Erhöhte Wassertemperaturen im Trinkwasserverteilungsnetz

Ursachen, Bewertung und Konsequenzen

Der Klimawandel erhöht die thermische Belastung von Trinkwasserverteilungsnetzen. Im DVGW-Forschungsvorhaben EWaT wurden gemeinsam mit 16 Wasserversorgungsunternehmen aus Deutschland und der Schweiz die Ursachen erhöhter Wassertemperaturen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Temperaturentwicklungen durch das Zusammenwirken von Klima, Boden und Netzhydraulik bestimmt werden. Messungen und numerische Modelle ermöglichen die Identifizierung temperaturkritischer Netzbereiche und schaffen eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Bewertung von Temperaturrisiken sowie die Anpassung von Trinkwasserverteilungsnetzen an den Klimawandel.

von: Dr. Andreas Korth, Matthias Lohmann, Dr. Julian Xanke (alle: TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser), Mark Hermannspan, Tanja Rank & Prof. Esad Osmancevic (alle: RBS wave GmbH)

Der Klimawandel verändert die Randbedingungen für den Betrieb von Trinkwasserverteilungsnetzen. Länger anhaltende Hitzeperioden und steigende Sommertemperaturen führen dazu, dass erhöhte Wassertemperaturen in vielen Versorgungsnetzen bereits heute beobachtet werden. Gleichzeitig stellt sich für Wasserversorgungsunternehmen die Frage, welche Ursachen diesen Temperaturentwicklungen zugrunde liegen und wie sich Temperaturerhöhungen künftig fachlich bewerten und begrenzen lassen.

Beobachtungen aus der Praxis lassen bereits seit mehreren Jahren erkennen, dass erhöhte Wassertemperaturen im Verteilungsnetz kein Einzelfall sind. Wissenschaftlich belastbare Erkenntnisse über die maßgebenden Einflussgrößen sowie deren Zusammenwirken unter realen Betriebsbedingungen lagen bislang jedoch nur begrenzt vor. Insbesondere fehlten fundierte Grundlagen, um Temperaturentwicklungen systematisch zu bewerten, temperaturkritische Netzbereiche zu identifizieren und daraus geeignete Maßnahmen für Planung, Betrieb und Risikomanagement abzuleiten.

Vor diesem Hintergrund hat das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser das DVGW-Forschungsvorhaben „EWaT – Erhöhte Wassertemperaturen im Trinkwassernetz“ (Förder-Nr. W 201904) initiiert. Gemeinsam mit 16 Wasserversorgungsunternehmen aus Deutschland und der Schweiz sowie der RBS wave GmbH wurden Wasser- und Bodentemperaturen unter unterschiedlichen klimatischen, geologischen und hydraulischen Randbedingungen untersucht. Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Ursachen erhöhter Wassertemperaturen unter Praxisbedingungen systematisch zu analysieren und die zugrunde liegenden thermischen und hydraulischen Prozesse zu verstehen. Untersuchungen des Zweckverbands Germersheimer Südgruppe Kö.d.ö.R, der Stadtwerke Mainz sowie der RBS wave GmbH bereits vor dem Start des Forschungsvorhabens zeigten die hohe Praxisrelevanz der Fragestellung.

Im Projekt entwickelte die RBS wave GmbH Verfahren zur hydraulischen Modellierung der Wassertemperatur mit der Rohrnetzberechnungssoftware STANET. Das TZW untersuchte die Wärmeausbreitung im Boden und entwickelte ein numerisches Bodenmodell. Die enge Zusammenarbeit von Wasserversorgungsunternehmen, Ingenieurpraxis und Forschung schuf eine umfangreiche Datengrundlage, um Temperaturentwicklungen in Trinkwasserverteilungsnetzen erstmals systematisch zu untersuchen und wissenschaftlich zu bewerten.

Der vorliegende Fachbeitrag fasst die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsvorhabens zusammen. Er zeigt, warum erhöhte Wassertemperaturen entstehen, welche Prozesse die Temperaturentwicklung bestimmen, wie sich Temperaturentwicklungen heute belastbar bewerten lassen und welche Konsequenzen sich

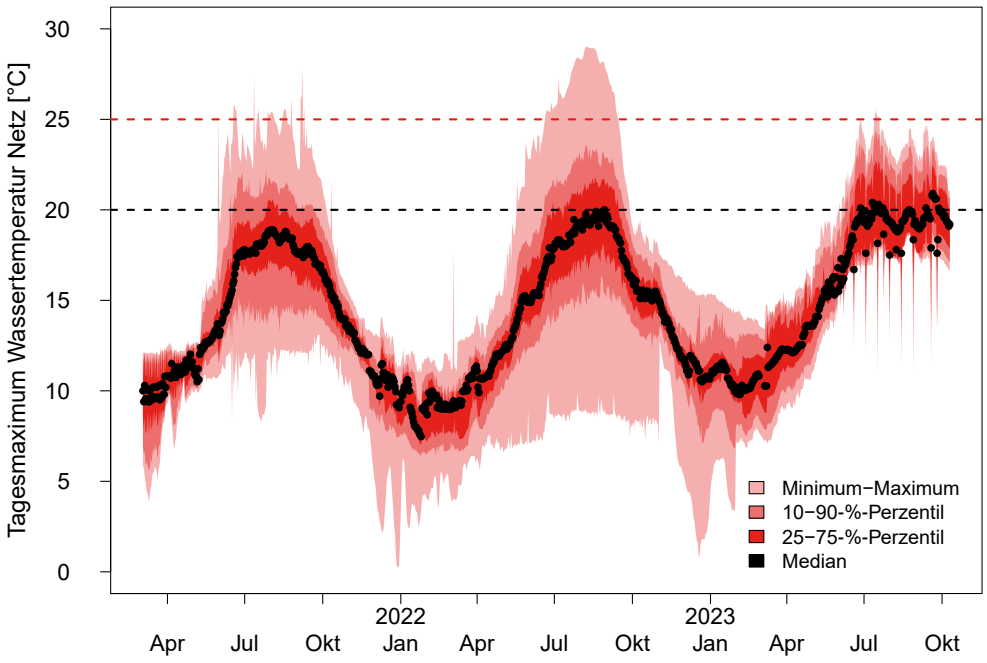


Abb. 1: Jahreszeitlicher Verlauf der maximalen täglichen Wassertemperaturen in den untersuchten Versorgungsnetzen

Quelle: TZW/RBS wave GmbH

daraus für Planung, Betrieb und Risikomanagement ergeben. Detaillierte Informationen sind im Abschlussbericht zu finden, der über den DVGW verfügbar ist.

Erhöhte Wassertemperaturen sind bereits betriebliche Realität

Erhöhte Wassertemperaturen im Trinkwasserverteilungsnetz wurden von Wasserversorgungsunternehmen bereits vor Beginn des Forschungsvorhabens regelmäßig beobachtet. Die Erfahrungen der am Projekt beteiligten Unternehmen zeigten, dass es sich dabei nicht um vereinzelte Ereignisse handelt: Rund 40 Prozent der Wasserversorgungsunternehmen berichteten über Kundenmeldungen zu ungewöhnlich warmem Trinkwasser und etwa die Hälfte hatte bereits betriebliche Maßnahmen ergriffen, überwiegend in Form von Netzspülungen.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Messungen bestätigten diese Erfahrungen. In allen untersuchten Versorgungsnetzen mit verwertbaren Messdaten wurden maximale Wassertemperaturen von mindestens 20 °C gemessen (**Abb. 1**). In mehreren Versorgungsnetzen wurden Temperaturen von mehr als 25 °C erreicht, der höchste gemessene Wert lag bei 30 °C. Die Auswertung aller Messstellen lässt darüber hinaus erkennen, dass erhöhte Wassertemperaturen nicht auf einzelne Extremereignisse beschränkt waren, sondern während der Sommermonate in vielen Netzbereichen regelmäßig auftraten.

Die Ergebnisse belegen damit auf einer breiten Datengrundlage, dass erhöhte Wassertemperaturen bereits heute unter unterschiedlichen klimatischen, geologischen und hydraulischen Randbedingungen auftreten. Durch die Einbindung von 16 Wasserversorgungsunternehmen aus Deutschland und der Schweiz konnte erstmals systematisch erfasst werden, in welchem Umfang Trinkwasserverteilungsnetze von erhöhten Wassertemperaturen betroffen sind.

Klima und Netzhydraulik bestimmen die Wassertemperatur

Die Erwärmung des Trinkwassers im Verteilungsnetz ist das Ergebnis mehrerer sich überlagernder Prozesse. Neben den klimatischen Randbedingungen beeinflussen insbesondere die hydraulischen Verhältnisse im Netz sowie die thermischen Eigenschaften des Bodens die Temperaturentwicklung. Erst das Zusammenwirken dieser Einflussgrößen bestimmt, in welchen Netzbereichen und in welchem Umfang sich das Trinkwasser erwärmt.

Für die Bewertung erhöhter Wassertemperaturen reicht es daher nicht aus, ausschließlich die Lufttemperatur oder einzelne Messwerte im Verteilungsnetz zu betrachten. Entscheidend ist das Verständnis der zugrunde liegenden ther- ▸

mischen und hydraulischen Prozesse. Nur dadurch lassen sich Temperaturentwicklungen nachvollziehen und die Ursachen erhöhter Wassertemperaturen bewerten.

Die folgenden Abschnitte erläutern zunächst den Einfluss klimatischer Randbedingungen und der Netzhydraulik auf die Temperaturentwicklung. Anschließend wird erläutert, welche Bedeutung der Boden als thermischer Speicher besitzt und wie Oberflächenbeschaffenheit und Beschattung den Wärmeeintrag in das Trinkwasserverteilungsnetz beeinflussen.

Klimatische Randbedingungen und Fließbedingungen bestimmen die Temperaturentwicklung

Die Temperaturverläufe der beiden Sommer 2021 und 2022 verdeutlichen den Einfluss klimatischer Randbedingungen auf die Wassertemperatur im Trinkwasserverteilungsnetz (**Abb. 2**). Im deutlich wärmeren Sommer 2022 wurden in allen untersuchten Netzbereichen höhere Wassertemperaturen gemessen als im Sommer 2021. Die Intensität eines Sommers bestimmt damit das Temperaturniveau des gesamten Verteilungsnetzes.

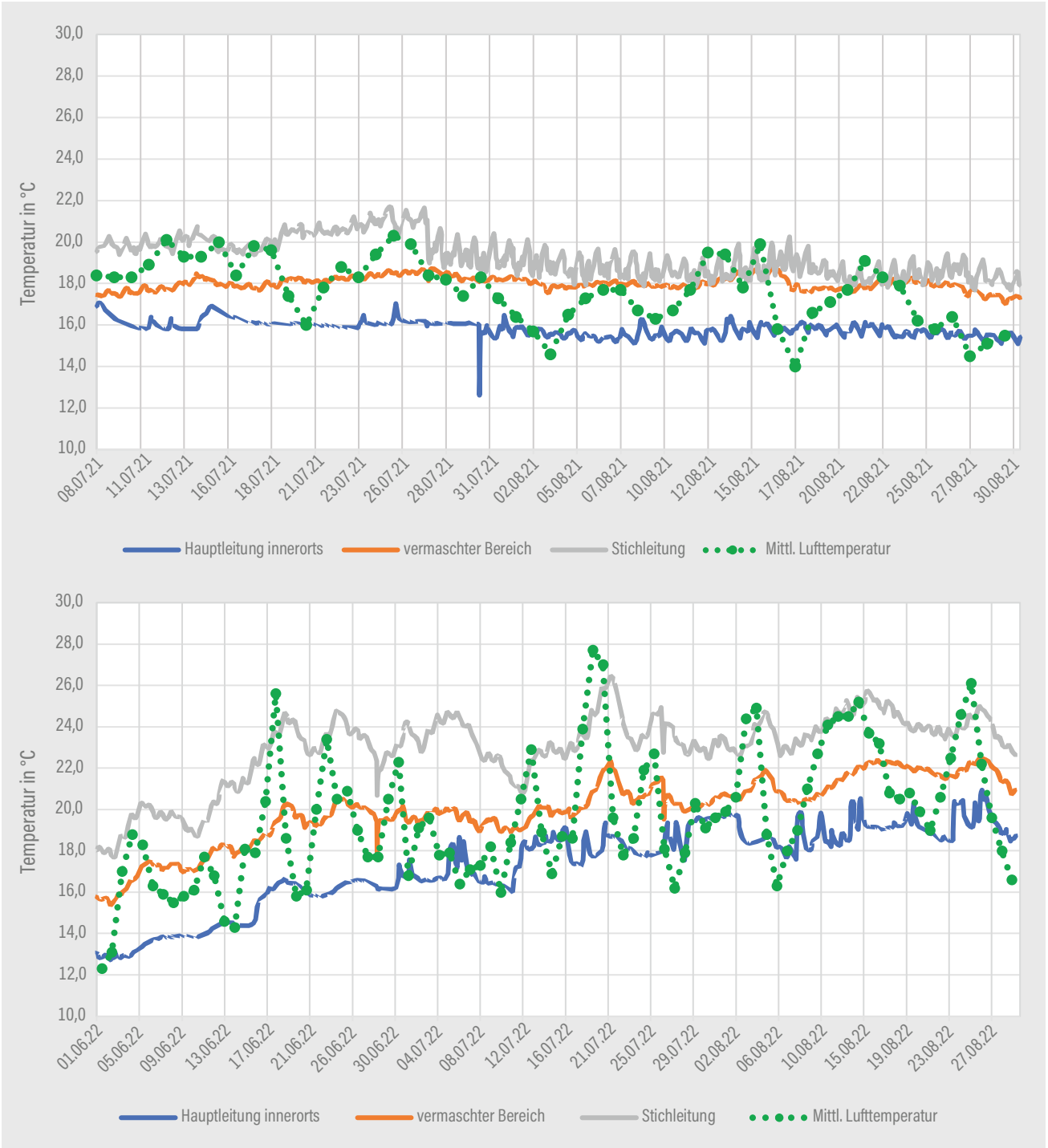
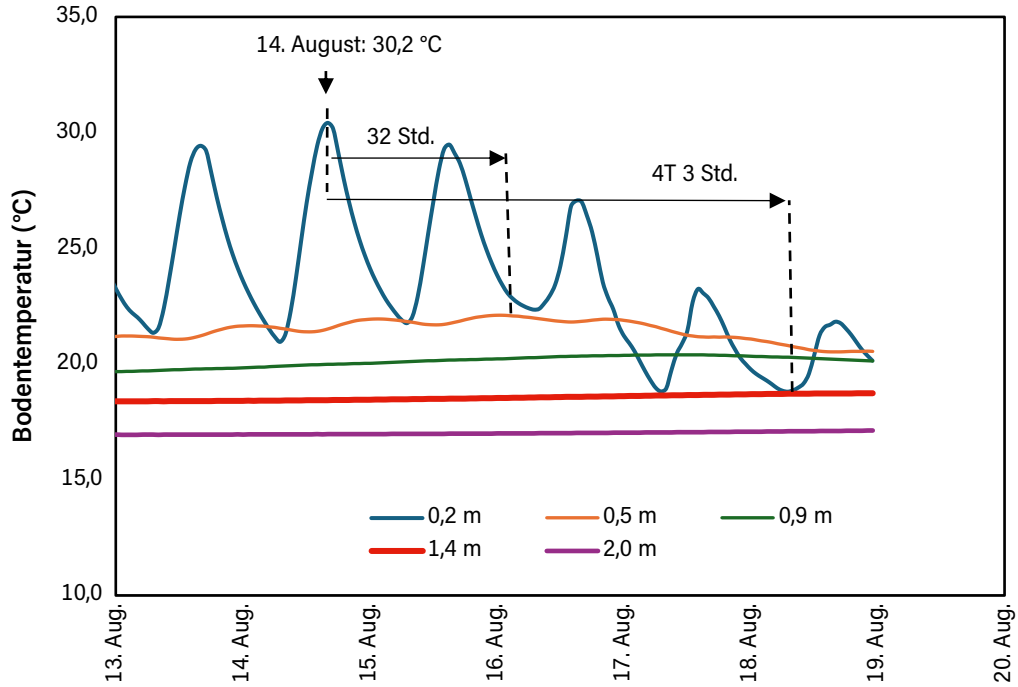


Abb. 2: Temperaturverläufe in einer Hauptleitung, einem vermaschten Netzbereich und einer Stichleitung während der Sommer 2021 (oben) und 2022 (unten)

Quelle: TZW/RBS wave GmbH



Quelle: TZW/RBS wave GmbH

Abb. 3: Temperaturverläufe des Bodens in unterschiedlichen Tiefen während einer sommerlichen Wärmeperiode

> Die Anpassung an den Klimawandel erfordert ein systematisches Verständnis der Temperaturentwicklung im jeweiligen Versorgungsnetz.

Gleichzeitig zeigen die Messungen, dass sich sommerliche Wärmeperioden bereits nach kurzer Zeit in den Wassertemperaturen widerspiegeln. Mit steigenden Lufttemperaturen nimmt auch die Wassertemperatur im Verteilungsnetz zu. Die Temperaturentwicklung des Trinkwassers reagiert damit zeitnah auf die thermischen Randbedingungen der Umgebung.

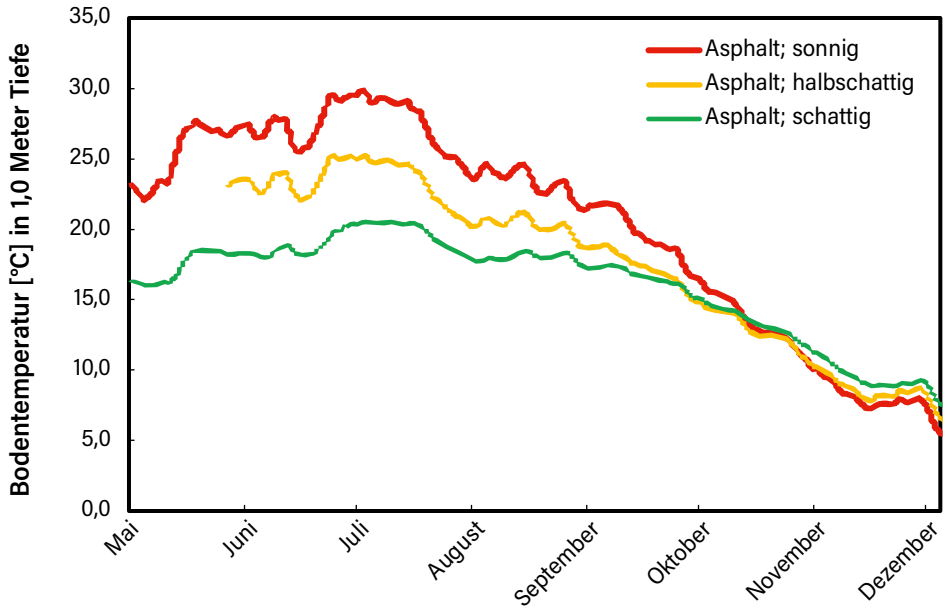
Innerhalb dieses klimatisch vorgegebenen Temperaturniveaus bestimmt die Netzhydraulik die räumliche Ausprägung der Erwärmung. In beiden Untersuchungsjahren wurden die niedrigsten Wassertemperaturen in der gut durchströmten Hauptleitung gemessen. Im vermaschten Netzbereich lagen die Temperaturen höher, während in der Stichleitung mit den längsten Aufenthaltszeiten die höchsten Wassertemperaturen auftraten. Dieses Muster war sowohl im kühleren Sommer 2021 als auch im deutlich wärmeren Sommer 2022 erkennbar.

Die Ergebnisse zeigen damit, dass klimatische Randbedingungen und Netzhydraulik die Temperaturentwicklung gemeinsam bestimmen. Sommerliche Wärmeperioden erhöhen das Temperaturniveau des gesamten Trinkwasserverteilungsnetzes, während die Aufenthaltszeiten darüber entscheiden, in welchen Netzbereichen die höchsten Wassertemperaturen auftreten.

Der Boden bestimmt den Wärmeeintrag in die Trinkwasserleitung

Die Erwärmung des Trinkwassers wird vor allem durch die Temperaturentwicklung im Boden bestimmt. Dieser bildet die thermische Schnittstelle zwischen Atmosphäre und Trinkwasserleitung. Sommerliche Wärme breitet sich schrittweise im Untergrund aus und erreicht die Verlegetiefe von Trinkwasserleitungen zeitlich verzögert. Gleichzeitig werden Temperaturschwankungen mit zunehmender Bodentiefe deutlich gedämpft.

Die Ergebnisse der Messungen verdeutlichen diesen Zusammenhang (**Abb. 3**). An einem Untersuchungsstandort wurde in 0,2 m Bo- ▸



Quelle: TZW/RBS wave GmbH

Abb. 4: Einfluss der Beschattung auf die Bodentemperatur in 1 m Tiefe

dentiefe am 14. August eine maximale Bodentemperatur von 30,2 °C gemessen. In 0,5 m Tiefe trat dieses Temperaturmaximum rund 32 Stunden später auf, in 1,4 m Tiefe erst nach etwa vier Tagen. Gleichzeitig nahmen die Temperaturschwankungen mit zunehmender Tiefe deutlich ab. Vergleichbare Muster wurden auch an weiteren Messstandorten beobachtet.

Der Boden wirkt damit als thermischer Speicher: Während einer Hitzeperiode nimmt er Wärme auf und gibt diese nur langsam wieder ab. Die thermische Belastung der Trinkwasserleitung tritt daher zeitlich verzögert auf und kann auch nach dem Ende einer Hitzeperiode über mehrere Tage bestehen bleiben. Erhöhte Wassertemperaturen können somit auftreten, obwohl die Lufttemperaturen bereits wieder deutlich gesunken sind.

Oberfläche und Beschattung bestimmen den Wärmeeintrag in den Boden

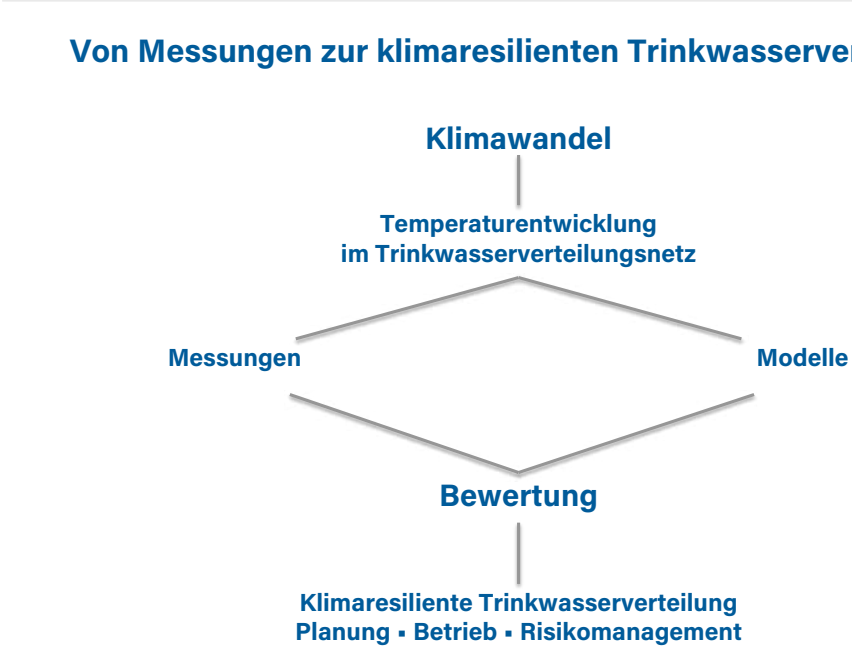
Die Temperaturentwicklung im Boden wird nicht allein durch die Witterung bestimmt. Auch die Bedingungen im unmittelbaren Leitungsumfeld beeinflussen den Wärmeeintrag erheblich. Oberflächenbeschaffenheit, Beschattung und Standortbedingungen entscheiden darüber, wie viel Sonnenenergie in den Boden gelangt – und damit letztlich auch darüber, wie stark sich Trinkwasserleitungen erwärmen.

Die Messungen verdeutlichen diesen Zusammenhang (**Abb. 4**). Unter unbeschattetem Asphalt wurden über den gesamten Sommer die höchsten Bodentemperaturen gemessen. Bereits eine teilweise Beschattung führte zu niedrigeren Temperaturen, während unter vollständig beschatteten Flächen die geringsten Werte auftraten. In einer Tiefe von 1 m betrug der Temperaturunterschied zwischen einem sonnigen und einem schattigen Asphaltstandort im Hochsommer bis zu 10 K und selbst eine teilweise Beschattung reduzierte die Bodentemperaturen noch um etwa 5 K.

Die Ergebnisse zeigen damit, dass die thermische Belastung einer Trinkwasserleitung nicht ausschließlich von der Witterung abhängt. Erst das Zusammenspiel aus klimatischen Randbedingungen, Bodeneigenschaften sowie den örtlichen Oberflächen- und Standortbedingungen bestimmt den Wärmeeintrag in den Boden und damit die Temperaturentwicklung im Leitungsbereich.

Messungen und Modelle schaffen die Grundlage für belastbare Bewertungen

Die Temperaturentwicklung in Trinkwasserverteilungsnetzen wird durch das Zusammenwirken klimatischer, geologischer und hydraulischer Einflussgrößen bestimmt. Um diese Zusammenhänge zuverlässig bewerten zu können, reichen Einzelmessungen allein nicht aus. Erst die Kombination aus Messungen unter realen Betriebsbedingungen und numerischen Modellen ermöglicht eine belastbare Analyse der Ursachen und eine systematische Bewertung temperaturkritischer Netzbereiche (**Abb. 5**).



Quelle: TZW/RBS wave GmbH

Abb. 5: Messungen und numerische Modelle ergänzen sich zu einer belastbaren Bewertung temperaturkritischer Netzbereiche.

Grundlage des Forschungsvorhabens war ein umfangreiches Messprogramm in den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen. Wassertemperaturen wurden in Hauptleitungen, vermaschten Netzbereichen und Stichleitungen erfasst. Ergänzend wurden Bodentemperaturen über mehrere Jahre in unterschiedlichen Tiefen sowie unter verschiedenen Oberflächen- und Standortbedingungen gemessen. Dadurch entstand eine breite Datengrundlage zur Untersuchung der Temperaturentwicklung unter Praxisbedingungen. Auf dieser Grundlage entwickelte die RBS wave GmbH Verfahren zur hydraulischen Modellierung der Wassertemperatur mit der Rohrnetzberechnungssoftware STANET. Parallel dazu untersuchte das TZW die Wärmeausbreitung im Boden und entwickelte ein numerisches Bodenmodell. Beide Modelle wurden anhand der umfangreichen Messdaten überprüft und ermöglichen es, Temperaturentwicklungen unter unterschiedlichen Randbedingungen nachvollziehbar zu bewerten.

Messungen und Modelle erfüllen dabei unterschiedliche Aufgaben und ergänzen sich gegenseitig. Messungen bilden die tatsächlichen Temperaturverhältnisse im Netz ab. Modelle ermöglichen darüber hinaus die Analyse der zu- ▸

Sauberes Trinkwasser – Hygiene im Tank

HUBER Luftfilteranlagen:

- Optimale Hygiene im Trinkwassertank.
- Reduzieren der Risiken von Kontaminationen durch Staub, Bakterien, Viren und Keime.

HUBER Zugangstüren für Wasserkammern:

- Aus Edelstahl und doppelwandig für maximale Sicherheit.
- Universell einsetzbar als Zugang zu Gebäuden, Schalträumen, speziell für Anlagen im Bereich der Entsorgung und Versorgung.

Edelstahlausrüstung jetzt online bestellen unter: **shop.huber.de**

HUBER SE | Telefon: +49 8462 201-0 | info@huber.de | **www.huber.de**

HUBER TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

grunde liegenden Ursachen sowie die Bewertung zukünftiger klimatischer Entwicklungen und möglicher Maßnahmen. Gemeinsam schaffen sie damit die Grundlage für eine belastbare Bewertung von Temperaturrisiken im Trinkwasserverteilungsnetz.

Konsequenzen für Planung, Betrieb und Risikomanagement

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass erhöhte Wassertemperaturen in Trinkwasserverteilungsnetzen heute systematisch analysiert und bewertet werden können. Erhöhte Temperaturen entstehen nicht zufällig, sondern sind das Ergebnis nachvollziehbarer klimatischer, geologischer und hydraulischer Prozesse. Damit stehen Wasserversorgungsunternehmen wissenschaftlich fundierte Grundlagen zur Verfügung, um Temperaturrisiken frühzeitig zu erkennen und geeignete Anpassungsmaßnahmen gezielt abzuleiten.

Gleichzeitig verdeutlichen die Untersuchungen, dass es keine allgemeingültigen Maßnahmen für alle Versorgungsnetze gibt. Die Temperaturentwicklung wird wesentlich durch die jeweiligen Randbedingungen des Netzes bestimmt. Anpassungsmaßnahmen müssen deshalb immer standort- und netzspezifisch geplant werden.

Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Temperaturrisiken können heute systematisch bewertet werden. Messungen und numerische Modelle ermöglichen es, temperaturkritische Netzbereiche zu identifizieren und die zugrunde liegenden Ursachen nachvollziehbar zu analysieren.
- Die Netzhydraulik ist ein wesentlicher Einflussfaktor. Netzbereiche mit langen Aufenthaltszeiten weisen ein erhöhtes Risiko für Temperaturanstiege auf.
- Der Wärmeeintrag beginnt im Leitungsumfeld. Beschattung, Oberflächenbeschaffenheit, Trassenführung und Verlegetiefe beeinflussen den Wärmeeintrag in den Boden und damit die Temperaturentwicklung im Trinkwasserverteilungsnetz.
- Wirksame Maßnahmen setzen an den Ursachen an. Kurzfristige betriebliche Maßnahmen (wie z. B. Netzspülungen) können erhöhte Wassertemperaturen zwar vorübergehend reduzieren. Eine nachhaltige Begrenzung der Temperaturentwicklung erfordert jedoch die Berücksichtigung der klimatischen, geologischen und hydraulischen Randbedingungen des jeweiligen Versorgungsnetzes.
- Die Anpassung an den Klimawandel beginnt im Verteilungsnetz. Thermische Belastungen sollten künftig systematisch in Planung, Betrieb, Rehabilitation und Risikomanagement berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse besitzen darüber hinaus Bedeutung für die Weiterentwicklung des technischen Regelwerks. Die Untersuchungen zeigen, dass die dem DVGW-Hinweis W 397 zugrunde liegenden klimatischen Randbedingungen die thermische Belastung unbeschatteter Oberflächen und den daraus resultierenden Wärmeeintrag in den Boden nicht in allen Fällen vollständig beschreiben. Für zukünftige Fortschreibungen des Regelwerks sollten deshalb aktuelle regionale Klimadaten sowie veränderte klimatische Randbedingungen berücksichtigt werden.

Darüber hinaus schaffen die im Forschungsvorhaben entwickelten Mess-, Modellierungs- und Bewertungsansätze eine wissenschaftlich belastbare Grundlage, um thermische Einflüsse künftig systematisch in das Risikomanagement nach der Trinkwasserverordnung einzubeziehen. Dadurch können Temperaturentwicklungen frühzeitig erkannt und Anpassungsmaßnahmen gezielt dort umgesetzt werden, wo sie den größten Nutzen erwarten lassen.

Fazit und Ausblick

Mit dem DVGW-Forschungsvorhaben EWaT wurden die Ursachen erhöhter Wassertemperaturen in Trinkwasserverteilungsnetzen erstmals unter realen Betriebsbedingungen systematisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Temperaturentwicklungen nicht zufällig entstehen, sondern durch das Zusammenwirken klimatischer, geologischer und hydraulischer Einflussgrößen bestimmt werden. Damit stehen der Wasserwirtschaft erstmals wissenschaftlich belastbare Grundlagen zur Verfügung, um erhöhte Wassertemperaturen systematisch zu verstehen, zu bewerten und temperaturkritische Netzbereiche gezielt zu identifizieren.

Die Untersuchungen schließen eine wesentliche Wissenslücke für Planung und Betrieb von Trinkwasserverteilungsnetzen. Es wurden die maßgebenden Einflussgrößen der Temperatur-

entwicklung unter unterschiedlichen klimatischen, geologischen und hydraulischen Randbedingungen gemeinsam untersucht und in ihrem Zusammenwirken beschrieben. Dadurch können Temperaturentwicklungen heute deutlich fundierter bewertet werden als bisher und Maßnahmen lassen sich gezielt an den jeweiligen Randbedingungen eines Versorgungsnetzes ausrichten.

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die Anpassung an den Klimawandel nicht auf einer einzelnen Maßnahme beruht. Vielmehr erfordert sie ein systematisches Verständnis der Temperaturentwicklung im jeweiligen Versorgungsnetz. Messungen und numerische Modelle schaffen hierfür die notwendigen Werkzeuge und ermöglichen es, Temperaturrisiken frühzeitig zu erkennen sowie Planungs-, Betriebs- und Rehabilitationsmaßnahmen auf einer wissenschaftlich fundierten Grundlage zu priorisieren.

Mit fortschreitendem Klimawandel und dem Ausbau wärmeemittierender Infrastrukturen wird die thermische Belastung von Trinkwasserverteilungsnetzen weiter zunehmen. Die im Forschungsvorhaben entwickelten Mess-, Modellierungs- und Bewertungsansätze schaffen hierfür eine belastbare Grundlage und liefern gleichzeitig wichtige Impulse für die Weiterentwicklung technischer Regelwerke sowie für das Risikomanagement nach der Trinkwasserverordnung.

Danksagung

Die Autoren danken den 16 beteiligten Wasserversorgungsunternehmen aus Deutschland und der Schweiz für ihre Unterstützung bei der Durchführung des Forschungsvorhabens. Die Bereitstellung von Versorgungsnetzen, die Mitwirkung bei den Messkampagnen sowie die Einbringung betrieblicher Erfahrungen haben wesentlich zum Erfolg der Untersuchungen beigetragen. Dem DVGW gilt der Dank für die Förderung des Forschungsvorhabens EWaT. ■

INFORMATIONS-PLUS

Welche Bedeutung die in diesem Fachbeitrag beschriebenen Temperaturentwicklungen für die mikrobiologische Stabilität von Trinkwasserverteilungsnetzen besitzen, wurde im DVGW-Forschungsvorhaben MibiTemp untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse aus diesem Vorhaben werden in einer der nächsten Ausgaben dieser Fachzeitschrift vorgestellt.

Die Autoren

Dr. Andreas Korth ist Leiter der Abteilung Wasserverteilung am Standort Dresden des TZW: DVGW-Technologiezentrums Wasser.

Matthias Lohmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Standort Dresden des TZW: DVGW-Technologiezentrums Wasser.

Dr. Julian Xanke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Wasserversorgung am Standort Karlsruhe des TZW: DVGW-Technologiezentrums Wasser.

Mark Hermannspan ist Projektleiter im Bereich Netzmanagement bei der RBS wave GmbH.

Tanja Rank ist Projektleiterin im Bereich Netzmanagement bei der RBS wave GmbH.

Prof. Esad Osmancevic ist Senior Consultant im Bereich Netzmanagement bei der RBS wave GmbH.

Kontakt:
Dr. Andreas Korth
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser
Wasserwerkstr. 2
01326 Dresden
Tel.: 0351 85211-54
E-Mail: andreas.korth@tzw.de
Internet: www.tzw.de

Die „bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie", Ausgabe 09-2026, enthält ein SPEZIAL zu den Bohrtechniktagen / 76. Deutschen Brunnenbauertagen in Bad Zwischenahn sowie Fachbeiträge u. a. zu folgenden Themen:

- Großrohre im Kanalnetz: Risse, Risiken, Standsicherheit – was Betreiber beachten müssen
- Optimiertes Lufthebebohrverfahren für anspruchsvolle Brunnenprojekte
- Stand- und Ankerrohrbohrungen für eine geothermische Dublette in Potsdam

Kostenloses Probeheft unter: **info@wvgw.de**