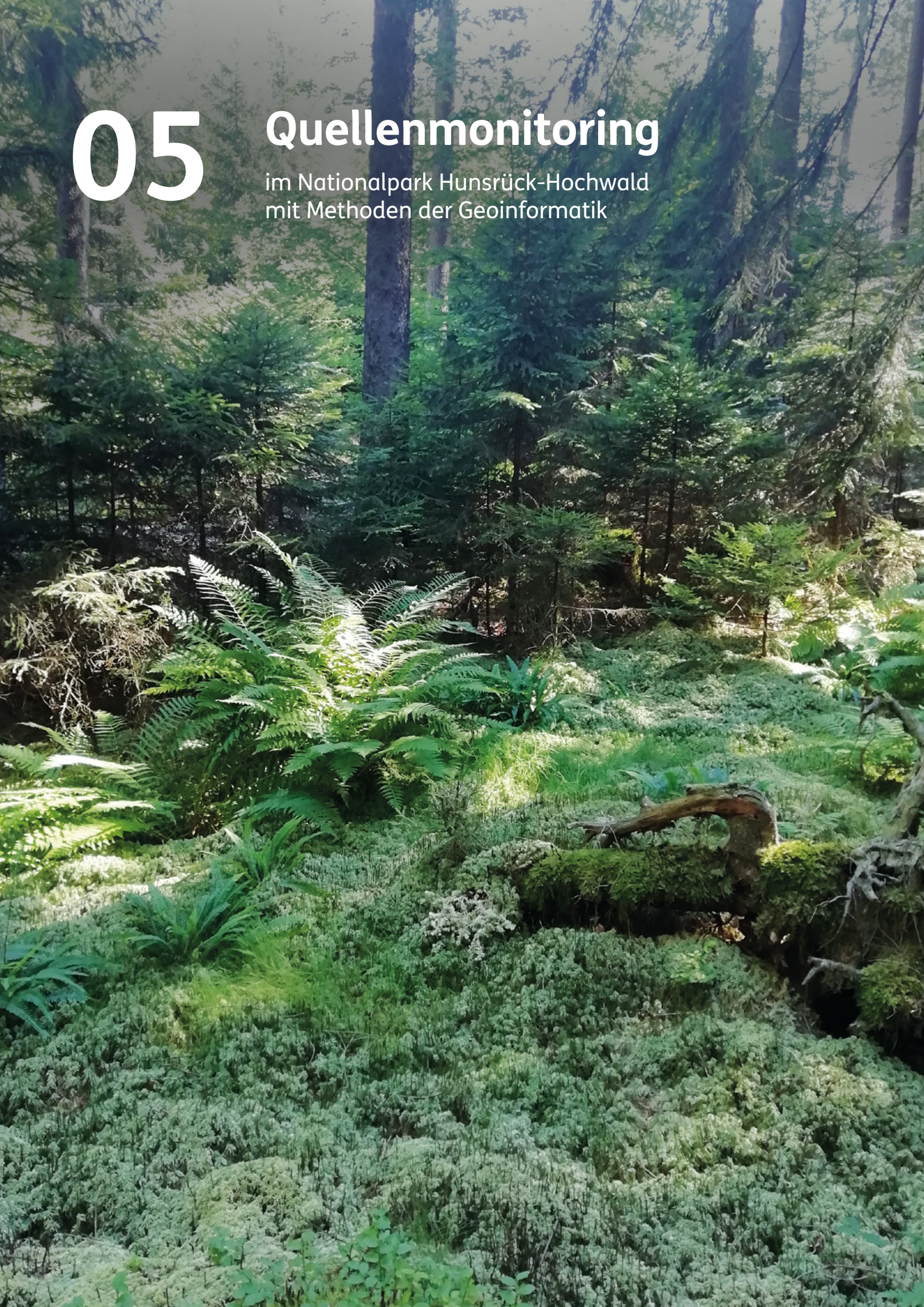


05

Quellenmonitoring

im Nationalpark Hunsrück-Hochwald
mit Methoden der Geoinformatik



Das Quellenmonitoring im Nationalpark Hunsrück-Hochwald (NLPHH) verfolgt das Ziel, sämtliche Quellstandorte mit ihren charakteristischen Merkmalen zu erfassen und ihren Zustand zu bewerten. Diese manuelle Datenerfassung ist äußerst zeitaufwendig. Daher wird im Rahmen dieser Studie untersucht, ob über digitale Geodaten eine Karte generiert werden kann, die flächendeckend das Potenzial von Grundwasserquellen darstellt. Die verwendete Methode zur Differenzierung zwischen Gebieten mit hohem und niedrigem Potenzial für Quellstandorte im Nationalpark ist die Frequenzverhältnis-Methode. Dabei wird das Verhältnis der Flächen, auf denen aufgrund topographischer Faktoren Grundwasserquellen auftreten können, zur Gesamtfläche berechnet. Die finale Karte des Grundwasserquellenpotenzials zeigt an vielen Stellen die charakteristische Struktur von Sickerquellen im Hunsrück, die aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit des devonischen Quarzits und des hohen Nässeindex im Hunsrück entstehen. Allerdings ist eine reine GIS-basierte Analyse für ein Quellenmonitoring im Nationalpark nicht ausreichend, da manuell erfasste Daten als Grundlage der Analyse dienen. Dennoch kann diese Karte in Zukunft das manuelle Quellenmonitoring ergänzen.

Die Autoren

Julia Früchtl studiert Environmental Sciences im Master an der Universität Trier mit der Spezialisierung in Fernerkundung.



Ihren Bachelor in Umweltgeowissenschaften absolvierte sie ebenfalls an der Universität Trier und schrieb ihre Bachelorarbeit über GIS-basiertes Quellenmonitoring in Zusammenarbeit mit dem Nationalpark Hunsrück-Hochwald, wo sie auch ein sechswöchiges Praktikum absolvierte.

Dr. Rebecca Retzlaff ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Umweltfernerkundung und Geoinformatik an der Universität Trier. Sie beschäftigt sich mit UAV-Aufnahmen und deren Auswertung für weinbauliche Anwendungen.

Dr. Johannes Stoffels ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik an der Universität Trier. Er beschäftigt sich mit der Analyse und Auswertung von Fernerkundungsdaten für forstliche Fragestellungen.

Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserkreislauf zeigen sich bereits in der Region des Nationalparks Hunsrück-Hochwald. Dies äußert sich insbesondere durch zeitliche Phasen mit unzureichendem Bodenwassergehalt (Grigoryan et al. 2010). Um vor diesem Hintergrund eine präzisere Untersuchung des Grundwassers vorzunehmen, kommen Methoden der Quellforschung und des Quellenmonitorings zum Einsatz. Dabei werden die Standorte von Quellen sowie deren Zustand kontinuierlich erfasst.

Erst im Jahr 2022 wurde im Nationalpark Hunsrück-Hochwald mit einer umfassenden und flächendeckenden Implementierung des Quellenmonitorings begonnen. Vor diesem Zeitpunkt wurden bereits an einigen Quellstandorten ökologische Analysen durchgeführt. Diese Maßnahmen dienen dazu, Veränderungen im hydrologischen System, insbesondere im Zusammenhang mit dem veränderten Klima, zu dokumentieren und zu verstehen. Es wird somit eine Grundlage geschaffen, um geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln und den Schutz des Wasserkreislaufs in dieser sensiblen Region zu gewährleisten.



Abb. 1: Überlauf einer Sickerquelle im NLPHH (Julia Früchtl 2022)



Abb. 2: Typische Sickerquelle im NLPHH (Julia Früchtl 2022)



Abb. 3: Typisches Quellgebiet im NLPHH (Julia Früchtl 2022)

Was sind Quellen?

Quellen bilden die Ursprünge von Bächen und Flüssen und damit den Übergang vom Grund- zum Oberflächenwasser (Schindler und Frey 2008). Sie sind daher für die Wasserverteilung auf der Erde sehr bedeutend, gehören allerdings zu den Lebensräumen in Mitteleuropa, welche am stärksten bedroht sind (Schindler 2005). Durch ein Monitoring dieser Standorte können Rückschlüsse auf Hydrologieparameter, Pestizide, Nährstoffbelastungen sowie Versauerungsindikatoren getroffen werden (Schindler 2005).

Es gibt unterschiedliche Quelltypen, von welchen die Art des Wasseraustrittes abhängig ist. Häufig wird die Einteilung in vier verschiedene Quelltypen vorgenommen. Diese sind Sturzquellen, Sickerquellen, Tümpelquellen und Wanderquellen (Schindler und Frey 2008). Im Hunsrück sind Sickerquellen typisch (Abbildung 2). Deren Wasserströmung ist eher gering, wodurch sich viele pflanzliche Überreste anlagern können und ein nährstoffreicher Lebensraum entstehen kann. Sie dienen als Sonderstandorte für spezielle Biotoptypen, wie Kalksinterflore oder Hangbrücher. Häufig sind diese durch viel Feinsediment geprägt (Schindler und Frey 2008). In der Regel entstehen Sickerquellen dann, wenn das Bodengrundwasser an die Oberfläche tritt. Bei den meisten anderen Quelltypen ist dieses Wasser Gesteinsgrundwasser (Brehm und Meijering 1996).

Methoden

Um ein digitales Quellenmonitoring durchführen zu können, werden zunächst einige Quellstandorte im Nationalpark als Trainingsdaten erfasst. Für diese Erhebung ist eine manuelle Kartierung erforderlich, wobei die vorliegenden Daten der terrestrischen Quellkartierung genutzt werden. Diese Daten basieren auf umfassenden Geländeerkundungen. Zur Identifikation der Quellstandorte im Nationalpark Hunsrück-Hochwald orientiert man sich im Gelände an der bekannten Wasserscheide und den Zeigerpflanzen für Feuchtigkeit. Zudem ist eine detaillierte Beobachtung des Wasserlaufs notwendig. Bei der Auffindung eines Quellstandorts werden dessen Koordinaten notiert, und der Standort wird gemäß der Kartieranleitung des Quellen-Leitfadens des Landes Rheinland-Pfalz kartiert (Schindler und Frey 2008). Anschließend erfolgt die Digitalisierung der Quellstandorte. Die digital erfassten Quellstandorte können dann als Trainingsdaten verwendet werden. Diese 98 Standorte wurden im Sommer und Herbst 2022 aufgenommen.

Für die GIS-Analyse wurden mit Hilfe eines digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 10 Metern, welches die Höheninformationen der Erdoberfläche abbildet, und mit Hilfe spezieller Software-Pakete (ArcGIS Pro, Saga Tool in QGIS) die Faktoren berechnet, welche für ein Auftreten eines Quellstandortes verantwortlich sind. Diese Faktoren sind Höhe, Hangneigungswinkel, Hang-

ausrichtung, Horizontalkrümmung, Fließlänge, Abflussrichtung, Abflussakkumulation, Abflussbreite, Stromstärkeindex (SPI), topographischer Nässeindex (TWI), Entfernung zum Gewässernetz und Entfernung zum Fazieswechsel, also der Wechsel vom devonischen Schiefer zum devonischen Quarzit.

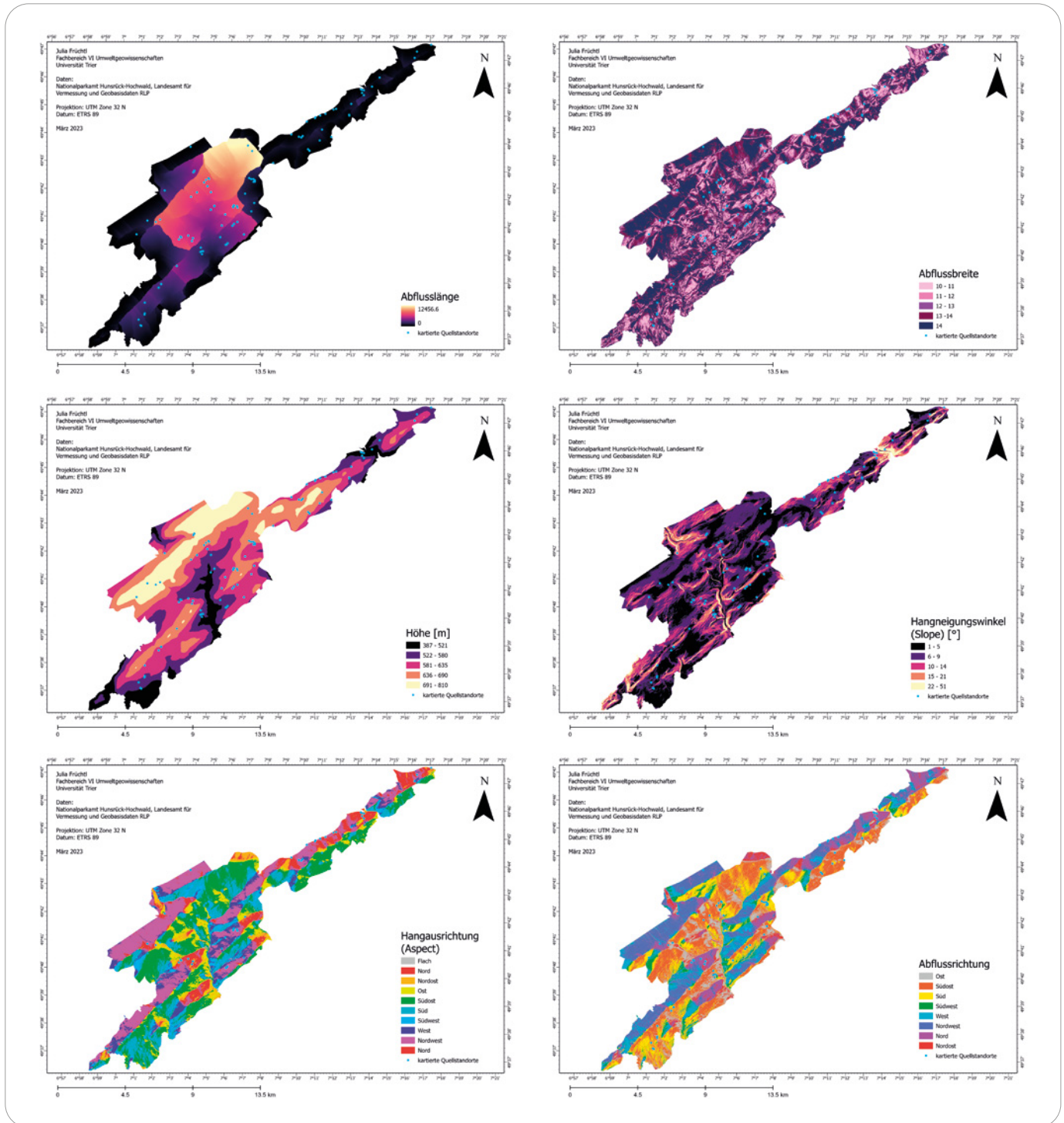


Abb. 4: Faktoren für die Frequenzverhältnis-Methode

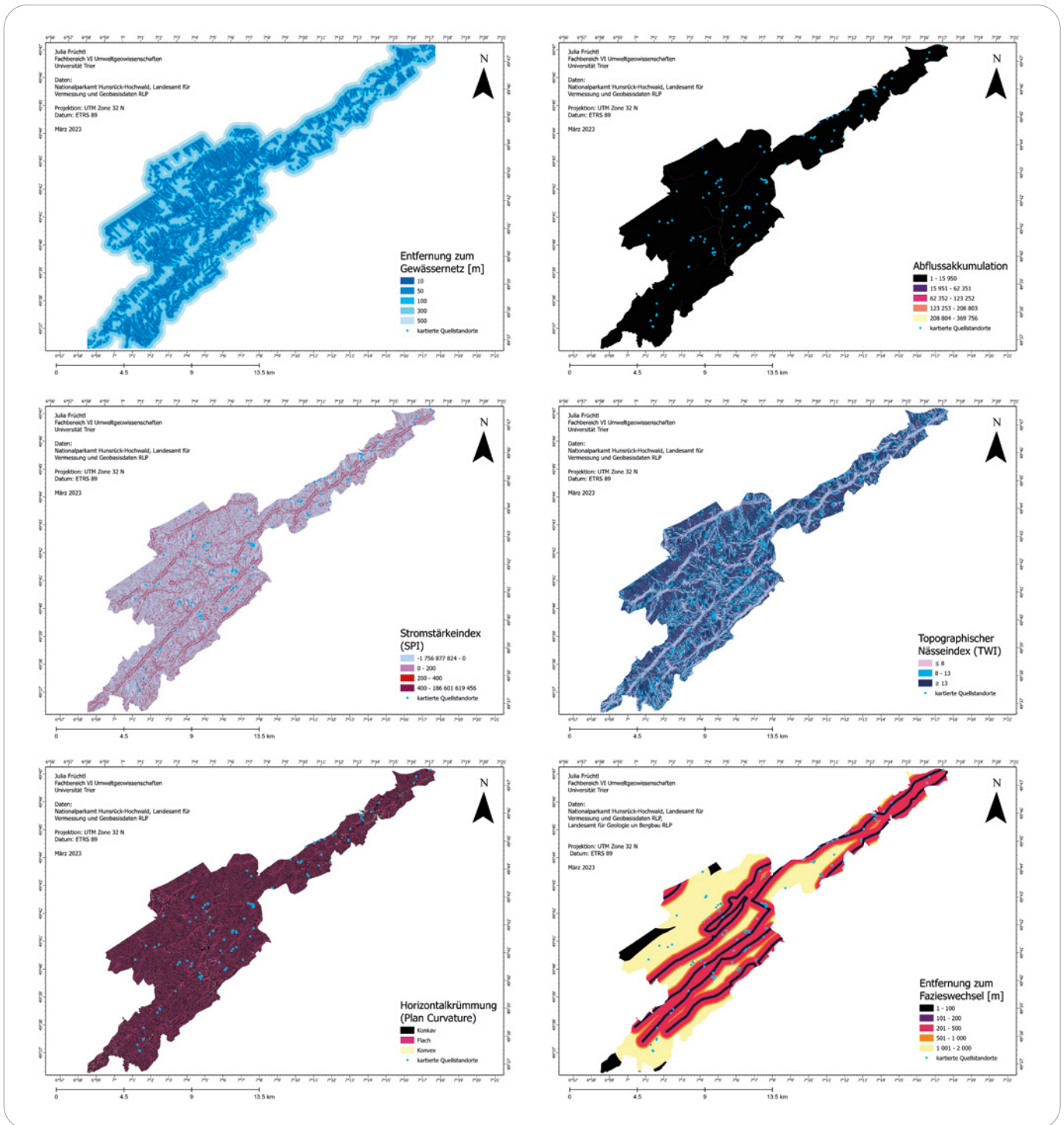


Abb. 4, Forts.: Faktoren für die Frequenzverhältnis-Methode

Für die Frequenzverhältnis-Methode werden diese Faktoren gemeinsam mit den Trainingsdaten verwendet. Für die Analyse wird mit dem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung von 10 m gearbeitet. Zunächst wird jeder der Faktoren in Klassen eingeteilt. Das bedeutet, dass beispielsweise der Faktor der Höhe in einzelne Höhenbereiche eingeteilt wird, wobei jeder Höhenbereich eine Klasse abbildet. Nach der Klassifizierung wird für jeden der quellbezogenen Faktoren in Kombination mit den Trainingsquellen, also den in der Feldstudie kartierten Quellstandorten, eine Flächentabelle erstellt. Dadurch wird die Anzahl der Pixel pro Klasse eines Faktors, welche eine Trainingsquelle enthält, sichtbar. Dabei kann der Faktor die Höhe sein, wodurch die Höhenstufen die einzelnen Klassen abbilden. In Kombination mit der Gesamtanzahl an Trainingsquellen im NLPHH (hier 89), der Anzahl an Pixeln in der jeweiligen Klasse eines Faktors und der Gesamtanzahl an Pixeln im gesamten NLPHH kann dann das Frequenzverhältnis, also der Häufigkeitswert, für jede Klasse jedes Faktors berechnet werden. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$FR = \frac{G/D}{E/F}$$

- FR: Frequenzverhältnis
- G: Pixelanzahl mit Quellstandort pro Klasse eines Faktors (wie z. B. Höhenbereich)
- D: Gesamtmenge kartierter Quellstandorte im NLPHH (89)
- E: Pixelanzahl pro Klasse eines Faktors
- F: Gesamtmenge Pixel im NLPHH

Um aus den einzelnen Frequenzverhältnissen (FR) eine potenzielle Grundwasserquellenkarte (GSPM) zu erstellen und die Klassen der quellbezogenen Faktoren untereinander vergleichbar zu machen, werden die FR-Einzelwerte (FR) pro Klasse eines Faktors durch die Summe der FR-Klassenwerte pro Faktor dividiert und in Prozent umgerechnet, um so die relative Häufigkeit für jeden Faktor in Prozent zu erhalten.

$$rH\% = \frac{FR}{\sum_{k=1}^n FR} * 100$$

- rH%: relative Häufigkeit in Prozent einer Faktorenklasse (wie z. B. Höhenbereich)
- FR: Frequenzverhältnis
- $\sum_{k=1}^n FR$: Summe der Frequenzverhältnisse

Diese Prozentwerte der relativen Häufigkeit werden anschließend genutzt, um die Klassen der Faktoren erneut zu reklassifizieren. Dabei wird jeder Klasse jedes Faktors der entsprechende FR-Prozentwert (rH%) zugeordnet, um das Vorkommen der Quellstandorte in den einzelnen Klassen zu repräsentieren. Also beispielsweise, wie häufig das Vorkommen von Quellstandorten in einer bestimmten Höhe oder bei einer bestimmten Hangneigung ist. Jede Klasse bekommt somit eine Gewichtung zugeordnet, welche ihrer Dominanz für das Vorkommen der Quellstandorte in Abhängigkeit der Pixelanzahl entspricht.

Für die GSPM müssen die Frequenzverhältnissenwerte der 12 Faktoren addiert werden. Da aber jede Klasse einen eigenen FR-Wert hat, muss dieser noch in den Vorhersagewert (Prediction Rate, PR) umgerechnet werden, um den Faktor im Gesamten zu repräsentieren. Dazu wird der kleinste Wert der relativen Häufigkeit von dem größten Wert der relativen Häufigkeit subtrahiert. Die kleinste Differenz wird dann durch die Differenz aller Faktoren dividiert, um den finalen Vorhersagewert zu erhalten.

$$PR = \frac{\text{Max rH} - \text{Min rH}}{\text{Min (Max rH} - \text{Min rH)}}$$

- PR: Vorhersagewert jedes Faktors
- Max rH: Maximaler Vorhersagewert
- Min rH: Minimaler Vorhersagewert

Mit Hilfe des Rasterrechners werden dann die 12 reklassifizierten Faktoren mit ihrem Vorhersagewert multipliziert und anschließend addiert, um eine finale potenzielle Grundwasserquellenkarte zu erhalten:

$$GSPM = (\text{Höhe} * PR + \text{Abflussrichtung} * PR + \dots)$$

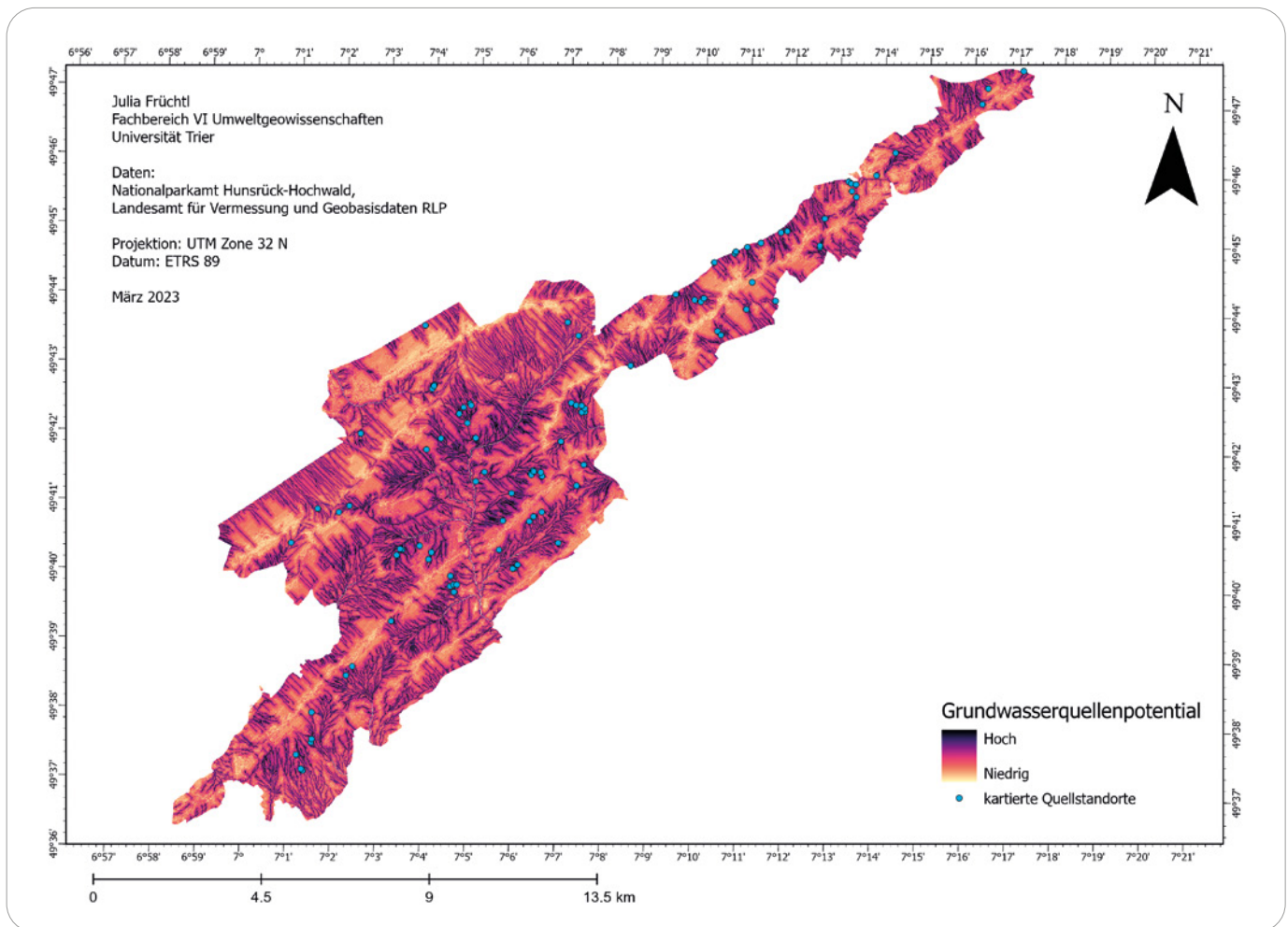


Abb. 5: Potenzielle Grundwasserquellenkarte im NLP HH

Ergebnisse und Diskussion

Der Großteil der berechneten Quellstandorte liegt im Bereich von 522 m bis 635 m mit einer Hangneigung von 6° bis 21°. Besonders im Osten des Nationalparks ist sehr deutlich zu sehen, dass die Quellstandorte auf einer Höhenlinie liegen, was auf Quellhorizonte hindeutet (Abbildung 5). Denn genau an der Stelle, an welcher der Wechsel von dem devonischen Schiefer zum devonischen Quarzit stattfindet, ist das Potenzial für Grundwasserquellen sehr hoch und einige Quellstandorte wurden parallel dazu aufgefunden. Dies liegt daran, dass die Grundwasserbewegung entlang von Klüften und Spalten verläuft (Schittek 2006). Des Weiteren sind die nordöstlich liegenden Bereiche mit südöstlicher Ausrichtung häufiger als Quellstandorte zu verzeichnen. Je höher zudem der topographische Nässeindex (TWI) und die

Abflussbreite, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten von Quellstandorten.

Das vermehrte Auftreten von Sickerquellen im NLP HH kann durch die Grundwasserquellenkarte bestätigt werden. Da in diesen Gebieten das Wasser an mehreren Stellen aus der Erde sickert, kann deren Quellbereich eine Ausdehnung von 1000 m² betragen (Schindler und Frey 2008). Dies ist auch an der potenziellen Grundwasserquellenkarte und der Verteilung der Quellstandorte zu erkennen. Die Bereiche mit hohem Potenzial liegen in kleinen Armen baumartig nebeneinander, was einem typischen Bild der Sickerquellen entspricht. Im Vergleich mit den Daten der Gebiete der Staunässe (Abbildung 6), welche vom NLP HH zur Verfügung gestellt wurden, ist ebenfalls zu erkennen, dass die potenziellen Grundwasserquellenbereiche in Gebieten mit Staunässe liegen.

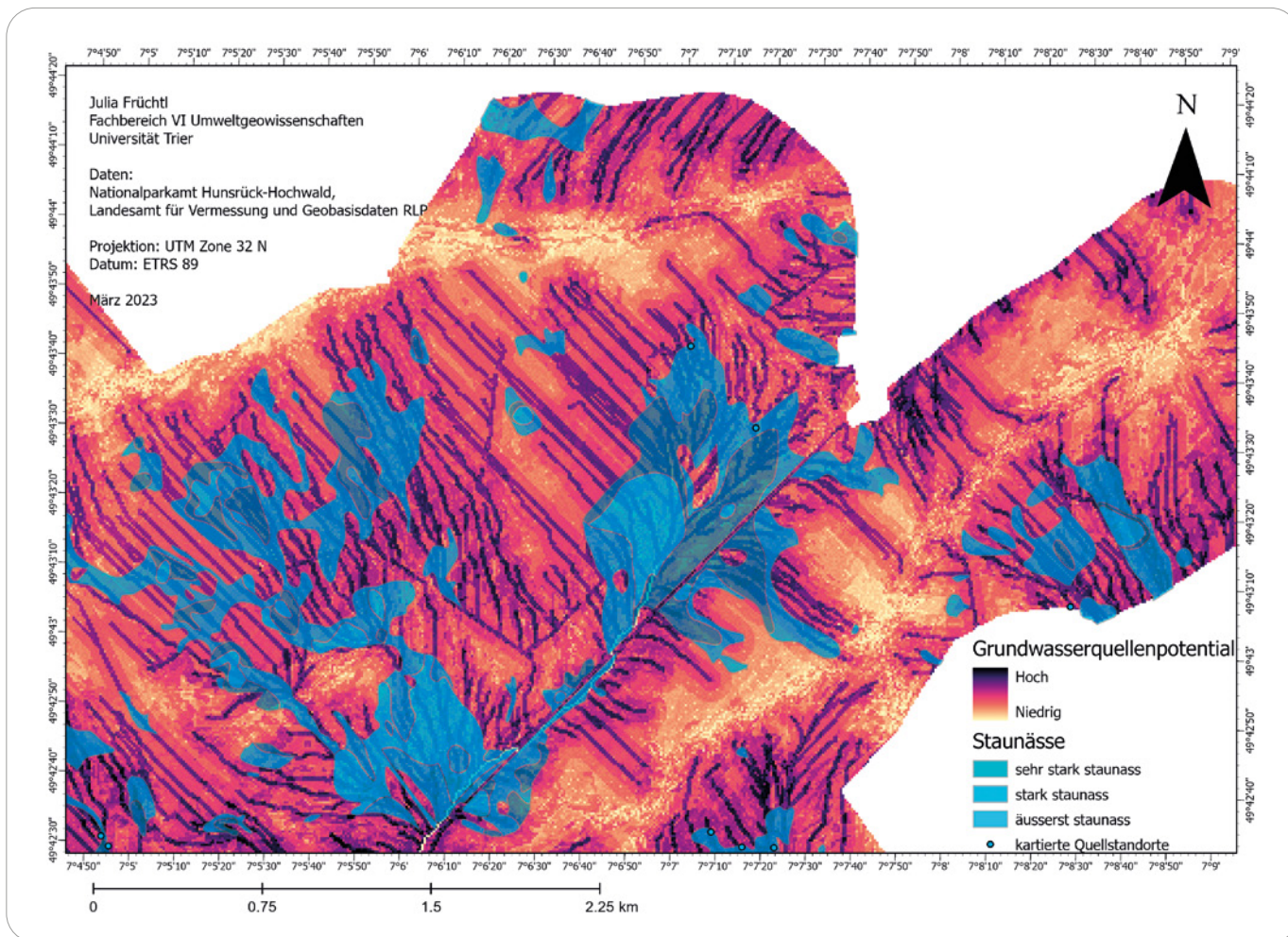


Abb. 6: Stauanässe im NLP HH

Da eine Sickerquelle meist mehrere Wasseraustritte hat, welche über den Quellbereich verteilt sind und eine große durchnässte Fläche bilden (Schittek 2006), entstehen auch die typischen Hangbrücher (Schindler und Frey 2008). Der Grund für diesen flächigen Quellaustritt an der Oberfläche ist das Aufstauen auf gering durchlässigem Untergrund (Schittek 2006). Im NLP HH wurden im Laufe der letzten Jahrhunderte viele Brücher aufgrund der Aufforstung entwässert. Dadurch entstanden zahlreiche Entwässerungsgräben, die ein Grabensystem bilden. Dieses Grabensystem entwässert in die Vorfluter oder an Waldwegen. Die Entwässerungsgräben führen dann dazu, dass der Wasserrückhalt stark abnimmt (König et al. 2017). Das Grabensystem ist zwar noch erkennbar, allerdings ist die durch Moornaturierung entstandene Nassfläche gut zu erkennen. Denn die Sickerquellen und die Hangbrücher bilden die geringe

Permeabilität des Quarzits ab und die parallele Verteilung der Quellstandorte weist auf geologische Klüfte und Spalten hin.

Des Weiteren spielt die Abflussakkumulation eine große Rolle bei der Verteilung der Quellstandorte. Sowohl der topographische Nässeindex als auch der Stromstärkeindex wurden mit Hilfe der Abflussakkumulation berechnet. Bei dieser wird die Größe der Region bestimmt, in der Wasser aus Niederschlägen aggregiert werden kann. Die Akkumulation wird zudem meist für eine ebene Fläche berechnet und beschreibt die räumliche Ausdehnung eines Sammelgebietes aus der Vogelperspektive (Gruber und Peckham 2009). Da allerdings für die Analyse dieser Arbeit als Eingabebereich das Gebiet des NLP HH eingesetzt wird, welches aus mehreren Wassereinzugsgebieten besteht, kann das Ergebnis stark von den Werten



Im Überblick

- 2022 wurde mit dem flächendeckenden Quellenmonitoring im NLPHH begonnen
- Mit der Frequenzverhältnis-Methode kann eine potenzielle Grundwasserquellenkarte erstellt werden
- Wechsel von dem devonischen Schiefer zum devonischen Quarzit lässt Wasser austreten
- Geringe Wasserdurchlässigkeit des devonischen Quarzits und hoher Nässeindex im Hunsrück lässt Sickerquellen entstehen
- Oft große Bereiche mit flächigem Wasseraustritt im NLPHH

abweichen, welche in den existierenden Einzugsgebieten berechnet worden wären. Dies kann dazu führen, dass die Werte sehr hoch sind. Daher liegen auch alle Trainingsquellen in der ersten Klasse, wodurch die Abflussakkumulation ein hohes Potenzial hat, Quellen vorherzusagen. Da der topographische Nässeindex die Tendenz einer Zelle beschreibt, Wasser zu sammeln (Gruber und Peckham 2009), sind in steilem und divergierendem Gelände die Werte hoch (Schmidt und Persson 2003). Da das Gebiet des NLPHH aus vielen steilen Hängen besteht, sind dementsprechend auch die Werte des topographischen Nässeindex hoch.

Die Divergenz spiegelt sich wiederum in der Horizontalkrümmung wider, denn das Quellenpotenzial ist in den Bereichen der konkaven Horizontalkrümmung am höchsten. Dadurch müssten eigentlich auch die Werte des Stromstärkeindex hoch sein. Allerdings ist die relative Häufigkeit des Stromstärkeindex im Bereich unter null am höchsten. Dies könnte auch daran liegen, dass das Gebiet des NLPHH anstatt einzelner Einzugsgebiete verwendet wurde.

Zudem wird durch die Grundwasserquellenkarte bestätigt, dass die Abflussrichtung ein geringes Potenzial hat, um Grundwasserquellen vorherzusagen. Dies hat wahrscheinlich damit zu tun, dass der NLPHH aus mehreren Wasserscheiden besteht. Denn 73 % des Nationalparks werden nach Süden in die Nahe und 23 % nach Norden in die Mosel und westliche Richtung in die Saar entwässert (König et al. 2017). Dies erklärt auch, warum in den Abflussrichtungen Süd und Nord die Quellanzahl im Verhältnis zur Fläche am höchsten ist.

Von allen zwölf Faktoren besitzt die Abflussakkumulation die höchste Kapazität, um Quellstandorte im NLPHH mit Hilfe der Frequenzverhältnis-Methode zu lokalisieren. Es folgen Abflussbreite, Entfernung zum Gewässernetz, Stromstärkeindex, Abflusslänge, Höhe und Horizontalkrümmung. Abschließend folgen Hangausrichtung, topographischer Nässeindex, Entfernung zum Wechsel der Fazies und zuletzt Abflussrichtung. Aufgrund dieser Vorhersagen ist die abschließende potenzielle Grundwasserquellenkarte auch stark von der Abflussakkumulation und dem Gewässernetz bestimmt, da das ursprüngliche Gewässernetz noch sehr stark zu erkennen ist. Außerdem lässt sich ein unterschiedlich hohes Potenzial anhand der Höhenlinien ableiten.

Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine abschließliche Analyse basierend auf Geographischen Informationssystemen für ein Quellenmonitoring im Nationalpark Hunsrück-Hochwald nicht ausreicht. Zur Erstellung einer potenziellen Grundwasserquellenkarte sind die in einer Feldstudie erfassten Quellstandorte als Trainingsdaten unerlässlich. Es empfiehlt sich jedoch, die Kartierung zunächst auf aussagekräftige Standorte zu beschränken, während zusätzliche Quellstandorte später mit Hilfe der erstellten Karte aufgefunden werden können. Dies würde erheblich Zeit bei der manuellen Quellkartierung einsparen.

Die Anwendung der Frequenzverhältnis-Methode ermöglicht die Erstellung einer potenziellen Grundwasserquellenkarte für das Gebiet des Nationalparks Hunsrück-Hochwald. Diese Karte verdeutlicht trotz des Einflusses mehrerer Einzugsgebiete klar, welche Bereiche innerhalb des Parks ein hohes und welche ein niedriges Potenzial für das Vorkommen von Grundwasserquellen aufweisen. Dennoch wäre es für eine präzisere Analyse sinnvoll, das Quellenpotenzial für die einzelnen Einzugsgebiete separat zu berechnen und die Ergebnisse anschließend in einer kombinierten Karte zu integrieren.

Danksagung

Vielen Dank an Rainer Maria Kreten für die Bereitstellung der Geodaten und vielen Dank an Markus Klein für die Hilfe beim Digitalisieren der kartierten Quellstandorte. Ein großer Dank geht zudem an David Moore, welcher maßgeblich für das Quellenmonitoring im NLP HH zuständig ist.

Quellen

Brehm, Jörg; Meiering, Meertinus P. D. (1996): Fließgewässerkunde. Einführung in die Ökologie der Quellen, Bäche und Flüsse. 3., überarb. Aufl. Heidelberg, Wiesbaden: Quelle und Meyer (36).

Grigoryan, G. V.; Casper, M. C.; Gauer, J.; Vasconcelos, A. C.; Reiter, P. P. (2010): Impact of climate change on water balance of forest sites in Rhineland-Palatinate, Germany. In: Adv. Geosci. 27, S. 37–43. DOI: 10.5194/adgeo-27-37-2010.

Gruber, Stephan; Peckham, Scott Dale (2009): Chapter 7 Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. In: Elsevier (Hg.): Geomorphometry. Concepts, Software, Applications, Bd. 33: Elsevier (Developments in Soil Science), S. 171–194.

König, Dieter; Egid, Harald; Herrmann, Marco; Schultze, Jörn; Tempel, Michael; Zemke, Julian J. (2017): Der Nationalpark Hunsrück. In: Rainer Graafen und Dieter König (Hg.): Der Nationalpark Hunsrück-Hochwald. Koblenzer Geographisches Kolloquium 39 (500), S. 5–40.

Schindler, Holger (2005): Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland-Pfalz. Dissertation. Universität Koblenz-Landau. Online verfügbar unter https://kola.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/deliver/index/docId/8/file/Dissertation_H._Schindler.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2023.

Schindler, Holger; Frey, Wolfgang (2008): Quellen-Leitfaden. 1. Aufl., Bearb.-Stand: April 2008. Mainz: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/8500/Quellen-Leitfaden.pdf?command=downloadContent&filename=Quellen-Leitfaden.pdf>, zuletzt geprüft am 30.11.2023.

Schitteck, Karsten (2006): Vegetation von Offenland-Quellen im westlichen Hunsrück. In: Dendrocopos (33), S. 79–122. Online verfügbar unter <https://geodidaktik.uni-koeln.de/sites/geodidaktik/Mitarbeiter/schitteck/Veroeffentlichungen/Dendrocopos33D-Schitteck.pdf>, zuletzt geprüft am 30.11.2023.

Schmidt, Frank; Persson, Andreas (2003): Comparison of DEM Data Capture and Topographic Wetness Indices. In: Precision Agriculture 4 (2), S. 179–192. DOI: 10.1023/A:1024509322709.