

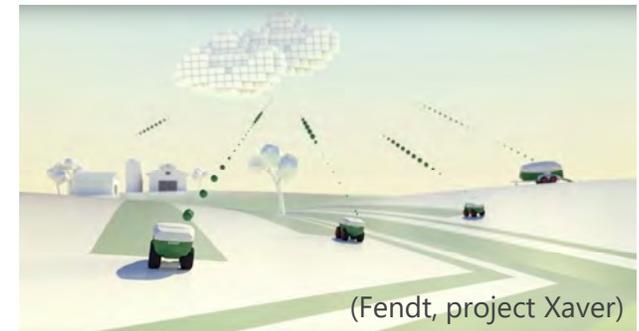
Ökosystemforschung in Zeiten von Big Data – Zeit für einen Paradigmenwechsel?

Gunnar Lischeid



Rapide zunehmende **Anzahl** von Messgrößen mit zunehmend besserer **räumlicher und zeitlicher Auflösung**, z.B.,

- Fern- (Satellit) und Nah- (UAV) Erkundung
- Wissenschaftliche Sensornetze
- Sensoren an landwirtschaftlichen Geräten
- Isotopen-Daten
- Laser scanning von Treibhausgas-Emissionen
- GPS-gestütztes Animal-Tracking
- Bat Recorders
- Genomics, Proteomics, Metabelomics
- ...



Maschinelles Lernen statt Wissenschaft?

Maschinelles Lernen ermöglicht ...

- Die Identifizierung von Mustern in umfangreichen Datensätzen;
- Kurzzeit-Vorhersagen;
- die Bewirtschaftung komplexer Systeme;

... aber

- ohne theoretische Basis;
- zulasten des menschlichen Lernens;
- ohne wissenschaftlichen Fortschritt.

Biases der aktuellen Umweltforschung

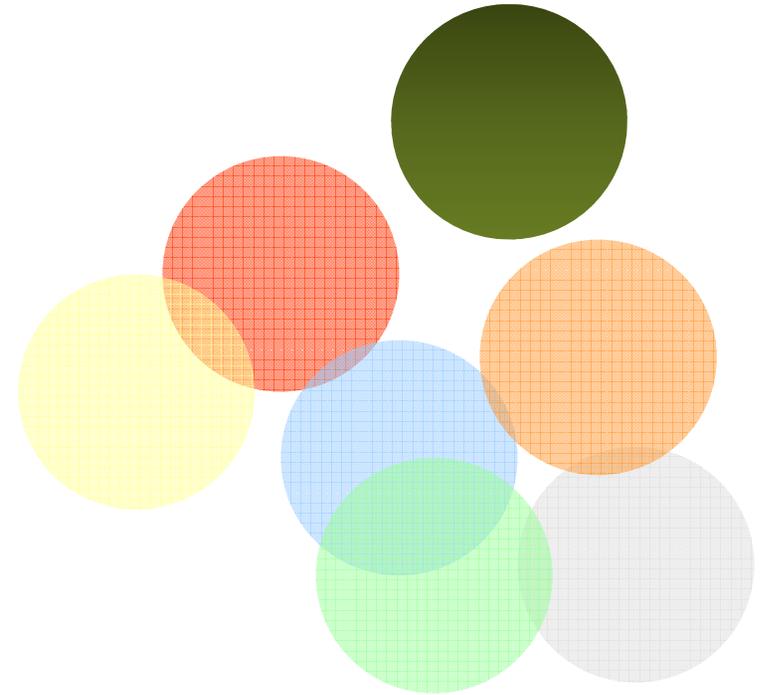
1. **Disziplinen-Bias:** "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen

Status quo:

- Umweltforschung ist in zahlreiche wissenschaftliche Disziplinen aufgesplittert
- Eine nachhaltige Bewirtschaftung von Umweltsystemen erfordert jedoch eine solide Kenntnis zahlreicher Wechselwirkungen

Offene Fragen:

- Konvergieren die verschiedenen Disziplinen?
- Gibt es eine systematische Entwicklung in Richtung eines integrierten Systemverständnisses?



Konvergierende Disziplinen?

Ayllón et al. (2018):

- Umfangreiches Review von interdisziplinären Verknüpfungen in Modellen der Umweltforschung (118 [+68] Modelle, 346 Papers)
- Klare Tendenz der Verstärkung bestehender Schwerpunkte statt

Schließen von Lücken

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Review

Cross-disciplinary links in environmental systems science: Current state and claimed needs identified in a meta-review of process models

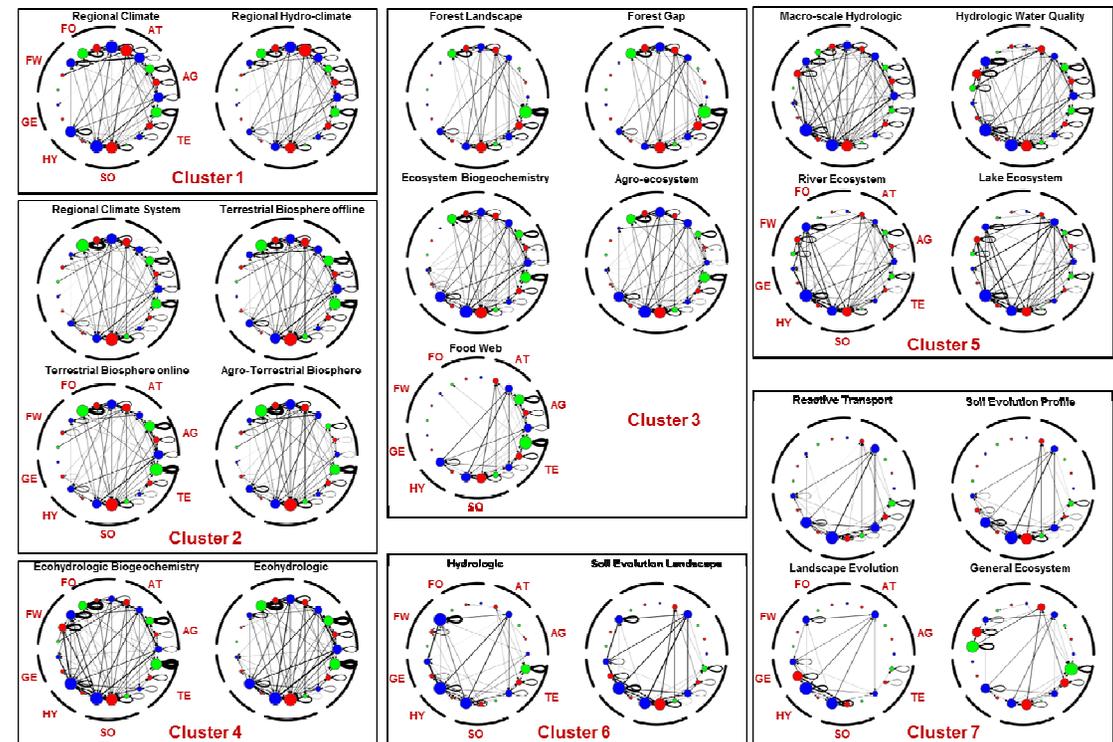
Daniel Ayllón ^{a,b,*}, Volker Grimm ^{a,c,d}, Sabine Attinger ^e, Michael Haufs ^f, Clemens Simmer ^g, Harry Vereecken ^h, Gunnar Lischke ^{b,i}

^a Helmholtz Centre for Environmental Research - UST, Department of Ecological Modelling, Permosenstr. 15, 04318 Leipzig, Germany
^b Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Institute of Landscape Hydrology, Eberswälder Str. 84, 15374 Müncheberg, Germany
^c University of Potsdam, Institute for Biochemistry and Biology, Maulbeerallee 2, 14469 Potsdam, Germany
^d German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Deutscher Platz 5c, 04103 Leipzig, Germany
^e Helmholtz Centre for Environmental Research - UST, Department of Computational Hydrogeology, Permosenstr. 15, 04318 Leipzig, Germany
^f University of Bayreuth, Ecological Modelling, Dr.-Friesch-Strasse 1-3, 95484 Bayreuth, Germany
^g University of Bonn, Meteorological Institute, Auf dem Hugel 20, 53112 Bonn, Germany
^h Agrosphere Institute, IBC-3, Institute of Biogeodesy, Leo-Prinz-Str. 1, Forsthausgutsrumm 103bH, 52425 Jülich, Germany
ⁱ University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Science, Karl-Liebknecht-Strasse 24-25, 14476 Potsdam-Golm, Germany

HIGHLIGHTS

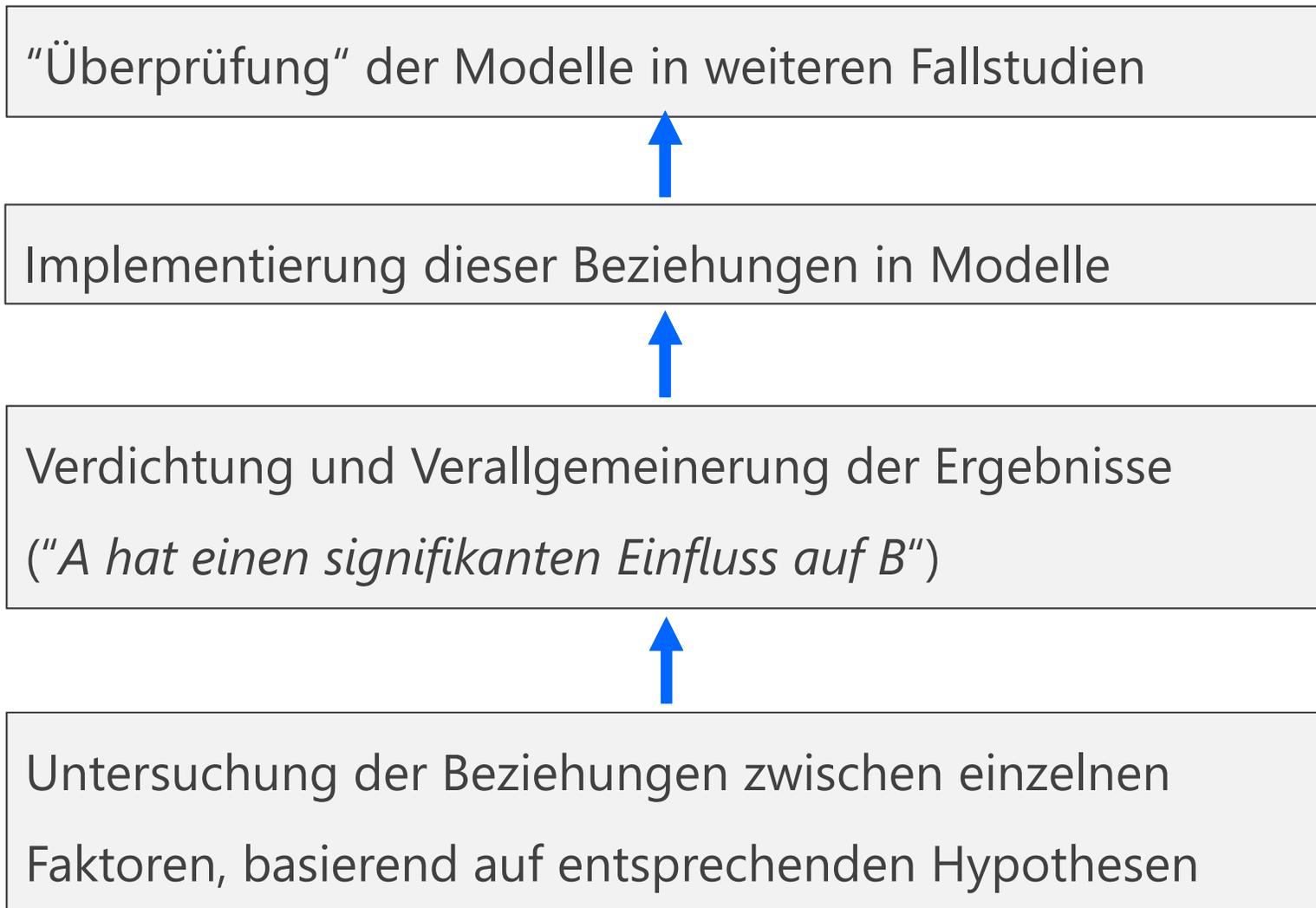
- We performed a survey of dynamic interdisciplinary links in environmental models.
- We identified claimed missing interdisciplinary links through a literature review.
- We found a strong bias towards physical processes.
- Claimed research foci point to existing rather than new interdisciplinary pathways.
- Environmental research does not seem to converge towards more integrated approaches.

GRAPHICAL ABSTRACT



1. **Disziplinen-Bias:** "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen
2. **Skalen-Bias:** Prozessstudien werden üblicherweise auf einer Skala von 10^{-2} – 10^2 m durchgeführt

„Hochskalieren“:



Beispiel Evapotranspiration

Penman-Monteith equation:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

where

R_n net radiation

G soil heat flux

$(e_s - e_a)$ vapour pressure deficit of the air

ρ_a mean air density at constant pressure

c_p specific heat of the air

Δ slope of the saturation vapour pressure temperature relationship

γ psychrometric constant

r_a aerodynamic resistance

r_s bulk surface resistance

r_a aerodynamic resistance

(Allen et al. 1998)

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{z_m - d}{z_{om}}\right] \ln\left[\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right]}{k^2 u_z} \quad (4)$$

where

r_a aerodynamic resistance [$s\ m^{-1}$],

z_m height of wind measurements [m],

z_h height of humidity measurements [m],

d zero plane displacement height [m],

z_{om} roughness length governing momentum transfer [m],

z_{oh} roughness length governing transfer of heat and vapour [m],

k von Karman's constant, 0.41 [-],

u_z wind speed at height z [$m\ s^{-1}$].

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{active}} \quad (5)$$

where

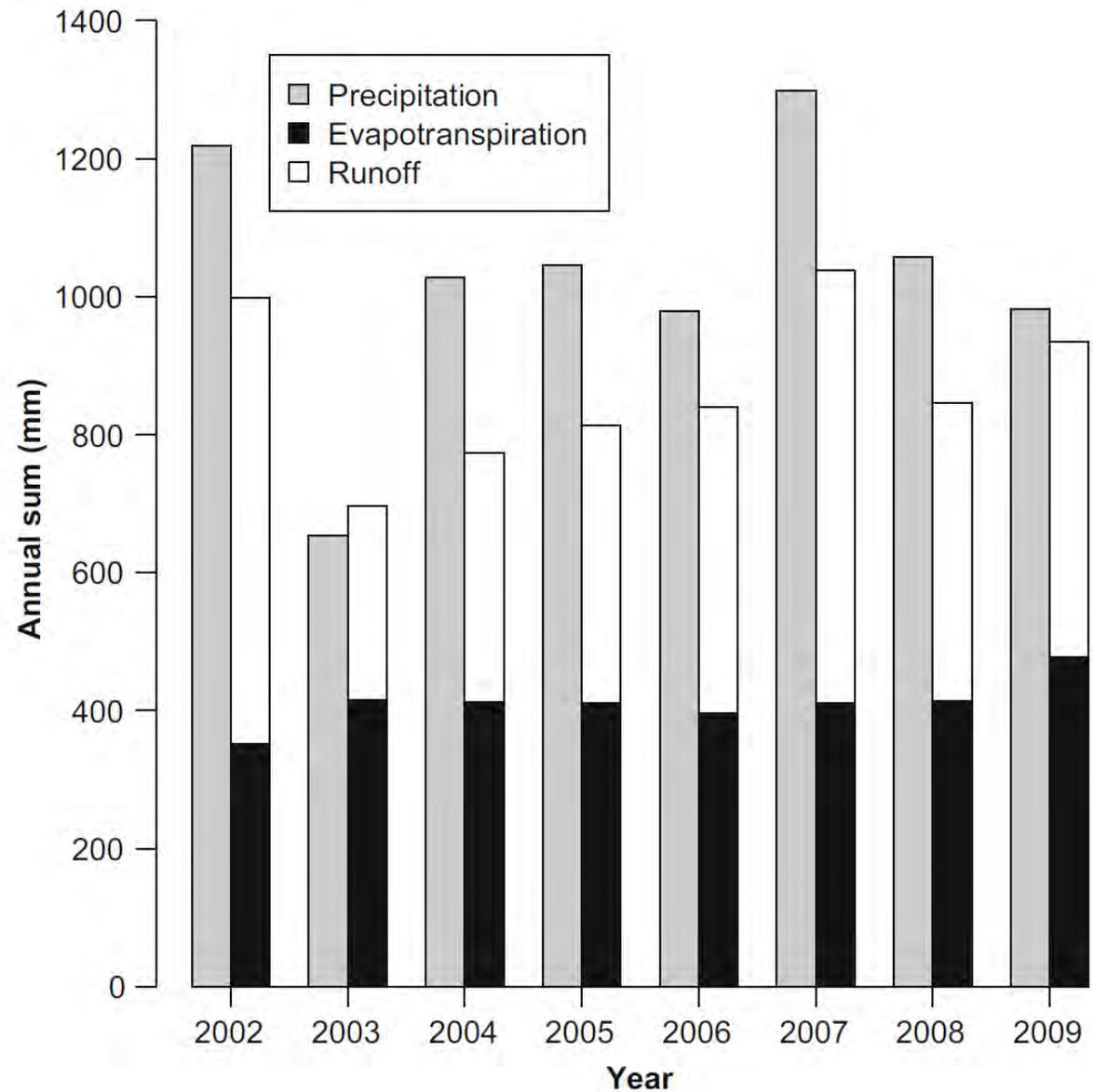
r_s (bulk) surface resistance [$s\ m^{-1}$],

r_l bulk stomatal resistance of the well-illuminated leaf [$s\ m^{-1}$],

LAI_{active} active (sunlit) leaf area index [m^2 (leaf area) m^{-2} (soil surface)].

Zeitliche Homogenität

Wasser-Bilanz des
Lehstenbach-
Einzugsgebietes
(Nordbayern)
(Lischeid et al. 2017)

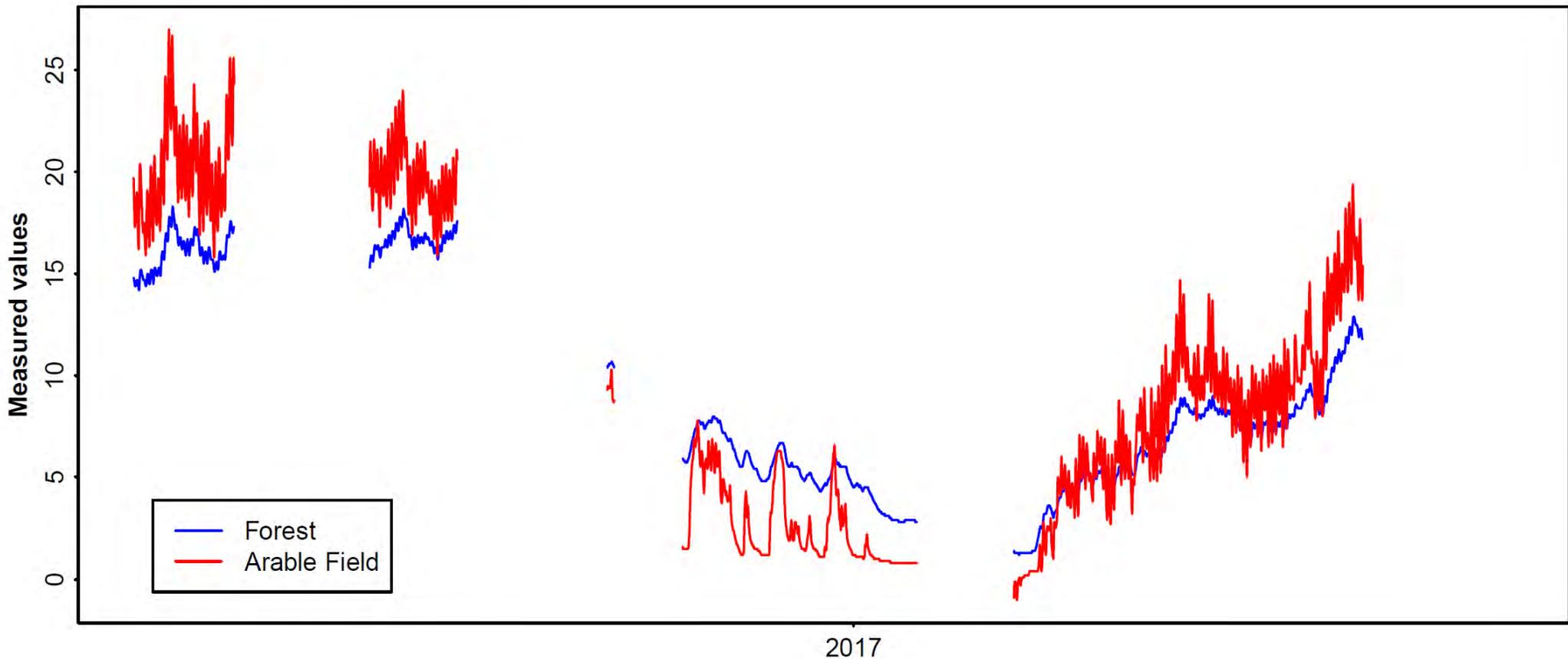


1. **Disziplinen-Bias:** "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen
2. **Skalen-Bias:** Prozessstudien werden üblicherweise auf einer Skala von 10^{-2} – 10^2 m durchgeführt
3. **Diskretisierungsbias:** Unterscheidung von Typen oder Klassen ist nur für bestimmte Forschungsfragen relevant

Diskretisierungs-Bias

Übergangszone zwischen Wald und Acker (*Schmidt et al. 2019*)

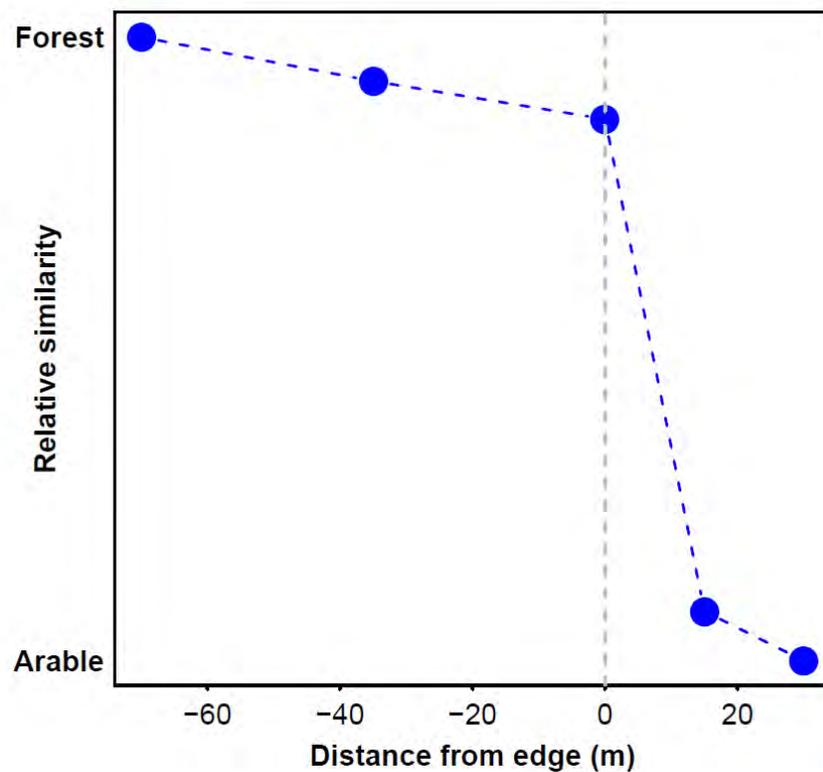
Bodentemperatur



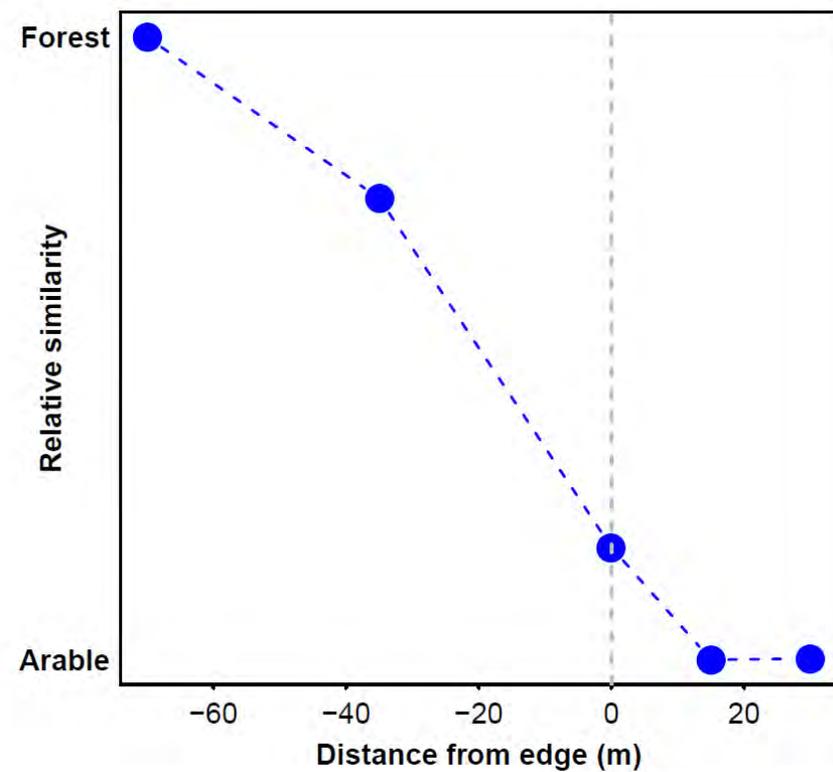
Diskretisierungs-Bias

Übergangszone zwischen Wald und Acker (*Schmidt et al. 2019*)

Bodentemperatur

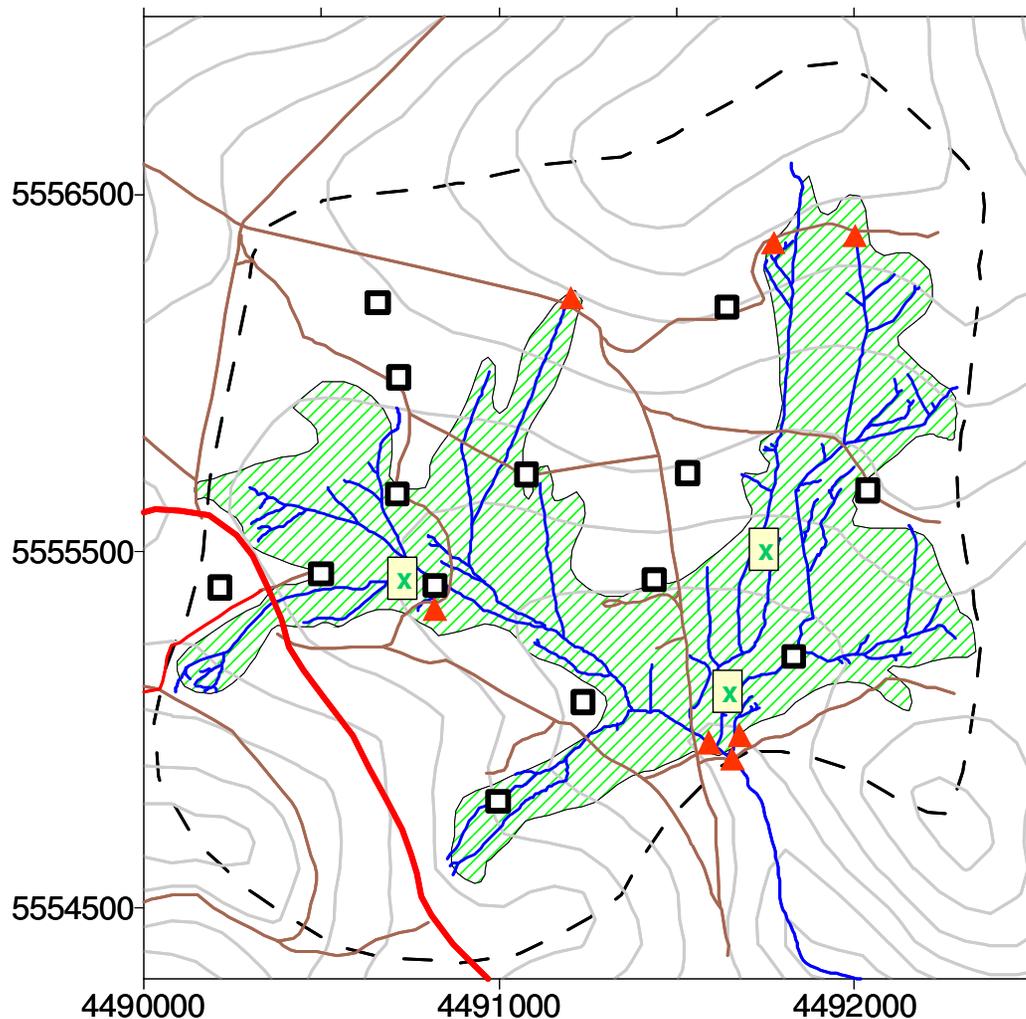


Windgeschwindigkeit



1. **Disziplinen-Bias**: "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen
2. **Skalen-Bias**: Prozessstudien werden üblicherweise auf einer Skala von 10^{-2} – 10^2 m durchgeführt
3. **Diskretisierungs-Bias**: Unterscheidung von Typen oder Klassen ist nur für bestimmte Forschungsfragen relevant
4. **Monokausalitäts-Bias**: Komplexe Wechselwirkungen werden durch die üblichen experimentellen Designs nicht erfasst

Lehstenbach-Gebiet, Nordbayern



- 2641 Proben 1987 – 2002, 38 Probenahmestellen:

Type	Spatial replicates	Screening interval (m below surface)	Sampling period	Number of samples
Deep groundwater wells	13	1.0–24.3	1998–2002	839
Shallow groundwater piezometers	18	0.9–2.0	2001–2002	452
Upslope springs	3	–	1987–2000	513
Downslope streams	4	–	1987–2001	829
Total sum	38		1987–2002	2,633

- 13 Messgrößen (pH , Ca , Mg , Na , K , Al , Mn , Fe , Si , NO_3 , SO_4 , Cl , DOC)

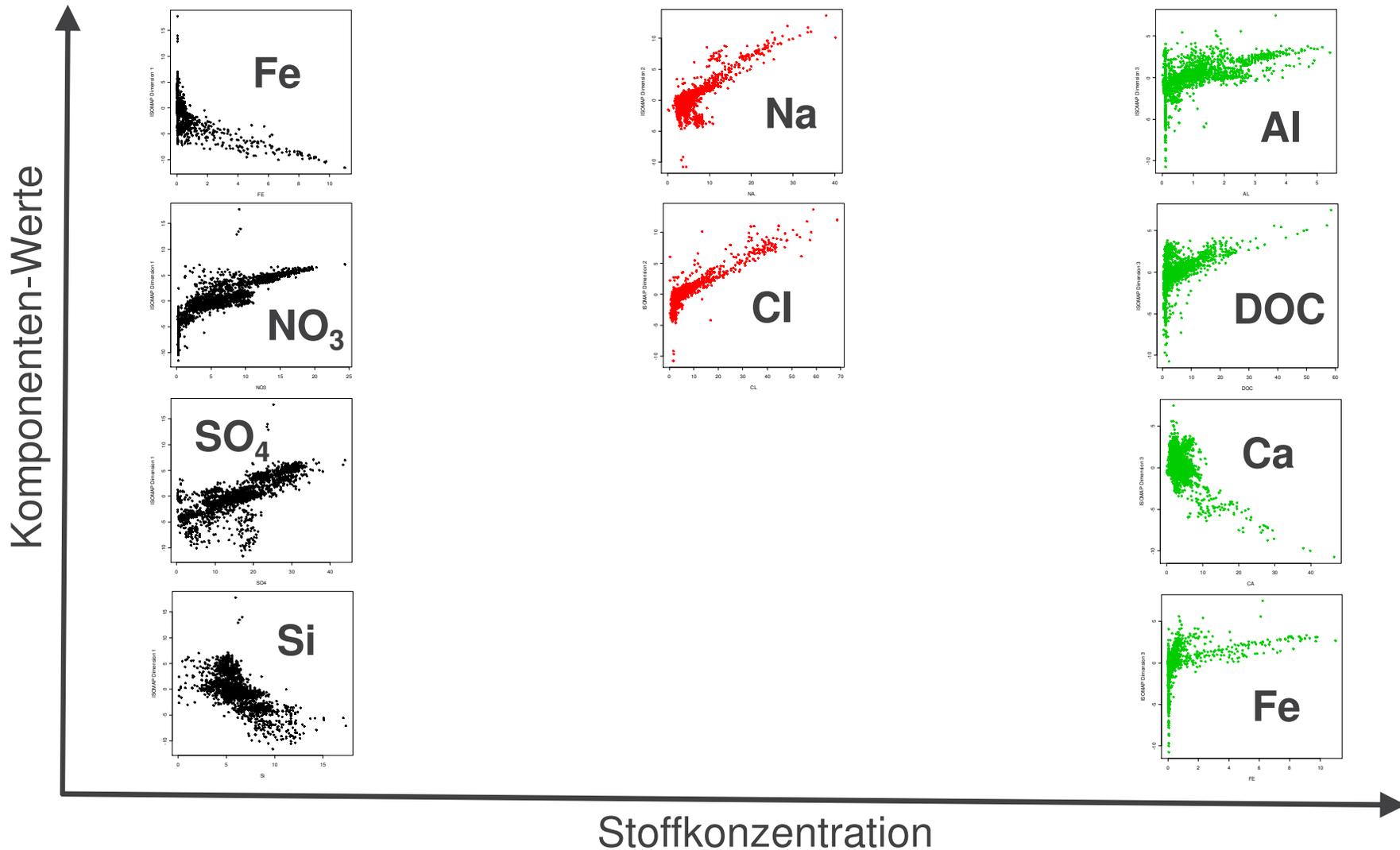
(Lischeid & Bittersohl 2008)

Isometric Feature Mapping: Ladungen

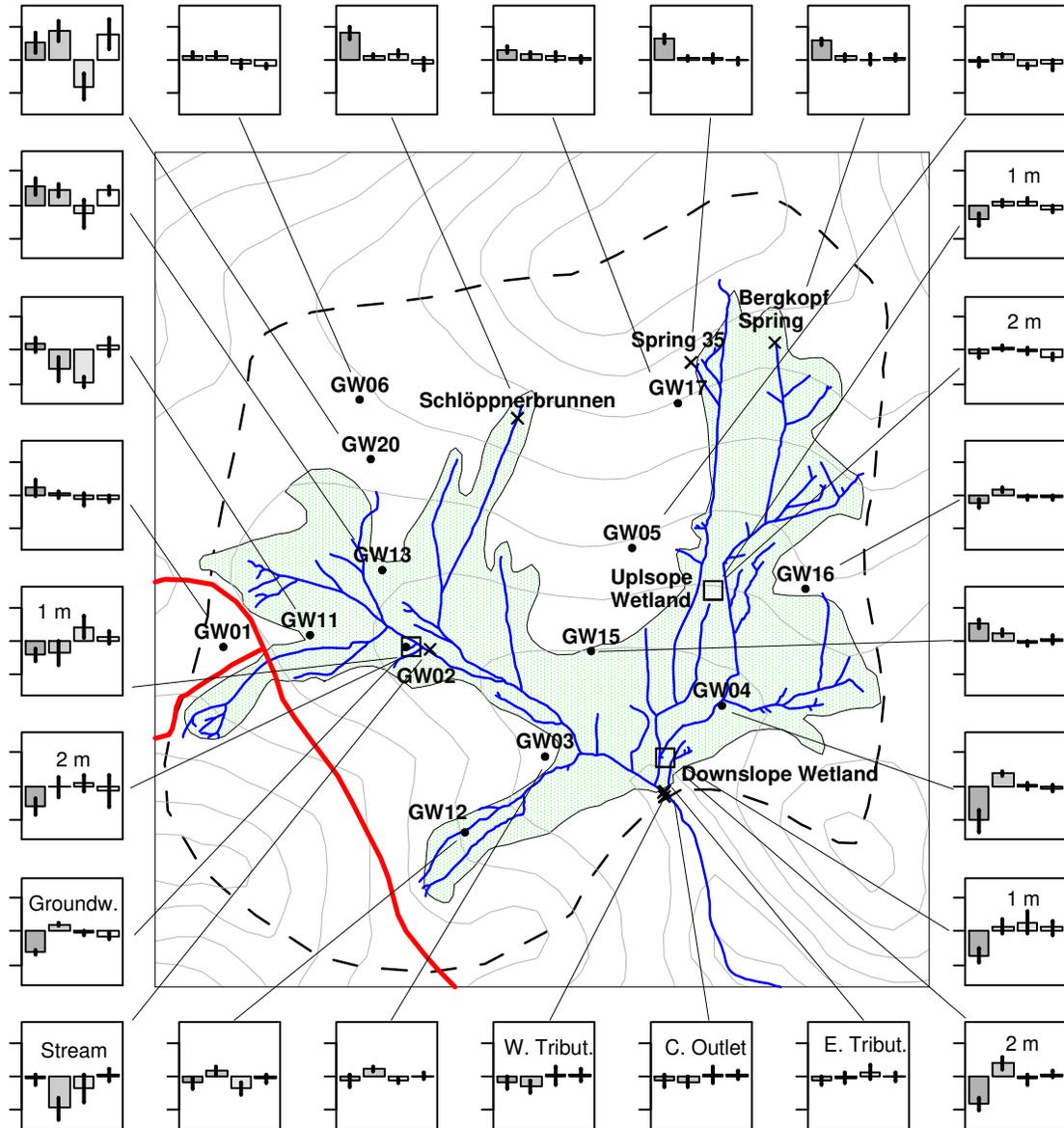
1. Komponente
“(An)Oxii“

2. Komponente
“Straßensalz“

3. Komponente
“Versauerung“



Isometric Feature Mapping: Räumliche Muster

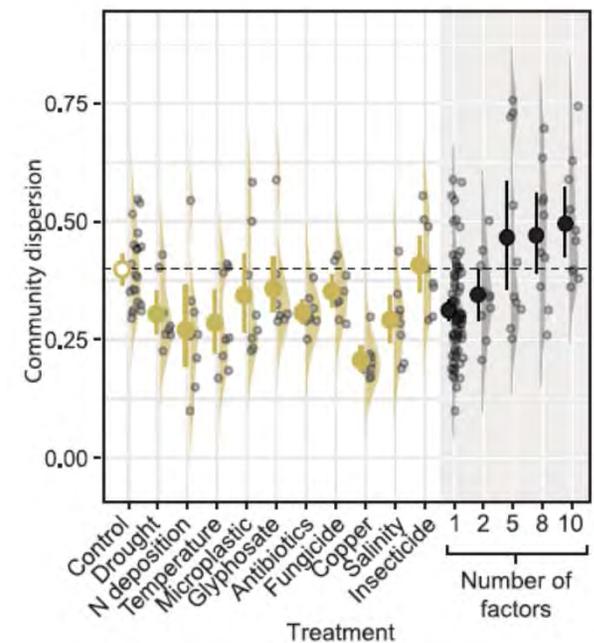
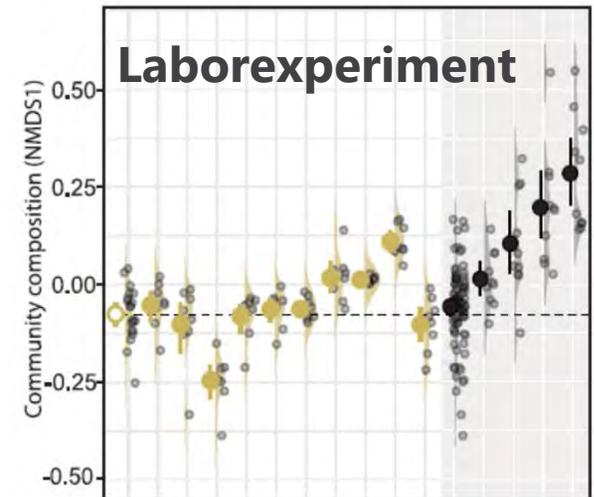
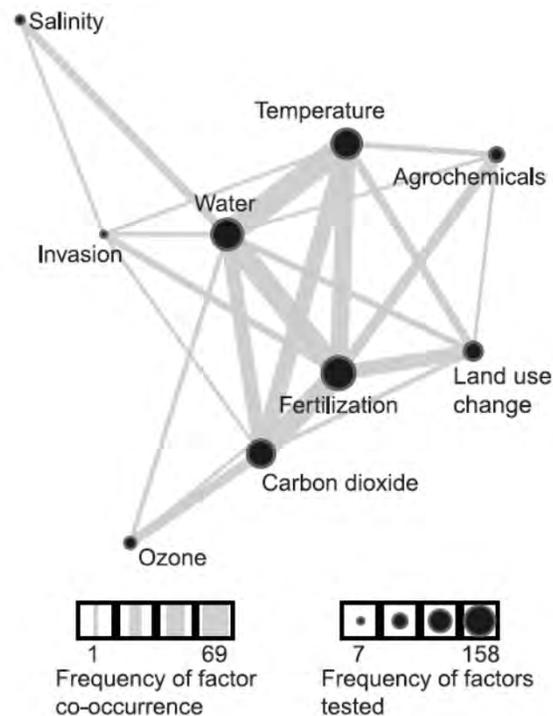
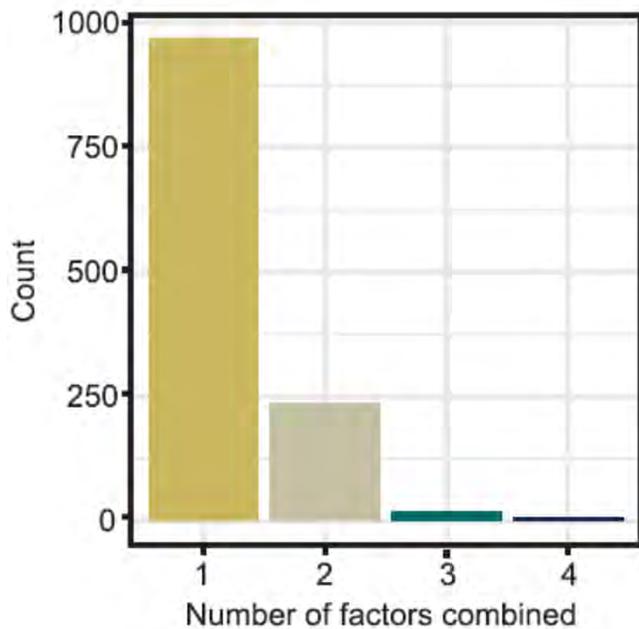


1. (An)Oxie
 2. Straßensalz
 3. Versauerung
 4. Filterkies-
Kontamination
- (Mittelwerte und
Standardab-
weichungen)

Multifaktorielle Effekte

Einfluss auf die bodenmikrobiologische Community
(Rillig *et al.* 2019)

Review von 1228 Publikationen

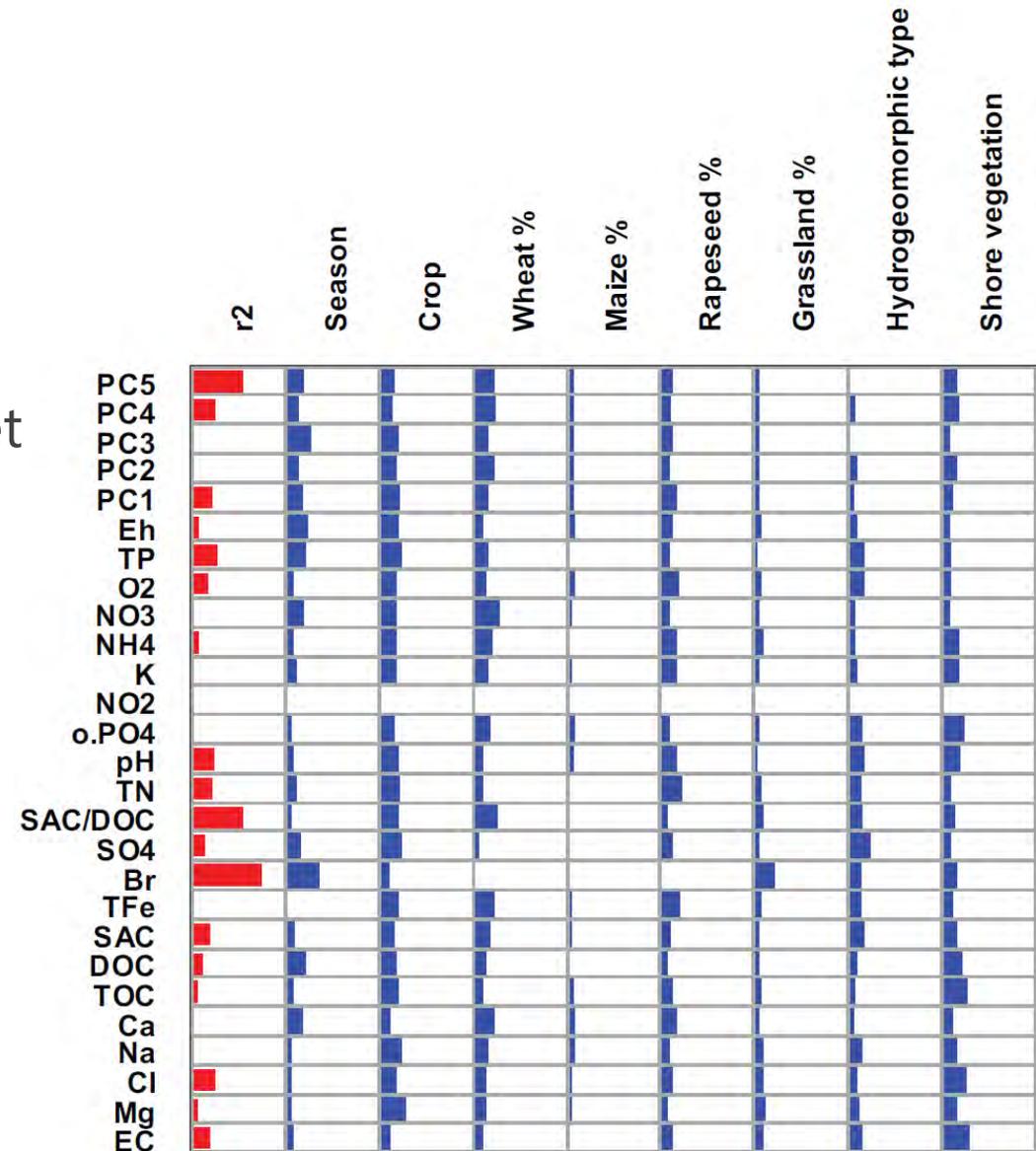


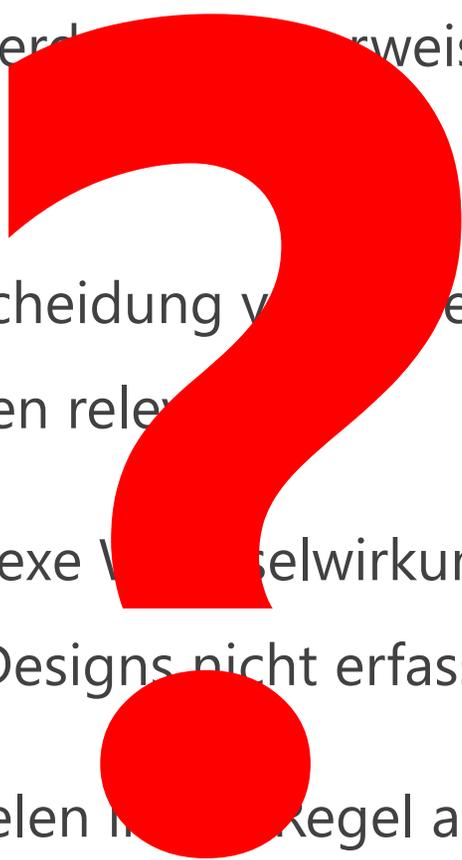
● Mean ± 95% CI (● single factor)

1. **Disziplinen-Bias:** "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen
2. **Skalen-Bias:** Prozessstudien werden üblicherweise auf einer Skala von 10^{-2} – 10^2 m durchgeführt
3. **Diskretisierungsbias:** Unterscheidung von Typen oder Klassen ist nur für bestimmte Forschungsfragen relevant
4. **Monokausalitäts-Bias:** Komplexe Wechselwirkungen werden durch die üblichen experimentellen Designs nicht erfasst
5. **Bestätigungs-Bias:** Studien zielen in der Regel auf eine Bestätigung bekannter Zusammenhänge ab und nicht auf die Generierung neuer Hypothesen

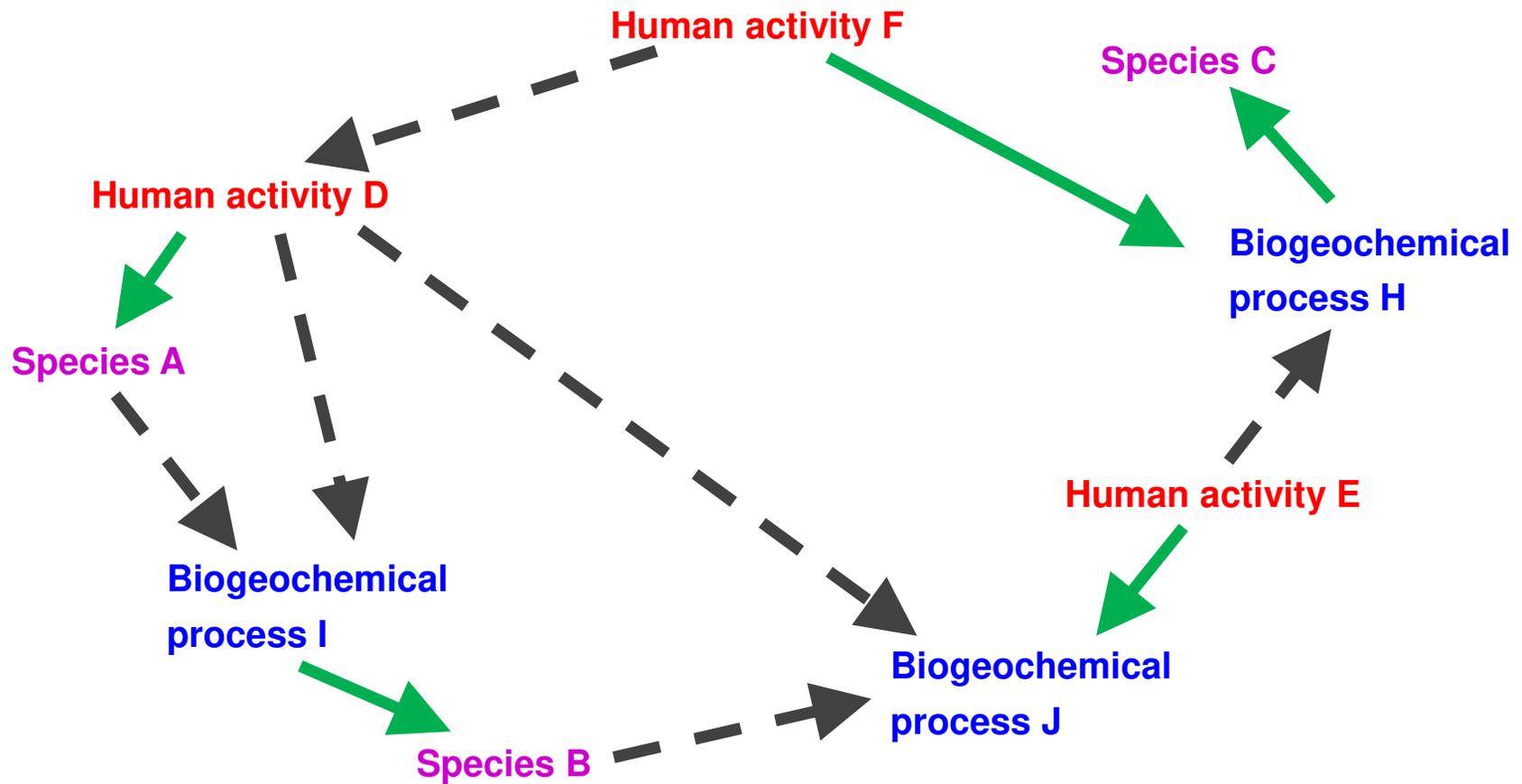
Signifikant, aber irrelevant?

CART-Modellierung
(**C**lassification **a**nd **R**egression
Tree) von Beschaffenheitsdaten
von 62 Söllen im Quillow-Gebiet
($0 < r^2 < 0.152$)
(Lischeid et al. 2017)



1. **Disziplinen-Bias:** "Blinde Flecken" zwischen den Disziplinen
 2. **Skalen-Bias:** Prozessstudien werden überwiegend auf einer Skala von 10^{-2} – 10^2 m durchgeführt
 3. **Diskretisierungsbias:** Unterscheidung von Kategorien oder Klassen ist nur für bestimmte Forschungsfragen relevant
 4. **Monokausalitäts-Bias:** Komplexe Wechselwirkungen werden durch die üblichen experimentellen Designs nicht erfasst
 5. **Bestätigungs-Bias:** Studien zielen in der Regel auf eine Bestätigung bekannter Zusammenhänge ab und nicht auf die Generierung neuer Hypothesen
- 

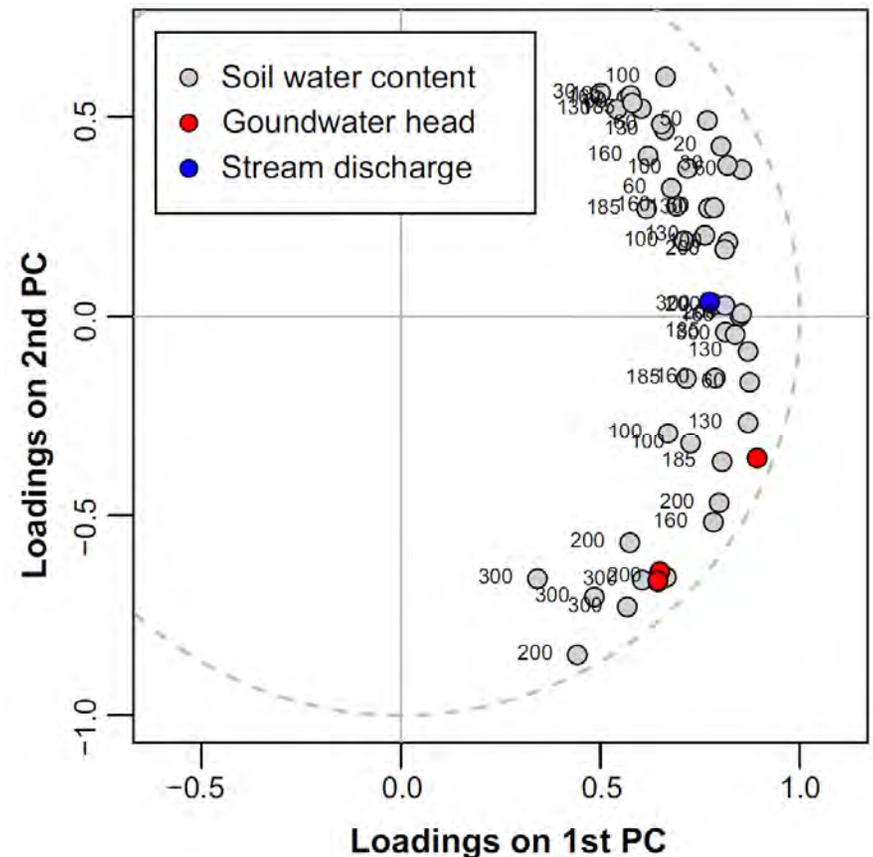
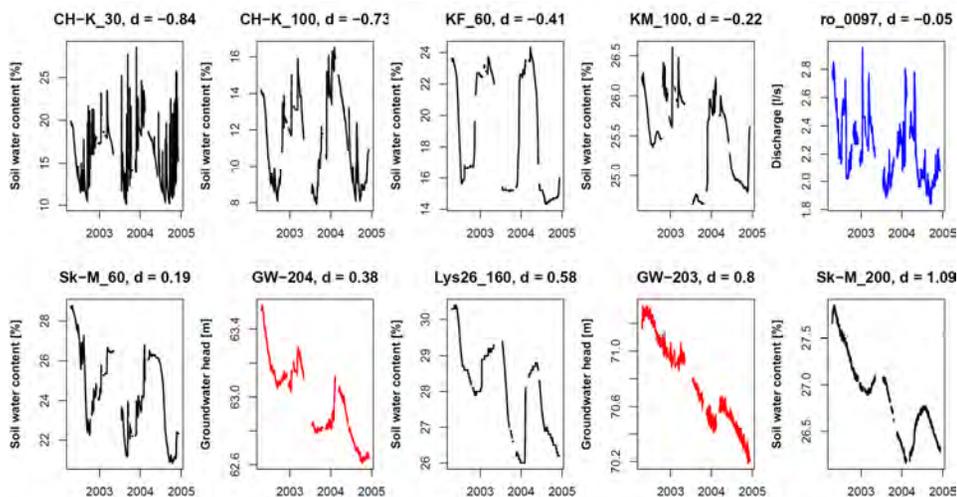
Daten verschneiden, nicht nur Ergebnisse



Bodenlösung, Grundwasser, Bäche

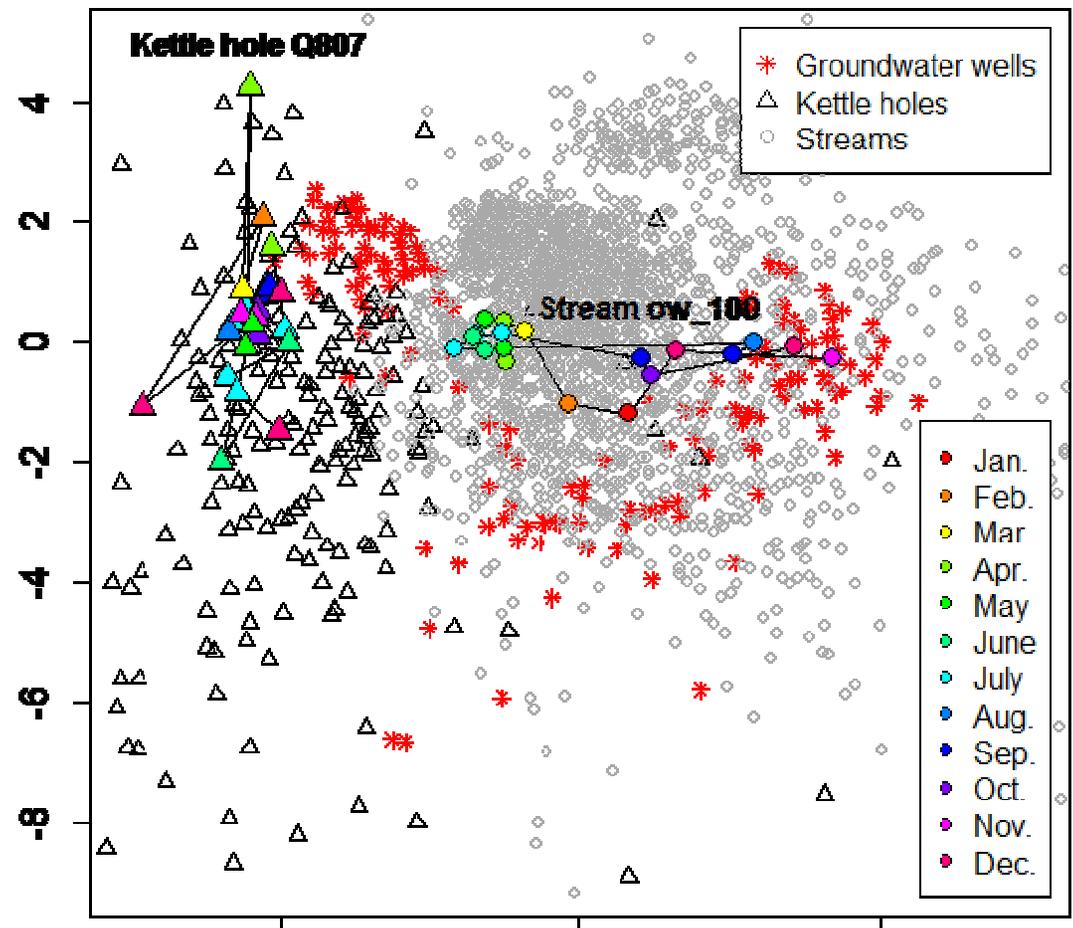
Lischeid et al. (2017):

- 52 Zeitreihen aus dem 160 km² Quillow-Gebiet mit Tageswerten für den Zeitraum 2002-2004
- 71% der Varianz durch die ersten beiden Hauptkomponenten erfasst



Visualisierung der Beschaffenheit
von Grund-, Bach- und
Söllewasser mittels Self-
Organizing Maps, kombiniert mit
Sammon's Mapping
(Lischeid et al. 2016)

Location of Samples in a 12-D Phase Space



Verschneidung heterogener Daten in der Umweltforschung: Ein Ansatz

- für interdisziplinäre Forschung direkt auf den **Daten**, anstelle der ausschließlichen Verschneidung von **Ergebnissen**;
- zur Überwindung des
 - Disziplinären Bias;
 - Skalen-Bias;
 - Diskretisierung-Bias;
 - Monokausalität-Bias;
 - Bestätigungs-Bias;
- für solide Hypothesentests;
- zur Entwicklung einer grundlegenden Theorie der Umweltforschung.