

## **Abfluss, Konzentration, Exposition – was ist aus biologischer Sicht maßgebend?**



Dr. rer. nat. Mario Sommerhäuser  
Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen  
sommerhaeuser.mario@eglv.de  
+49 201 104 2564



Dr. rer. nat. Nadine Gerner  
Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen  
gerner.nadine@eglv.de  
+49 201 104 2522

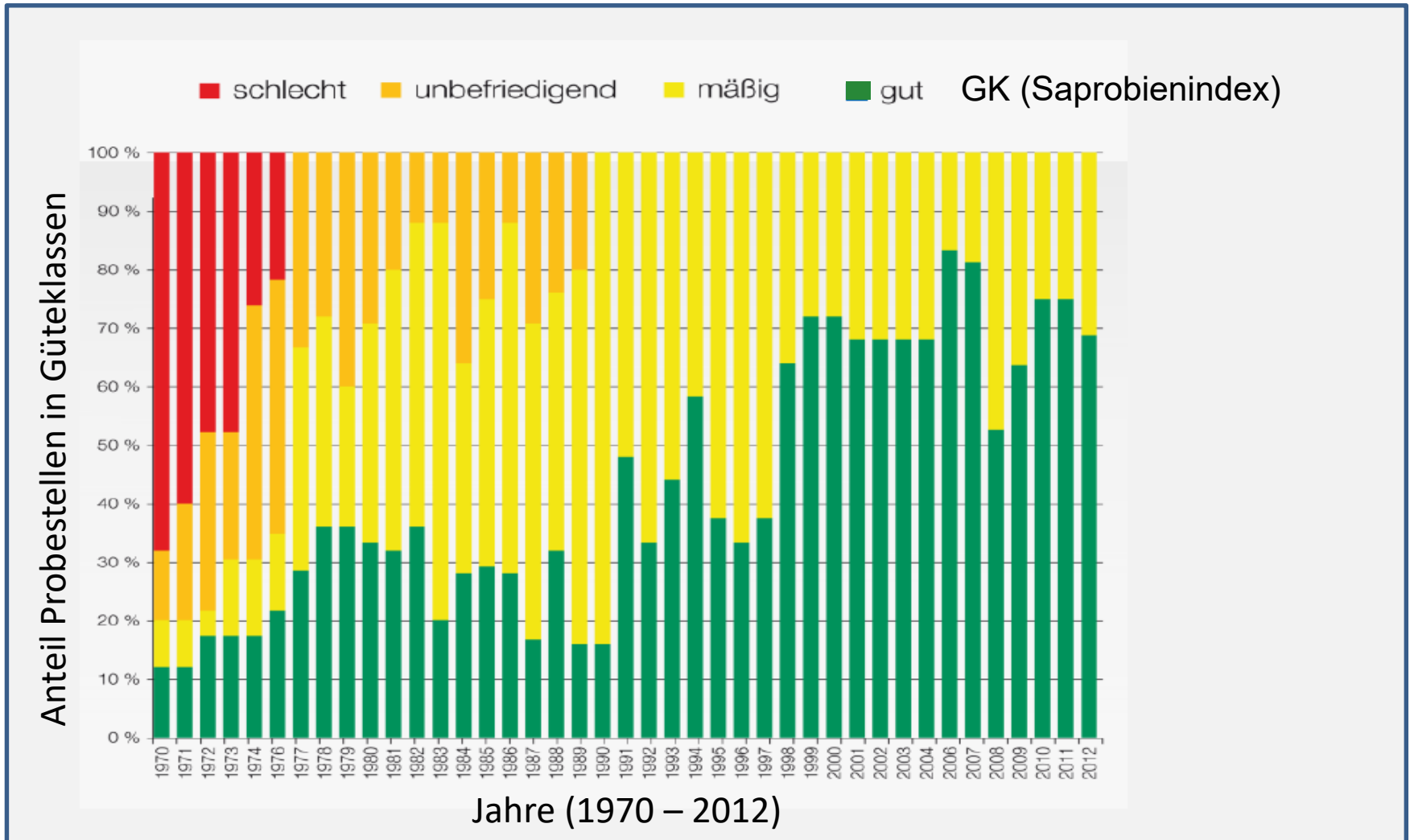
## Früher: klare Stressoren ...



Schaumberge auf der  
Lippe, 1964

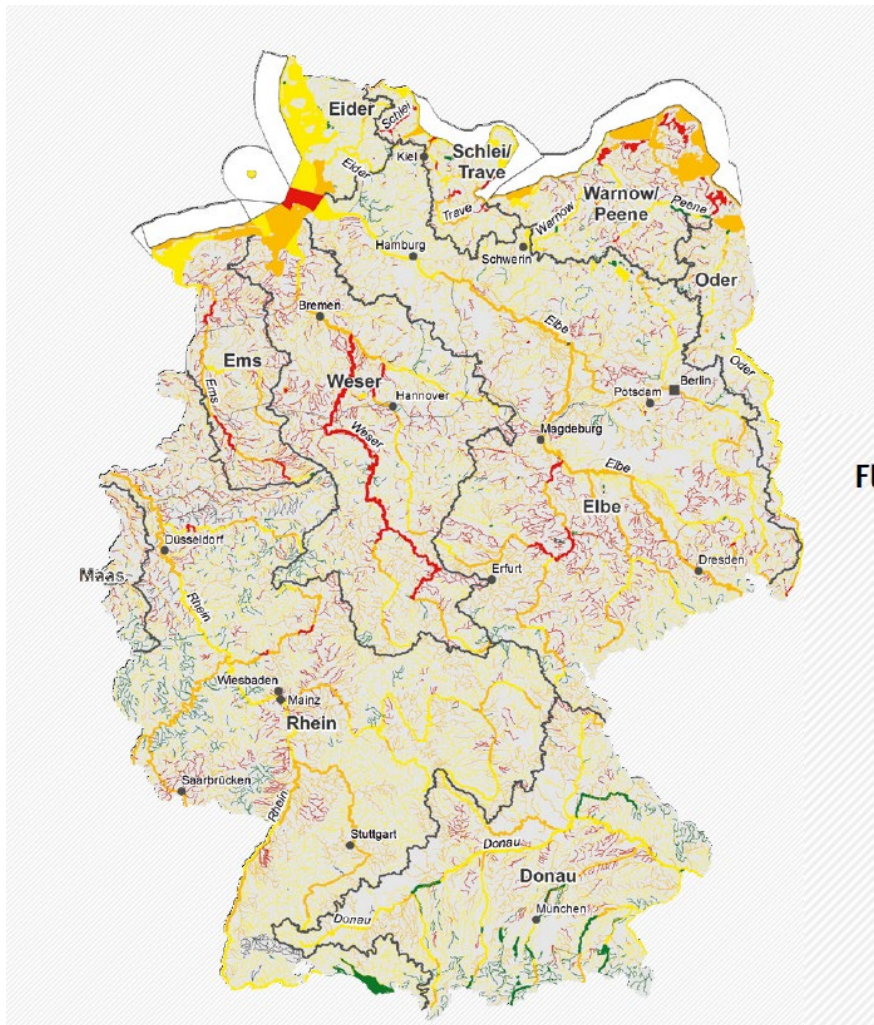
# ... und „einfache“ Lösungen

Beispiel: Verbesserung der Wasserqualität der Lippe durch Kläranlagenausbau in den 1990-ern



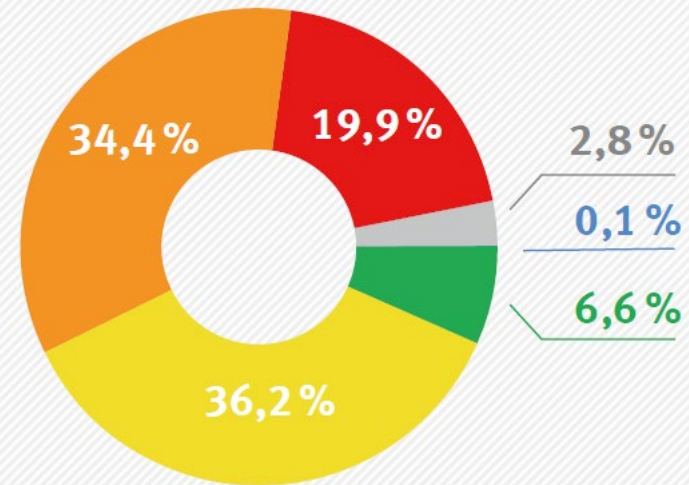


# Heute: Ganzheitliche Betrachtung aller Stressoren - Das Bild kehrt sich um



## Ökologischer Zustand der Fließgewässer (2016)

Flüsse (n = 8995)

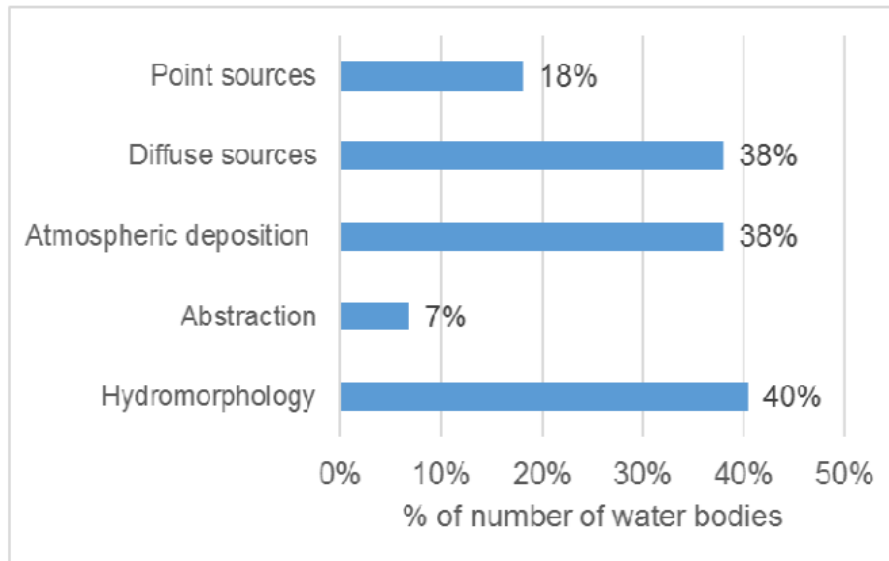


Quelle: BMUB/UBA 2016: Die Wasserrahmenrichtlinie – Deutschlands Gewässer 2015. Bonn, Dessau

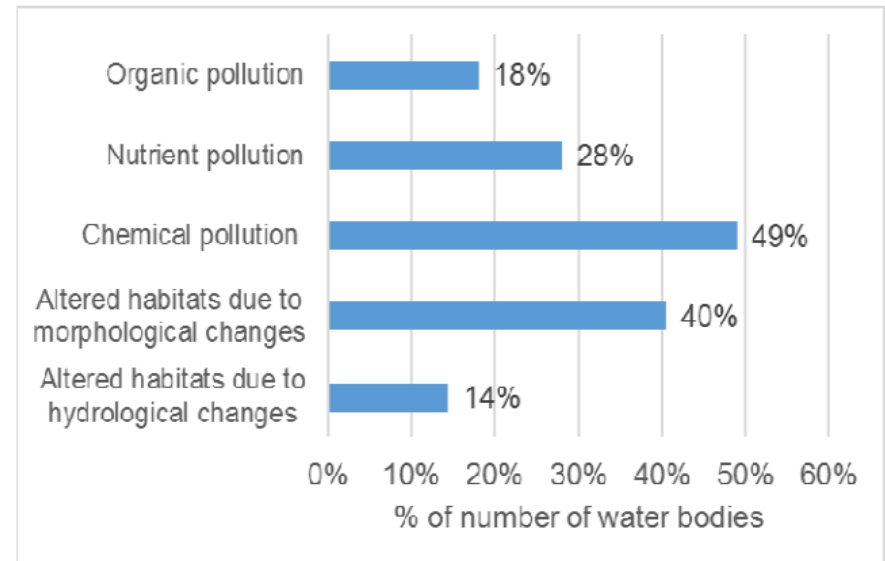
# Gewässer in Europa – Ursachen der Zielverfehlung

## Multipel statt monokausal

### Treiber:



### Stressoren:



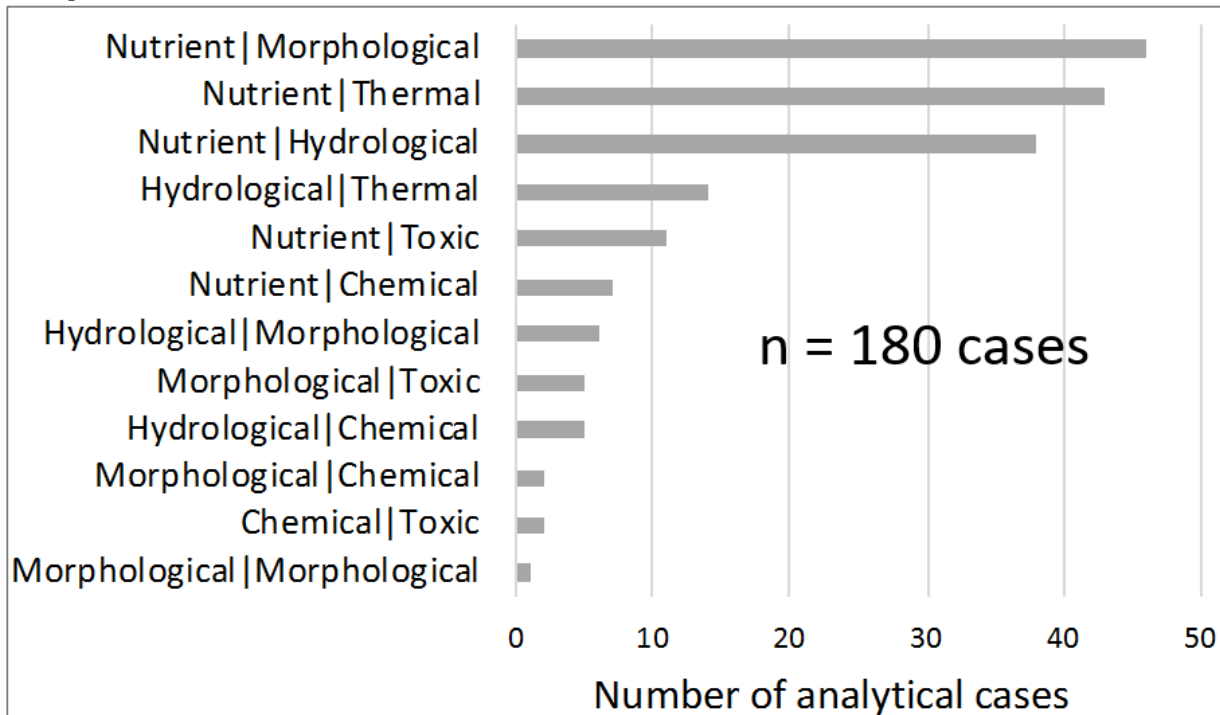
**66 % der Wasserkörper haben multiple Belastungen**

Quelle: Dr. U. Schmedtje, WRRL-Symposium 5./6.09.2018;  
EEA (2018): European waters – Assessment of status and pressures 2018

# Gewässer in Europa – Ursachen der Zielverfehlung

## Multipel statt monokausal

### Gepaarte Stressoren:



Quelle:  
S. Birk

***„Understanding and predicting of the effect of multiple stressors presents one of the most pressing challenges in conservation and applied ecology.“***

Quelle: R. Schäfer, Glob. Change. Biol. 2018: 1-10

# Grundüberlegungen und Vorgehensweise

- 1. Zustand:** Ökosysteme sind komplex,  
Belastungen sind multipel
- 2. Bestandsaufnahme:** Wo kommen die Stoffe her,  
Wie wirken Sie?
- 3. Diagnose:** Tools aus der Forschung
- 4. Therapie:** Bewertungs- und Maßnahmenvorschläge

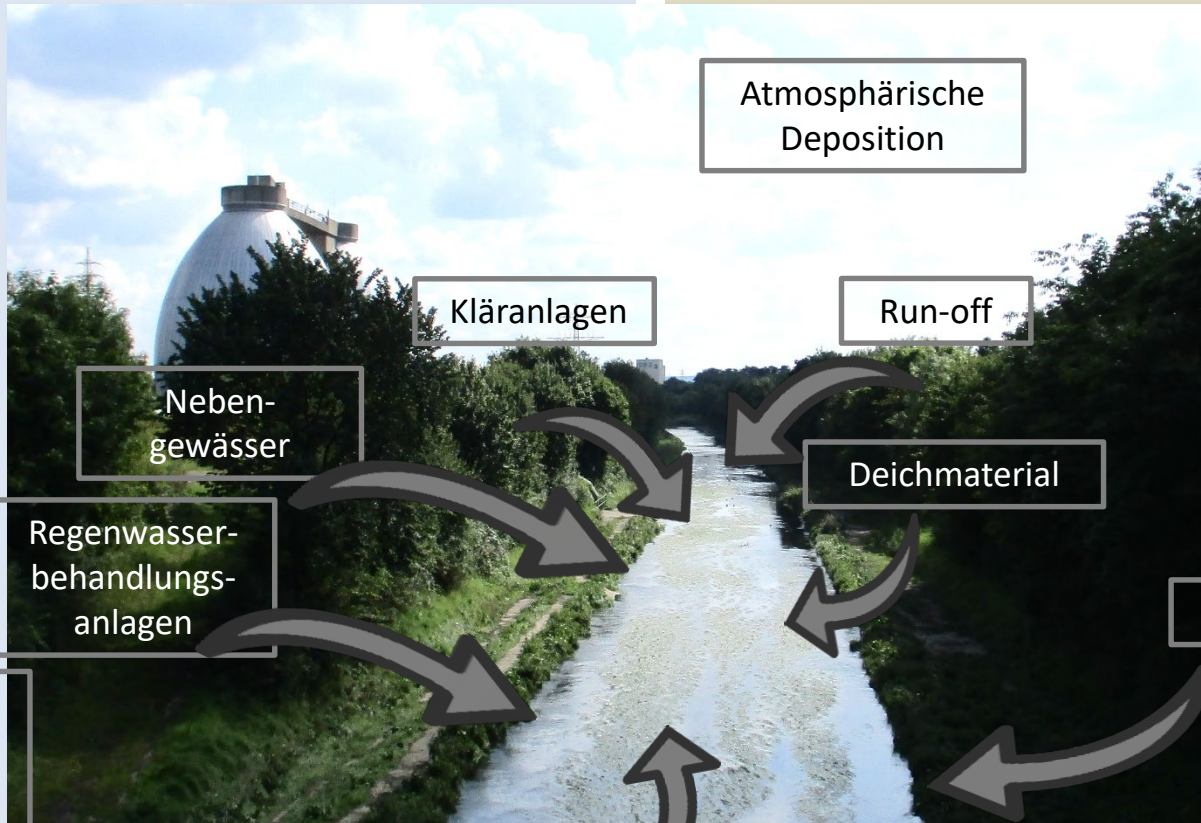




# Herkunft von Stoffen in den Gewässern

Punktquellen

Diffuse Quellen



Atmosphärische  
Deposition

Kläranlagen

Run-off

Neben-  
gewässer

Deichmaterial

Regenwasser-  
behandlungs-  
anlagen

Altlasten

Direkteinleiter  
(z. B. Kühlwasser,  
Niederschlags-  
wasser aus  
Trenngebiet  
und Autobahnen)

Gewässersohl-Substrat

Grundwasser



# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise



## Stoffeigenschaften

- Konzentration
- Lipophilität
- gelöst/gebunden
- Abbau/Verfall
- Transformationsprozesse

# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise

## Exposition & Wirkungsweise

Stoff



Ökologische  
Effekte

### Stoffeigenschaften

- Konzentration
  - Lipophilie
  - gelöst/gebunden
  - Abbau/Transformationsrate
  - Transportverhalten
- Chemisch-physikalische Bedingungen**
- pH
  - Wasserhärte
  - Temperatur
  - Liganden (organisch/anorganisch)
- **Bioverfügbarkeit**

# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise

## Exposition & Wirkungsweise

Stoff



Ökologische  
Effekte

### Stoffeigenschaften

- Konzentration
- Lipophilie
- Löslichkeit
- Abbaubarkeit
- Transformationsverhalten

### Chemisch-physikalische Bedingungen

- pH
- Wasserhärte
- Temperatur
- Liganden (organisch/anorganisch)

→ Bioverfügbarkeit

### Wirkung

- mechanisch/toxisch
- akut/chronisch
- neurotoxisch/ kanzerogen/...
- Mischtoxizität

# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise

## Exposition & Wirkungsweise

Stoff



Ökologische  
Effekte

### Stoffeigenschaften

- Konzentration
- Lipophilie
- gelöst/gebunden
- Abbau/Transformationsrate
- Transferrate

### Chemisch-physikalische Bedingungen

- pH
- Wasserhärte
- Temperatur
- Liganden (organisch/anorganisch)

→ Bioverfügbarkeit

### Wirkung

- mechanisch
- akut/chronisch
- neurotoxisch
- Mischtoxizität

### Räumlich & Zeitliche Prozesse

- Abfluss
- Fracht
- Wasserphase/Sediment?
- Expositionsdauer (akut/chronisch?)

→ Exposition

# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise

## Exposition & Wirkungsweise

Stoff



Ökologische  
Effekte

### Stoffeigenschaften

- Konzentration
- Lipophilie
- gelöst/gebunden
- Abbau/Transformationsrate
- Transferrate

### Chemisch-physikalische Bedingungen

- pH
- Wasserhärte
- Temperatur

### Wirkung

- mechanisch
- akut/chronisch
- neurotoxisch
- Mischtoxizität

### Räumlich & Zeitliche Prozesse

- Abfluss
- Fracht
- Wasserphase/Sedimentation
- Expositionsdauer

→ **Exposition**

### Arteigenschaften

- Traits (Arten-Steckbriefe)
  - Lebensphase (aquatisch?)
  - Habitat (Wasserphase/Sedimen?)
  - Sensitivität (Abbaumechanismen?)
- Überlagerung mit weiteren Stressoren



# Vom Stoff zum Effekt: Die Komplexität der Wirkungsweise

## Exposition & Wirkungsweise

Stoff



Ökologische  
Effekte

### Stoffeigenschaften

- **Konzentration**
  - Lipophilie
  - gelöst/gebunden
  - Abbau/Transformationsrate
  - Transferrate
- Chemisch-physikalische Bedingungen**
- pH
  - Wasserhärte
  - Temperatur
  - Liganden (organisch/anorganisch)
- **Bioverfügbarkeit**

### Wirkung

- mechanisch
  - akut/chronisch
  - neurotoxisch
  - Mischtoxizität
- Räumlich & Zeitliche Prozesse**
- **Abfluss**
  - Fracht
  - Wasserphase/Sediment
  - Expositionsdauer

→ **Exposition**

### Arteigenschaften

- Traits (Arten-Steckbriefe)
  - Lebensphase (aquatisch?)
  - Habitat (Wasserphase/Sedimen?)
  - Sensitivität (Abbaumechanismen?)
- Überlagerung mit weiteren Stressoren

# Der Stoff im Gewässer

Was ist relevant –  
**Konzentration** oder **Fracht**?

$$F_r = \int_{t_0}^{t_1} c(t) \times Q(t) dt$$

Zeit

Fracht    Konzentration    Durchfluss

**Stoff:**  
Eigenschaften

gebundene  
Stoffe

Verhalten  
sich  
anders als

lösliche, mobile  
Stoffe

**Beispiel:** Phosphor  
PAKs

**Beispiel:** Sauerstoff  
Ammonium/Ammoniak

**Gewässer:**  
Räumlich-  
zeitliche  
Prozesse

Transport /  
Transformation /  
Abbau

Verdünnung /  
Akkumulierung

Dynamik des  
Abflusses

Sedimentation /  
Mobilisierung

beeinflussen das Verhalten im Gewässer und damit die **Exposition**

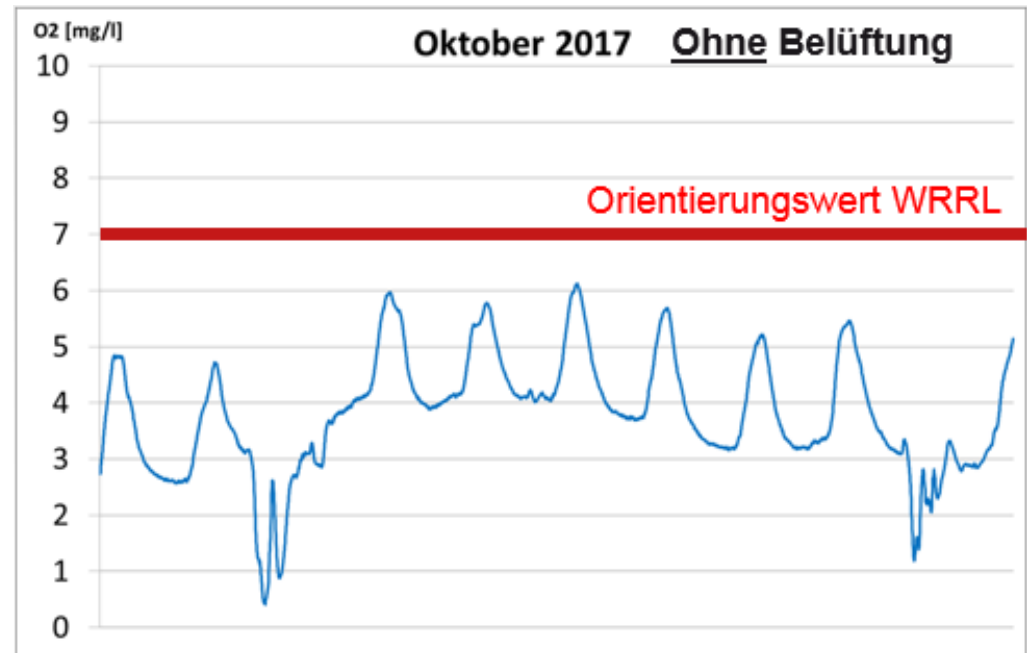
# Konzentration: lösliche Stoffe

## Beispiel:

Emscher Versuchsstrecke,  
Dortmund-Deusen



## Sauerstoff-Konzentration



- Kurzzeitwirkung von Sauerstoffmangel
- Langzeitwirkung von Sauerstoffmangel



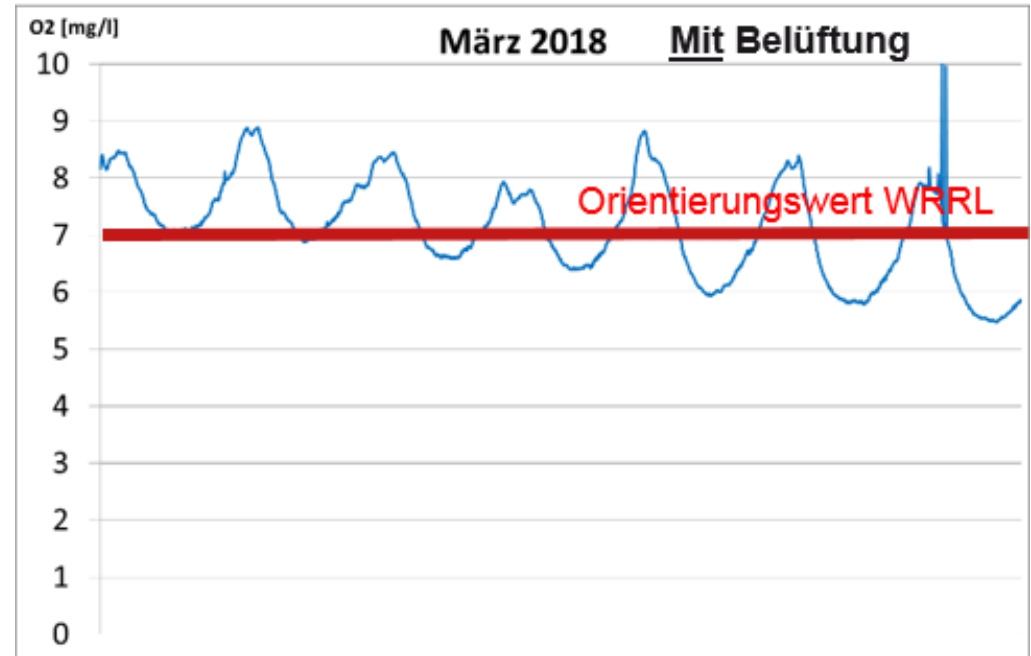
# Konzentration: lösliche Stoffe

## Beispiel:

Emscher Versuchsstrecke,  
Dortmund-Deusen



## Sauerstoff-Konzentration



- Kurzzeitwirkung von Sauerstoffmangel
- Langzeitwirkung von Sauerstoffmangel

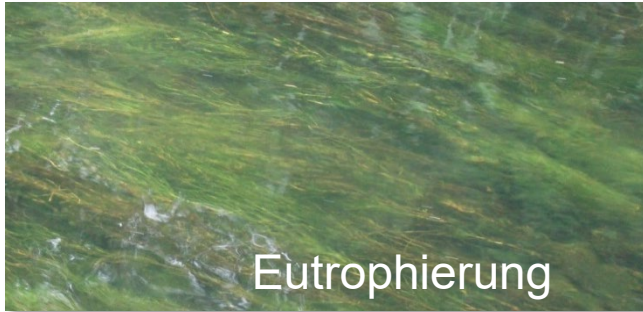




# Fracht: gebundene Stoffe

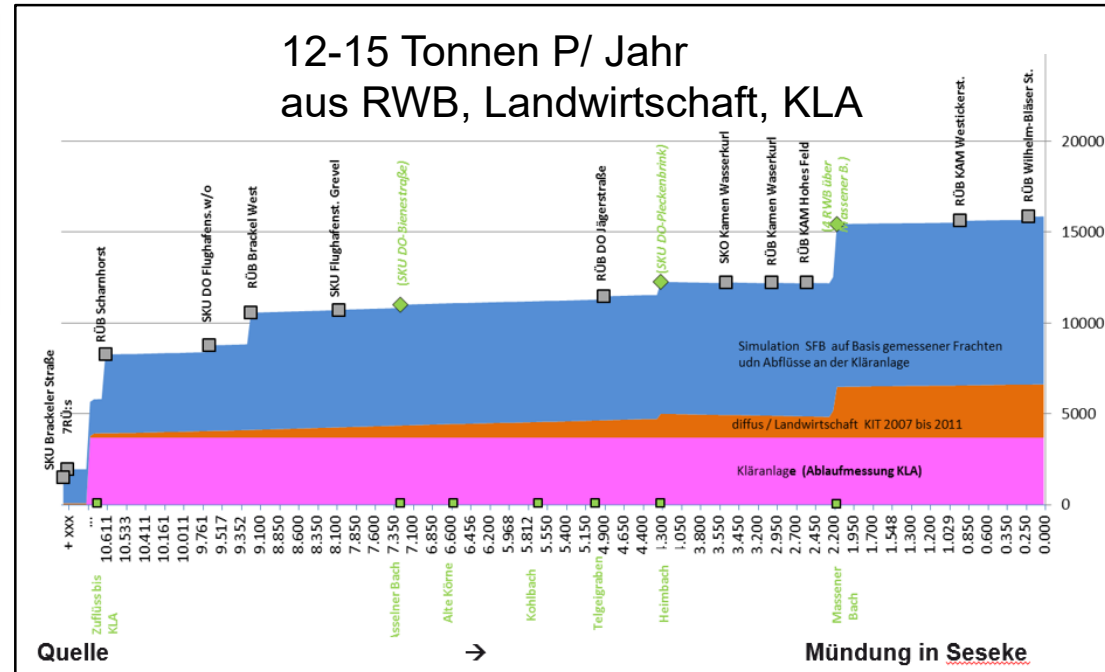
## Beispiel:

Körne



## Phosphorfrachten

12-15 Tonnen P/ Jahr  
aus RWB, Landwirtschaft, KLA



- Langzeitwirkung über Pflanzenwachstum
- Eutrophierung
- sekundäre Eutrophierung



## Herausforderungen:

- multiple Stressoren wirken gemeinsam – Biologie **integriert Effekte**
- **gleichzeitiges Auftreten** von Stressoren, hohe Unsicherheiten
- Auswertung über **Grenzwerte** (Umweltqualitätsnormen/UQNs) stellt Einzelstoffbetrachtung dar
- begrenzt auf 45 Substanzen plus einzugsgebietspezifische Schadstoffe  
(Gallé et al., HW, 2018)
- Herleitung der UQNs basierend auf teilw. mangelnder **Datengrundlage**
- Mischtoxizität auf Organismen und **Sensitivitätserhöhung** für Organismen durch zusätzliche Stoffe/Stressoren nicht berücksichtigt  
(Liess et al.)

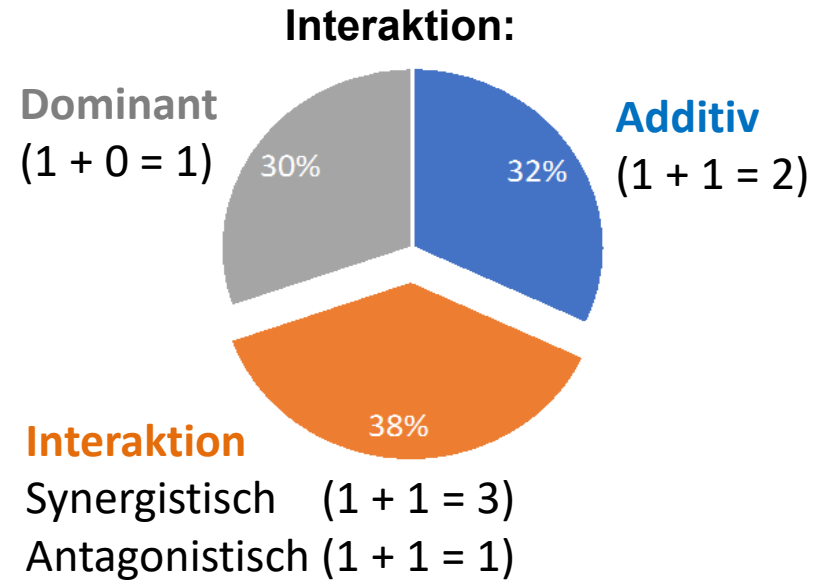
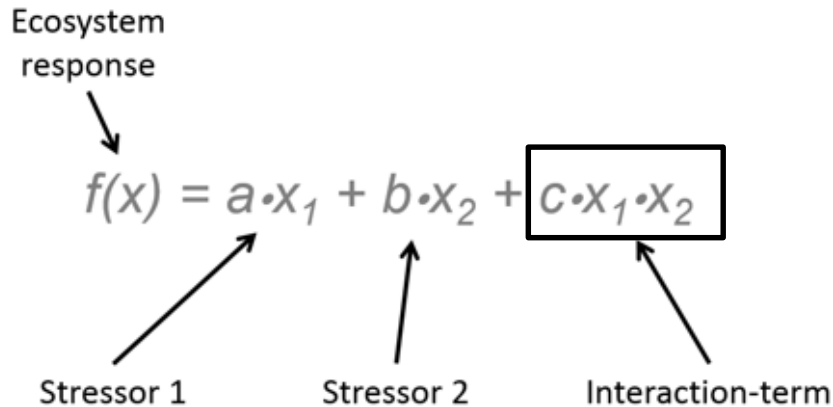


## Diagnose-Tools:

- 1) Multivariate Statistik
- 2) Varianz-Partitionierung
- 3) Bayes'sche Modelle
- 4) Orientierung an Sensitivität von Arten
- 5) Orientierung an Traits von Arten
- 6) Effekt-basiertes Monitoring
- 7) Schwellenwert-Ableitung aus Monitoringdaten

# Diagnose-Tool (1/7): Varianz-Partitionierung

**Varianz-Partitionierung der Effekte multipler Stressoren anhand umfangreicher Freiland-, Mesokosmen-, Labordaten:**

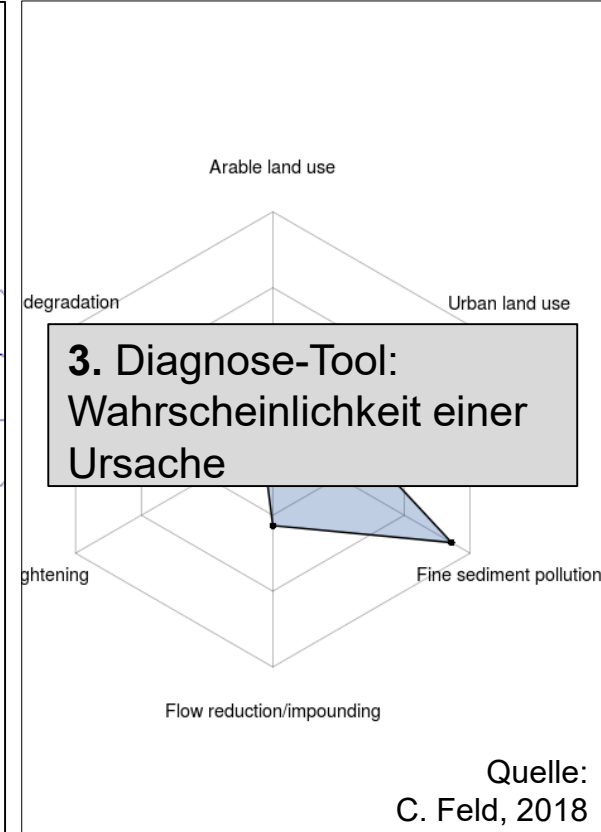
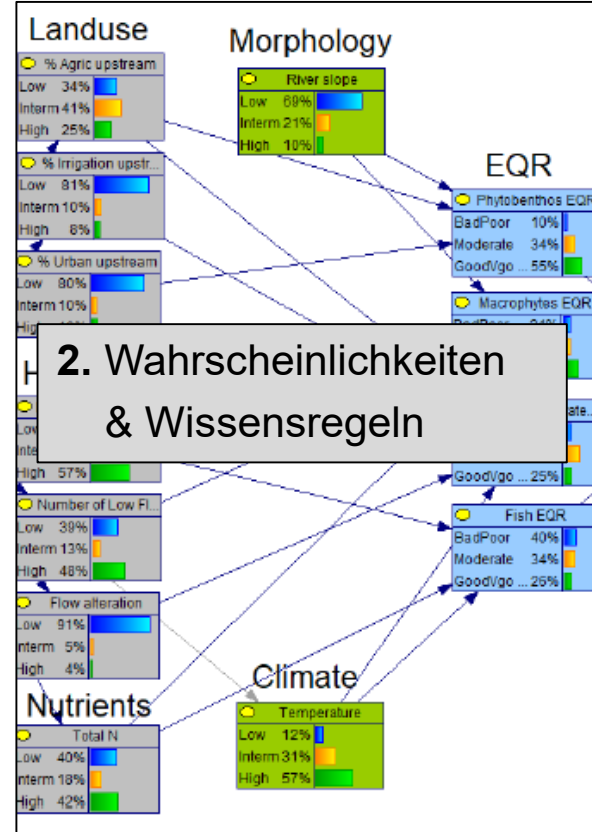
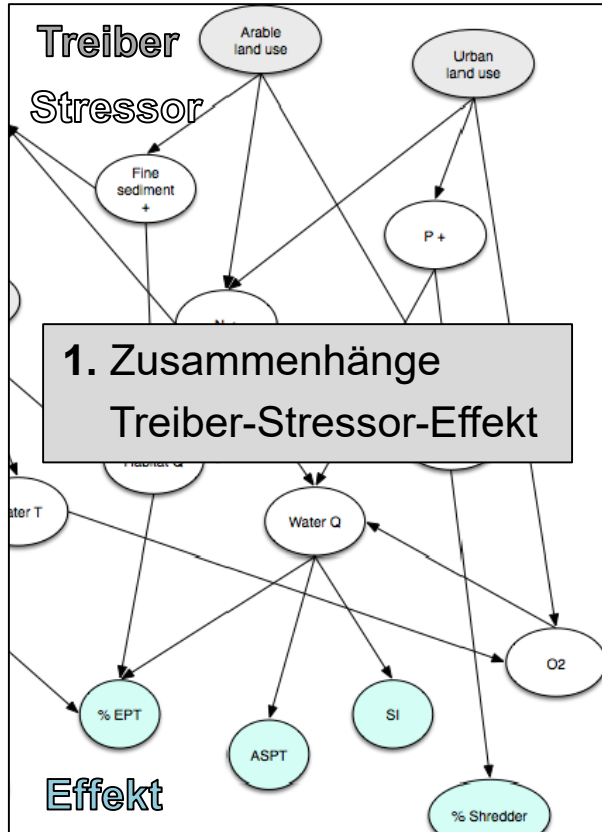


Quelle:  
S. Birk, 2018

**Ansatz:** berechnet anhand von Effektgrößen die Interaktion zwischen Stressoren

**Einschränkungen:** Anteil unerklärter Varianz hoch, rein statistische Auswertung

# Diagnose-Tool (2/7): Bayes'sche Modelle



**Ansatz:** basiert auf Zusammenhängen zwischen Ursache und Wirkung und deren Wahrscheinlichkeiten

**Einschränkungen:** selten monokausale Gradienten vorhanden

# Diagnose-Tool (3/7): Orientierung an Traits von Arten

## Traits („Steckbriefe“):

Morphologie	Lebenszyklus	Verhalten	Habitat
Körpergröße	Lebensdauer	Atmung	Präferenz für Gewässerzone
Körperform	Voltinismus/ Anzahl Generationen	Fort- bewegungsart	Präferenz für Mikrohabitat
	Aquatische Stadien	Nahrungs- präferenz  Ernährungs- weise	



Quelle:  
Haase et al., 2011

## Beeinflussung durch Stressoren:

Stressor type	Change of relative abundance
<u>Organic pollution</u> +	spiracle (air) +
Temperature -	growth -
<u>Heavy metals</u> +	small body -
Flow +	small body +
Flow +	streamlined body +
Flow -	large body +
Flow -	swimming +
Fine sediments +	burrowing +
Riparian forest -	shredder -
Cargo-ship traffic +	attachment +
Etc.	

Quelle:  
Statzner & Beche, 2010

**Ansatz:** Umweltbedingungen/ Stressoren beeinflussen verschiedene Traits und damit Ökosystemfunktionen

**Einschränkungen:** umfangreiches Wissen über Arten nötig, gewisse Traits und Stressoren kommen jeweils im „Bündel“ vor – keine eindeutige Indikation

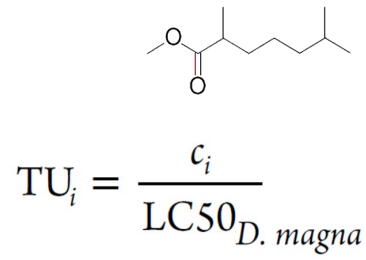


# Diagnose-Tool (4/7): Orientierung an Sensitivität von Arten



**SPEcies At Risk (SPEAR)**

**Toxic Units (TU)**



*Daphnia magna*



**im Labor gezeigte Sensitivitäten**

**Sensitivität und weitere Traits**

**Toxizität gegenüber Standard-Testorganismen**

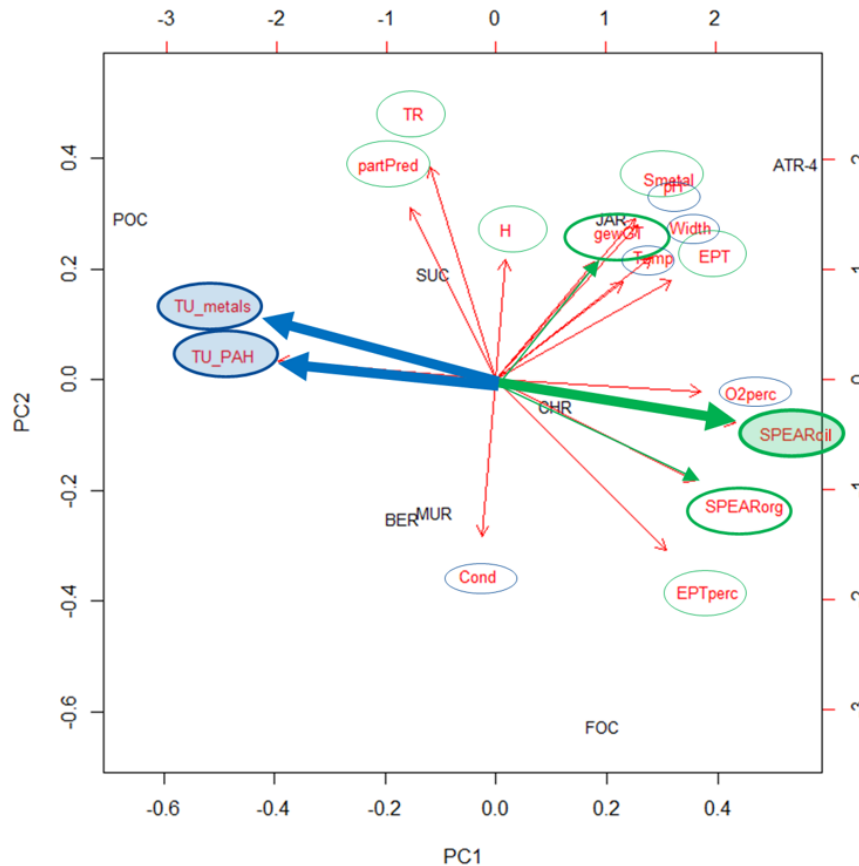
Quelle:  
M. Liess/ P. von der Ohe

Quelle:  
Sprague, 1970

**Ansatz:** art- und teilweise stoffgruppenspezifische Dosis-Wirkungs-Beziehung

**Einschränkungen:** Labortests nötig, meist nur wenige Standardtestorganismen, Übertragung von Labor auf Freiland, Co-Korrelationen

# Diagnose-Tool (5/7): Multivariate Statistik



## Darstellung von:

### Stressoren

- Stofflich
- Hydro-morphologisch
- Chemisch-physikalisch
- ...

### Effekte auf Artengemeinschaft

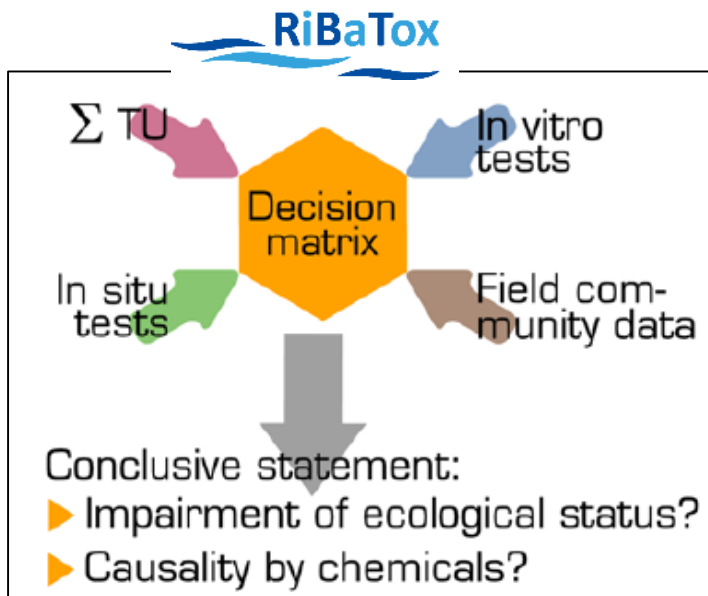
- Taxonomie-basiert
- Trait-basiert
- ...

Quelle:  
N. Gerner, 2017

**Ansatz:** Visualisierung, Ähnlichkeitsberechnung anhand von Artinformationen und Stressoren

**Einschränkungen:** Co-Korrelationen möglich, keine Kausalitätsbeweise – eher Interpretationshilfe

# Diagnose-Tool (6/7): Effekt-basierte Analyse und Integriertes Monitoring



## Methoden:

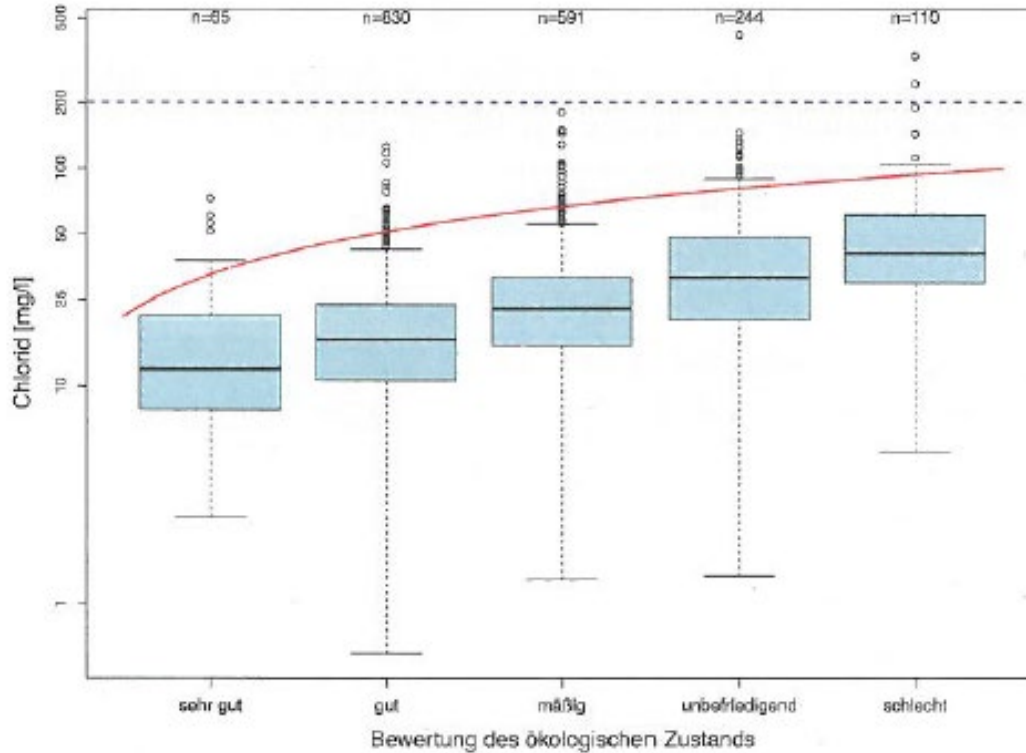
- Datenbasiert: Vorhersage toxischer Wirkung (TU) aus Labordaten oder Modellen
- In-vivo: aktives/passives Monitoring, Taxonomie-/Trait-basierte Bewertung
- In-vitro: Biotests z.B. Hefetests
- In-situ: Biomarker in Fisch

Quelle:  
W. Brack / J. Oehlmann

**Ansatz:** statt steigende Anzahl Substanzen zu analysieren Effekt der Mischtoxizität erfassen

**Einschränkungen:** aufwändig, unmittelbar gültig nur für Test-Organismen

# Diagnose-Tool (7/7): Schwellenwert-Ableitung aus Monitoringdaten



## Beispiel Ableitung Chlorid-Schwellenwerte

aus dem ermittelten  
Ökologischen Zustand  
(Allgemeine Degradation)

Quelle:  
Halle et al., 2017

**Ansatz:** Schwellenwertableitung aus umfangreichen Monitoringdaten anhand ÖZ

**Einschränkungen:** rein statistisch, keine monokausalen Gradienten, meist keine unbeeinflussten Referenzgewässer, Gegenbeispiele vorhanden

# Fazit: Einsatz der Diagnose-Tools zur Identifizierung maßgeblicher Stressoren

- Die Tools zeigen Möglichkeiten, um multiple Stressoren zu **visualisieren** und die maßgeblichen Stressoren zu **priorisieren**.
- **Grundlagen** sind Laboruntersuchungen, statistische Auswertung umfangreicher Monitoringdaten, autökologische Ansprüche und Traits sowie Modelle – und Kombinationen hiervon.
- Sie bieten jedoch nur Hinweise – eindeutige **Ursache-Wirkungsbeziehungen** sind in der Regel nur für einzelne Parameter und Arten herleitbar (z. B. Laborversuche).
- Bei der **integrierten Betrachtung** der WRRL sind auf der stofflichen Seite neben der **Konzentration** auch **Exposition** und **Wirkungen** zu beachten.
- Die Identifizierung der maßgeblichen Stressoren setzt bereits ein angemessenes, **integriertes Monitoring** voraus.

## Investigatives Monitoring: Emissions- und Immissionsseite integral betrachten

- Bisher räumlich und zeitlich grobmaschiges Monitoringnetz

→ Neue Monitoringmethoden:

### Passives Sampling



- nicht Konzentration oder Fracht sondern Emissionsinventar und Transportdynamik (Gallé et al., HW 2018)
- Punkt- und diffuse Quellen
- Dauer- und ereignisgebundene Belastung

### Messcontainer



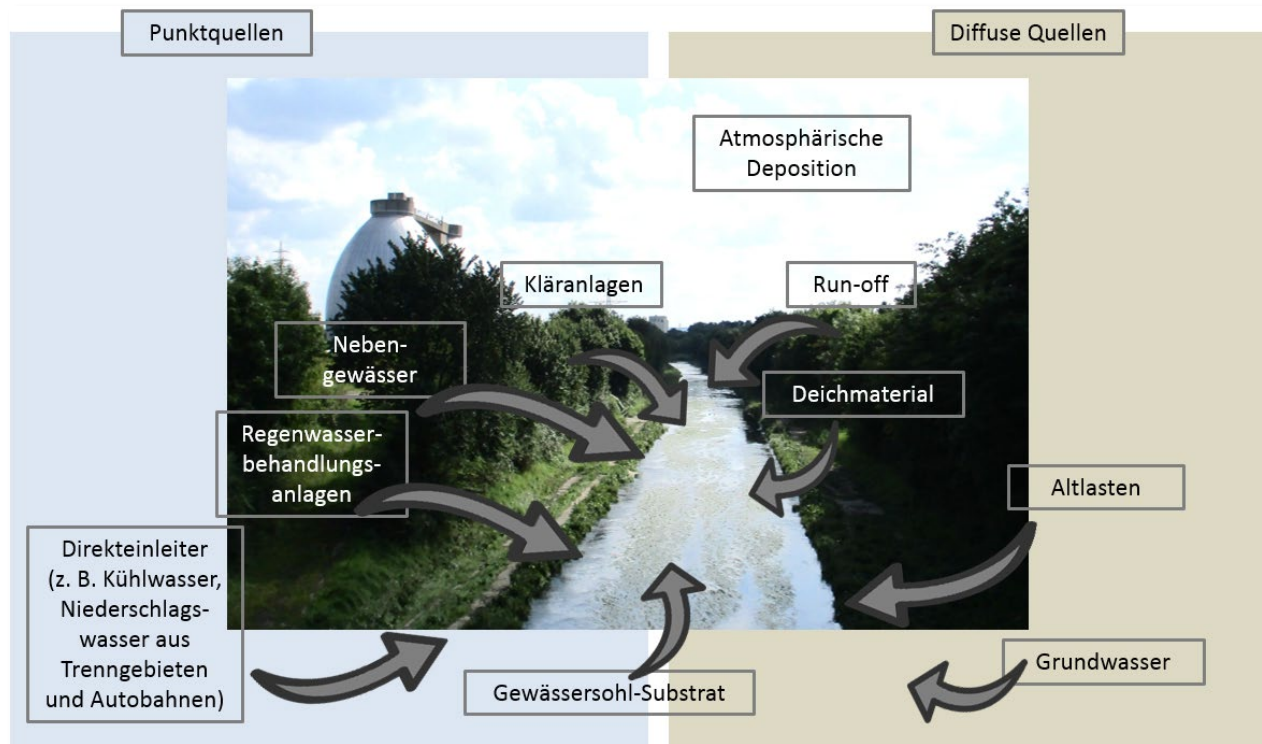
- kontinuierliche Messungen im Gewässer
- mobil: nahe Emissionsquelle, Schnittstelle Emission/Immission



# Empfehlung

## Resilienz des Ökosystems erhöhen

- Stoffliche Belastungen wirken integral auf das Ökosystem.
- Kaum reversible zivilisatorische „Hintergrundbelastungen“ (geogen + anthropogen) können ebenfalls eine Rolle spielen (z. B. PAK im Emschergebiet).



## Resilienz des Ökosystems erhöhen durch no-regret-Maßnahmen

- Ökosystemleistung „Selbstreinigungsleistung“: Wiederherstellung naturnaher Morpho- und Hydrodynamik und Vegetation
- Pufferzonen („Auen als Nieren“): 10 m = 70 % Stoffrückhalt (Hering 2018, Symp. WRRL OB)







**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Kontakt:**

**[sommerhaeuser.mario@eglv.de](mailto:sommerhaeuser.mario@eglv.de)**

**[gerner.nadine@eglv.de](mailto:gerner.nadine@eglv.de)**