

**Eawag
Infotag
2025**

Grundwasser –

die Ressource Trinkwasser nutzen und schützen

KI-gestützte Nitratkartierung im Grundwasser

Lenny H.E. Winkel
Wasserressourcen & Trinkwasser

Nitrat und Wasserressourcen



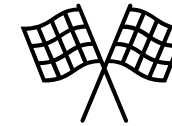
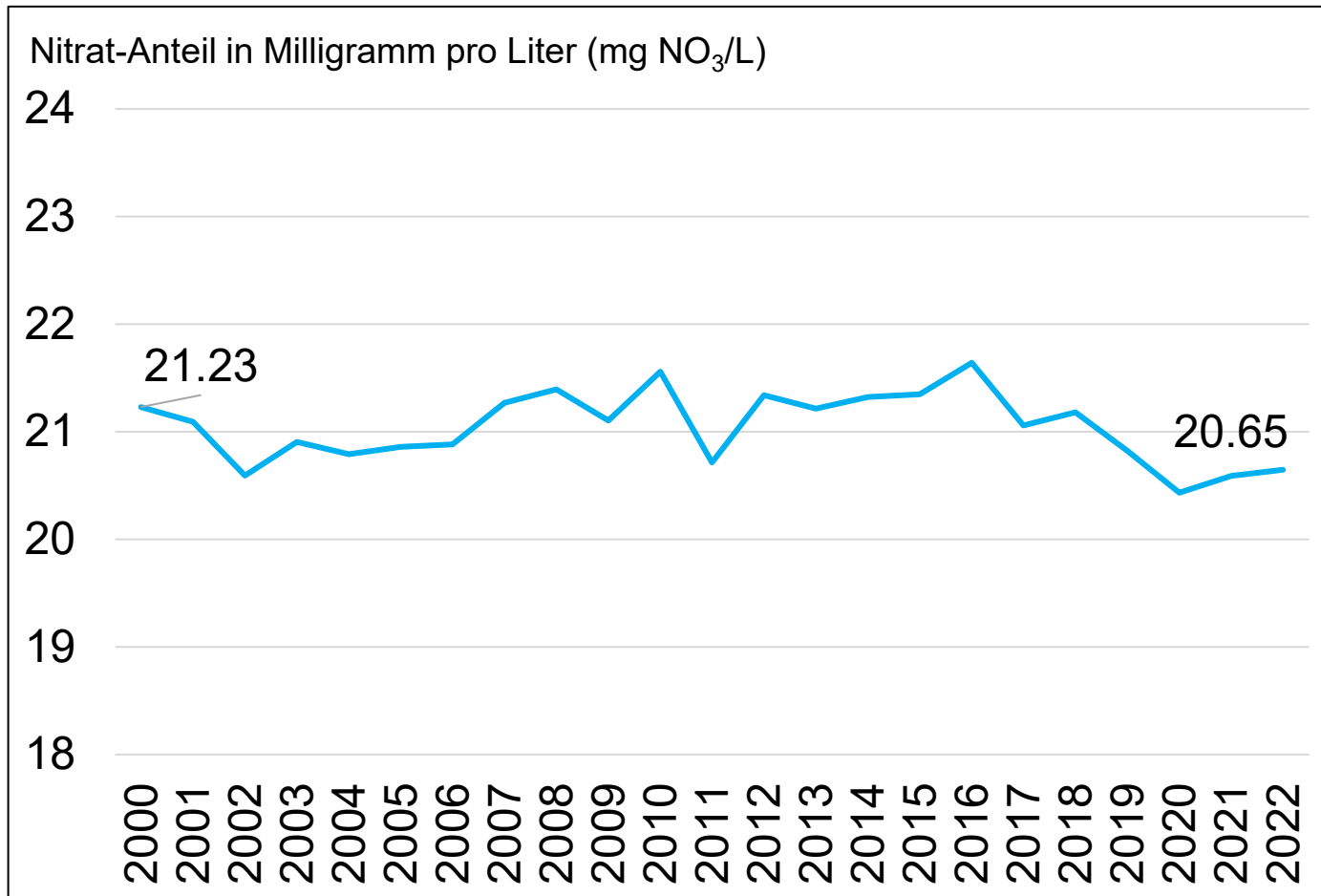
Quelle Foto: Unsplash (Johnny McClung)

Verunreinigtes Grundwasser durch Nitrat – dieses Problem ist nicht neu.

Wie können wir einen besseren Überblick darüber gewinnen, wo und warum die Grenzwerte überschritten werden?

Nitrat und Wasserressourcen

Monitoring von Nitrat im Grundwasser in der EU



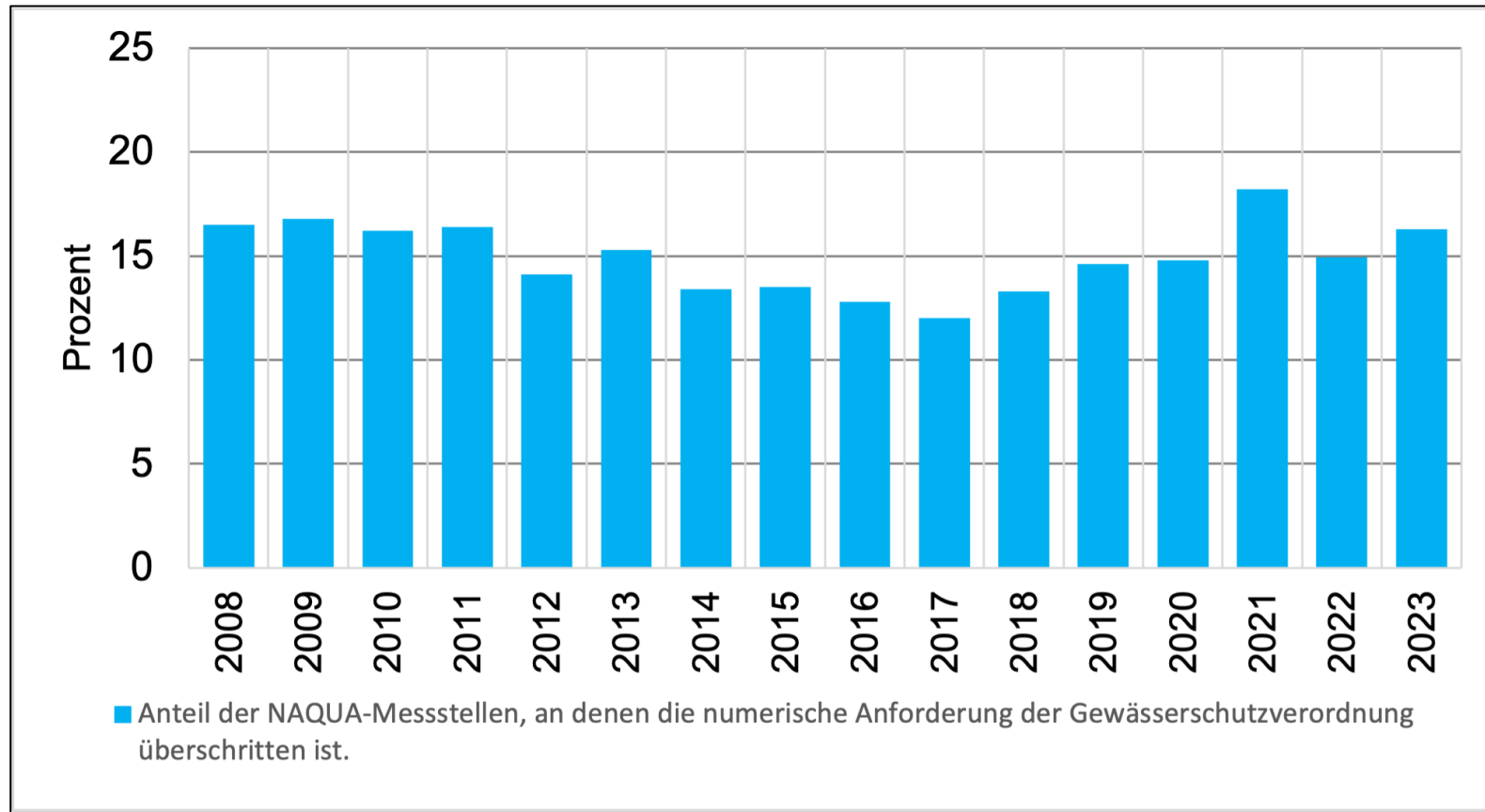
Die EU hat das Ziel, die Stickstoffverluste bis 2030 um 50% zu reduzieren.



Sustainable Development Goals (SDG)
Ziel 6.3: Die Wasserqualität, Abwasserbehandlung und sichere Wiederverwendung verbessern.

Nitrat und Wasserressourcen

Monitoring von Nitrat im Grundwasser in der Schweiz



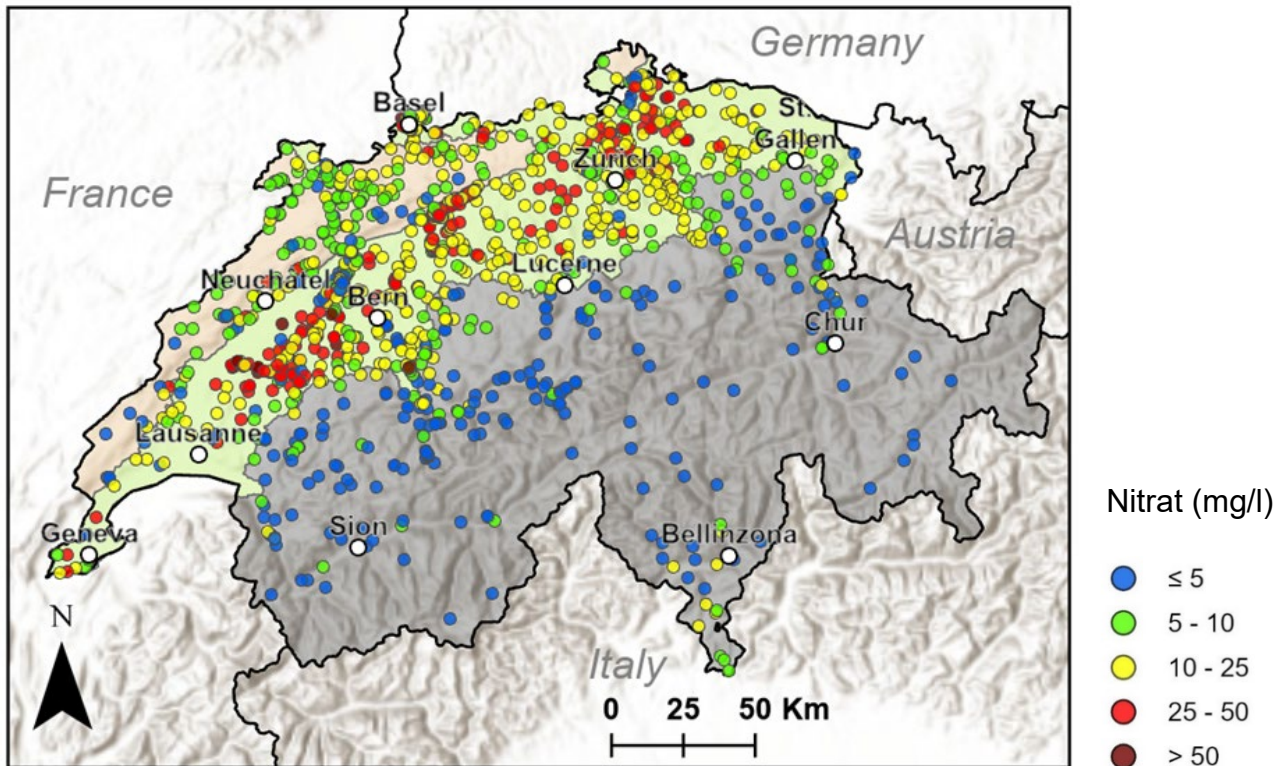
Der Grenzwert von Nitrat im Grundwasser in der Schweiz ist 25 mg/l.

Quelle: BAFU, Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA, 2024

Quelle Tropfen: <https://de.vecteezy.com/kostenloses-png/wasser>>Wasser PNGs von Vecteezy

Grundwassernitrat in der Schweiz

Braucht es noch mehr Daten?

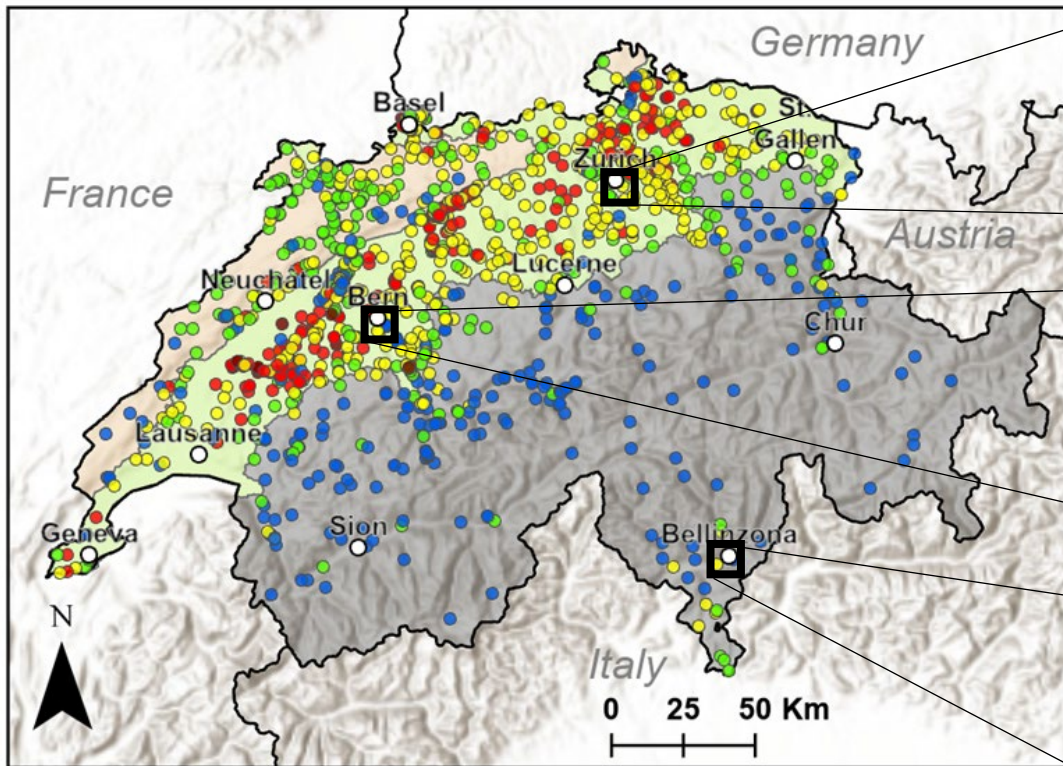


Quelle: NAQUA und Kantone

Daten von 1336 Grundwasser-Messstellen
Quelle: NAQUA und Kantone

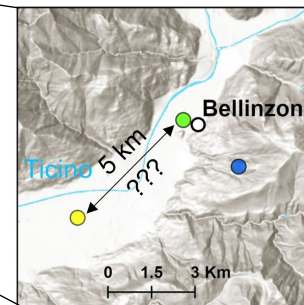
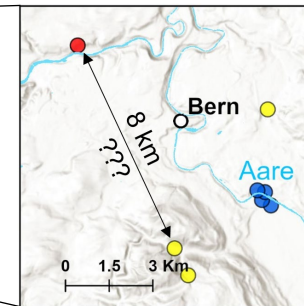
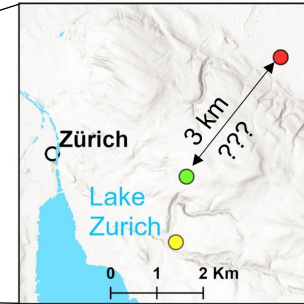
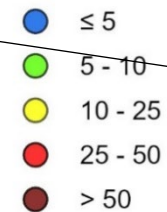
Grundwassernitrat in der Schweiz

Braucht es noch mehr Daten?



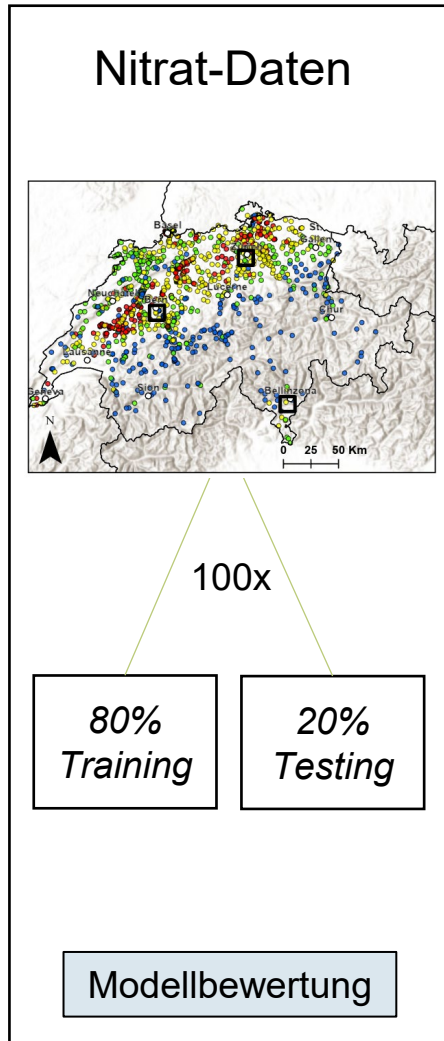
Quelle: NAQUA und Kantone

Nitrat (mg/l)

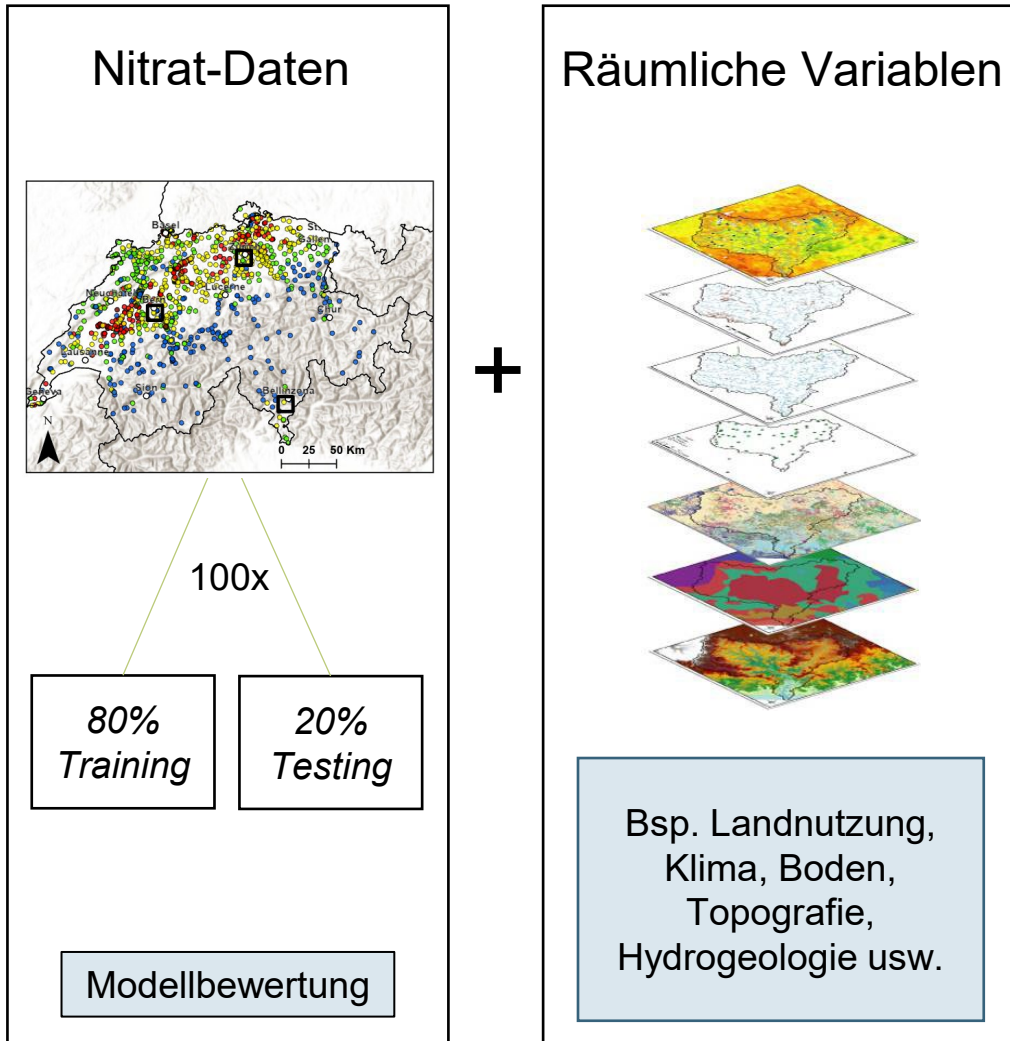


- Was passiert zwischen Messstellen?
- Welche Faktoren erklären hohe Nitratwerte?

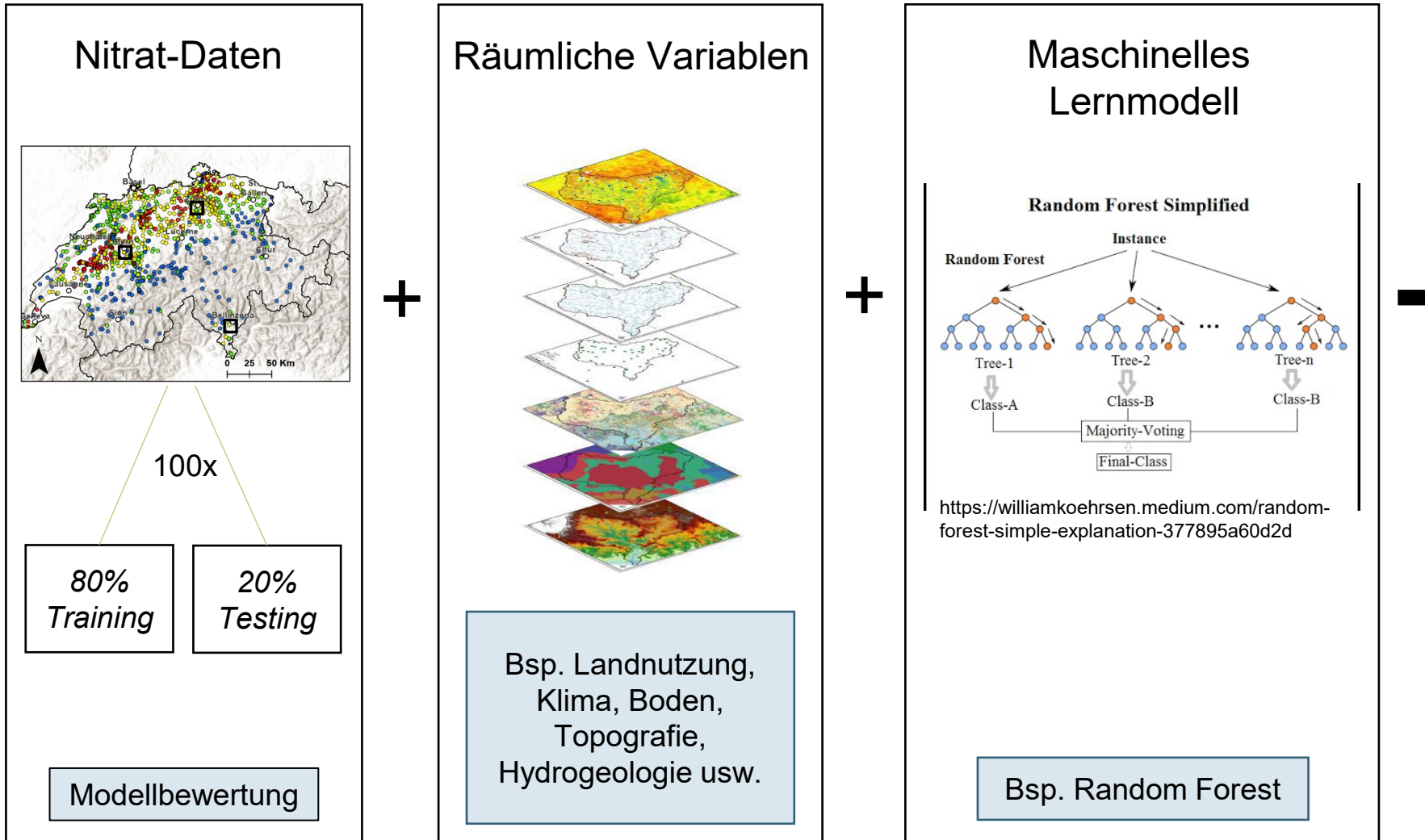
Maschinelles Lernen für räumliche Vorhersagen von Grundwassernitrat



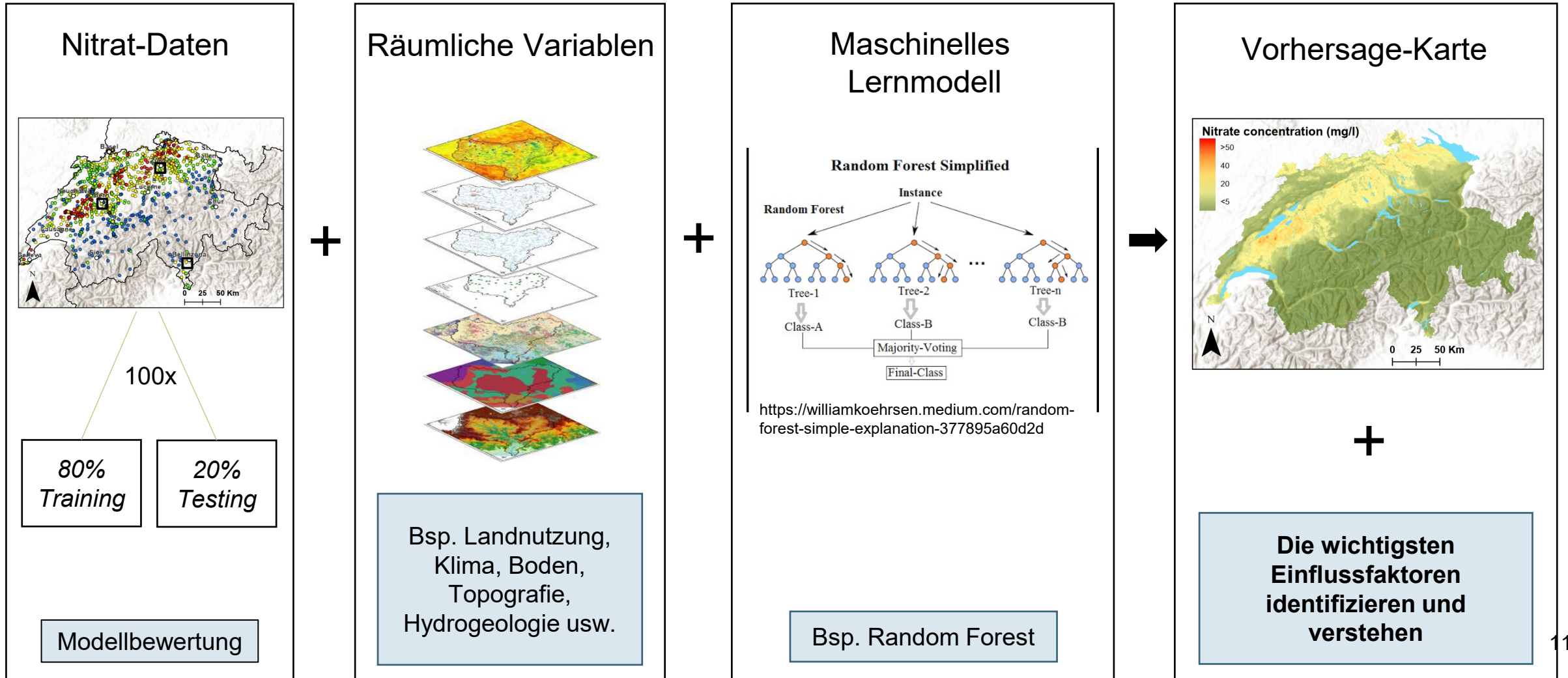
Maschinelles Lernen für räumliche Vorhersagen von Grundwassernitrat



Maschinelles Lernen für räumliche Vorhersagen von Grundwassernitrat



Maschinelles Lernen für räumliche Vorhersagen von Grundwassernitrat

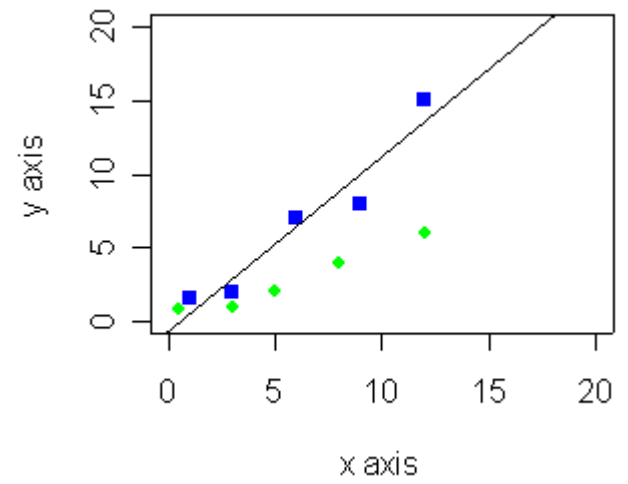


Was ist eigentlich maschinelles Lernen (ML)?

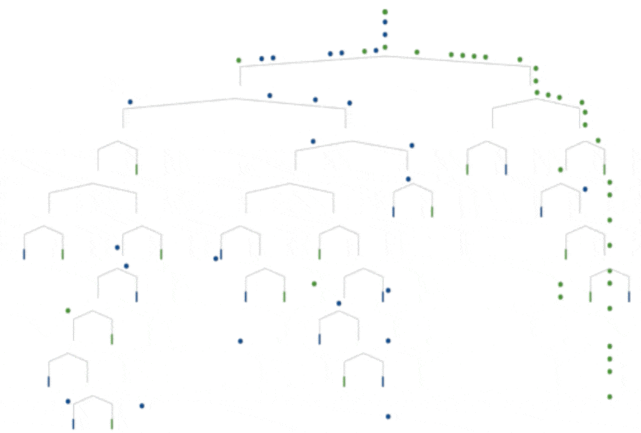
Maschinelles Lernen besteht aus Algorithmen, die die Beziehung zwischen einer abhängigen Variablen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen modellieren

Es lernt Beziehungen in den Daten und ermöglicht uns, Vorhersagen zu machen

Lineare Regression (auch ML)

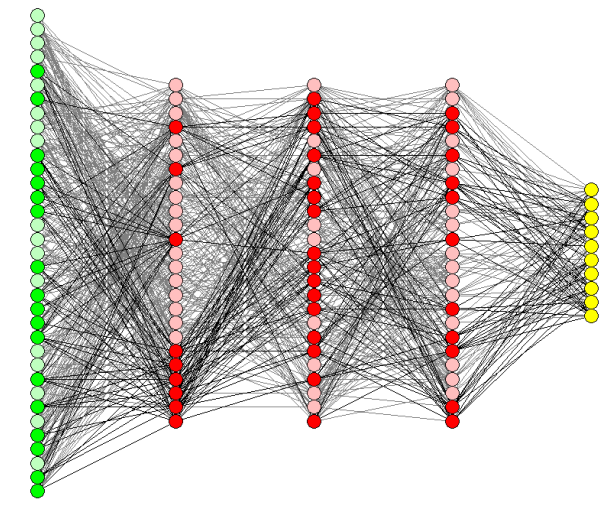


Decision trees (ML)



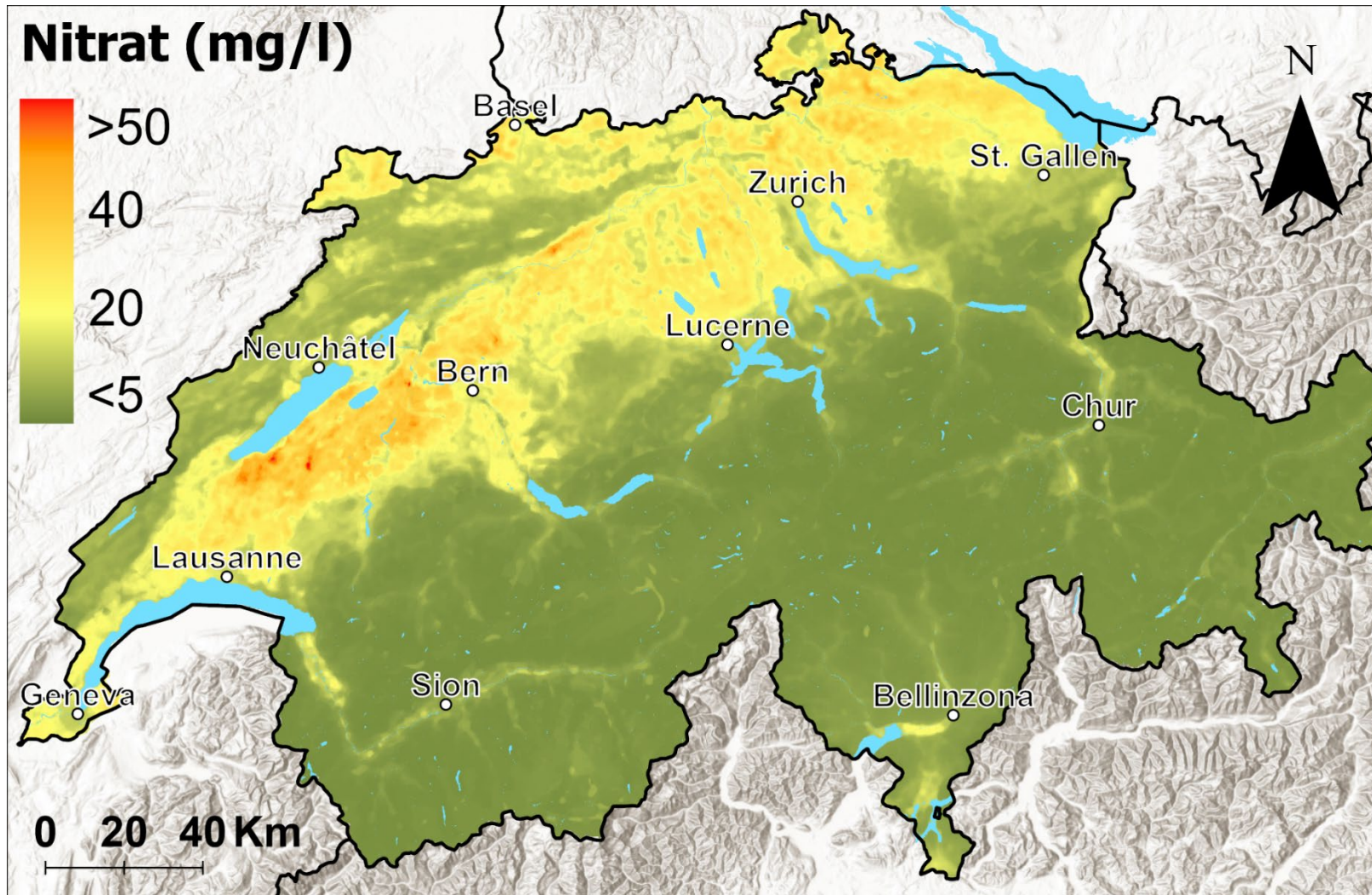
Quelle: <https://emerj.com/what-is-machine-learning/>

Neural Networks (ML)



Quelle: <https://emerj.com/what-is-machine-learning/>

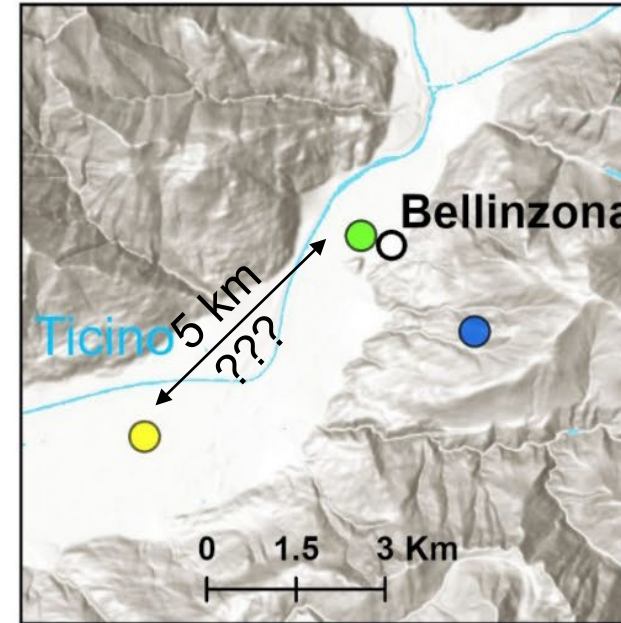
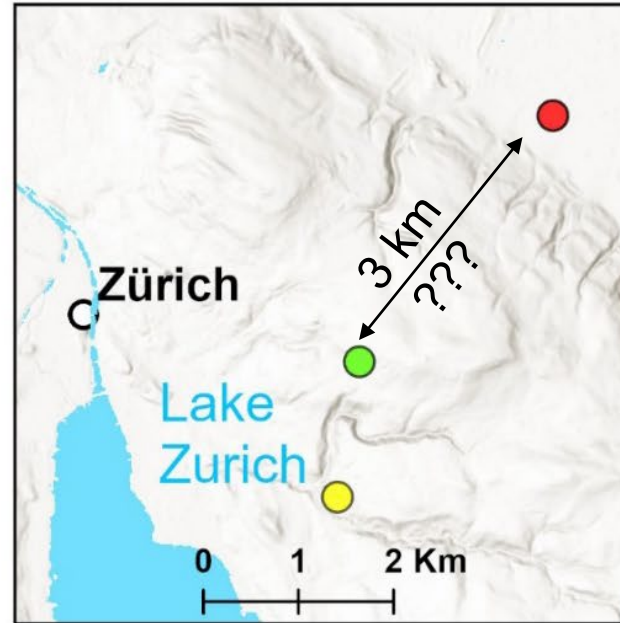
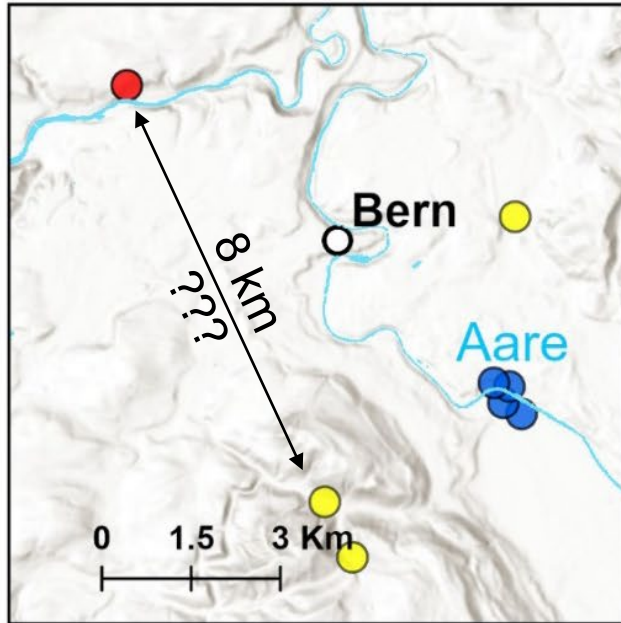
Vorhersage der Nitratkonzentration in Grundwasser



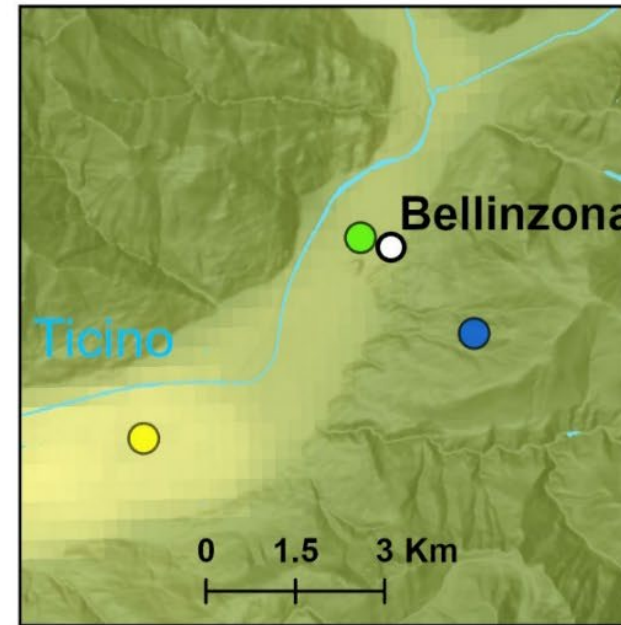
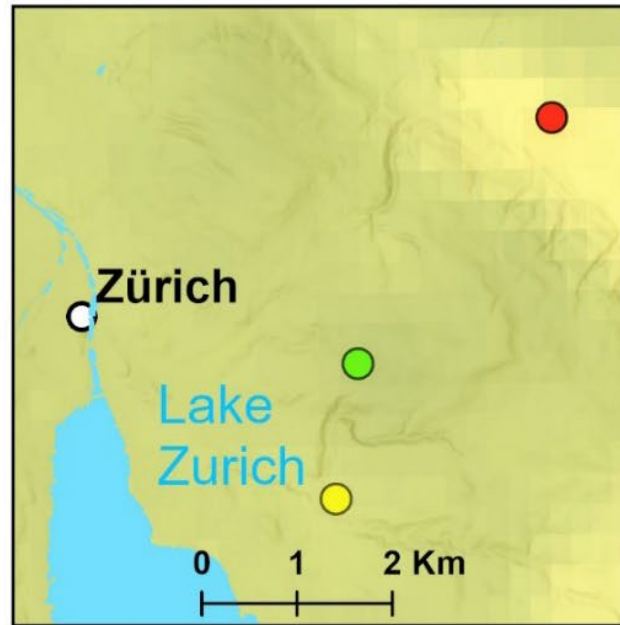
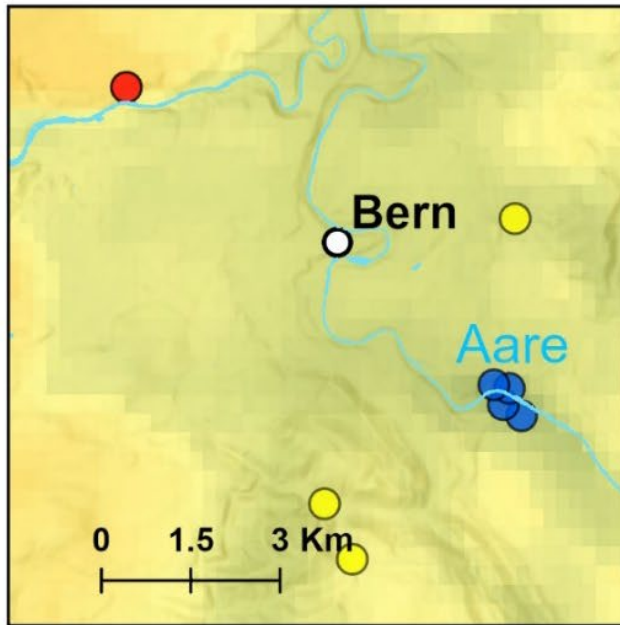
Die Karte zeigt die vorhergesagten mittleren Nitratkonzentrationen basierend auf dem Random-Forest-Regressionsmodell.

Räumlichen Auflösung:
250 × 250 m.

Messwerte



Vorhersagekarte: Lücken schliessen

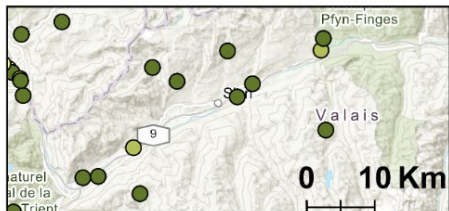
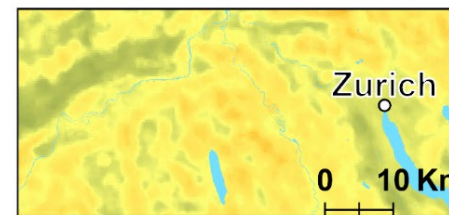
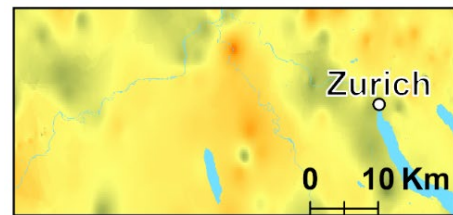
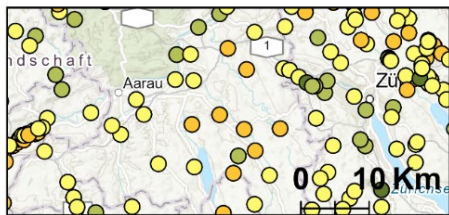
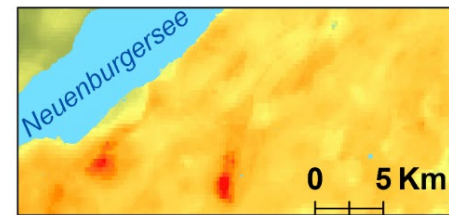
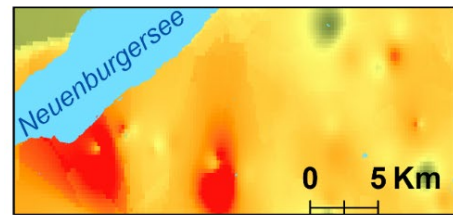
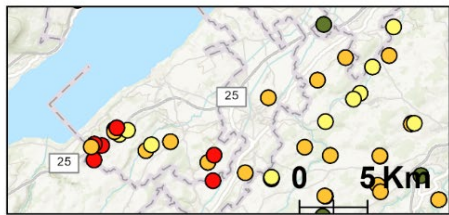
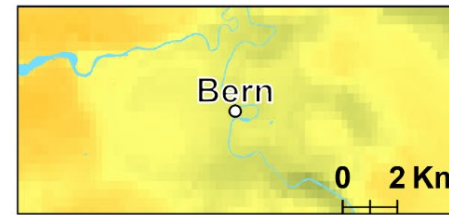
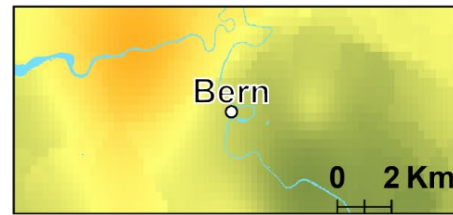
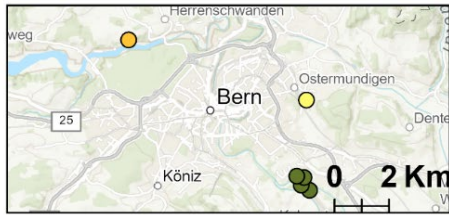


Maschinelles Lernen vs. Interpolation

Originale Messdaten

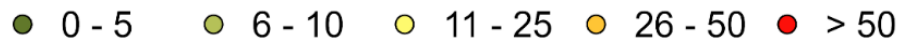
Interpolation

Maschinelles Lernen

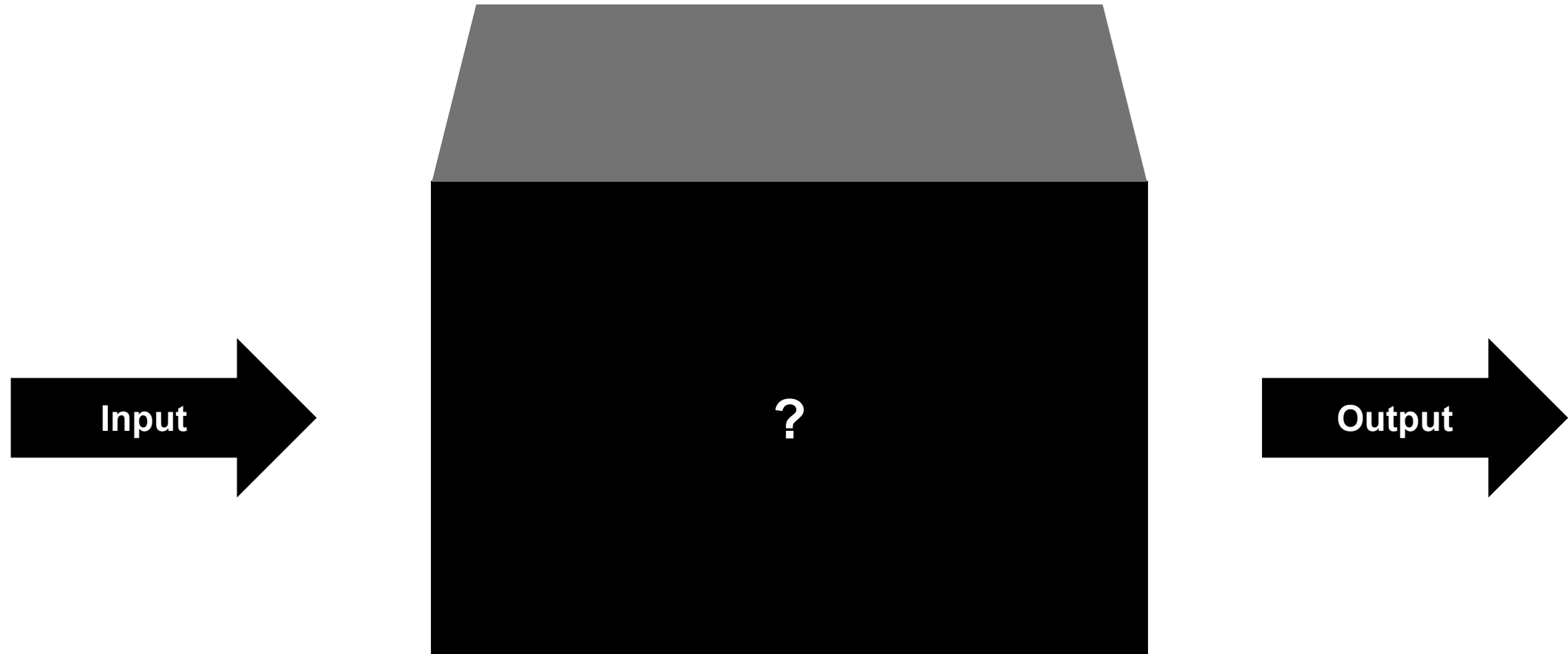


Quelle: Covatti et al. (in Arbeit)

Nitrat (mg/l)

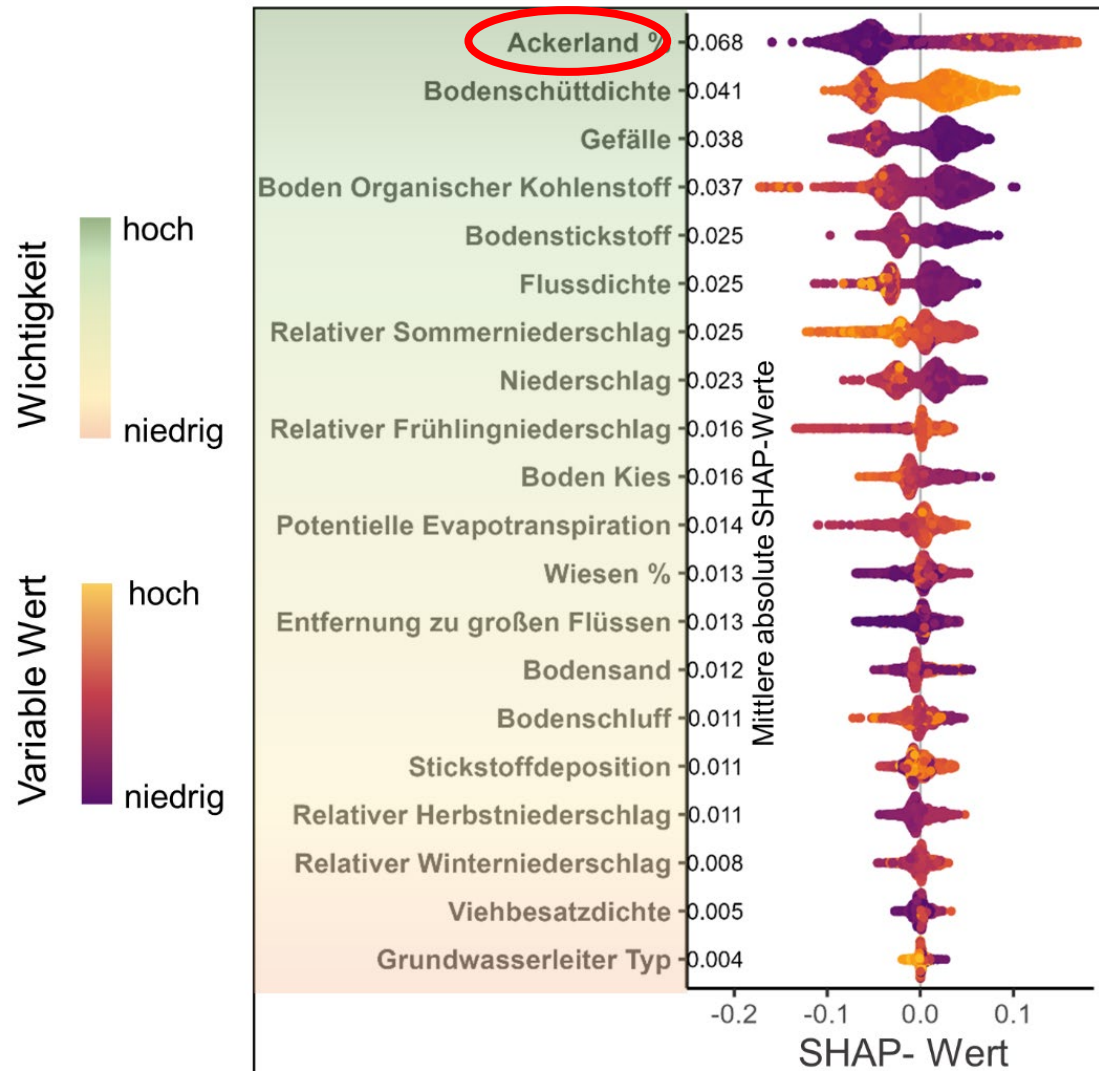


Modellinterpretation – eine Black Box?



Modellinterpretation mit SHAP

SHapley Additive exPlanations (SHAP)



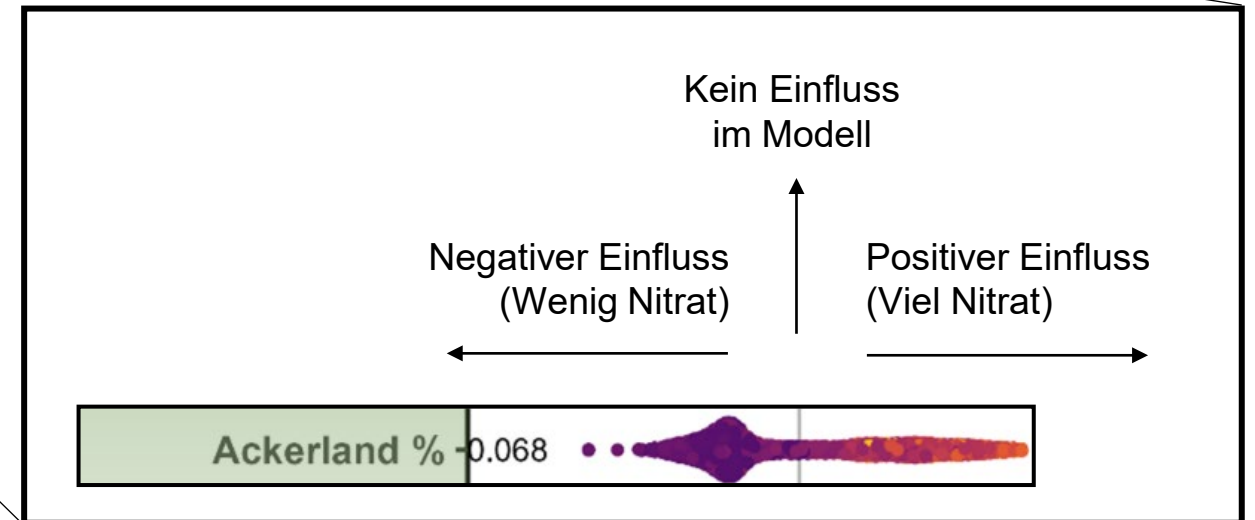
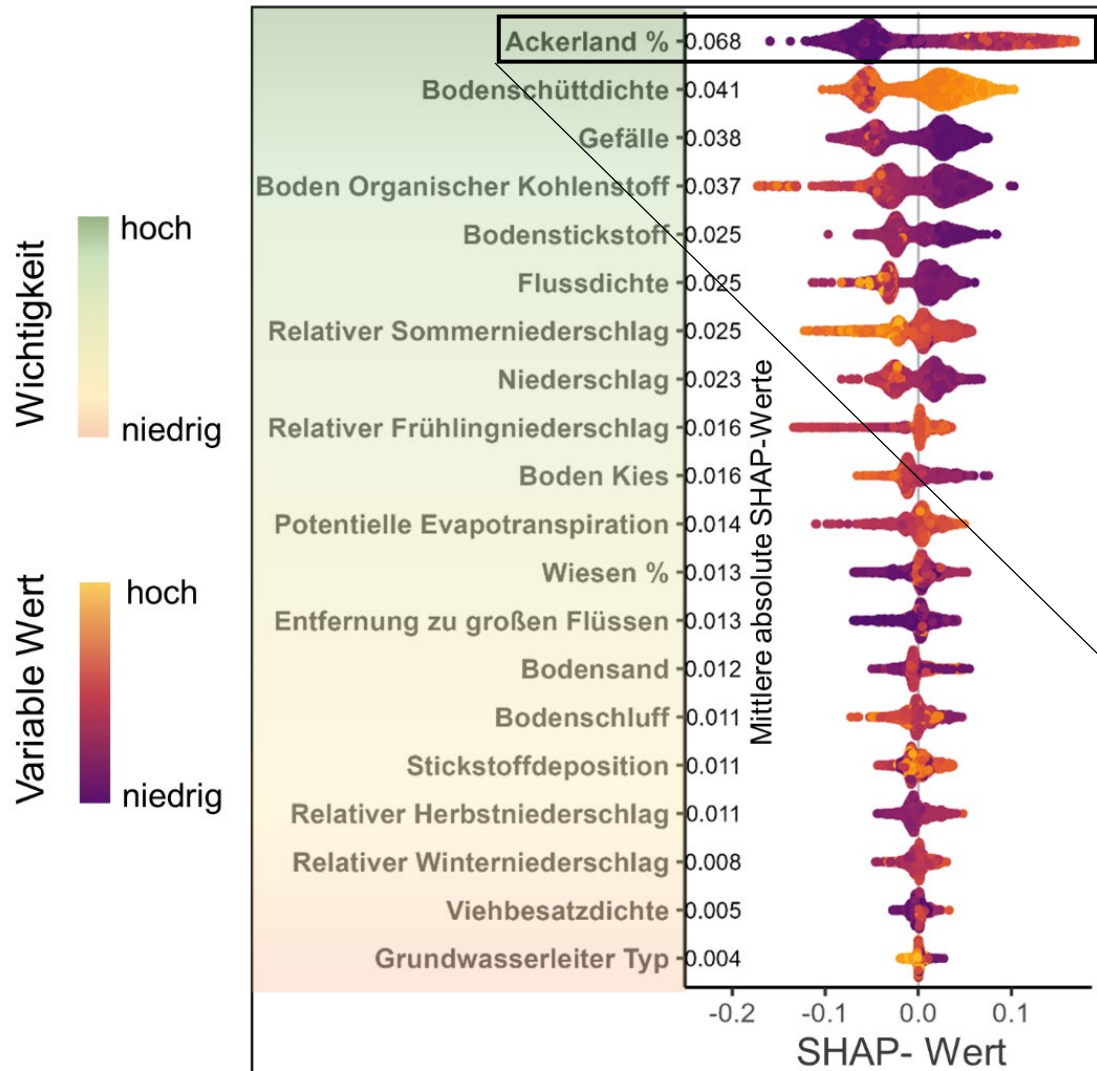
SHAP ist eine Methode, um Einblicke in die «Black Box» zu gewinnen

SHAP berechnet den Einfluss jeder einzelnen Variable auf das Endergebnis, indem es die Vorhersage in die einzelnen Beiträge dieser Variablen aufschlüsselt.

Hauptvariable → Ackerland % (1 km Umkreis)

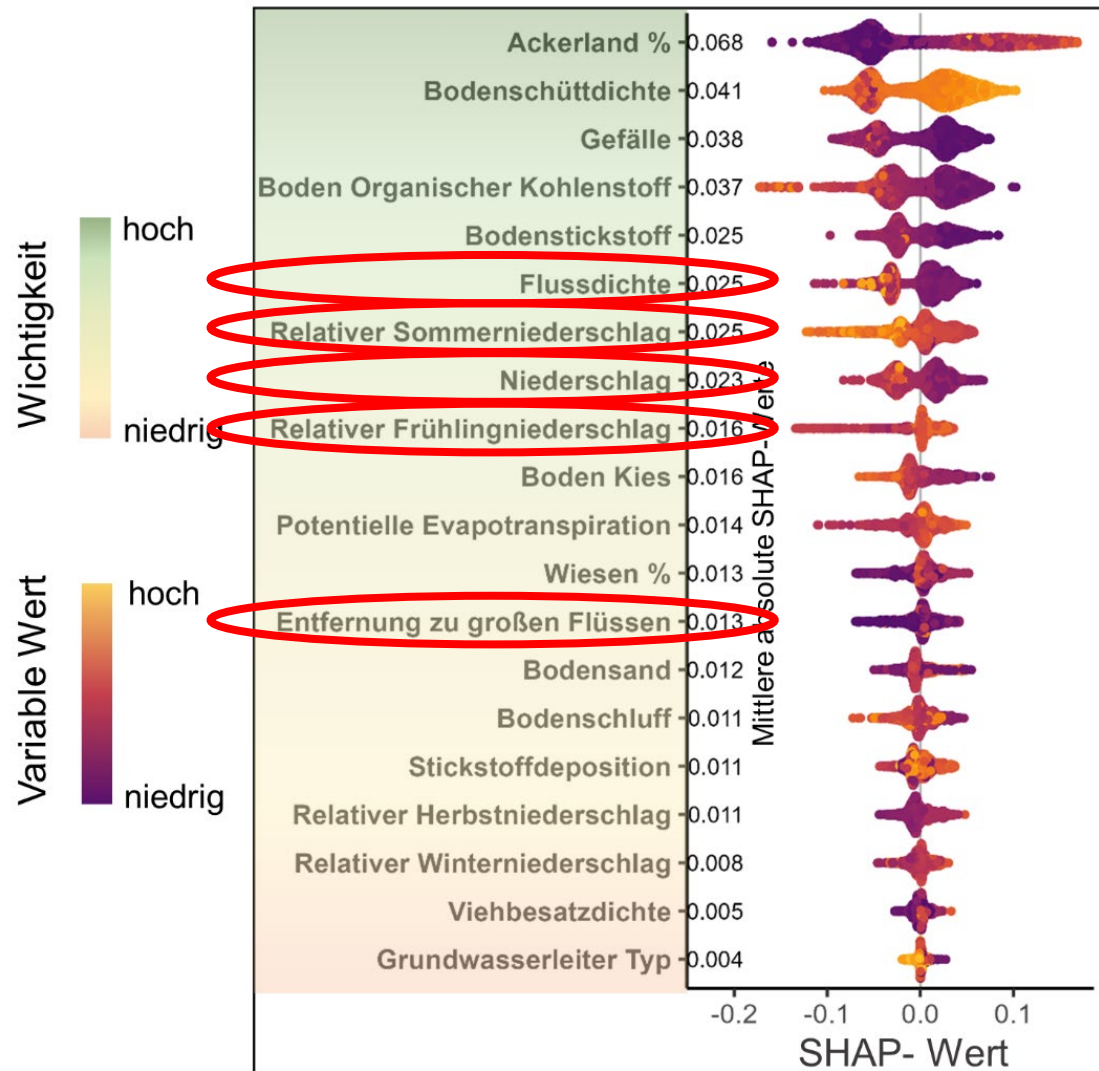
Wie sind die SHAP-Daten zu verstehen?

SHapley Additive exPlanations (SHAP)




Modellinterpretation

SHapley Additive exPlanations (SHAP)



Viele der wichtigen Variablen stehen in Zusammenhang mit der Hydrologie.



Zusammenspiel von **Anreicherung** versus **Verdünnung**

Beispiel Anreicherung: Hohe Niederschlagsmengen im Frühjahr führen zu hohen Nitratwerten im Grundwasser, weil im Frühjahr gedüngt wird.

Beispiel Verdünnung: Höhere Flusssdichte → Infiltration → stärkere Verdünnung von Nitrat.

Zusammenfassung

ML kann das Potenzial bestehender Überwachungsnetzwerke maximieren.

- ML kann die Lücken zwischen den Messstellen schliessen.
- Mithilfe von Interpretationswerkzeugen (SHAP-Analysen) können Einflussfaktoren erkannt werden, was die Interpretation unterstützt.
- ML kann helfen Prioritäten zu setzen und Strategien zur Schadensminderung für jeden Standort zu definieren.
- ML kann zur Modellierung anderer Wasserqualitätsparameter verwendet werden, sofern Indikatoren (Proxies) für relevante Prozesse verfügbar sind.

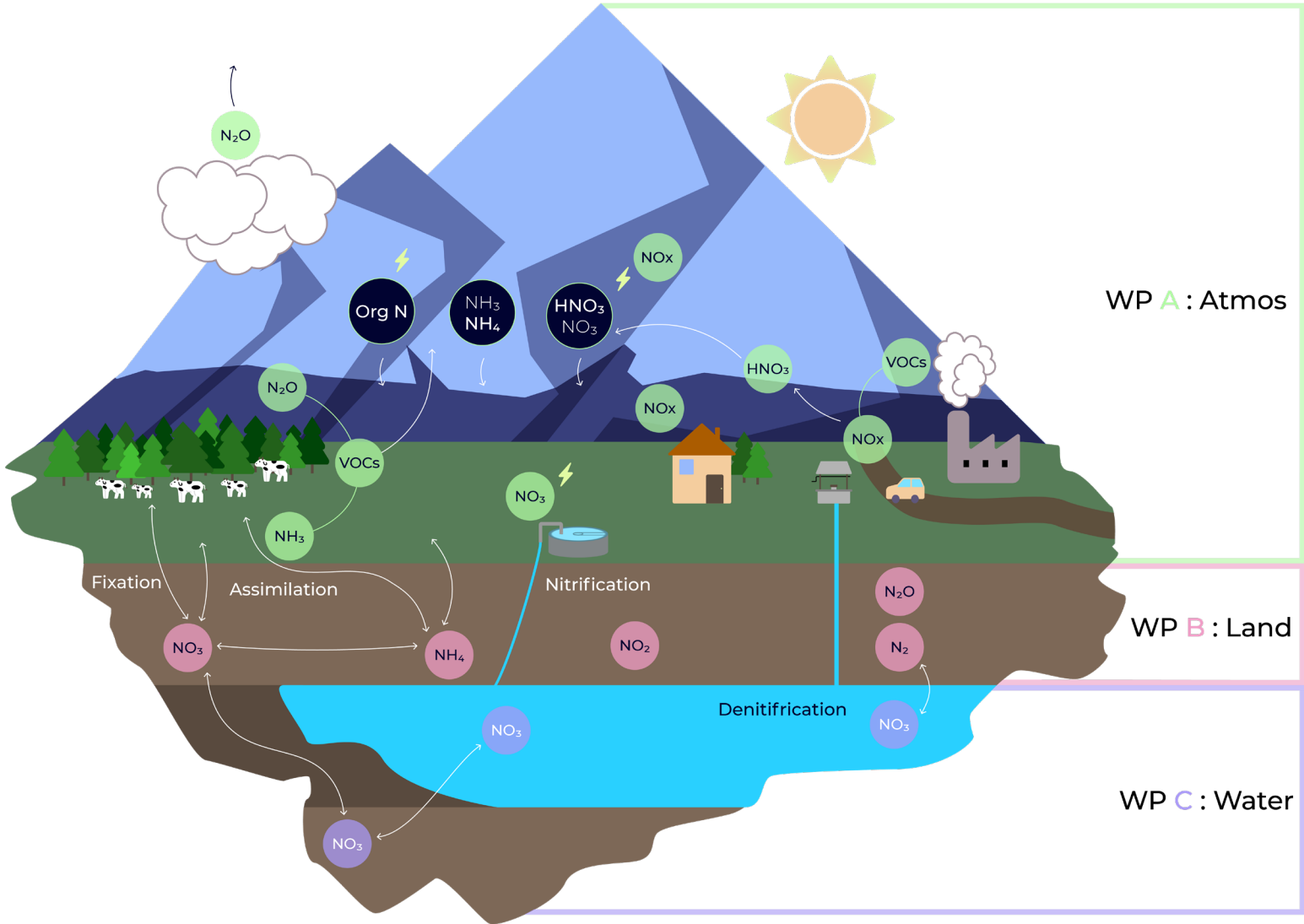
Danksagung

Projektteam

ReClean Team Eawag

- Gustavo Covatti
- Michael Berg
- Joel Podgorski

ReClean - Reactive nitrogen at the Climate, Energy, Agriculture, Water, and health Nexus



EPFL

PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

WP A : Atmos

ETH zürich



WP B : Land

eawag
aquatic research ooo

WP C : Water



Danksagung

Finanzierung

ETH-Rat

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Hydrologie

- Jana von Freyberg
- Flavio Malaguerra
- Miriam Reinhardt
- Stephanie Zimmermann

Kanton Bern

- Paul Borer

Interkantoniales Labor

Kantonale Behörden

