



©R.Oberhäuser/LANUV

Multiple Stressoren in Oberflächengewässern - *Priorisierung für ein zielgerichtetes Gewässermanagement* LANUV-Projekt (2020-2023)

Dr. Stefan Rhiem

19.06.2024

Multiple Stressoren

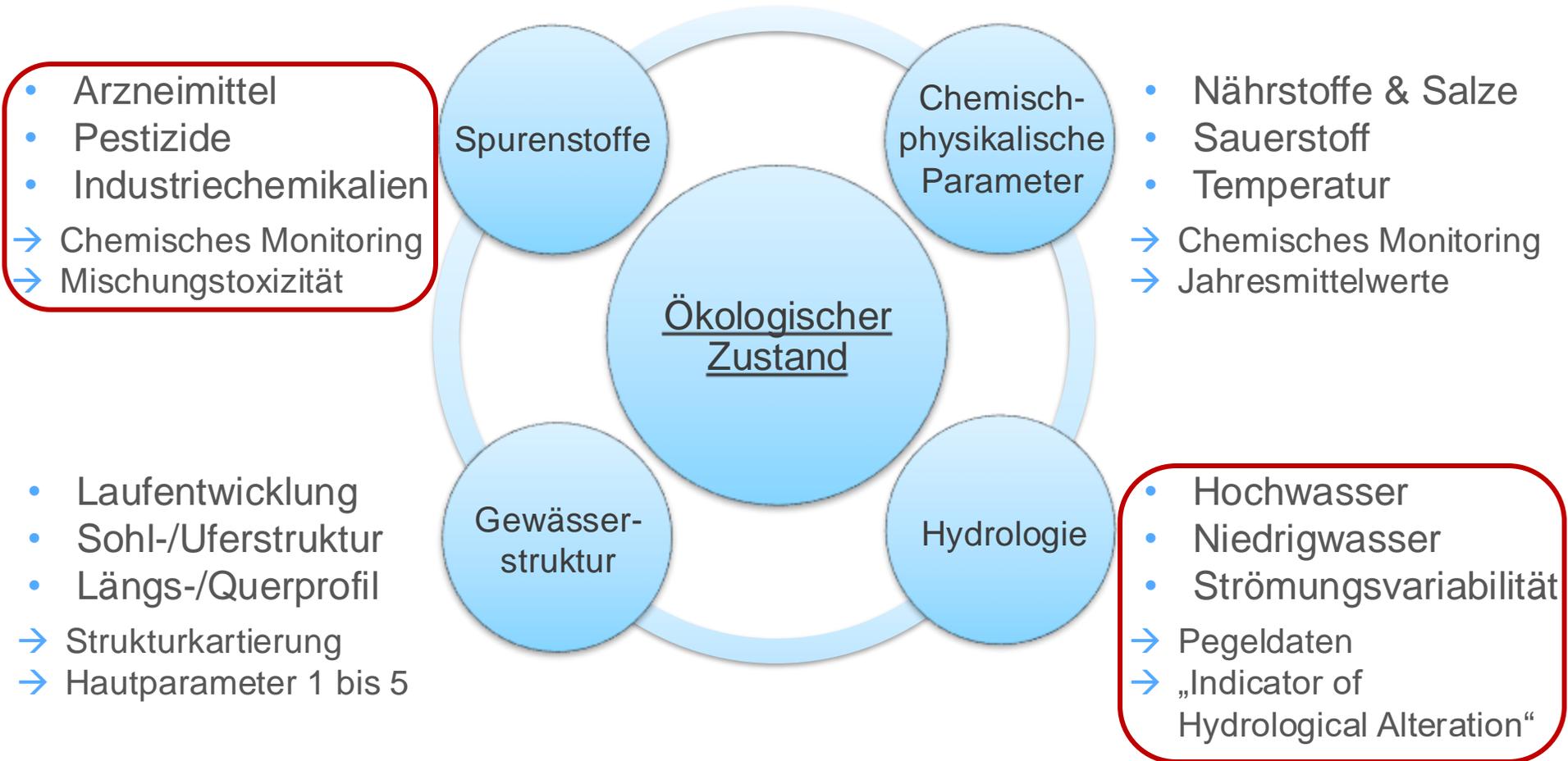
- Aquatische Lebensgemeinschaften werden durch eine **Vielzahl verschiedener Umweltfaktoren** beeinflusst
- **Flussgebietsmanagement** muss die Belastungen mit **multiple Stressoren** berücksichtigen
- Zur Auswahl geeigneter Maßnahmen sollten **Ursache-Wirkung-Beziehungen** untersucht werden



→ **Ziel:** Analyse und Ranking der Effekte multipler Stressoren auf Lebensgemeinschaften



Stressor-Auswahl



Exkurs: Mischungstoxizität

Toxic Units (TU)

$$TU = \frac{\text{Umweltkonzentration}}{\text{Ökotoxikologische Effektkonzentration}}$$

Mischungsrisikoquotient „RQ_{mix}“

$$RQ_{\text{mix}} = \sum TU * \text{Sicherheitsfaktor (SF)}$$

- Ansatz der Konzentrationsaddition
- Akutes Mischungsrisiko (Maximale Jahreskonzentration, EC₅₀, SF 100)
Chronische Mischungsrisiken (Mittlere Jahreskonzentration, EC₁₀/NOEC, SF 10)
- Spezifisch für einzelne biologische Qualitätskomponenten
Gesamtbewertung (anhand sensitivster Organismengruppe)



Exkurs: “Indicator of Hydrological Alteration”

- Berechnung anhand von Abflussdaten der Pegel
 - 171 IHA für fünf Hauptgruppen
 - „Magnitude of flow events“
 - „Frequency of flow events“
 - „Duration of flow events“
 - „Timing of flow events“
 - „Rate of change“
- Berechnung mit Hilfe des R Pakets “EflowStats” (Mills & Blodgett 2017)
- Reduzierte Auswahl anhand Literaturangaben und Hauptkomponentenanalyse (PCA)



Olden & Poff 2003: <https://doi.org/10.1002/rra.700>
Meißner *et al.* 2019: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.288>
EflowStats: <https://rdr.io/github/USGS-R/EflowStats/>

Bewertung des ökologischen Zustands

Bewertung anhand ökologischer Metrics

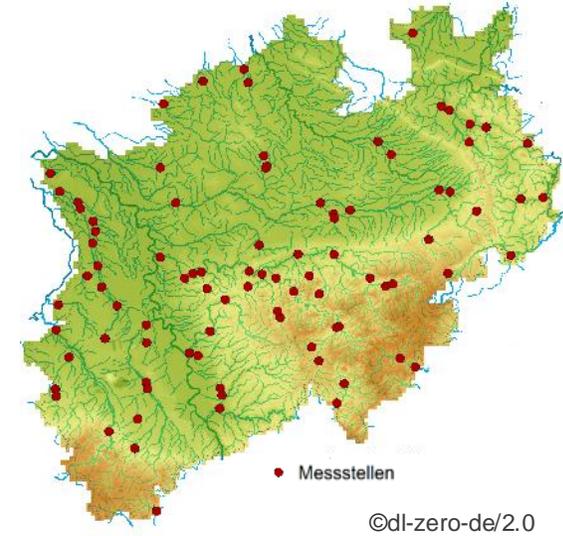
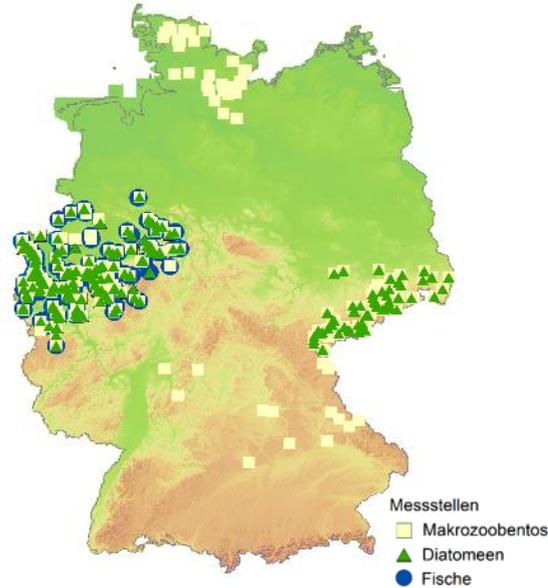
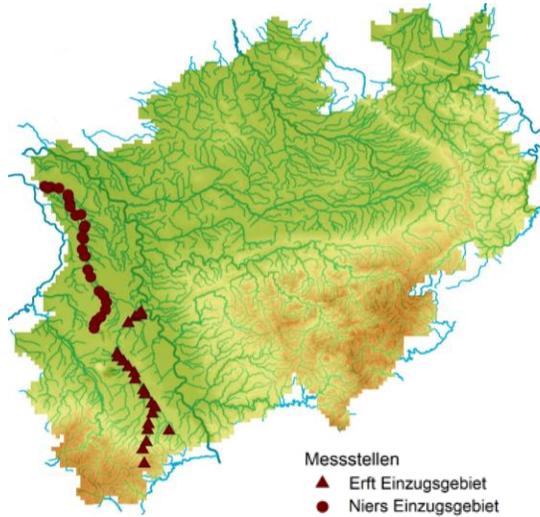
- Makrozoobenthos: *PERLODES*
- Diatomeen: *PHYLIB*, *Omnidia*
- Fische: *FiBS*, *EFI+*

Berücksichtigung verschiedener Metricgruppen

- Sensitivität
Trophie-, Saprobien-, Rheoindex, KLIWA, $SPEAR_{pest}$ [...]
- Funktion
Ernährungs- und Habitatspräferenzen [...]
- Abundanz und Diversität
Abundanz, Richness, Shannon-Wiener-Index [...]
- Integrierende Indices
Ökologische Zustandsklassen, MMI, Diatomeen-Index [...]



Teil-Projekte



Erft-/Niers-Datensatz

- WRRL Monitoring NRW, “Spurenstoffagenda Erft”
- Makrozoobenthos  (n = 49)
- Zeitraum: 2016/2017

→ Redundanzanalyse (RDA)

Erweiterter Datensatz

- NRW, Sachsen, Schleswig-Holstein, Bayern
- Makrozoobenthos (n = 249) 
- Diatomeen (n= 195) 
- Fische (n = 103) 
- Zeitraum: 2014 – 2020

→ Random Forest Regression

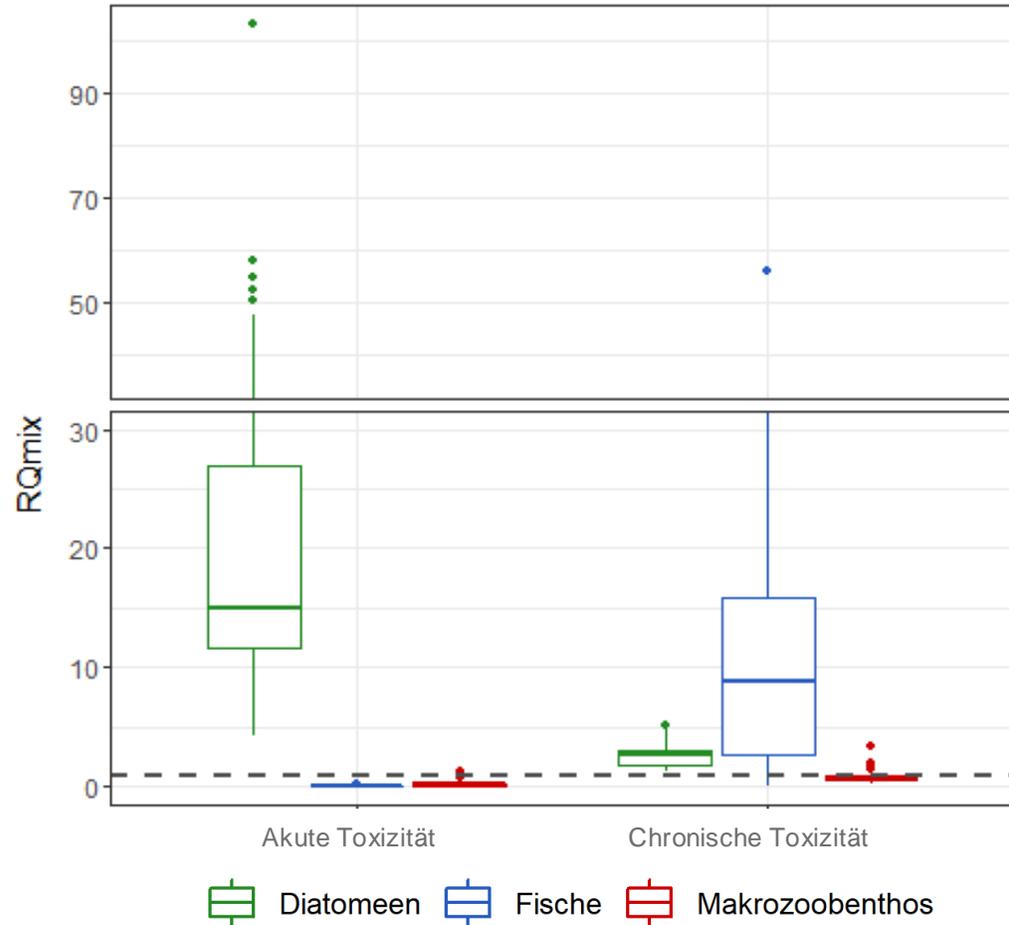
Detail-Datensatz

- WRRL Monitoring NRW
- Detailbetrachtung: Einfluss Abwasser
- Fische (n = 94) 
- Zeitraum: 2014 – 2020

→ Regressionsmodelle (LMM)



Ergebnis: Mischungstoxizität



Mischungsrisikoquotient RQ_{mix}

- Deutliche Unterschiede zwischen den Organismengruppen
- Hohe akute Risiken für Diatomeen (Herbizide, Arzneimittel)
- Hohe chronische Risiken für Fische (Arzneimittel)

→ **Problem:**
Potentielle Unterschätzung der Mischungsrisiken durch das Monitoringdesign (u.a. Stichproben)

Abb. 1: Berechnetes Mischungsrisiko (RQ_{mix})
(Beispielhaft für den Erft-/Niers-Datensatz)



Ergebnis: Stressorintensität

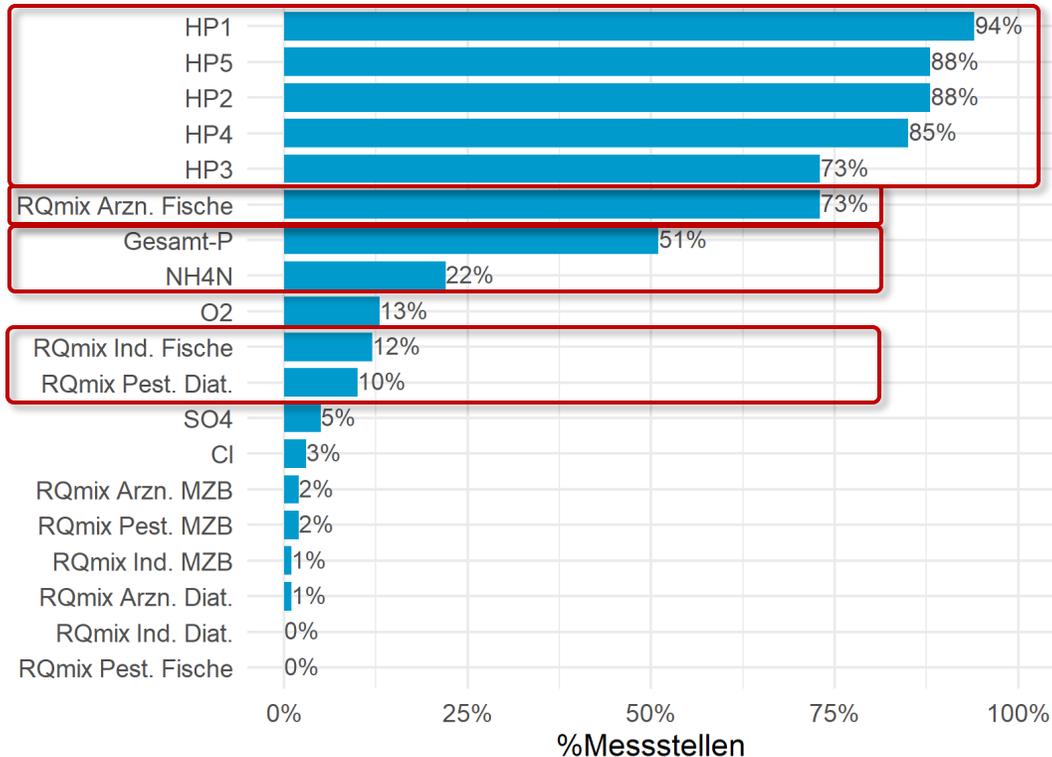


Abb. 2: Anteil an Beurteilungswert-Überschreitungen (Beispielhaft für den erweiterten Datensatz)

Beurteilungswert-Überschreitungen

- Mischungsrisiko für Diatomeen und Fische
- Hoher Anteil an Messstellen mit veränderter Struktur
- Häufige Überschreitungen bei Nährstoffen

Beurteilungswerte:

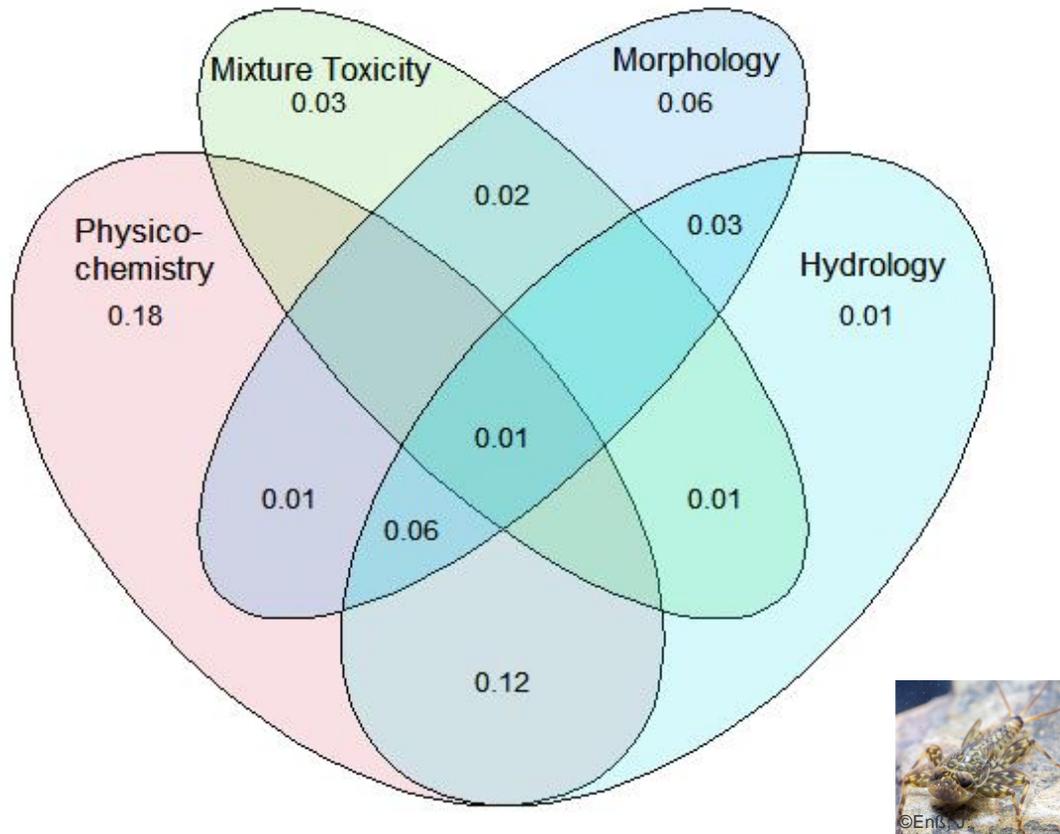
ACP typspezifisch nach OGewV

RQ_{mix} einheitlich > 1

Gewässerstruktur einheitlich > 2 (5-stufige Skala)



Ergebnis: Stressorhierarchie (Teil-Projekt 1)

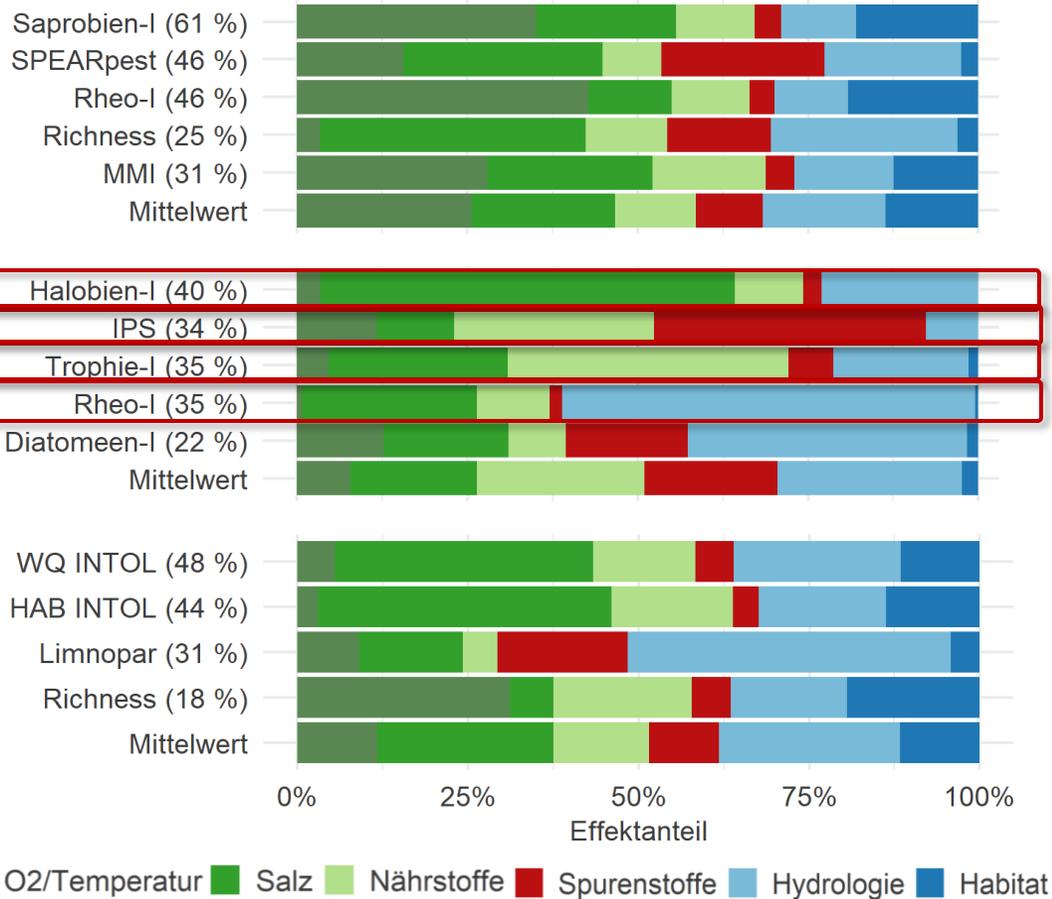


Redundanzanalyse & Varianzpartitionierung

- Erklärungsanteil des Modells: 51 %
- Erklärungsanteil Co-Variable (Gewässertyp): 28%
- Gesamt-Erklärungsanteil der Stressorgruppen ("Marginal Effects")
 - ACP (33 %)
 - Hydrologie (20 %)
 - Gewässerstruktur (17 %)
 - Spurenstoff-Mischungstoxizität (1 %)

Abb. 3: Venn-Diagramm der Varianzpartitionierung
Dargestellt sind die Einzeleffekte ("Partial Effects") der
Stressorgruppen, Abbildung aus Markert *et al.* 2023

Ergebnis: Stressorhierarchie (Teil-Projekt 2)



Random Forest Regression

- Erklärungsanteile zwischen 15 % und 64 %
- Unterschiede zwischen Metrics
- Muster bei allen drei Organismengruppen

- Hohe Effektanteile der ACP
- Deutliche Relevanz der Hydrologie
- Stark variierende Anteile der Spurenstoffe
- Geringerer Einfluss der Gewässerstruktur

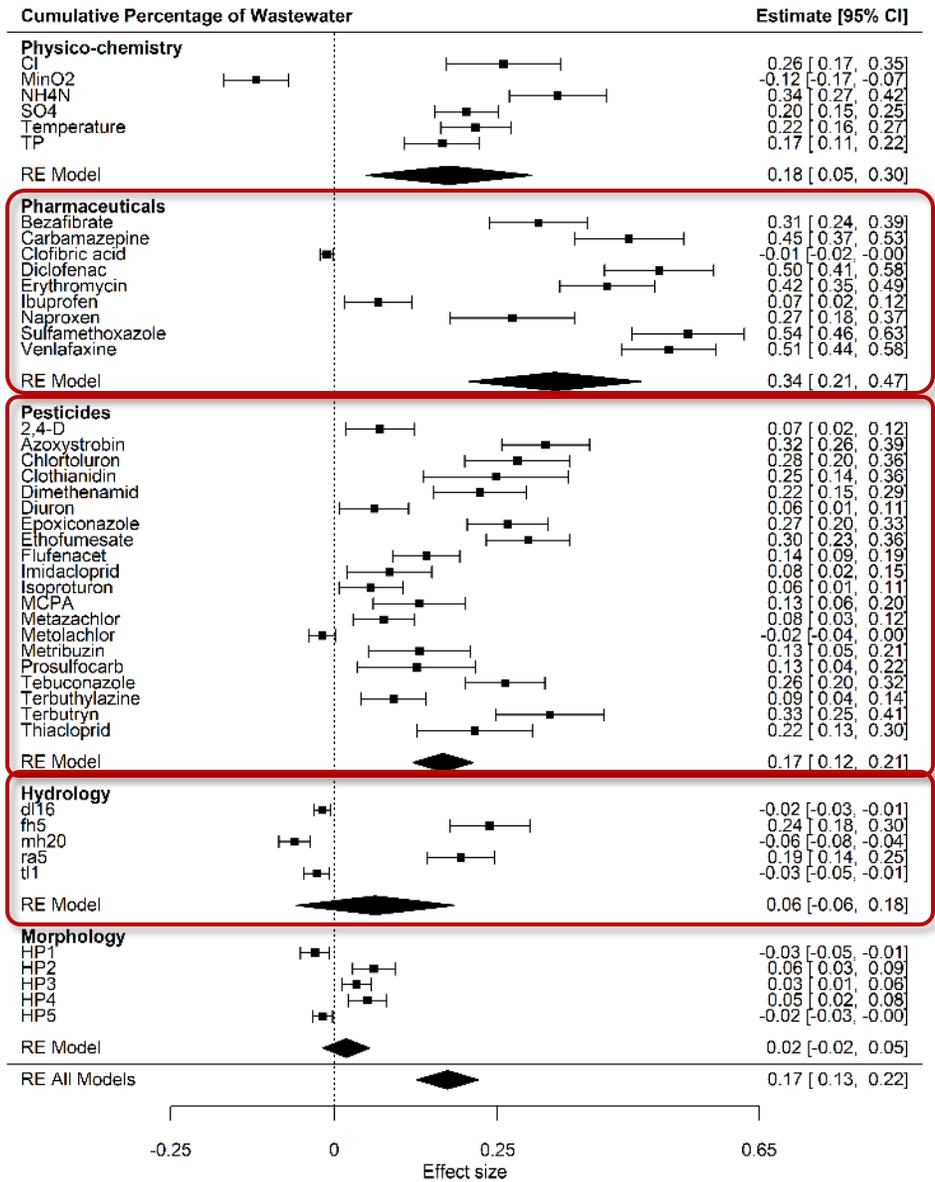
- Spezifische Antworten bei Sensitivitäts-Metrics
- „Metric-Design“ wird bestätigt

→ **Problem:**
 Geringe Erklärungsanteile in Modellen für die Fisch-Metrics (*FiBS*)

Abb. 4: Effektanteile der Stressorgruppen für ausgewählte Metrics, Abbildung bearbeitet aus Markert *et al.* 2024a



Ergebnis: Einfluss des Abwassers



Regressionsmodell

- Zusammenhang zwischen Abwasseranteil und Arzneimitteln (R^2 bis 0,54), u.a. Sulfamethoxazol, Diclofenac, Carbamazepin, Erythromycin, Venlafaxin
- Variabler Zusammenhang zu Pestiziden stärker u.a. für Terbutryn ($R^2 = 0,33$)
- Einfluss auf Hydromorphologie schwächer deutlich für Hochwasser-Frequenz (fh5) und Abflussvariabilität (ra5; R^2 bis 0,24)

Abb. 5: Forest Plots der Regressionsmodelle (LMM) für den Abwasseranteil (0,5 MQ/Q183) und die Stressorvariablen. Spurenstoffe wurden als Toxic Units aufgenommen, Abbildung aus Markert *et al.* 2024b.

Fazit: Stressorhierarchie

Dominierende Effekte der ACP in beiden Teil-Projekten

→ Hohe Relevanz der Wasserqualität für MZB, Diatomeen und Fische

Hohe Effektanteile der Hydrologie

→ Deutlicher Einfluss auf alle drei Organismengruppen erkennbar

→ Hydrologische Effekte anhand von Abflussdaten bewertbar

Schwierigkeiten in der Bewertung der Spurenstoffe

→ Effekte vor allem für Diatomeen und das Makrozoobenthos erkennbar

→ Sensitivitäts-Metrics (z.B. SPEAR_{pest} und IPS) zeigen Spurenstoff-Effekte

→ Potentielle Unterschätzung der Effekte durch das Monitoringdesign

→ Spurenstoff-Effekte in anderen Studien höher u.a. unter Berücksichtigung von ereignisbasierten Probenahmen oder modellierten Konzentrationen (Liess *et al.* 2021, Lemm *et al.* 2021)



Relevanz für das Gewässermanagement

Hohe Relevanz der Wasserqualität und der Hydrologie

→ Verbesserung der Gewässerstruktur voraussichtlich nicht ausreichend



Berücksichtigung der Ursache-Wirkung-Beziehung zur Maßnahmenplanung

→ Ableitung genereller Stressorzusammenhänge anhand großer Datensätze

→ Betrachtung spezifischer Fragestellungen mit limitierter Stressorauswahl

Unterschiede im Stressor-Ranking zwischen Metrics/Organismengruppen

→ Kombination sensibler Metrics verschiedener Organismengruppen notwendig



Relevanz für das Gewässermonitoring

Ungleiche Verfügbarkeit sensitiver Metrics

- Berücksichtigung zusätzlicher wissenschaftlicher Metrics ggf. Integration weiterer Metrics in Bewertungssysteme
- Ableitung ergänzender Stressor-spezifischer Metrics (z.B. für Fische)

Potentielle Unterschätzung des Spurenstoff-Risikos im WRRL-Monitoring

- Verbesserung der Risikobewertung (in ausgewählten Gewässerabschnitten), z.B. ergänzende Sondermessprogramme mit ereignisbasierter Probenahme und einer einheitlichen Anzahl gemessener Substanzen

Berücksichtigung der Effekte des Abflussregimes

- Bewertung anhand der IHA über Pegelraten möglich (R Paket verfügbar)
- Einheitliche Auswahl und Ableitung von Referenzwerten für IHA empfohlen



Relevanz für das Gewässermonitoring



Limitierte Weiterverwendung der WRRL-Monitoringdaten

- Fehlende räumliche und zeitliche Übereinstimmung z.B. des biologischen und chemischen Monitorings der Spurenstoffe
- Hohe Anzahl an Datenlücken und Heterogenität des Datensatzes
- Verbesserung von Multi-Stressor-Auswertungen durch abgestimmte, umfangreiche Sondermessprogramme
- Eindeutige Messstellenzuordnung verschiedener Monitoringprogramme unter Berücksichtigung regionaler Einflussfaktoren (z.B. Einleitungen)



Literatur

- LANUV-Fachbericht 153
- Fachveröffentlichungen der Stressoranalysen
Markert *et al.* 2022 Environ. Sci. Eur. 34:100
Markert *et al.* 2024a Sci. Total Environ. 907:167994
- Veröffentlichung zum Abwasser-Einfluss
Markert *et al.* 2024b Water Research. 260:121914

Alle Informationen & Veröffentlichungen:
www.lanuv.nrw.de/umwelt/oekotoxikologie



Danke!

Dr. Nele Markert, Dr. Barbara Guhl, Dr. Christian K. Feld

Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

