

GW-nitrATe

Attributing climate drivers to nitrate lag times in Austrian groundwater

Programm / Ausschreibung	ACRP, Austrian Climate Research Programme 2025	Status	laufend
Projektstart	01.11.2026	Projektende	28.02.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	28 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 184.637		
Keywords	groundwater, water quality, nitrate, legacy, impacts		

Projektbeschreibung

Grundwasser ist die zentrale Ressource für die Trinkwasserversorgung in Österreich. Zugleich wird sein chemischer Zustand durch Nitratbelastung in manchen Regionen beeinträchtigt. Trotz jahrzehntelanger politischer Maßnahmen treten in mehreren Grundwasserkörpern weiterhin erhöhte Konzentrationen auf, was sowohl auf anhaltende Belastungen als auch auf zeitlich verzögerte Nachwirkungen früherer Stoffeinträge (legacy effects) zurückzuführen ist. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass der Klimawandel die hydrologische Variabilität verstärkt, etwa durch häufigere Dürren, veränderte Niederschlagsmuster und eine Zunahme von Extremereignissen. Diese Veränderungen beeinflussen die Grundwasserneubildung, Verdünnungsprozesse und Stofftransportpfade und wirken sich somit auf die Grundwasserqualität aus. Die explizite Rolle klimatischer Einflussfaktoren für die Dynamik von Nitrat im Grundwasser ist jedoch bislang unzureichend untersucht. Dies stellt eine zentrale Wissenslücke dar, die in aktuellen nationalen Berichten sowie europäischen Richtlinien zum Grundwasserschutz hervorgehoben wird.

In der geplanten Studie wird das Zusammenspiel von Klimavariabilität, Landnutzung, Bewirtschaftungspraktiken und hydrogeologischen Bedingungen zur Erklärung von Nitratkonzentrationen im Grundwasser in Österreich systematisch analysiert. Grundlage bildet ein einzigartiger nationaler Datensatz bestehend aus langjährigen Grundwassermessreihen (ca. 2.000 Messstellen), hochaufgelösten Klimadaten sowie räumlichen Informationen zur Landnutzung. Nitrat wird dabei als Modellschubstanz für anthropogene Belastungen verwendet.

Ein integrierter methodischer Ansatz wird entwickelt, der Klimaindizes, statistische Verfahren und Methoden des maschinellen Lernens zur Prognose zukünftiger Änderungen der Nitratkonzentrationen im Grundwasser kombiniert. Besonderes Augenmerk liegt auf der Identifikation verzögerter Systemreaktionen und der Quantifizierung von Zeitverzögerungen zwischen auf die Landoberfläche wirkende Einflussgrößen und beobachteten Grundwasserreaktionen. Klimatische Extremereignisse wie Dürren, Starkniederschläge und kombinierte Ereignisse (z. B. Dürre-Wiederbefeuchtungs-Sequenzen) werden gezielt mit Mobilisierungs- und Transportprozessen von Nitrat verknüpft.

Auf dieser Grundlage werden Prognosemodelle entwickelt, um die Reaktion von Nitrat im Grundwasser unter aktuellen

Bedingungen sowie zukünftigen Klimaszenarien abzuschätzen. Grundwasserkörper werden hinsichtlich ihrer Sensitivität gegenüber klimatischen Stressoren klassifiziert, und die Ergebnisse werden in räumliche Vulnerabilitätskarten überführt, die Bereiche mit potenziell erhöhter Empfindlichkeit gegenüber klimatisch bedingten Veränderungen ausweisen.

Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zu den thematischen Schwerpunkten des ACRP, indem sie das Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche Systeme verbessern. Die Studie ermöglicht eine neuartige, datenbasierte Attribution von klimatischen Einflussfaktoren auf die Nitratdynamik im Grundwasser und stellt praxisrelevantes Wissen für Risikobewertung und Priorisierung des Monitorings bereit. Dadurch wird das Systemverständnis der klimabedingten Auswirkungen auf die Grundwasserqualität entscheidend verbessert und eine wissenschaftliche Grundlage für zukünftige Bewertungen und Maßnahmen geschaffen, die eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen sowie die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung in Österreich unterstützen.

Abstract

Groundwater is the primary source of drinking water in Austria, supplying nearly the entire demand. However, in some areas, its chemical status is regionally challenged by nitrate contamination. Despite decades of policy measures, elevated concentrations remain in several groundwater bodies, reflecting both ongoing pressures and legacy effects. At the same time, climate change is expected to intensify hydrological variability, with more frequent droughts, shifts in precipitation patterns, and the increased occurrence of extreme events. These changes are likely to alter recharge dynamics, dilution capacity, and solute transport pathways, thereby influencing groundwater quality. However, the explicit role of climatic drivers in modulating nitrate dynamics remains insufficiently quantified. This represents a key knowledge gap highlighted in recent national climate assessments and European policy frameworks addressing climate change impacts on groundwater quality.

This study plans to systematically analyze the interplay between climate variability, land use, land management, and hydrogeological conditions in controlling groundwater nitrate concentrations across Austria. Using a unique national dataset comprising long-term groundwater monitoring data (approx. 2,000 sites), high-resolution climate records, and spatial land-use information, nitrate is used as a model substance for anthropogenic pressure.

An integrated analytical framework combining climate-index-based analyses, statistical modelling, time-lag approaches, and machine learning is developed to estimate future groundwater nitrate changes. Particular emphasis is placed on identifying delayed system responses and quantifying lag times between surface drivers and groundwater quality signals. Climate anomalies, including droughts, heavy precipitation, and compound events such as drought-rewetting sequences, are explicitly linked to nitrate mobilisation and transport processes.

As a result of these analyses, predictive models are developed to assess groundwater nitrate responses under current conditions and future climate scenarios. Groundwater bodies are classified according to their sensitivity to climatic stressors, and the results are synthesised into spatial vulnerability maps that identify areas with potentially increased responsiveness to climate-induced changes.

The results contribute to the thematic priorities of the ACRP by improving the understanding of climate change impacts on natural systems. The study enables a novel, data-driven attribution of climatic drivers on nitrate dynamics in groundwater in

Austria and provides practice-relevant knowledge for risk assessment, monitoring prioritisation, and the evaluation of mitigation measures. This improves the system-level understanding of climate-related impacts on groundwater quality and establishes a scientific basis for future assessments and measures that contribute to the sustainable management of water resources and the long-term security of drinking water supply in Austria.

Projektkoordinator

- Universität für Bodenkultur Wien Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft (HYWA)

Projektpartner

- GeoSphere Austria - Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie