



DI Christoph Schönher

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industrie-
wasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
1190 Wien, Muthgasse 18
T: +43 1 47654-81120
E: christoph.schoenher@boku.ac.at



DI Philipp Proksch

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industrie-
wasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
1190 Wien, Muthgasse 18
T: +43 1 47654-81142
E: philipp.proksch@boku.ac.at



DI David Johannes Kerschbaumer

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industrie-
wasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
1190 Wien, Muthgasse 18
T: +43 1 47654-81121
E: david.kerschbaumer@boku.ac.at



Priv.-Doz. DI Dr. Reinhard Perfler

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industrie-
wasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
1190 Wien, Muthgasse 18
T: +43 1 47654-81116
E: reinhard.perfler@boku.ac.at

ERHÖHTE TEMPERATUREN IN DER TRINKWASSERVERSORGUNG

Der globale Anstieg der Temperatur im Zuge des Klimawandels beeinflusst die Wasserversorgung in vielfältiger Weise. Eine spürbare Folge besteht in einem gehäuftem Auftreten von Extremwetterereignissen in der Form von Hitzeperioden, die mit einer deutlichen Erhöhung der Trinkwassertemperaturen beim Konsumenten einhergehen. Dabei interpretiert ein Großteil der Konsumenten eine erhöhte Temperatur als Qualitätsbeeinträchtigung. Der mittlere Anstieg der Temperatur hat Auswirkungen auf den Temperaturhaushalt des Grundwassers und kann dadurch eine Vielzahl von chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Prozessen bereits in der Ressource beeinflussen (möglicher Anstieg des gelösten organischen Kohlenstoffs und des Mangan-Gehalts, geringerer Sauerstoffgehalt). Gleichmaßen ist mit einer Beeinflussung nachfolgender Prozesse in der Aufbereitung, der Speicherung und Verteilung von Trinkwasser bis hin zum Konsumenten zu rechnen. Die Überlagerung mit einem geänderten Nutzungsverhalten, geänderten Durchflussmengen und Änderungen beim Rohrleitungsbau (Rohrmaterial, Bettungsmaterial, Mehrfachknetten) schafft neue Rahmenbedingungen, die klimatische Effekte zusätzlich verstärken können.

Trinkwasser bzw. Trinkwasserverteilsysteme enthalten immer Mikroorganismen, einerseits frei im Trinkwasser, andererseits in Form von Biofilmen an wasserberührenden Oberflächen. Für das Überleben und das Wachstum von Bakterien (Vermehrung) sind verschiedene Faktoren entscheidend, so etwa die Wassertemperatur, die Nährstoffverhältnisse, die hydraulischen Bedingungen oder die Anwesenheit von Desinfektionsmitteln. Die Netzstruktur in Kombination mit den Verbrauchsmustern kann in ungünstigen Fällen lange Netzaufenthaltszeiten (Stagnation) zur Folge haben. In Verbindung mit wachstumsförderlichen Umgebungsbedingungen ist dies die Grundlage für bakterielles Wachstum. Verschiedene Bakterienarten zeichnen sich dabei durch oftmals deutlich unterschiedliche optimale Wachstumstemperaturen aus. Im Trinkwasser sind hauptsächlich mesophile Bakterien von hygie-

nischer Relevanz, deren Optimum im Bereich zwischen 25 °C und 40 °C liegt. Eine Erhöhung der Temperatur ist also mit Veränderungen der mikrobiologischen Prozesse in der Trinkwasserversorgung verbunden. Diese Veränderungen können sich durch eine Verringerung der mikrobiologischen Stabilität des verteilten Wassers bzw. der Neigung zur Wiederverkeimung bemerkbar machen. In Abhängigkeit von der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Roh- und Reinwasserqualität und spezifischen betrieblichen Randbedingungen können unerwünschte Beeinträchtigungen der „gewohnten“ Trinkwasserqualität auftreten. Als eine Hauptaufgabe der Trinkwasserversorgungsinfrastruktur muss die Bereitstellung von mikrobiologisch sicherem Trinkwasser auch unter geänderten Rahmenbedingungen gesichert sein. Die Untersuchung der vorgenannten Veränderungen und deren mögliche Wechselwir-

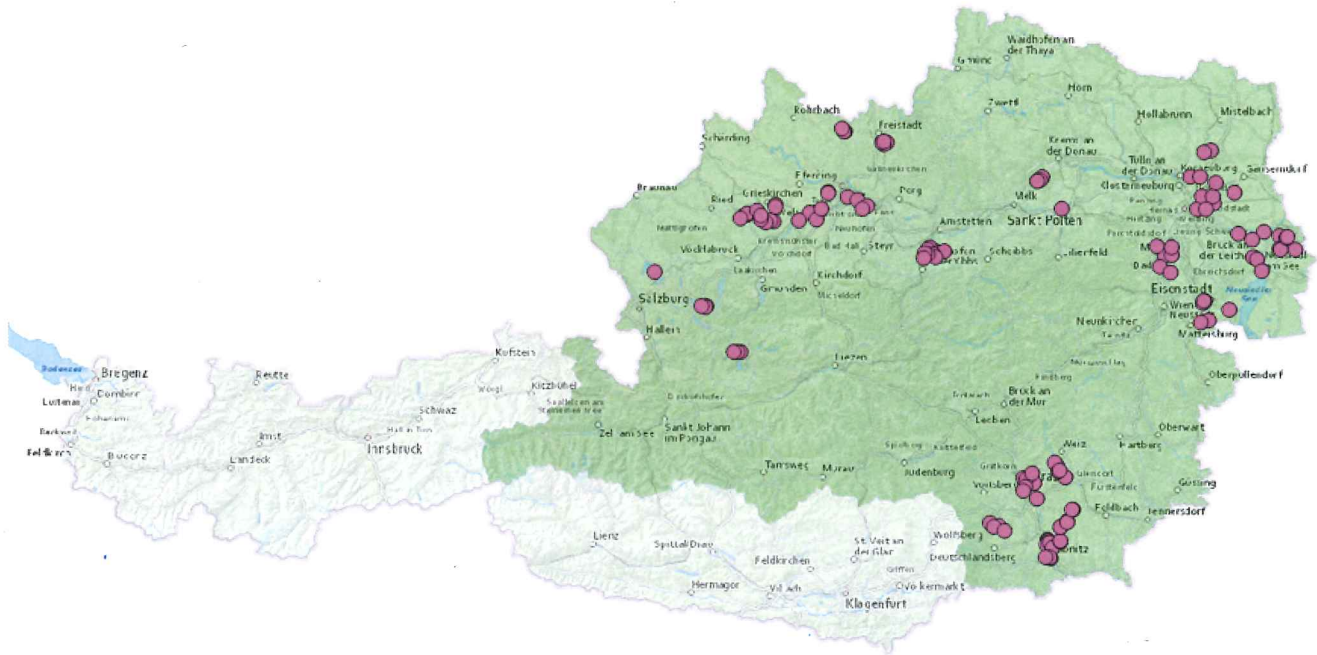


Abb. 1: Lage der im Projekt beprobten Messpunkte © Schönher

kung mit der Sicherheit und Qualität der Trinkwasserversorgung ist im Laufe der letzten Jahre verstärkt in den Blickpunkt gerückt. Gleichzeitig wurden innovative, sehr sensitive und effiziente Analysemethoden entwickelt, die für eine vertiefende Untersuchung dieser Fragestellungen eingesetzt werden können. Dabei sind die Durchflusszytometrie zur sehr genauen und schnellen Ermittlung der Gesamtanzahl an Bakterienzellen in einer Wasserprobe oder DNA-Sequenzierungsverfahren zur Erfassung der Artzusammensetzung der gesamten bakteriellen Gemeinschaft zu nennen.

Projekt der Universität für Bodenkultur

Durch das Projekt "Auswirkungen erhöhter Wassertemperaturen bei der Trinkwassergewinnung, -speicherung und -verteilung" sollen die beschriebenen Auswirkungen für die österreichische Wasserwirtschaft untersucht werden. Der Fokus richtet sich dabei auf die Ermittlung der mikrobiologischen Situation bei der Trinkwasserverteilung, als jenem Bereich, der am unmittelbarsten den geänderten klimatischen Bedingun-

gen ausgesetzt ist. Als Projektpartner konnten die Länder Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark und Salzburg, das BMLRT, die ÖVGW, eine große Anzahl von Wasserversorgern aus den genannten Bundesländern sowie Wien und dem Burgenland, und das Wiener Unternehmen s:can Messtechnik GmbH gewonnen werden (Abb. 1).

Als Projektschwerpunkte wurden folgende Arbeitspakete definiert:

- Mikrobiologische Probenahmen (Gesamtzellzahl, KBE, DNA-Sequenzierung, Wachstumspotential) bei 24 Wasserversorgern über den Zeitraum eines Jahres zur Erfassung von temperaturassoziierten Änderungen des mikrobiologischen Zustandes
- Installation von Temperaturloggern und dem Online-Multiparameter-Sensorsystem „pipe::scan“
- Auswertung von Befunddatenbanken (mikrobiologische Parameter mit Indikatorfunktion) der Länder
- Auswertung hydrologischer Daten des Umweltbundesamts und der hydrografischen Dienste der Länder
- Modellierung der Entwicklung

der Trinkwassertemperaturen im Verteilnetz

Mikrobiologische Probenahmen

Die den Zeitraum eines Jahres umfassenden Untersuchungen haben ein breites Spektrum an charakteristischen Fällen abgedeckt. Wasserproben wurden vom Startpunkt der Verteilung (Ausgang Wasserwerk), aus dem Verteilnetz sowie von den Netz-Endpunkten zu unterschiedlichen Umgebungstemperaturbedingungen (Wärme- und Kälteperiode) gezogen. In Abbildung 2 ist eine Darstellung der Gesamtzellzahl (TCC) aller Probenahmen in Abhängigkeit der Parameter Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) dargestellt, die bei den Probenahmen ebenfalls bestimmt wurden.

Hinsichtlich der Temperatur zeigt sich die Abhängigkeit insbesondere nach Normalisierung der TCC-Werte und der Temperatur auf die Mittelwerte der jeweiligen Messstelle (Division bei TCC und Subtraktion bei Temperatur).

Ein Beispiel für die gesamthafte Er-

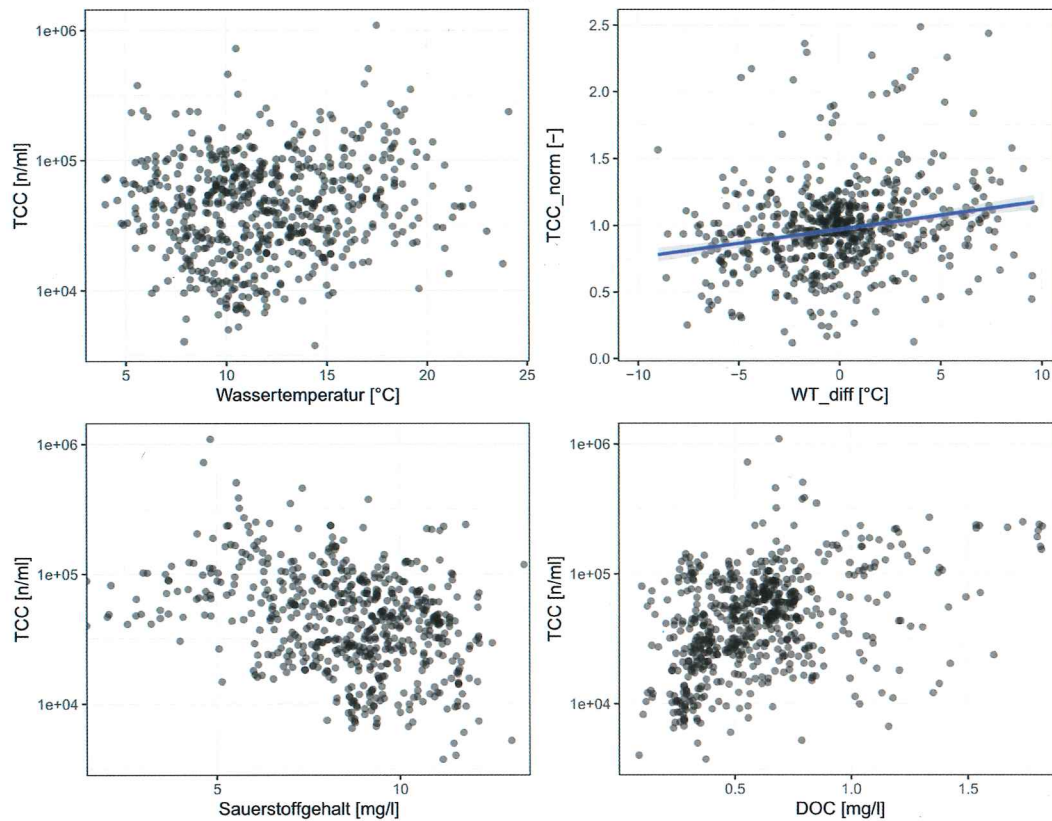


Abb. 2: Durchflusszytometrische Gesamtzellzahl (TCC) aller Probenahmen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur, des Sauerstoffgehalts und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) © Schönher

fassung der mikrobiellen Zusammensetzung (relative Anteile) einer Wasserprobe mittels DNA-Sequenzierung ist in Abbildung 3 dargestellt. Hier zeigt sich eine häufige Beobachtung, nämlich jene, dass die mikrobielle Zusammensetzung entlang der Fließstrecke unabhängig von der Temperatur (Jahreszeit) deutlichen Veränderungen unterworfen ist. Weiterhin gilt auch, dass viele Ressourcen eine stabile Zusammensetzung aufweisen, was durch die ausgeglichenen Umgebungsbedingungen begründet ist. Hinsichtlich eines möglichen Temperatureinflusses ist im unteren Beispiel eine deutliche Zunahme des Anteils der Patescibacteria für die Hausanschlüsse (HA) bei der Probenahme im Juli erkennbar.

Auswertung der Befunddatenbanken

Die Befunde von Trinkwasseruntersuchungen werden auf Landesebene behördlich erfasst. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden Daten

(mikrobiologische Parameter mit Indikatorfunktion und ausgewählte chemisch-physikalische Parameter) aus Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark in anonymisierter Form übermittelt. Eine Einteilung nach Lage der Probenahmestelle im jeweiligen Verteilnetz ist ebenfalls verfügbar.

In Abbildung 4 ist eine Auswertung für den Parameter KBE bei 37 °C dargestellt. Dabei zeigt sich eine klare Zunahme der Wahrscheinlichkeit einer Grenzwertüberschreitung mit zunehmender Temperatur für Proben aus dem Verteilnetz. Während bei 10 °C in etwa bei 2,5 % der Befunde eine Überschreitung vorliegt, ist bei 15 °C mit knapp 4 % an Überschreitungen zu rechnen.

Das Land Niederösterreich hat hinsichtlich der Temperaturmessungen besonders umfangreiche Daten zur Verfügung gestellt. So konnte für die Netzprobenahmestellen ein Beobachtungszeitraum von 2000 bis 2019 genutzt werden. In Abbildung 5

ist ein Vergleich der über das ganze Bundesland gemittelten jährlichen Wassertemperatur mit der Lufttemperatur in Wien dargestellt. Hier zeigt sich eine sehr eindrucksvolle Ähnlichkeit beider Zeitreihen. Augenscheinlich dürfte jedenfalls ab dem Jahr 2010 ein deutlicher Anstieg der Temperaturen vorliegen.

Trends der Grundwassertemperatur

Neben Befunddaten wurden vom Land Steiermark auch hydrologische Datensätze der Grundwassertemperatur zur Verfügung gestellt. Von 585 Messstellen konnten nach Vorbearbeitung (Mindestanzahl an Beobachtungsdaten) 133 Messstellen zur Trendanalyse herangezogen werden (Abb. 6). Diese wurde mit einem modifizierten Mann-Kendall-Test durchgeführt und ergab bei 92 von 133 Messstellen einen Trend mit einer Steigung von ungleich Null (Signifikanzniveau von 0,05), wobei alle Trends positiv waren.

Modellierung der Netztemperatur

Recherchen im Vorfeld des Projekts hatten gezeigt, dass es keine Modellierungsansätze zur Berechnung der Wassertemperatur in Trinkwasserverversorgungsanlagen gibt, die die thermische Interaktion zwischen Boden und Wasserleitung zufriedenstellend beschreiben und gleichzeitig die volle Leistungsfähigkeit einer hydraulischen Rohrnetzrechnung aufweisen. Im Zuge des Projekts wurde deshalb eine Strategie entwickelt, um eine vorhandene Software zur Rohrnetzrechnung um diesen Aspekt zu erweitern. Das Vorgehen basiert auf einem Finite-Volumen-Ansatz (2D) zur Berechnung der Bodentemperatur für jeden Rohrabschnitt mit Berücksichtigung des Wärmeaustausches zwischen Boden und Wasserleitung (Abb. 7).

Die erzielten Ergebnisse decken sich gut mit jenen anderer Softwarepakete zur Berechnung des Wärmetransports im Boden (1D-Modell) bzw. des Wärmeaustausches zwischen Festkörper und Fluid (3D-CFD-Modell). Ein interessantes Anwendungsgebiet dieser Modellierungslösung besteht etwa in der Untersuchung verschiedener baulicher Varianten hinsichtlich ihres Temperatureinflusses unter realistischen betrieblichen Randbedingungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die mikrobiologischen Untersuchungen und Auswertungen haben gezeigt, dass es zu einer Zunahme der mikrobiellen Aktivität bei steigenden Temperaturen kommen kann. Besonders augenscheinlich wird dies bei den KBE bei 37 °C, die ja auch erhöhte Temperaturen bei der Kultivierung bevorzugen. Gerade abgelegene Netzbereiche können bei ungünstiger Netzstruktur und geringem Verbrauch eine Stagnation des Trinkwassers in den Leitungen aufweisen. Sind

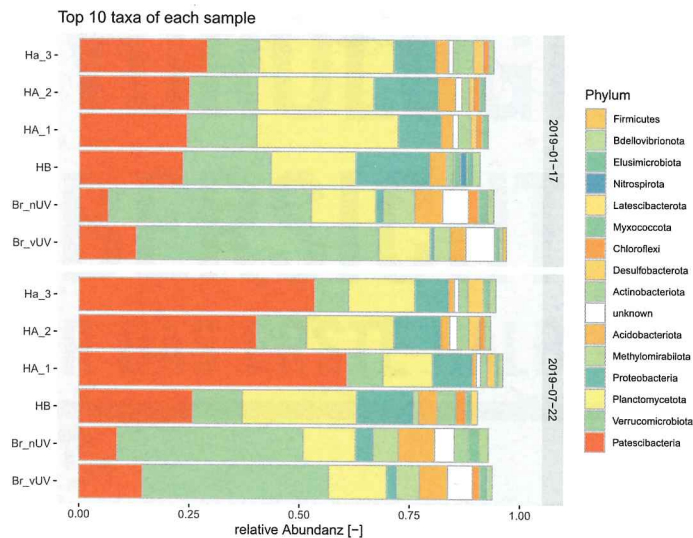


Abb. 3: Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft an einem untersuchten Wasserwerk © Schönher

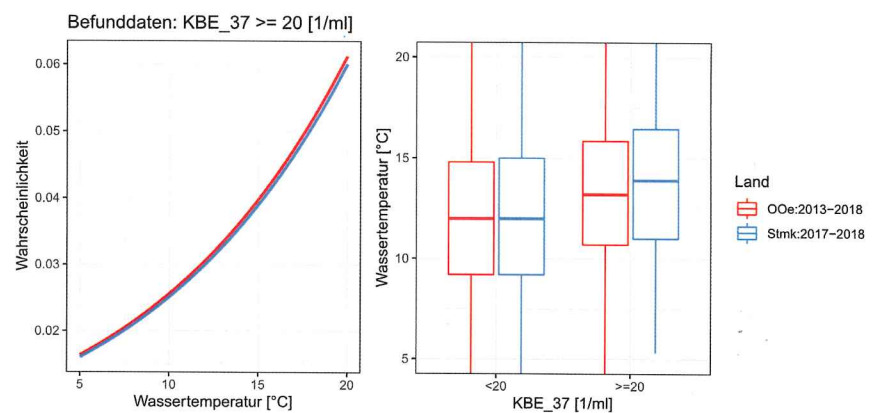


Abb. 4: Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der KBE bei 37 °C in Abhängigkeit von der Wassertemperatur © Schönher

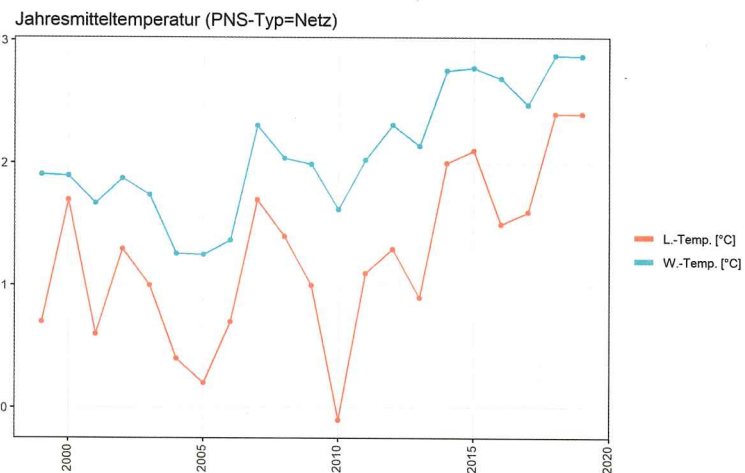


Abb. 5: Langjähriger Vergleich der Wassertemperaturen aus dem Verteilnetz (NÖ) mit Lufttemperaturen (Wien) © Schönher

dabei zudem wachstumsförderliche Umgebungsbedingungen gegeben, ist die Grundlage für die bakterielle Vermehrung geschaffen. Die Untersuchungen haben daher auch eindeutig gezeigt, dass mikrobiologische Extremwerte (etwa der Gesamtzell-

zahl) fast ausschließlich an Netzendpunkten auftreten. Die mikrobiologische Zusammensetzung auf Basis von DNA-Sequenzierungen ist ein sehr sensibler Parameter und unterliegt insbesondere starken Einflüssen des Verteilnetzes, die wohl nicht in

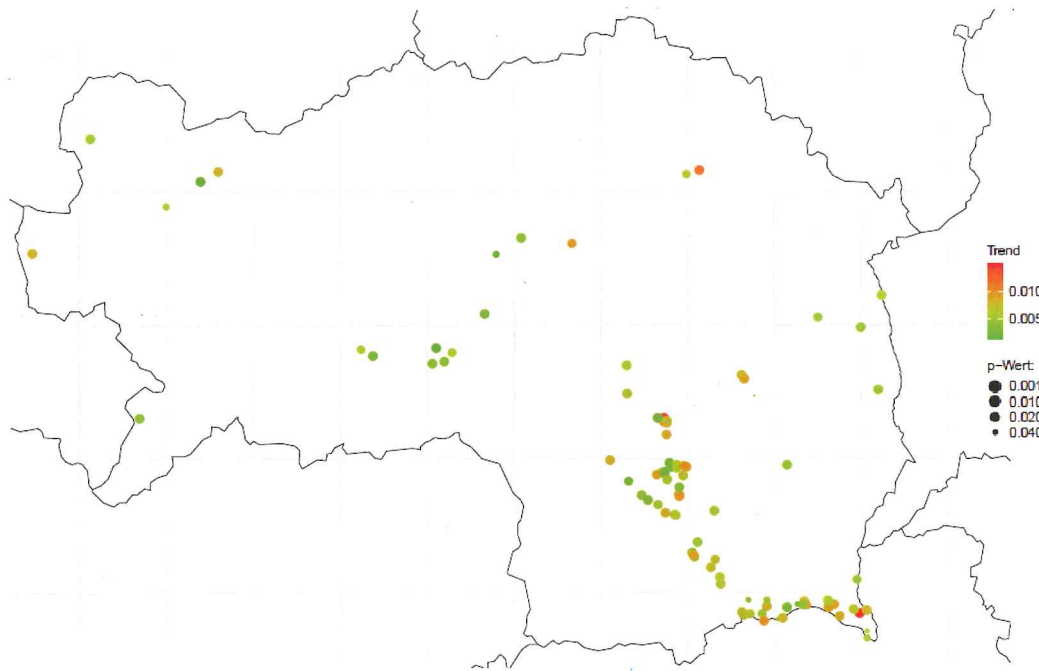


Abb. 6: Grundwassermessstellen mit positivem Temperaturtrend in der Steiermark © Schönher

erster Linie temperaturassoziiert sind. Gerade bei mikrobiologischen Untersuchungen muss auch betont werden, dass Wasserversorgungsanlagen komplexe Systeme darstellen und die Temperatur lediglich ein Faktor aus einer Reihe von Einflussgrößen ist, die die mikrobiologische Situation bestimmen. Das Zusammenspiel dieser Faktoren ist entscheidend. Nicht alle Auswirkungen erhöhter Temperaturen sind prognostizierbar, weshalb ein kontinuierliches Monitoring von biotischen und abiotischen Parametern jedenfalls wünschenswert ist. Der Einsatz neuerer methodischer Ansätze sollte hier ebenfalls angedacht werden.

Hinsichtlich der Trendentwicklung der Grundwassertemperaturen gibt es eine große Anzahl an Datensätzen, die eine Zunahme zumindest andeuten. Weit weniger Daten, insbesondere basierend auf gezielten langfristigen Messprogrammen, gibt es aber zur Temperaturentwicklung bei der Trinkwasserverteilung. Die vorliegenden Daten zeigen jedenfalls eine hohe Übereinstimmung mit der Entwicklung der Lufttemperatur und damit ebenfalls zunehmende Werte in den letzten Jahren. Geeignete Modellierungsstrategien für die Entwicklung der Trinkwassertemperaturen (und davon beeinflusst

ter weiterer Qualitätsparameter) in der Verteilung bis zum Endkunden sind wesentliche Hilfsmittel für die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen und unterstützen etwa die Planung der Trassenführung und den Rohrleitungsbau. Die im vorliegenden Projekt entwickelten Ansätze können hier eine gute Basis bilden und zumindest vereinfachte Variantenstudien unterstützen. Eine zukünftige Erweiterung, etwa eine Anbindung an ein GIS, würde die Handhabung für komplexere Problemstellung erheblich verbessern. Die Sicherheit und Qualität der Trinkwasserversorgung werden gerade auch wegen der Auswirkungen klimatischer Veränderungen weiterhin im Fokus der Aufmerksamkeit bleiben. Das vorliegende Projekt leistet einen Beitrag zum Verständnis der Herausforderungen für die österreichische Wasserwirtschaft. Die Gesamtergebnisse werden in einem Bericht öffentlich zugänglich gemacht. Ein besonderer Dank gilt allen Projektpartnern, insbesondere dem BMLRT, der ÖVGW, den Ländern Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg und Steiermark sowie den beteiligten Wasserversorgern.

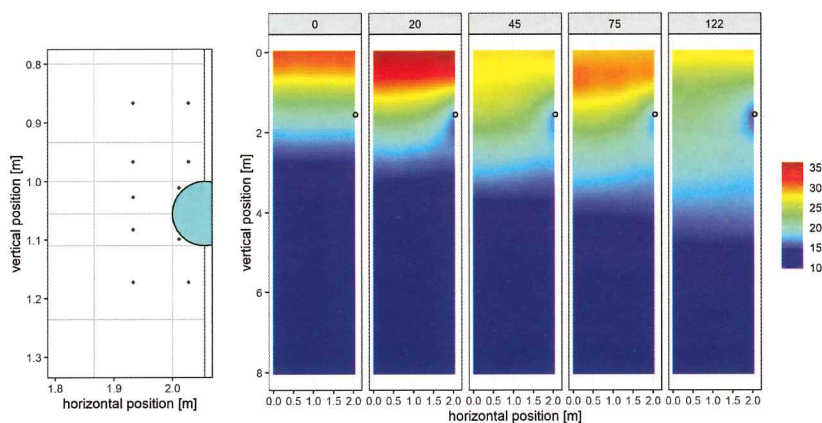


Abb. 7: Finite-Volumen-Rechenzellen zur Berechnung der thermischen Interaktion zwischen Boden und Trinkwasserleitung (links) sowie Ergebnisse der Bodentemperaturverteilung mit zeitabhängiger oberer Temperaturrandbedingung (rechts, Simulationszeitraum 122 Tage) © Schönher