Folglich ist nicht zwingend der Abwasseranteil, sondern vielmehr die Reinigungsleistung einer Kläranlage entscheidend für die trophische Situation.

Zur Minderung der trophischen Belastung sind daher insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlagen in Hinblick auf die Phosphoreliminierung erforderlich. So enthält der Bewirtschaftungsplan und das Maßnahmenprogramm 2015–2021 bereits Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphoreinträge aus kommunalen Kläranlagen (HMUKLV 2015a, 2015b), so dass bei einer Aktualisierung der Trophiekarte mit besseren Ergebnissen zu rechnen ist.

Abbildung 10 zeigt die prozentualen Anteile trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers in Abhängigkeit zu den anhand der Fische (linkes Box-Plot) und des Makrozoobenthos (rechtes Box-Plot) ermittelten ökologischen Zustandsklassen eines Wasserkörpers. Beide Box-Plots zeigen, dass die mit „sehr gut“ und „gut“ bewerteten Wasserkörper, sowohl bei der Qualitätskomponente „Fische“ als auch bei der Qualitätskomponente „Makrozoobenthos“, deutliche Anteile trophisch belasteter Gewässerabschnitte aufweisen. Bei den anhand des Makrozoobenthos mit „sehr gut“ und „gut“ bewerteten Wasserkörpern liegt der Median bei über 90 % trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers, bei den anhand der Fische mit „gut“ bewerteten Wasserkörpern sogar bei 100 %. Dies ist ein Hinweis darauf, dass der trophische Bewertungsmaßstab im Mittelgebirge wahrscheinlich zu streng ist. Es wird angeregt, den trophischen Bewertungsmaßstab diesbezüglich zu überprüfen.

8 Zusammenfassung

Mit Hilfe der Trophiekarte wird allgemeinverständlich ein Überblick über den Grad der trophischen Belastungen in Hessen gegeben. Insgesamt konnten 6 429 km Fließgewässerstrecke mit der erstellten Trophiekarte bewertet werden. Ein Handlungsbedarf zur Verbesserung der trophischen Situation wurde dabei für 82,2 % der bewerteten Gewässerstrecke

(5 285 km) ermittelt. Insgesamt betrachtet stellt die Eutrophierung der Gewässer in Hessen derzeit einen wesentlichen Beeinträchtigungsfaktor für den guten Zustand dar. Die Analyse der bewerteten trophischen Situation hat ergeben, dass insbesondere Kläranlagen im Zusammenhang mit den trophischen Belastungen stehen und damit wichtige Ansatzpunkte für die

hessische Maßnahmenplanung darstellen. Als Basis für die hessische Maßnahmenplanung bezüglich der Ableitung notwendiger Maßnahmen zur Nährstoffreduktion kann daher nun auch die Trophiekarte zusätzlich herangezogen werden.

Der Bewirtschaftungsplan mit Maßnahmenprogramm 2015–2021 enthält bereits Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphoreinträge aus kommunalen Kläranlagen (HMUKLV 2015a, 2015b), so dass bei einer Aktualisierung der Trophiekarte dann zum einen noch bestehende Gütedefizite und zum

anderen aber auch Sanierungserfolge dokumentiert werden können.

Darüber hinaus hat die Verteilung der prozentualen Anteile trophisch belasteter Gewässerabschnitte auf die anhand der Fische und des Makrozoobenthos ermittelten ökologischen Zustandsklassen eines Wasserkörpers einen Hinweis darauf geben können, dass der trophische Bewertungsmaßstab für das Mittelgebirge wahrscheinlich zu streng und daher zu überprüfen ist.

9 Literaturverzeichnis

- BANNING, M. und HELSPER, U. (2010): Bericht zur Gewässergüte 2010. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden (Hrsg.), 37 S.
- BATTARBEE, R.W., JONES, V.J., FLOWER, R.J., CAMERON, M.G., BENNION, H., CARVALHO, I. und JUGGINS, S. (2001): Diatoms. 155–202 S. In SMOL, J.P., BIRKS, H.J.B. & LAST, W.M. (Hrsg.): Tracking environmental change using lake sediments. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BORCHARDT, D. (1998): Zielsetzungen einer ökologischen Wasserwirtschaft. In: Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie. Oldenbourg Verlag. München, Wien, 119–139 S.
- BOXEN, N. (2018): Erarbeitung einer Trophiekarte für Hessen einschließlich statistischer Auswertungen zu trophischen Belastungsfaktoren als Grundlage für eine effiziente Maßnahmenplanung an hessischen Gewässern. Masterarbeit an der Leibniz Universität Hannover, 169 S. <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliesssgewaesser/biologie/MasterarbeitNinaBoxen.pdf> [abgerufen am 08.11.2018]
- CORING, E., SCHNEIDER, S., HAMM, A. und HOFMANN, G. (1999): Durchgehendes Trophiesystem auf der Grundlage der Trophieindikation mit Kieselalgen. DVWK Materialien 6, 219 S.
- DIXIE, S.S., SMOL, J.P., KINGSTON, J.C. und CHARLES, D.F. (1992): Diatoms – Powerful Indicators of Environmental-Change. In: Environmental Science and Technology, Vol. 26., No. 1, 22–33 S.
- GUTOWSKI, A., VAN DE WEYER, K. und HOFMANN, G., DOEGE, A. (2011): Makrophyten und Phytobenthos. Indikatoren für den ökologischen Gewässerszustand. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen, Dresden (Hrsg.), 184 S.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2015a): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen. Bewirtschaftungsplan 2015–2021, 346 S.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2015b): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen. Maßnahmenprogramm 2015–2021. Anhang 3 Ergebnistabelle Maßnahmenprogramm Oberflächengewässer.
- HÜRLIMANN, J. (2010): Kieselalgen in Fließgewässern des Kantons Aargau. Departement Bau, Verkehr und Umwelt – Abteilung für Umwelt, Aarau, 43 S.
- HÜRLIMANN J. und NIEDERHAUSER P. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern (Hrsg.), 60 S.
- JOHN, J. (2015): A Beginner's Guide to Diatoms. 2. Aufl., Verlag Koeltz Botanical Books, Oberreifenberg, 175 S.
- KOLKWITZ, R. und MARSSON, M. (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 26, 505–519 S.

- KRAMMER, K. (1986): Kieselalgen: Biologie, Baupläne der Zellwand, Untersuchungsmethoden. Kosmos Handbuch, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 140 S.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) (2002): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland. Biologische Gewässergütekarte 2000. Kulturbuch-Verlag Berlin GmbH, Berlin, 60 S.
- LANGE-BERTALOT H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastung. *Archiv für Hydrobiologie*, Supplement Volumes 51, 393–427 S.
- MANN, D.G. (1999): The species concept in diatoms. In: *Phycologia*, Vol. 38, No. 6, 437–495 S.
- MÜLLER, A., POTTGIESSER, T., ADOLPH, W., BONN, R., DÜRSELEN, C., FÜRHAUPTER, K., GUTOWSKI, A., HOFMANN, G., KUHNENKAMP, R., KNOCKS, B., MEYER, T., MILER, O., MISCHKE, U., PASTER, S., QUICK, I., RIEDMÜLLER, U., RITTERBUSCH, D., SCHOLLE, J., STELZER, D., VAN DE WEYER, K., VOGEL, A. und WAGNER, F. (2017): Qualitätskomponentenspezifische Typologie. Unter: http://gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=97&clang=0 [abgerufen am 08.05.2018]
- PFISTER, P., HOFMANN, G. und EHRENSPERGER G. (2016): Fließgewässer-Phytobenthos – Überarbeitung des Trophie- und Saprobie-Bewertungssystems nach ROTT et al. 1999, 1997. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) Österreichs (Hrsg.), 131 S.
- ROTT, E., HOFMANN, G., PALL, K., PFISTER, P. und PIPP, E. (1997): Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobien Indikation. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien (Hrsg.), 73 S.
- ROTT, E., PFISTER, P., VAN DAM, H., PALL, K., PIPP, E., BINDER, N. und ORTLER, K. (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation, geochemische Reaktion, toxikologische und taxonomische Anmerkungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien (Hrsg.), 248 S.
- ROUND, F. E. (1975): *Biologie der Algen*. Eine Einführung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 342 S.
- ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. und MANN, D.G. (1990): *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 S.
- SCHMEDTJE, U., BAUER, A., GUTOWSKI, A., HOFMANN, G., LEUKART, P., MELZER, A., MOLLENHAUER, D., SCHNEIDER, S. und TREMP, H. (1998): Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München (Hrsg.). *Informationsberichte* Heft 4/99, 516 S.
- VAN DEN HOEK, C., JAHNS, H.M. und MANN, D.G. (1993): *Algen*. 3. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 411 S.