

***Erarbeitung einer Trophiekarte für Hessen
einschließlich statistischer Auswertungen
zu trophischen Belastungsfaktoren als
Grundlage für eine effiziente
Maßnahmenplanung an hessischen
Gewässern***

**Masterarbeit von Nina Boxen
Leibniz Universität Hannover**

Agenda

Aufbau der Masterarbeit

- Aufgabenstellung
- Diatomeen
- Bewertung der Fließgewässer anhand benthischer Diatomeen nach EU-WRRL
- Trophiebewertung
 - System Rott et al. (1999)
 - System Pfister et al. (2016)
- Statistische Auswertungen
- Trophiekarte
 - Vorgehensweise
 - Bewertung der trophischen Situation
 - Analyse der trophischen Situation
- Zusammenfassung

Aufgabenstellung

Die Ziele dieser Masterarbeit sind:

- Anwendung des überarbeiteten Trophie-Bewertungssystems nach Pfister et al. (2016) an den hessischen Diatomeenaufnahmen
- Überprüfung und falls notwendig Anpassung der bestehenden Trophieindexklassengrenzen im System Rott et al. (1999)
- Statistische Auswertungen in Hinblick auf Korrelationen der trophischen Situation mit chemisch-physikalischen sowie mit Standortfaktoren
- Erarbeitung einer ersten landesweiten Trophiekarte für Hessen

Diatomeen

Allgemein

Diatomeen sind einzellige, eukaryotische und überwiegend photoautotrophe Algen.

Merkmale:

- artenreichste Gruppe der Algen
(in DE: etwa 1.400 Diatomeenarten; weltweit: rund 100.000 Arten)
- kieselsäurehaltigen Zellwände; daher auch der Name Kieselalgen
- artspezifische Feinstrukturen, insbesondere der Schalenflächen
- Vorkommen nahezu in allen aquatischen Lebensräumen
(insbesondere in Meeren, Fließgewässern und Seen)
- Lebensweise: planktisch oder benthisch
- Präferenzen für verschiedene Standortbedingungen
(z.B. Strömung, Substrat, Nährstoffgehalt)

Diatomeen sind geeignete Bioindikatoren und es existieren viele Bewertungsverfahren.

Bewertung der Fließgewässer anhand der benthischen Diatomeen nach EU-WRRL (1)

Diatomeen bilden einen Bestandteil des nationalen Bewertungsverfahrens PHYLIB für die Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“.

- Diatomeen-basierte biozönotische Typologie (für DE: 17 Diatomeentypen)
- modularer Aufbau der Bewertung des ökologischen Zustands anhand der Teilkomponente Diatomeen nach PHYLIB
- Grundlage bilden 4 Module:
 - Trophie- und Saprobienindex (Nährstoffbewertung)
 - Artenzusammensetzung und Abundanz (Referenzartensumme)
 - Halobienindex (Salzbelastungen)
 - Versauerungsanzeiger

**Versauerung der Fließgewässer hat in Hessen keine besondere Bedeutung.
Es werden die ersten drei Module betrachtet mit Fokus auf dem Trophieindex.**

Bewertung der Fließgewässer anhand der benthischen Diatomeen nach EU-WRRL (2)

Für das Modul „Trophieindex“ wird derzeit das Verfahren nach Rott et al. (1999) verwendet.

- Durch den praktischen Einsatz des Bewertungsverfahrens PHYLIB in den letzten 15 Jahren konnte der Erfahrungsschatz bzw. Wissensstand bezüglich der trophischen Bewertung anhand der benthischen Diatomeen vergrößert werden:
 - taxonomische Änderungen,
 - neue Erkenntnisse über die Autökologie einiger Arten und
 - weitere geeignete Indikatorarten.
- Dieser Erfahrungsschatz führte zu einer Überarbeitung des bestehenden Trophie-Bewertungssystems durch Pfister et al. (2016):
 - taxonomisch aktualisierte und ergänzte Indikationsliste und
 - angepasste bzw. neu definierte artspezifische Trophiewerte sowie Indikationsgewichte.

Das überarbeitete Trophie-Bewertungssystem durch Pfister et al. (2016) wurde in Deutschland noch nicht angewendet.

Trophiebewertung

System Rott et al. (1999) (1)

Die bestehenden Trophieindexklassengrenzen werden überprüft.

1) Rott 2012: aktuell gültige Klassengrenzen für das Modul "Trophieindex" Verfahrensstand 2012 (Schaumburg et al., 2012b)				ökologische Zustandsklassen					
				1	2	3	4	5	
D-Typ	MZB-Typ	geomorphologischer Typ		Trophieindex nach Rott et al. (1999)					
D 5	5, 5.1	Bäche des Buntsandsteins & Grundgebirges (exklusive Subtyp 5.2 (Vulkanite))	EZG<100km ²	0,30 - 1,84	1,85 - 2,64	2,65	3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 6	5.2	Bäche der Vulkangebiete	EZG<100km ²	0,30 - 2,24	2,25 - 2,84	2,85	3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 7	9	Kleine silikatische Flüsse des Mittelgebirges	EZG≥100km ² & <1.000km ²	0,30 - 2,64	2,65 - 2,94	2,95	3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 8.1	6, 19	Bäche und Niederungsfließgewässer der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG<100km ²	0,30 - 0,84	0,85 - 1,74	1,75	3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 8.2	9.1	Kleine Flüsse der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG≥100km ² & <1.000km ²	0,30 - 1,54	1,55 - 2,04	2,05	3,34	3,35 - 3,54	> 3,54
D 9.1	7	Bäche der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG<100km ²	0,30 - 2,24	2,25 - 2,74	2,75	3,04	3,05 - 3,34	> 3,34
D 9.2	9.1	Kleine Flüsse der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG≥100km ² & <1.000km ²	0,30 - 2,34	2,35 - 2,84	2,85	3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 10.1	9.2	Große Flüsse der Mittelgebirge	EZG≥1.000km ² & <10.000km ²						
D 10.2	10	Ströme der Mittelgebirge	EZG≥10.000km ²						

Die Klassengrenzen sind fehlerbehaftet in Bezug zum Fließgewässerkontinuum und zur Geologie des Einzugsgebietes.

Trophiebewertung System Rott et al. (1999) (2)

Die Trophieindexklassengrenzen werden daher überarbeitet.

- Erarbeitung von 2 Varianten in Bezug zum Diatomeentyp D 5
- Variante a) milder als Variante b)

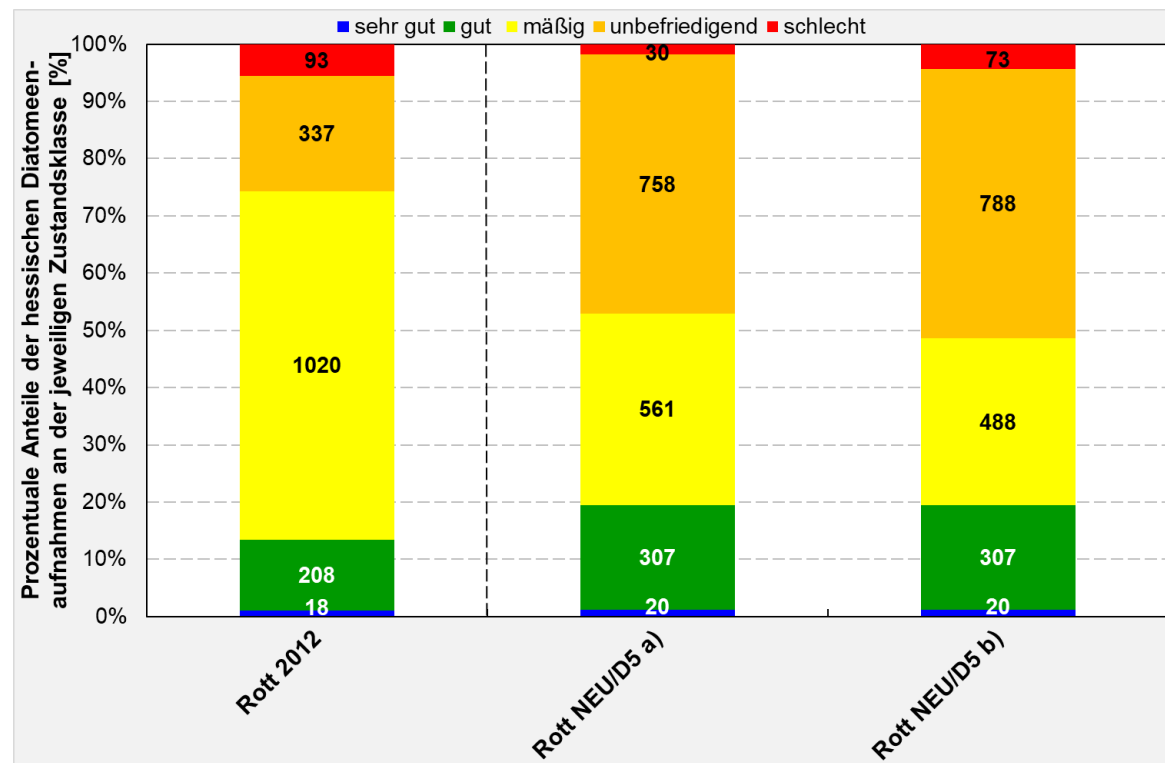
		Variante a) „Rott NEU/D5 a)“ Variante b) „Rott NEU/D5 b)“		ökologische Zustandsklassen				
				1	2	3	4	5
D-Typ	MZB-Typ	geomorphologischer Typ		Trophieindex nach Rott et al. (1999)				
D 5	5, 5.1	Bäche des Buntsandsteins & Grundgebirges (exklusive Subtyp 5.2 (Vulkanite))	EZG<100km ²	0,30 - 1,84	1,85 - 2,64	2,65 - 3,14 a) 2,65 - 2,87 b) 2,65 - 2,83	3,15 - 3,34 a) 2,88 - 3,39 b) 2,84 - 3,31	> 3,34 a) > 3,39 b) > 3,31
D 6	5.2	Bäche der Vulkangebiete	EZG<100km ²	0,30 - 2,24	2,25 - 2,84	2,85 - 3,14 2,85 - 3,07	3,15 - 3,34 3,08 - 3,49	> 3,34 > 3,49
D 7	9	Kleine silikatische Flüsse des Mittelgebirges	EZG≥100km ² & <1.000km ²					
D 8.1	6, 19	Bäche und Niederungsfließgewässer der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG<100km ²	0,30 - 2,64	2,65 - 2,94	2,95 - 3,14 2,95 - 3,27	3,15 - 3,34 3,28 - 3,59	> 3,34 > 3,59
D 8.2	9.1	Kleine Flüsse der Löss-, Keuper- & Kreideregion	EZG≥100km ² & <1.000km ²					
D 9.1	7	Bäche der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG<100km ²	0,30 - 0,84 0,30 - 2,24	0,85 - 1,74 2,25 - 2,84	1,75 - 3,14 2,85 - 3,07	3,15 - 3,34 3,08 - 3,49	> 3,34 > 3,49
D 9.2	9.1	Kleine Flüsse der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- & anderer Kalkregionen	EZG≥100km ² & <1.000km ²	0,30 - 1,54 0,30 - 2,34	1,55 - 2,04 2,35 - 2,94	2,05 - 3,34 2,95 - 3,12	3,35 - 3,54 3,13 - 3,51	> 3,54 > 3,51
D 10.1	9.2	Große Flüsse der Mittelgebirge	EZG≥1.000km ² & <10.000km ²	0,30 - 2,24 0,30 - 2,34	2,25 - 2,74 2,35 - 2,94	2,75 - 3,04 2,95 - 3,12	3,05 - 3,34 3,13 - 3,51	> 3,34 > 3,51
D 10.2	10	Ströme der Mittelgebirge	EZG≥10.000km ²	0,30 - 2,34 0,30 - 2,64	2,35 - 2,84 2,65 - 2,95	2,85 - 3,14 2,96 - 3,28	3,15 - 3,34 3,29 - 3,60	> 3,34 > 3,60

Im nächsten Schritt werden die überarbeiteten Klassengrenzen anhand der hessischen Diatomeenaufnahmen auf der Ebene der ökologischen Zustandsbewertung getestet.

Trophiebewertung

System Rott et al. (1999) (3)

Die bestehenden und überarbeiteten Trophieindexklassengrenzen werden auf der Ebene der ökologischen Zustandsbewertung verglichen.

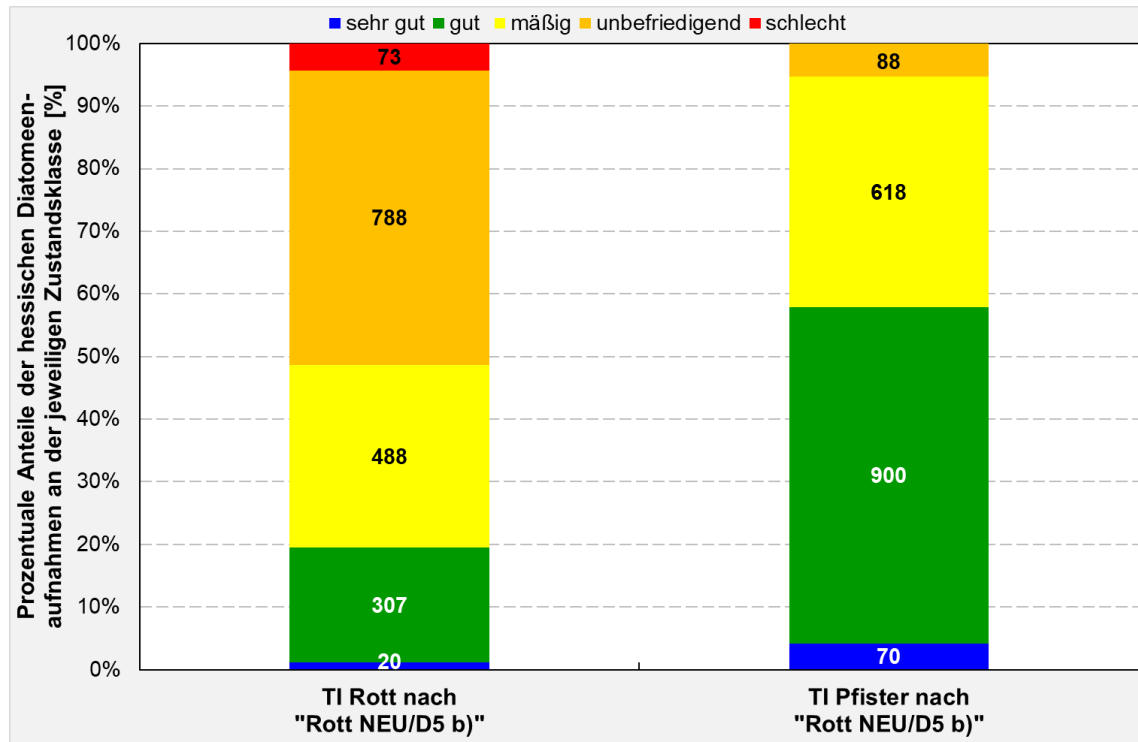


Für das System nach Rott et al. (1999) ist die Variante „Rott NEU/D5 b)“ am geeignetsten.

Trophiebewertung

System Pfister et al. (2016) (1)

Die Trophieindizes werden nach Pfister et al. (2016) berechnet und mit denen nach Rott et al. (1999) auf der Ebene der ökologischen Zustandsbewertung auf Basis der überarbeiteten Klassengrenzen verglichen.

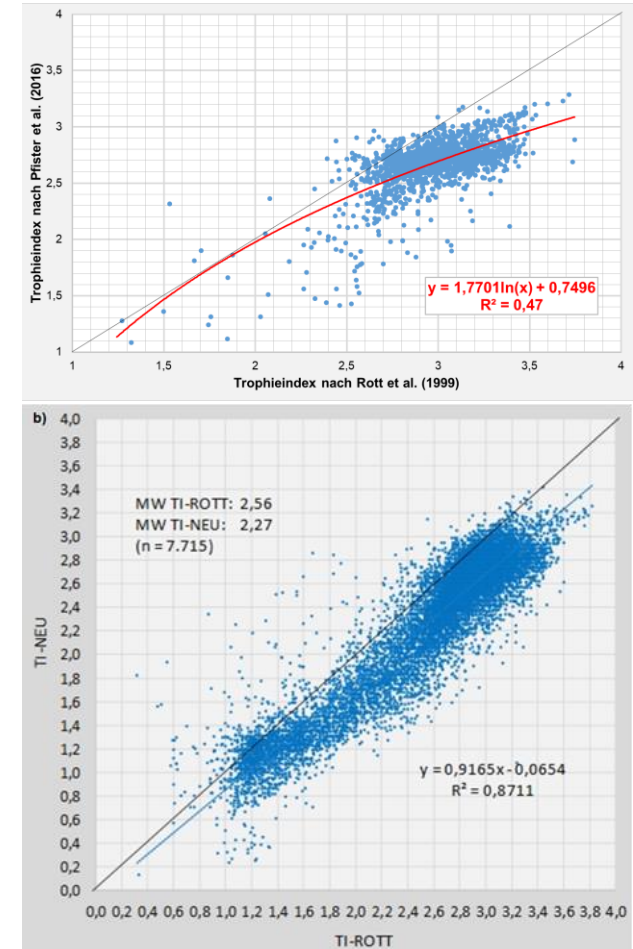
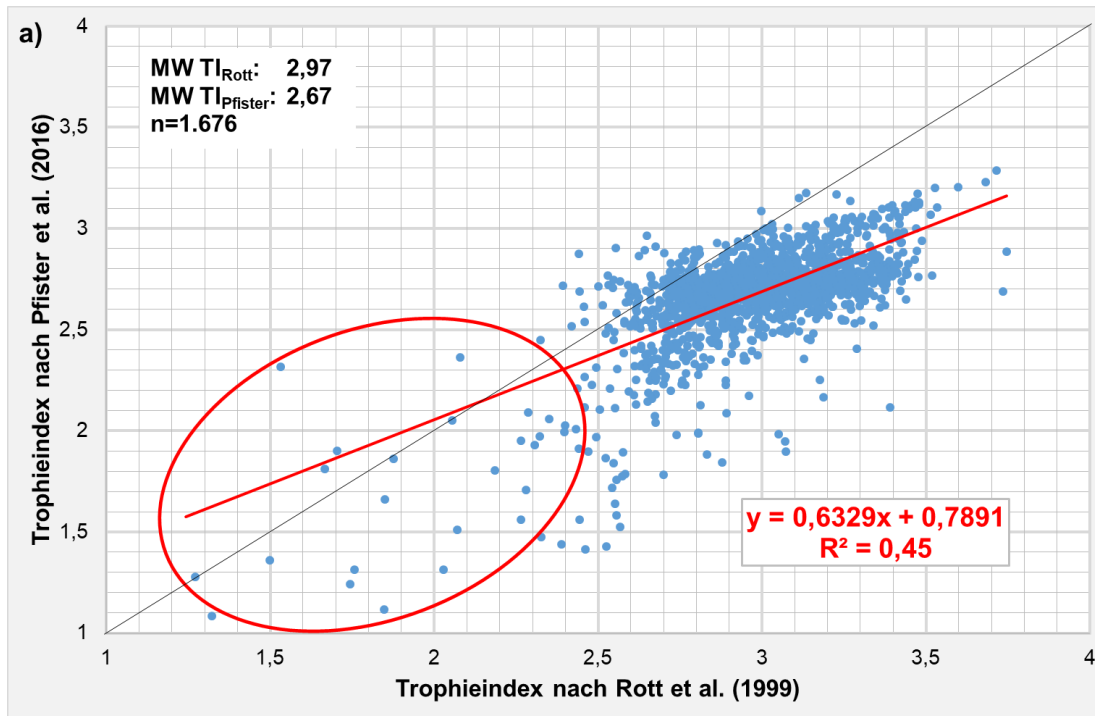


Die Anwendung des Systems nach Pfister et al. (1999) führt zu einer besseren Trophiebewertung, so dass eine Anpassung der Trophieindexklassengrenzen erforderlich wird.

Trophiebewertung

System Pfister et al. (2016) (2)

Die Trophieindizes nach Rott et al. (1999) und Pfister et al. (2016) werden gegenübergestellt.

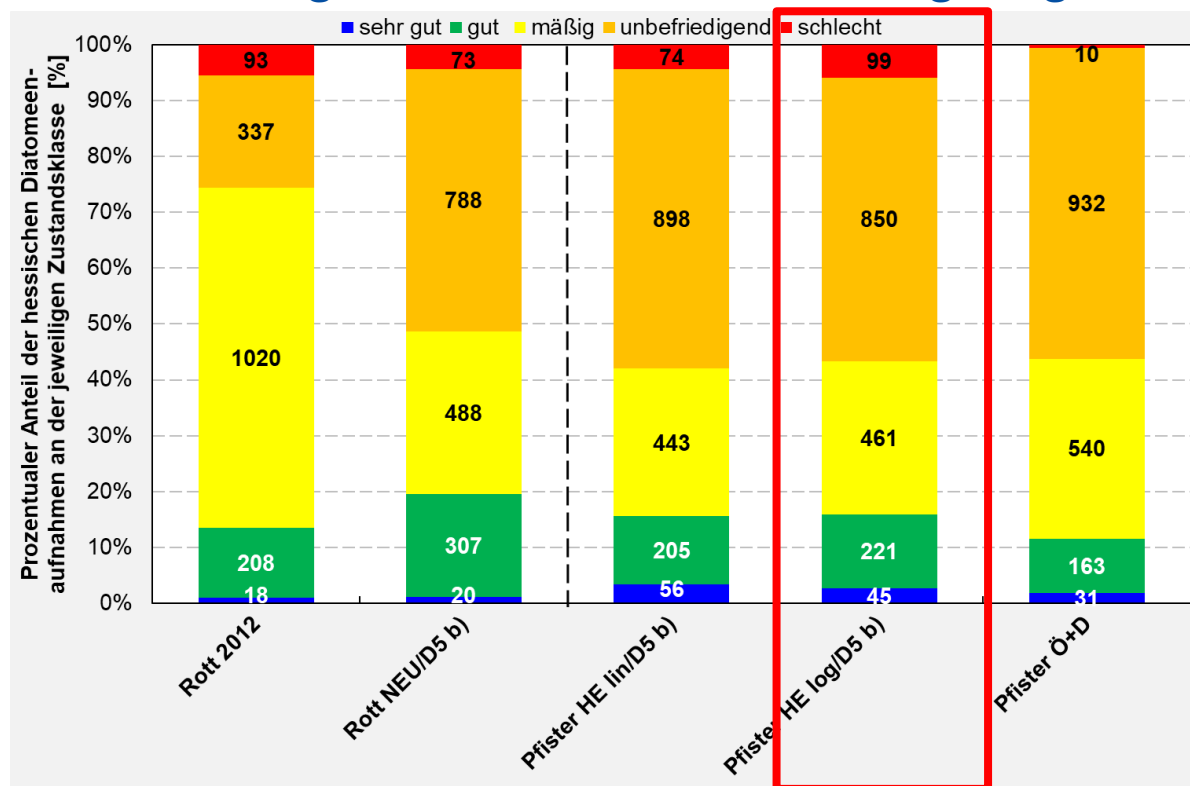


Die Ableitung der neuen Trophieindexklassengrenzen erfolgt rechnerisch aus dem statistischen Zusammenhang zwischen den beiden Trophieindizes.

Trophiebewertung

System Pfister et al. (2016) (3)

Die abgeleiteten Varianten für das System nach Pfister et al. (2016) werden auf der Ebene der ökologischen Zustandsbewertung verglichen.



Für das System nach Pfister et al. (2016) ist die Variante „Pfister HE log/D5 b)“ am geeignetsten.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (1)

Mit Hilfe von Korrelationsanalysen werden die beiden Systeme miteinander verglichen.

Qualitätskomponente: Temperaturverhältnisse	Parameter: Wassertemperatur (N=204)	TI_{Rott}	TI_{Pfister}	SI_{Rott}	SI_{Pfister}	HI_{Ziemann}
	10%-Perzentil	-0,10	0,27	0,16	0,27	-0,04
	25%-Perzentil	-0,09	0,30	0,17	0,32	0,01
	Median	0,00	0,36	0,17	0,32	0,17
	arithmetischer Mittelwert	-0,08	0,40	0,18	0,33	0,15
	75%-Perzentil	-0,11	0,39	0,14	0,28	0,19
	90%-Perzentil	0,01	0,37	0,15	0,24	0,25



Das System Pfister korreliert besser mit der Wassertemperatur als das System Rott.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (2)

Mit Hilfe von Korrelationsanalysen werden die beiden Systeme miteinander verglichen.

Qualitätskomponente: Sauerstoffhaushalt	Parameter: Sauerstoffgehalt (N=204)	TI_{Rott}	$TI_{Pfister}$	SI_{Rott}	$SI_{Pfister}$	$HI_{Ziemann}$
	10%-Perzentil	-0,26	-0,40	-0,15	-0,28	-0,26
	25%-Perzentil	-0,23	-0,42	-0,14	-0,29	-0,25
	Median	-0,27	-0,37	-0,11	-0,28	-0,23
	arithmetischer Mittelwert	-0,29	-0,42	-0,15	-0,31	-0,24
	75%-Perzentil	-0,26	-0,31	-0,13	-0,28	-0,19
	90%-Perzentil	-0,25	-0,39	-0,18	-0,32	-0,14



Das System Pfister korreliert besser mit dem Sauerstoffgehalt als das System Rott.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (3)

Mit Hilfe von Korrelationsanalysen werden die beiden Systeme miteinander verglichen.

Qualitätskomponente: Salzgehalt	Parameter: Chlorid (N=228)	TI_{Rott}	$TI_{Pfister}$	SI_{Rott}	$SI_{Pfister}$	$HI_{Ziemann}$
	10%-Perzentil	0,04	0,21	0,06	0,04	0,54
	25%-Perzentil	0,04	0,22	0,07	0,05	0,54
	Median	0,02	0,22	0,07	0,06	0,47
	arithmetischer Mittelwert	0,02	0,22	0,07	0,06	0,44
	75%-Perzentil	0,02	0,21	0,06	0,06	0,37
	90%-Perzentil	0,02	0,21	0,07	0,06	0,36



Das System Pfister korreliert besser mit dem Chloridgehalt als das System Rott. Zudem zeigt der Halobienindex hohe Korrelationen zu diesem Parameter.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (4)

Mit Hilfe von Korrelationsanalysen werden die beiden Systeme miteinander verglichen.

Qualitätskomponente: Nährstoffverhältnisse	Parameter: Nitrit-Stickstoff (N=177)	TI_{Rott}	TI_{Pfister}	SI_{Rott}	SI_{Pfister}	HI_{Ziemann}
	10%-Perzentil	0,19	0,38	0,25	0,35	0,11
	25%-Perzentil	0,15	0,37	0,23	0,35	0,10
	Median	0,15	0,34	0,19	0,31	0,09
	arithmetischer Mittelwert	0,17	0,37	0,22	0,34	0,06
	75%-Perzentil	0,16	0,37	0,21	0,32	0,07
	90%-Perzentil	0,17	0,35	0,21	0,33	0,02



Das System Pfister korreliert besser mit Nitrit-Stickstoff als das System Rott.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (5)

Mit Hilfe von Korrelationsanalyse werden die beiden Systeme miteinander verglichen.

Qualitätskomponente: Nährstoffverhältnisse	Parameter: Phosphor _{Gesamt} (N=186)	Tl _{Rott}	Tl _{Pfister}	Sl _{Rott}	Sl _{Pfister}	Hl _{Ziemann}	RAS
	10%-Perzentil	0,15	0,30	0,15	0,21	0,09	-0,10
	25%-Perzentil	0,14	0,30	0,16	0,21	0,10	-0,11
	Median	0,13	0,31	0,16	0,21	0,07	-0,11
	arithmetischer Mittelwert	0,15	0,29	0,16	0,24	0,06	-0,12
	75%-Perzentil	0,15	0,30	0,17	0,24	0,05	-0,12
	90%-Perzentil	0,16	0,27	0,15	0,24	0,04	-0,11
	Qualitätskomponente: Nährstoffverhältnisse	Parameter: ortho-Phosphat (N=223)	Tl _{Rott}	Tl _{Pfister}	Sl _{Rott}	Sl _{Pfister}	Hl _{Ziemann}
10%-Perzentil		0,13	0,27	0,11	0,15	0,13	-0,01
25%-Perzentil		0,13	0,27	0,12	0,16	0,12	-0,01
Median		0,12	0,28	0,13	0,16	0,10	-0,02
arithmetischer Mittelwert		0,13	0,27	0,12	0,15	0,10	-0,01
75%-Perzentil		0,13	0,28	0,13	0,16	0,09	-0,02
90%-Perzentil		0,13	0,26	0,13	0,15	0,10	-0,03



Das System Pfister korreliert besser mit Gesamtphosphor und ortho-Phosphat als das System Rott.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (6)

Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse werden die beiden Systeme bzw. Indizes untereinander verglichen.

	Parameter	TI _{Rott}	TI _{Pfister}	SI _{Rott}	SI _{Pfister}	RAS
Bewertungs- ergebnisse PHYLIB	TI _{Rott; PHYLIB}	0,87	0,66	0,68	0,63	-0,54
	RAS	-0,35	-0,38	-0,35	-0,42	1,00
	HI _{Ziemann}	0,47	0,48	0,60	0,55	-0,49
	DI _{FG}	-0,55	-0,51	-0,49	-0,53	0,96

$$DI_{FG} = \frac{M_{ASR} + M_{TI}}{2}$$

DI_{FG} : Diatomeenindex_{Fließgewässer}
M_{ASR}: Modul „Abundanzsumme & Referenzsumme“
M_{TI} : Modul „Trophieindex“

Der Trophieindex und die Referenzartensumme gehen nicht gleichwertig in den Diatomeenindex ein.

Statistische Auswertung

Vergleich zwischen System Rott und Pfister (7)

Wo liegt der Fehler?

Beispiel: Euterbach

- niedrigster in Hessen ermittelte Trophieindex nach Rott et al. (1999): TI = 1,24
- Diatomeentyp D 5
- nach PHYLIB: Trophie = sehr guter Zustand (bis zu einem TI von $\leq 1,84$)



$$M_{TI} = 1 - \frac{TI - 0,3}{3,6}$$

M_{TI} : Modul „Trophieindex“
TI: berechneter Trophieindex

$$M_{TI} = 1 - \frac{1,24 - 0,3}{3,6} = 0,74 \rightarrow \text{guter Zustand } (>0,6 - 0,8)$$

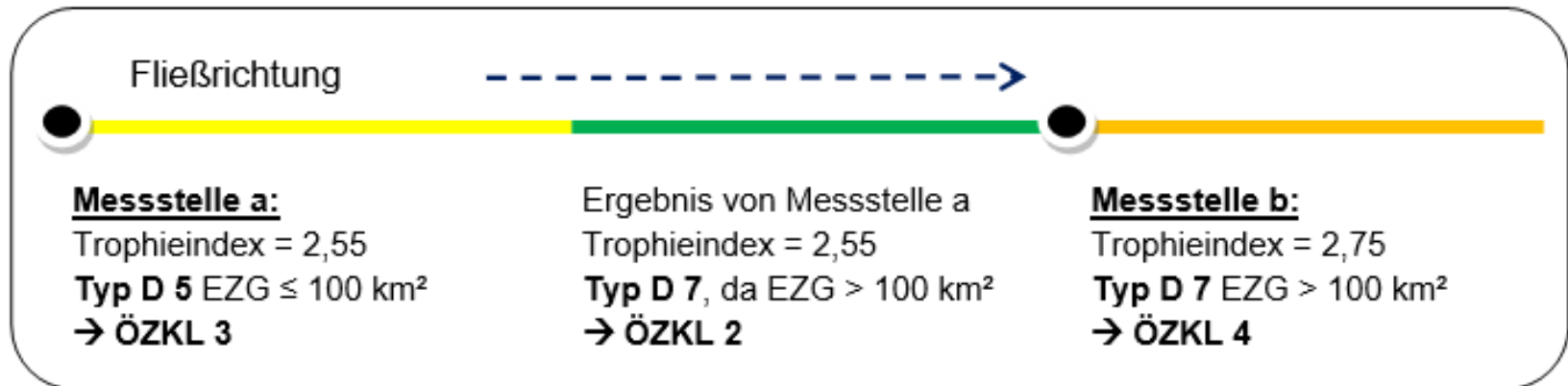
Fehler in der Umrechnung des Trophieindex nach Rott et al. (1999) auf einer Skala von 0 – 1.

Trophiekarte

Vorgehensweise

Für die Erstellung einer Trophiekarte muss jedem einzelnen hydrologischen Gewässerabschnitt der entsprechende Diatomeentyp zugewiesen werden.

- Diatomeentypmittlung der einzelnen Gewässerabschnitte erfolgt anhand der bereits zugewiesenen Makrozoobenthostypen.
- Prinzip für die Übertragung der Bewertungsergebnisse:



Die Übertragung des Bewertungsergebnisses in Fließrichtung erfolgt bis zur nächsten Messstelle oder Einmündung in das nächst größere Gewässer unter Beachtung etwaiger Diatomeentypwechsel.

Trophiekarte

Bewertung der trophischen Situation (1)

Mit der erstellten Trophiekarte wird ein Gesamtüberblick über die derzeitige trophische Belastungssituation der Fließgewässer in Hessen gegeben.

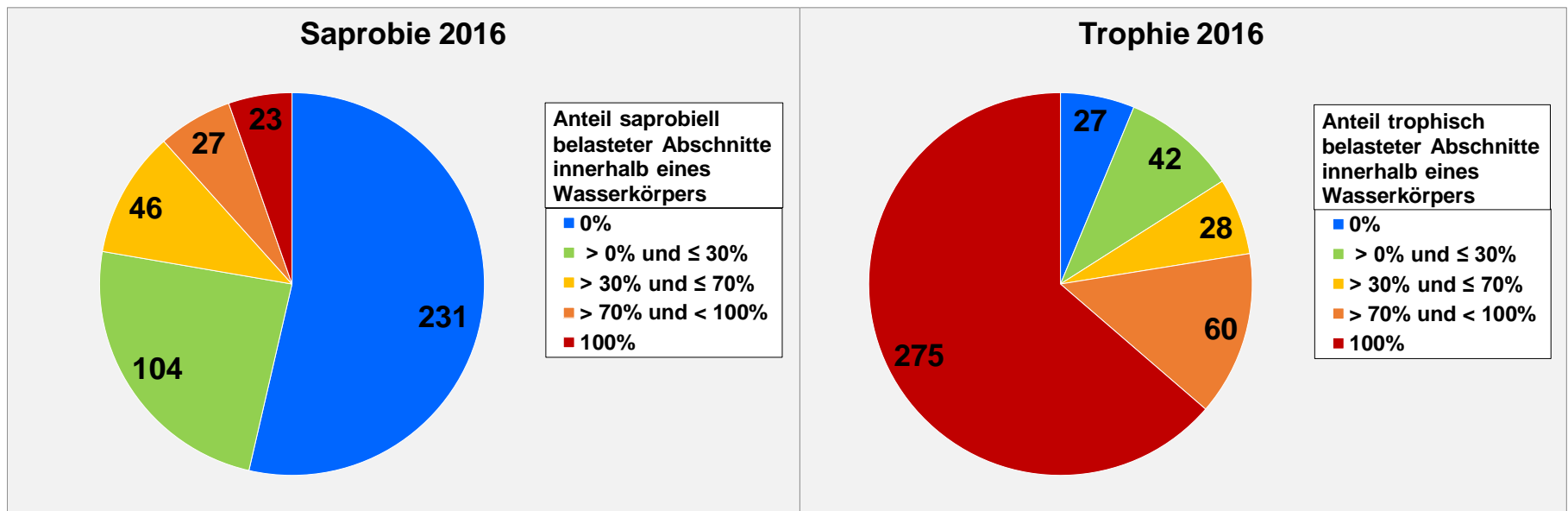
Fließgewässer auf einer Länge von insgesamt 6.429 km konnten bewertet werden. Für 82% der Gewässerabschnitte (5.285 km) besteht ein Handlungsbedarf zur Verbesserung der trophischen Situation.



Trophiekarte

Bewertung der trophischen Situation (2)

Die Verteilung nach unterschiedlich hohen Anteilen an belasteter Gewässerabschnitte (ÖZKL 3, 4 und 5) innerhalb eines Wasserkörpers für die Trophie werden mit der der Saprobie verglichen:

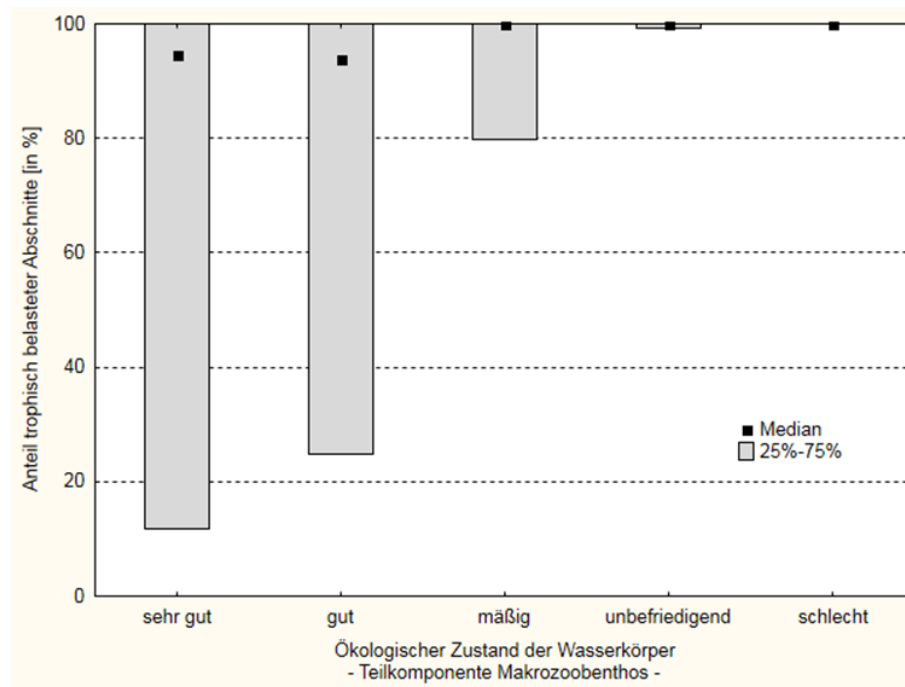


Bei der Mehrheit der Wasserkörper (83%) wurden auf mehr als 30% der Gewässerlänge erhöhte trophische Belastungen festgestellt.

Trophiekarte

Analyse der trophischen Situation

Das Box-Plot zeigt die prozentualen Anteile an trophisch belasteter Gewässerabschnitte in Abhängigkeit zu der anhand des Makrozoobenthos ermittelten ökologischen Zustandsklasse eines Wasserkörpers:



Trophiemaßstab zu streng?

Wasserkörper, die anhand des Makrozoobenthos mit sehr gut bzw. gut bewertet wurden, weisen im Median noch zu über 90% trophisch belastete Gewässerabschnitte auf.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Arbeit sind:

- Überarbeitung der Trophieklassengrenzen für das System Rott et al. (1999)
- Ableitung von Trophieklassengrenzen für das System Pfister et al. (2016)
- statistische Analysen
- Trophiekarte für Hessen einschließlich Auswertung
- Hinweis zum Überarbeitungsbedarf von PHYLIB:
 - Überarbeitung der Klassengrenzen (Fließgewässerkontinuum, Geologie)
 - Referenzartensumme (keine bzw. geringe Korrelationen)
 - falsche Umrechnung beim Modul Trophieindex M_{TI}
 - Klassengrenzen im Vergleich zum MZB/Fische zu streng

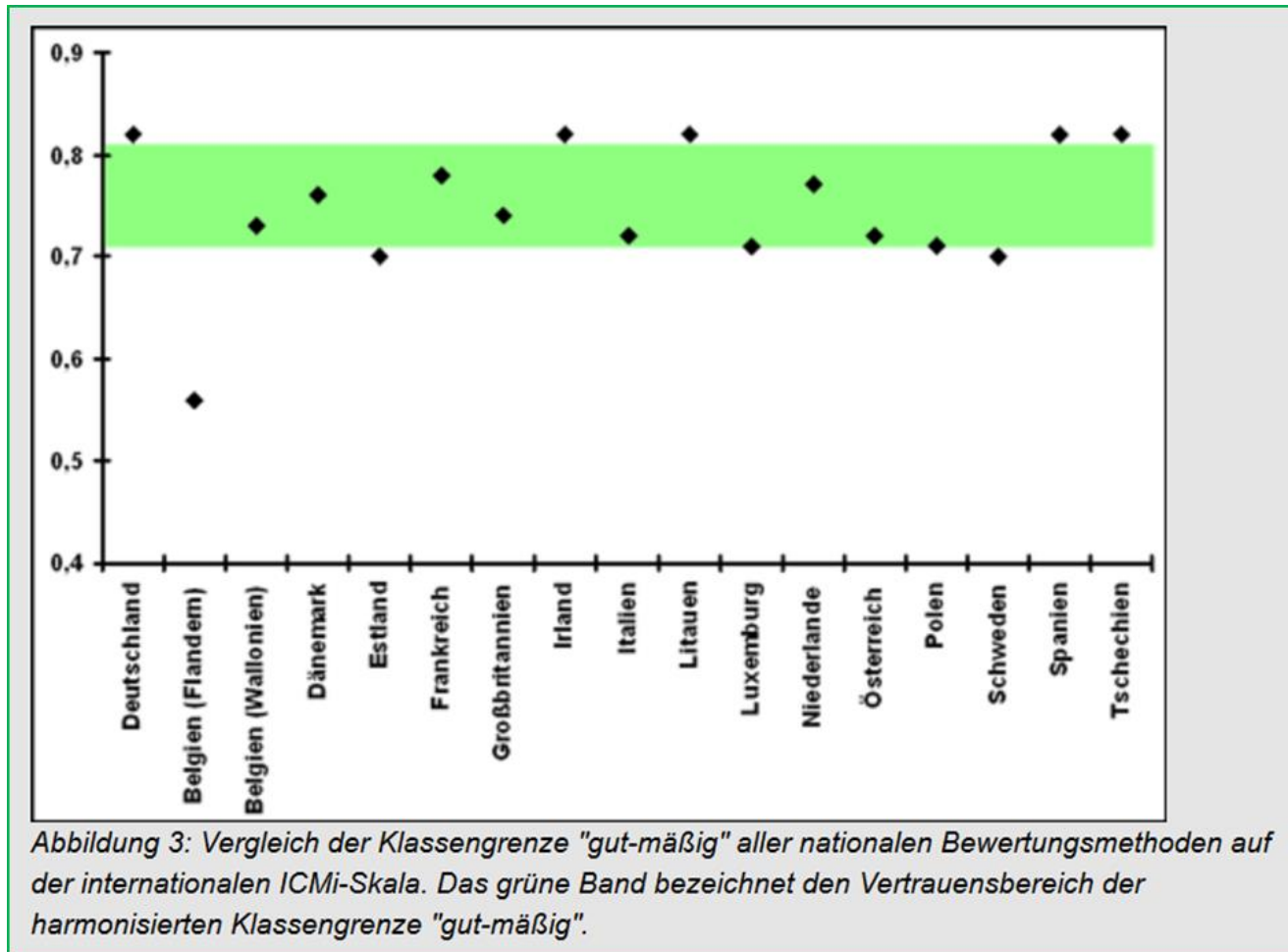
Der Trophieindex nach Pfister et al. (2016) ist für Hessen geeignet und sollte auch bundesweit auf seine Eignung getestet werden.

Ende

***Vielen Dank
für
Ihre Aufmerksamkeit!***

Interkalibrierung

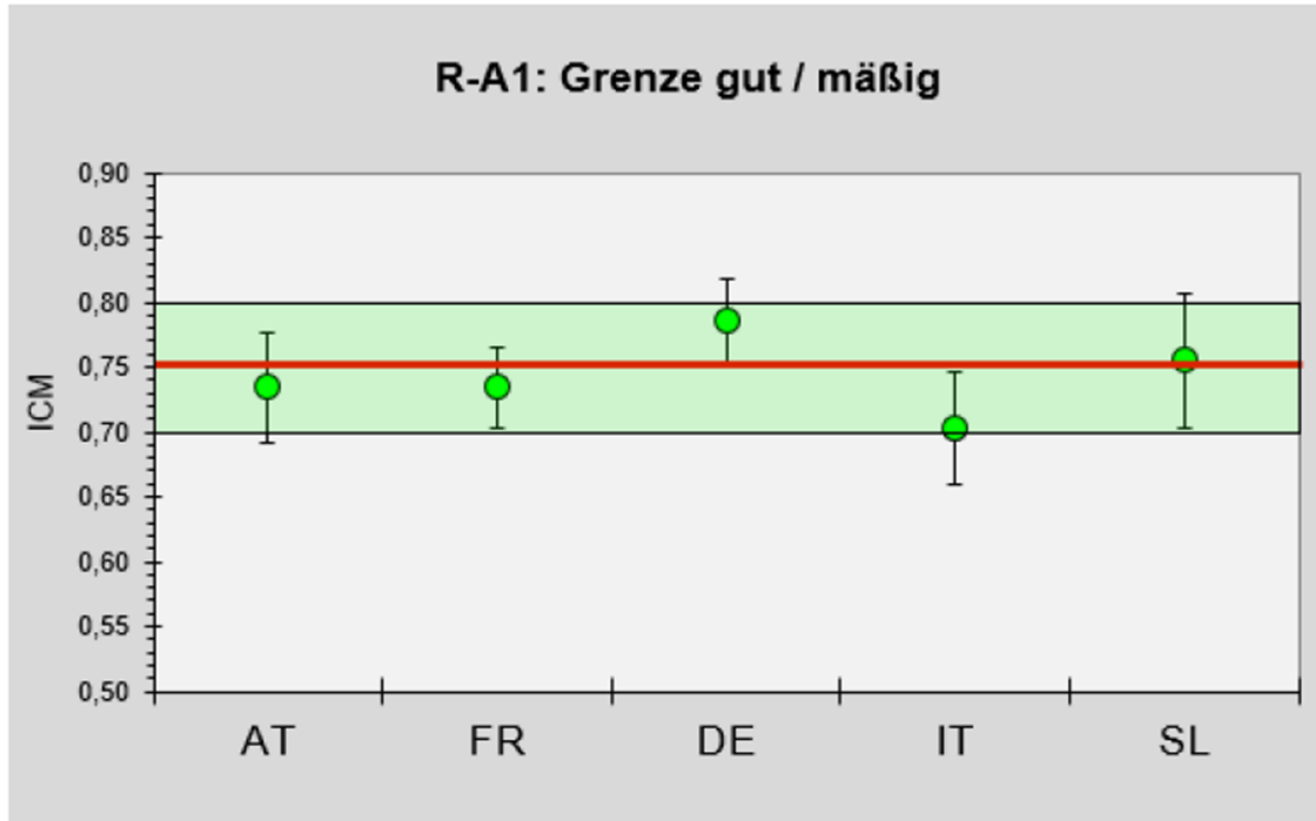
Makrozoobenthos



© www.interkalibrierung.de

Interkalibrierung

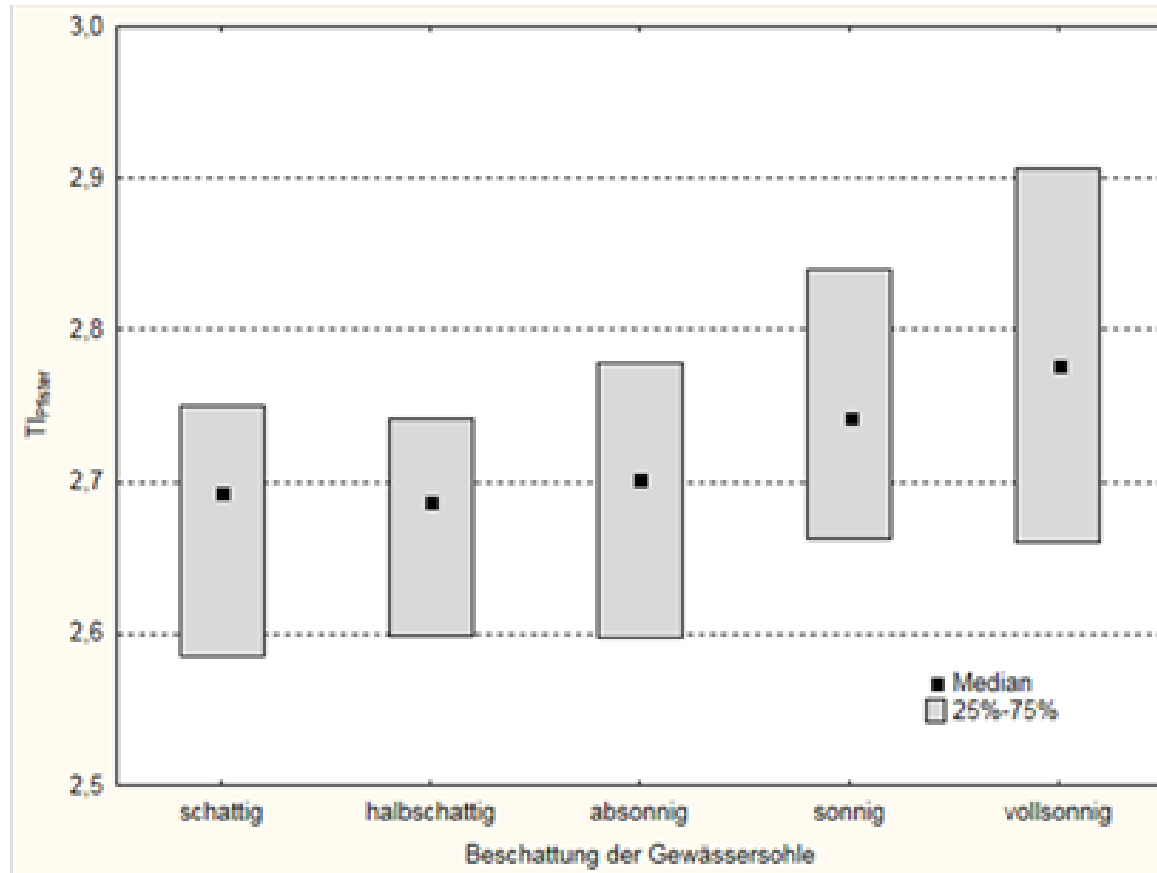
Diatomeen



© Pfister & Ehrensperger (2016)

Statistische Auswertung

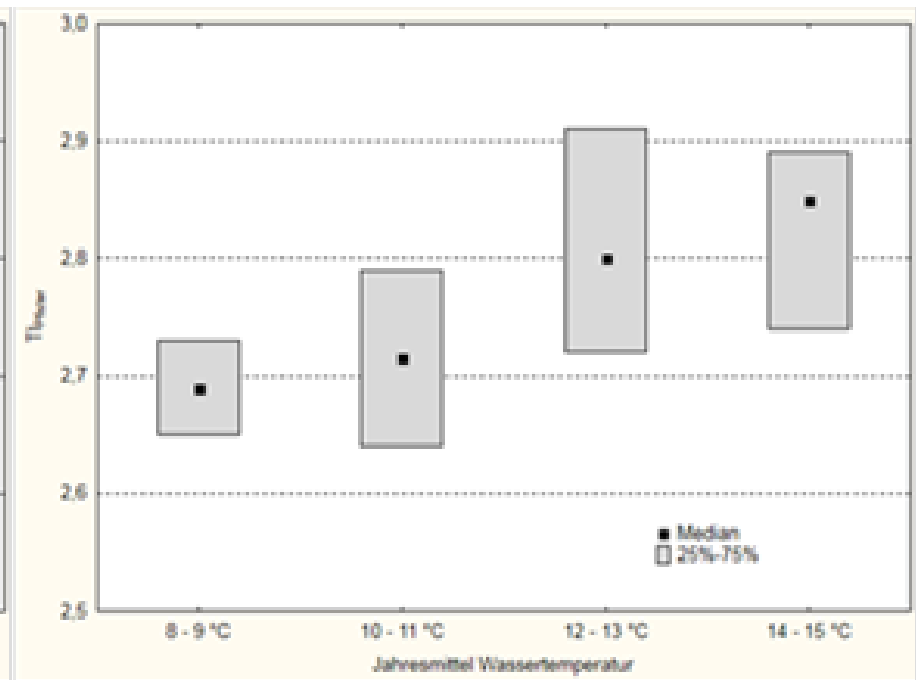
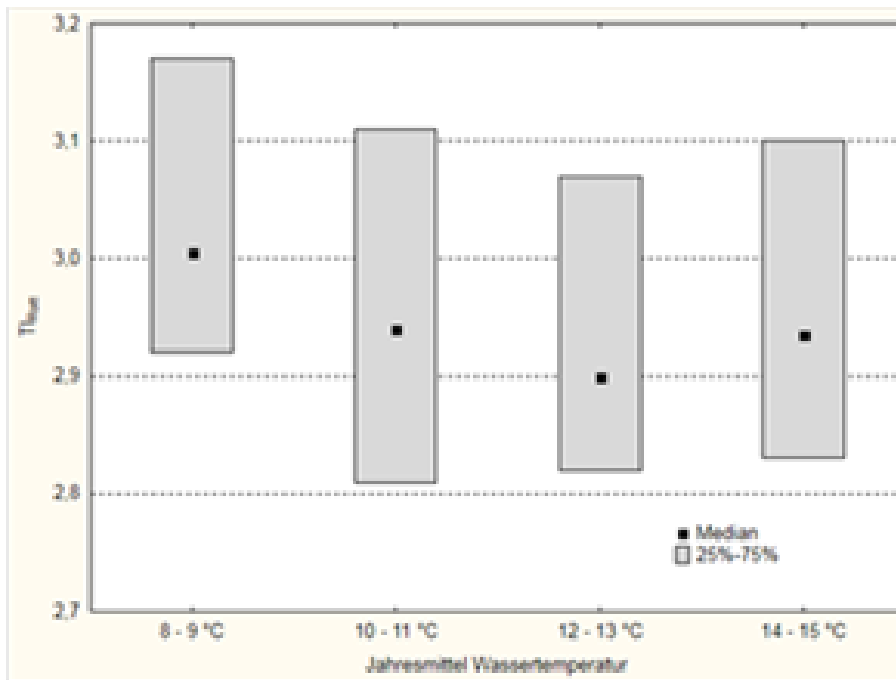
Beschattung



Box-Plot: Verteilung der Trophieindizes nach Pfister et al. (2016) in Abhängigkeit zu der Beschattung der Gewässersohle (n = 633)

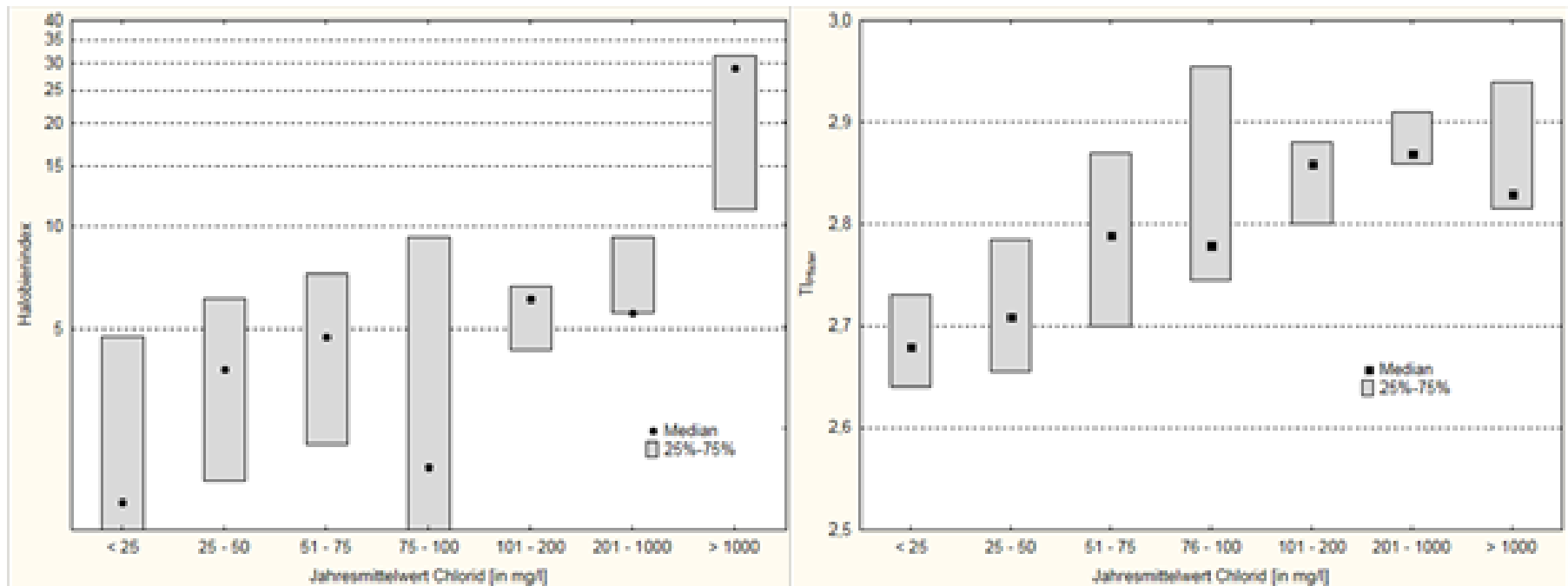
Statistische Auswertung

Wassertemperatur



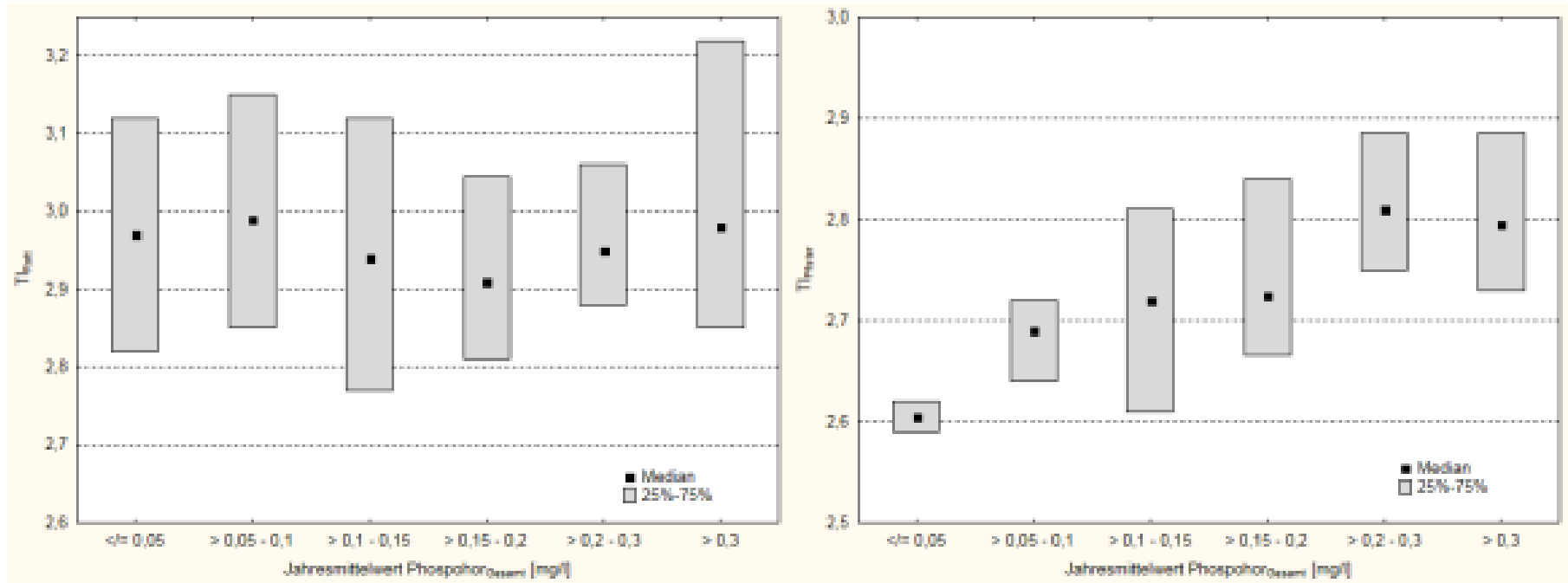
Box-Plots: Trophieindex nach Rott et al. (1999) (links) und Pfister et al. (2016) (rechts) in Abhängigkeit zu den Jahresmittelwerten der Wassertemperatur

Statistische Auswertung Chloridgehalt



Box-Plots: Halobienindex nach Ziemann (1999) (li) und Pfister et al. (2016) (re) in Abhängigkeit zu den Jahresmittelwerten der Chloridkonzentrationen

Statistische Auswertung Gesamt-Phosphor



Box-Plots: Trophieindex nach Rott et al. (1999) (links) bzw Pfister et al. (2016) (rechts) in Abhängigkeit zu den Jahresmittelwerten der Gesamt-Phosphorkonzentrationen

Vorschlag – Wasserkörperbewertung

Bewirtschaftungsplan 2021 - 2027

Die trophische Bewertung anhand der Kieselalgen ist zu streng und der Referenzartensumme korreliert kaum mit Belastungen.

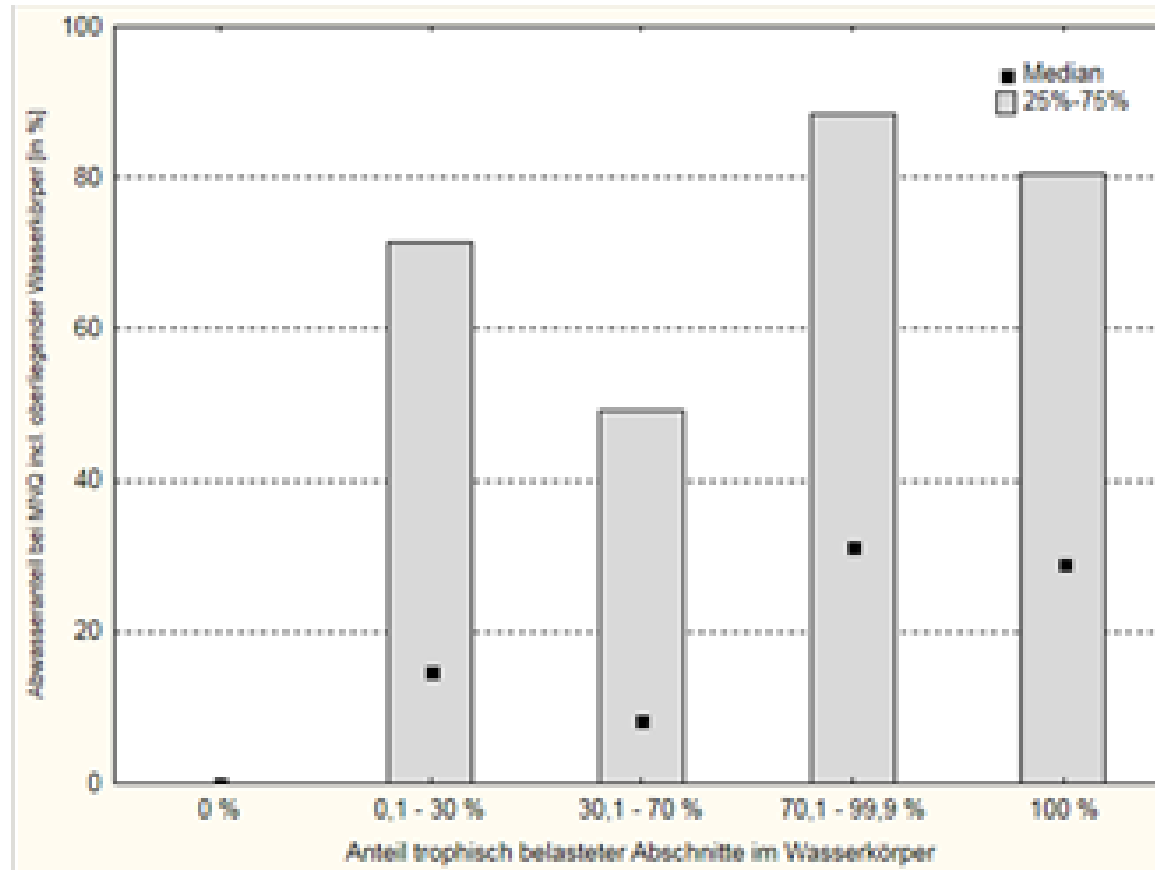
→ Sofern die Orientierungswerte mit den „höchsten Korrelationen“

- Wassertemperatur,
 - Sauerstoff,
 - Chlorid (≤ 75 mg/l),
 - Nitrit,
 - Gesamt-Phosphor &
 - o-Phosphat
- eingehalten werden,

solte keine Abwertung des ökologischen Gesamtzustands aufgrund der Kieselalgen/Makrophyten erfolgen.

Trophiekarte

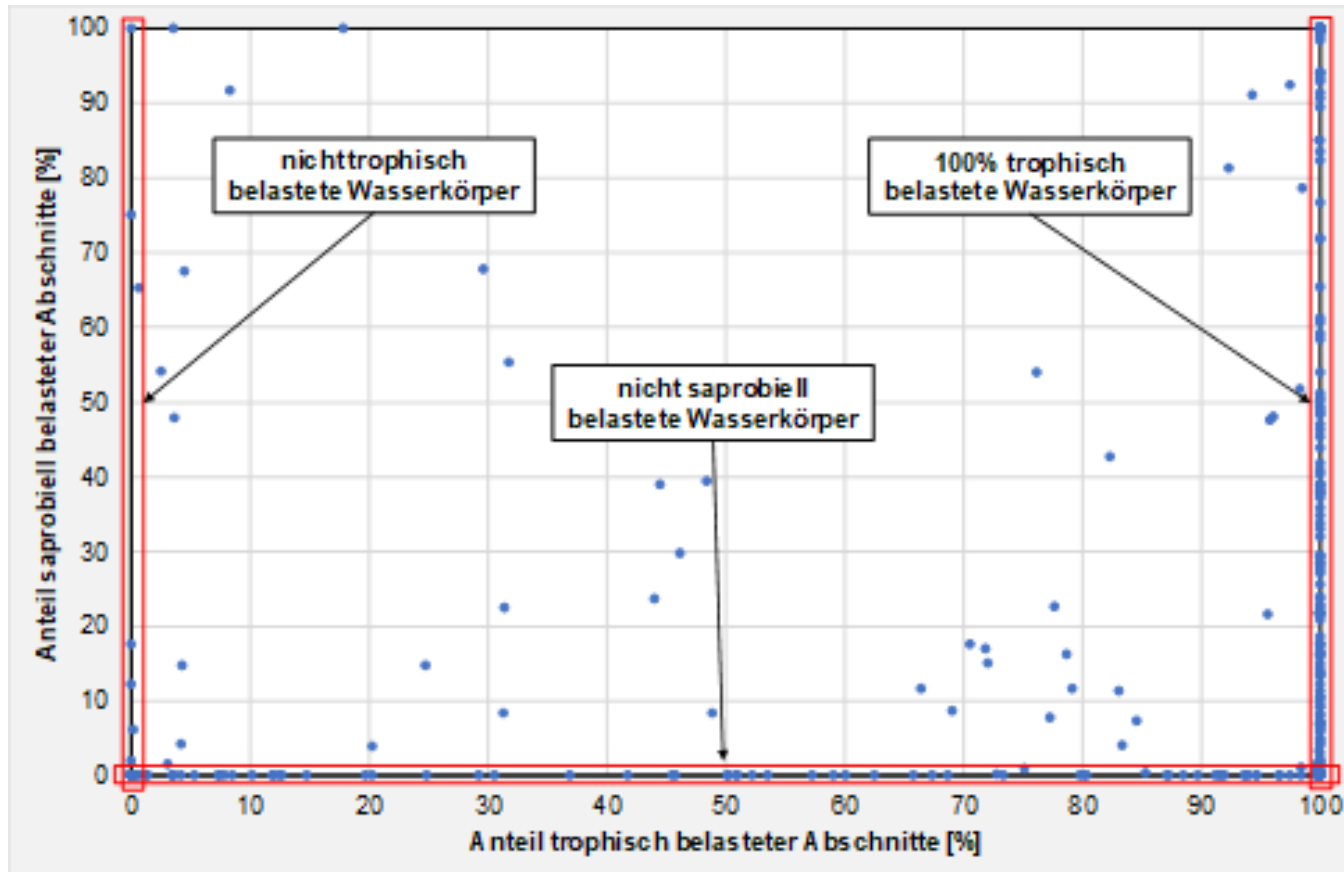
Analyse der trophischen Situation



Prozentualer Abwasseranteil bei MNQ (einschließlich oberliegender Wasserkörper) in Abhängigkeit zu den prozentualen Anteilen trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers

Trophiekarte

Analyse der trophischen Situation



Gegenüberstellung der prozentualen Anteile saprobiell und trophisch belasteter Gewässerabschnitte innerhalb eines Wasserkörpers