

Situation und Entwicklung der Grundwassertemperaturen in Österreich

Daten der Gewässerzustandsüberwachung und der Wasserkreislauf-
erhebung



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Heike Brielmann, Thomas Rosmann, Johannes Grath, Christina
Formanek, Harald Loishandl-Weisz, Ingrid Gattringer, Irene Zieritz

Gesamtumsetzung: Christian Schilling (BML)

Fotonachweis: Cover: Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt

Wien, 2023.

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind
ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger
Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land-
und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin / des Autors
ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin /
des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls
vorgreifen.

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	7
1.1 Natürliche Einflüsse auf Grundwassertemperaturen	7
1.2 Anthropogene Einflüsse auf Grundwassertemperaturen	9
1.3 Thermische Nutzung des Grundwassers bzw. der Erdwärme	9
1.4 Rechtliche Anforderungen und Regelungen.....	10
1.5 Änderungen der Grundwassertemperatur – Konsequenzen	11
1.6 Bisheriger Kenntnisstand zur Entwicklung der Grundwassertemperaturen in Österreich.....	12
2 Ziel	14
3 Datengrundlagen und -aufbereitung	15
3.1 Messdaten der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).....	15
3.2 Messdaten der Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV).....	16
3.3 Zusätzliche Informationen	16
3.3.1 Grundwasserkörper	16
3.3.2 Landnutzung	17
3.3.3 Höhenlage	17
3.3.4 Lufttemperatur	17
3.4 Datenaufbereitung.....	18
4 Methodik	19
4.1 Situation.....	19
4.2 Trend.....	20
4.3 Einflussfaktoren	21
5 Ergebnisse	22
5.1 Gewässerzustandsüberwachung (GZÜV).....	22
5.1.1 Situation der Grundwassertemperaturen (2020–2022).....	22
5.1.2 Trends der Grundwassertemperaturen (2013–2022)	30
5.1.3 Trends der Grundwassertemperaturen (2003–2022)	31
5.1.4 Einflüsse auf Grundwassertemperaturen.....	34
5.2 Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV)	38
5.2.1 Situation der Grundwassertemperaturen (2018–2020).....	38
5.2.2 Trends der Grundwassertemperaturen 2011–2020.....	43
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	46

Anhang	48
Tabellenverzeichnis.....	76
Abbildungsverzeichnis.....	77
Literaturverzeichnis	79
Rechtsvorschriften	83
Abkürzungen.....	84

Zusammenfassung

Die Analyse der Situation und der Entwicklung von Grundwassertemperaturen in Österreich erfolgte zum einen auf Basis des Datensatzes der Gewässerzustandsüberwachung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idgF), zum anderen auf Basis des Datensatzes der Wasserkreislauf-erhebung (WKEV; BGBl. II Nr. 478/2006 idgF). Die beiden Messnetze weisen aufgrund ihrer jeweiligen Ziele unterschiedliche räumliche Schwerpunkte der Messstellenverteilung auf. Der Fokus des GZÜV-Messnetzes liegt auf einer repräsentativen Erfassung der qualitativen Situation aller Grundwasserkörper, das WKEV-Messnetz ist auf eine repräsentative Erfassung der mengenmäßigen Situation in den Einzelgrundwasserkörpern ausgelegt. Beide Messnetze ergänzen einander.

Für beide Datensätze gilt, dass Grundwassertemperaturen in erster Linie durch die Höhe und geografische Lage der Messstelle und die damit im Zusammenhang stehende Lufttemperatur und die Landnutzung im Messstellenumfeld geprägt werden. Grundwassermessstellen in höher gelegenen oder alpinen Bereichen sind durch die niedrigsten Grundwassertemperaturen charakterisiert. Grundwasserkörper im Osten und Südosten Österreichs zeigen aufgrund der vorherrschenden höheren Lufttemperaturen vergleichsweise höhere Grundwassertemperaturen. So weisen die Grundwasserkörper Safental, Lassnitz, Stainzbach, Linzer Becken, Leibnitzer Feld, Grazer Feld, Seewinkel, Leithagebirge, Ikvatal, Marchfeld, Stremtal, Unteres Murtal, Murdurchbruchstal, Sulmtal, Weststeirisches Hügelland und Wulkatal im Zeitraum 2020–2022 eine mittlere Grundwassertemperatur von $>13,0\text{ °C}$ auf. Mit Ausnahme des Linzer Becken liegen die genannten Grundwasserkörper im Osten und Südosten Österreichs. Eine geringe Anzahl von Grundwassermessstellen der GZÜV (24) bzw. der WKEV (4) wies mittlere Grundwassertemperaturen von $>16,0\text{ °C}$ im jeweiligen dreijährigen Beurteilungszeitraum auf.

In durch Siedlungen, Industrie, Gewerbe, Verkehr und Abbau geprägten (urbanen) Bereichen liegen die Grundwassertemperaturen im Durchschnitt um mindestens $2,0\text{ °C}$ höher als in Bereichen mit anderen Landnutzungen. Lokal und saisonal ist dort mit sehr viel größerer Erwärmung des Grundwassers zu rechnen. Besonders deutlich wird eine anthropogene thermische Belastung oberflächennaher Grundwasserkörper, wenn eine große positive Abweichung der Grundwassertemperatur zum langjährigen Durchschnitt der Lufttemperatur an der Messstelle vorliegt.

Für 9,0 % (177 von 1.971) der GZÜV-Grundwassermessstellen war eine Abweichung der Grundwassertemperatur von mindestens +3,1 °C zum langjährigen Durchschnitt der Lufttemperatur feststellbar. Im Vergleich zur mittleren Lufttemperatur erhöhte Grundwassertemperaturen traten beispielsweise in den Grundwasserkörpern Grazer Feld, Unteres Salztal und Salzburger Alpenvorland gehäuft auf.

Die Analyse der zeitlichen Entwicklung von Grundwassertemperaturen zeigt einen steigenden Trend auf niedrigem Niveau in weiten Teilen Österreichs, der mit dem klimawandelbedingten Anstieg der Lufttemperaturen verbunden ist. Auf Basis von 20-jährigen Zeitreihen der GZÜV wiesen 40,2 % der Messstellen einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen von <0,3 °C pro Dekade auf, eine Messstelle einen Anstieg von 0,4 °C pro Dekade. Auf Basis von 10-jährigen Zeitreihen der WKEV wiesen sogar 72,8 % der Messstellen einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon 30 (2,0 %) einen Anstieg von mehr als 0,3 °C bis 0,9 °C pro Dekade. Einzelne Messstellen beider Datensätze zeigten fallende Trends der Grundwassertemperaturen.

Die Grundwassertemperaturen werden durch die klimawandelbedingte Zunahme der Lufttemperaturen langfristig in geringem Ausmaß weiter steigen. In Siedlungen oder urbanen Bereichen können durch menschliche Aktivitäten verursachte bzw. durch Wärmeinsel-Effekte hervorgerufene, stärker steigende Grundwassertemperaturen Auswirkungen auf physikalische, chemische und biologische Vorgänge wie z. B. Redox- und mikrobielle Abbauprozesse oder die Verbreitung der Grundwasserfauna haben. Derartige Auswirkungen werden derzeit zum einen für urbane Bereiche zum anderen für alpine Quellen in Forschungsprojekten untersucht.

Auf Basis der aktuellen Erkenntnisse ergeben sich folgende Empfehlungen. In urbanen Bereichen sollten Grundwassertemperaturen als Grundlage für ein geeignetes thermisches Management zeitlich und räumlich engmaschiger überwacht werden. In den flussbegleitenden Porengrundwasserkörpern bedürfen Wechselwirkungen zwischen Niederwasserphasen, Kühlwassereinleitungen, Fließgewässer- und Grundwassertemperaturen einer näheren Betrachtung. Negative Auswirkungen müssen durch geeignete Anpassungsstrategien abgemindert oder verhindert werden.

1 Einleitung

1.1 Natürliche Einflüsse auf Grundwassertemperaturen

Die natürliche Ausprägung der Wassertemperaturen an einer Grund- oder Quellwassermessstelle hängt bei flach zirkulierenden Grund- und Quellwässern in erster Linie von der Höhenlage des jeweiligen Grundwasserneubildungsgebietes und der dort vorherrschenden, höhenabhängigen Lufttemperatur ab, die sich auf seichte Grundwässer auswirkt. In Abwesenheit von anderen Einflussgrößen entspricht die mittlere jährliche Grundwassertemperatur dabei theoretisch der mittleren jährlichen Lufttemperatur an der Bodenoberfläche des Grundwassereinzugsgebietes.

Langfristige Klimaänderungen, wie beispielsweise Änderungen der Lufttemperatur, wirken sich damit auch auf die Grundwassertemperaturen aus. In Folge des Klimawandels ist in Österreich in Bezug auf die Lufttemperaturen in den letzten vier Jahrzehnten ein Erwärmungstrend zu verzeichnen (CCCA, 2023). So war das Jahr 2022 „im Mittel über Österreich hinter 2018 das zweitwärmste Jahr seit Messbeginn 1767, auf den Bergen West- und Südosterreichs sogar das wärmste Jahr“ (CCCA, 2023) und wich um $+2,3\text{ °C}$ vom langjährigen Mittel ab. Von einer weiteren Erwärmung der Lufttemperaturen in den kommenden 20 bis 30 Jahren von etwa $0,5$ bis $1,5\text{ °C}$ im Vergleich zur Klimaperiode 1981–2010 muss im gesamten Alpenbereich und in allen Jahreszeiten ausgegangen werden (Kotlarski, et al. 2022). Ohne globalen Klimaschutz reicht die Bandbreite der Erwärmung bis zum Jahr 2100 weltweit je nach Jahreszeit und Region von 2 °C bis 7 °C .

Das internationale Einheitensystem für physikalische Größen (SI, *Système international d'unités*) definiert das „Kelvin“ (K) als **Maßeinheit** für die thermodynamische **Temperatur** (T). Im vorliegenden Bericht wird die ebenfalls gebräuchliche Maßeinheit Grad Celcius ($^{\circ}\text{C}$) verwendet.

Die Lufttemperatur weist einen Gradienten von etwa $0,5$ bis $0,6\text{ °C}/100\text{ m}$ auf, das heißt, lokal modifiziert durch Inversionswetterlagen, Reliefgegebenheiten und durch Luv- und Leewirkungen nimmt die Temperatur im Mittel um etwa $0,5$ bis $0,6\text{ °C}$ pro 100 Meter Höhenzunahme ab.

Seichtes Grundwasser – vor allem in flussbegleitenden Porengrundwasserleitern – wird in seiner Temperaturcharakteristik durch die Wechselwirkung mit Oberflächengewässern beeinflusst. So weisen durch Infiltration aus Seen oder Fließgewässern geprägte Grundwassermessstellen häufig variabelere Grundwassertemperaturen als von Oberflächengewässern abgeschirmte Grundwasservorkommen auf. In durch Schnee- und Gletscherschmelze geprägten alpinen Einzugsgebieten beeinflusst auch der Anteil von Schmelzwässern die saisonale Entwicklung von Quell- und Grundwassertemperaturen. Die Erwärmung der Fließgewässer ist dabei von der Größe des Einzugsgebiets abhängig. Die Einzugsgebietsgröße hat Einfluss darauf, ob die Wassertemperatur der Fließgewässer eher durch hydrologische Faktoren (z. B. Gletscher-, Schneeschmelze, Grundwasserhaushalt) oder durch Lufttemperaturen geprägt ist. Der klimawandelbedingte Anstieg der Lufttemperatur führte beispielsweise in der Donau im Zeitraum von 1970 bis 2010 zu einem Anstieg der Wassertemperaturen von im Mittel etwa 0,3 °C pro Dekade (BMLFUW, 2013). Die Entwicklung der mittleren jährlichen Wassertemperatur an der Oberfläche österreichischer Seen in der Zeit von 1986 bis 2016 wies durchwegs signifikante Anstiege zwischen 0,03 °C pro Jahr am Mondsee und 0,06 °C pro Jahr am Wörthersee auf¹.

Mit Zunahme der Überdeckung und entsprechender Tiefe eines Grundwasserleiters nimmt die Wechselwirkung mit der Lufttemperatur ab bzw. verschwindet ganz. In der gemäßigten Klimazone ist von einer Beeinflussung durch saisonale Temperaturzyklen bis in eine Tiefe von etwa 10 bis 15 m auszugehen.

Mit zunehmender Tiefe und in Abhängigkeit von den geologischen Eigenschaften eines Grundwasserleiters bestimmen geothermische Bedingungen die Grundwassertemperatur. Als geothermische Tiefenstufe wird hierbei die Tiefe bezeichnet, in der sich die Erdkruste um ein Grad Celsius erwärmt. Ausgehend vom Wärmetransport aus den Prozessen im Erdinneren ergibt sich ein globaler geothermischer Gradient von durchschnittlich etwa 3 °C pro 100 Meter. Das heißt, dass mit einer Zunahme der Tiefe von 30 Metern die Temperatur im Gestein um etwa 1 °C steigt. Regional variiert die geothermische Tiefenstufe vor allem in Abhängigkeit vom Aufbau der Erdkruste, den Wärmekapazitäten des Gesteins sowie vulkanischer Aktivität.

¹ [Österreichs Seen werden immer wärmer \(bml.gv.at\)](http://bml.gv.at)

Daneben kann auch die Zirkulation von Tiefengrund- bzw. Thermalwässern und deren Aufstieg an hydrogeologischen Störungszonen überdurchschnittliche geothermische Verhältnisse und Grundwassertemperaturen bewirken. In Österreich trifft dies beispielsweise für das Innviertel und das Hausruckviertel mit dem Thermalwasservorkommen im Malmkarst des niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebeckens zu (GBA, 2016).

1.2 Anthropogene Einflüsse auf Grundwassertemperaturen

Der vom Menschen verursachte Klimawandel führt zu einem nachgewiesenen weltweiten Anstieg der Lufttemperaturen mit unterschiedlichen regionalen Ausprägungen, die sich je nach vorherrschenden hydrogeologischen Bedingungen und den damit einhergehenden Grundwasserverweilzeiten mit gewisser Verzögerung auch auf die Grundwassertemperaturen auswirken können.

Vor allem aber bewirkt die anthropogene Landnutzung lokal und regional deutliche Temperaturänderungen im Grundwasser. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die vielfach beschriebenen „urbanen Wärmeinseln“ im Untergrund (Epting & Huggenberger, 2013; Böttcher & Zosseder, 2022; Noethen et al., 2023). Thermische Nutzungen wie Erdwärmekollektoren entziehen dem Untergrund Wärme und führen in der Regel zu einer Abkühlung im Anlagenbereich. Der Einsatz von Grundwasserwärmepumpen führt insbesondere bei offenen Systemen je nach Nutzung für Heizung oder Kühlung zur Erwärmung oder Abkühlung des Grundwassers im Bereich der Schluckbrunnen. Die Einleitung erwärmter Kühl- und Abwässer, Aquifer-Wärmespeicher sowie in den Untergrund reichende Gebäude oder Tunnel, welche einen Wärmetransfer in den Untergrund bewirken, können insbesondere in städtischen Bereichen zu einer signifikanten Zunahme der Grundwassertemperaturen führen. Die Infiltration von Niederschlagswässern von versiegelten, sich im Sommer stark aufheizenden, Flächen in den Untergrund kann eine Zunahme von Grundwassertemperaturen bewirken.

1.3 Thermische Nutzung des Grundwassers bzw. der Erdwärme

Im Grundwasser oder im Untergrund gespeicherte Wärmeenergie (oberflächennahe Geothermie) bis zu einer Tiefe von ca. 300 m und Temperaturen von bis zu 30 °C, wird in immer größerem Ausmaß für das Beheizen und Kühlen von Gebäuden, Industrieanlagen und Infrastruktureinrichtungen genutzt.

Grundsätzlich werden *geschlossene* und *offene* Wärmetauschersysteme unterschieden. In offenen Systemen – sogenannten Grundwasserwärmepumpen – wird Grundwasser aus Förderbrunnen entnommen. Je nach Nutzung für Heizung oder Kühlung wird es als erwärmtes oder abgekühltes Grundwasser über Schluckbrunnen wieder in den Grundwasserleiter zurückgeführt. In geschlossenen Systemen, wie *Erdwärmesonden* (senkrechte Bohrungen) und *Erdwärmekollektoren* (horizontale oberflächennahe Verlegung), wird mittels Wärmeträgerflüssigkeiten Wärme oder Kälte aus dem Untergrund aufgenommen und zu einer Wärmepumpe an der Oberfläche transportiert. In der Folge kommt es im Umfeld der Erdwärmesonden und -kollektoren je nach Nutzungsart zu einer Abkühlung oder Erwärmung des Untergrundes. In geeigneten Gebäuden lassen sich auch Betonbauteile oder Gründungspfähle als sogenannte *Energiepfähle* für Heiz- und Kühlzwecke nutzen. Dazu werden Wärmetauscherrohre in die entsprechenden Gebäudeteile eingebracht.

Bis 2020 wurde für Österreich ein Bestand von etwa 90.000 Erdwärmeanlagen angegeben (BMK, 2022).

1.4 Rechtliche Anforderungen und Regelungen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes auf Basis des Wasserrechtsgesetzes (WRG, BGBl. Nr. 215/1959 idgF) sind im ÖWAV-Regelblatt 207 „Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen“ (ÖWAV, 2009) zusammengefasst.

Werden Anlagen errichtet, bei denen Grundwasser entnommen und thermisch verändert versickert oder in einen Vorfluter eingeleitet wird, sind wasserrechtliche Bewilligungsverfahren aufgrund der Bewilligungstatbestände:

- § 10 WRG 1959 für die Entnahme aus dem Grundwasser oder
- § 32 Abs. 2 lit. b WRG 1959 für die Versickerung oder Einleitung in einen Vorfluter wegen der Einwirkung auf das Gewässer durch Temperaturänderung

durchzuführen.

Die Einleitung von thermisch genutztem Wasser in das Grundwasser sollte entsprechend Regelblatt (ÖWAV, 2009):

- eine Temperatur von 5 °C nicht unterschreiten (außer wenn die Grundwassertemperatur durch Oberflächengewässer jahreszeitlich wesentlich abgesenkt wird);
- eine Temperatur von 20 °C nicht überschreiten;
- die maximal zulässige Aufwärmung bzw. Abkühlung des genutzten Grundwassers am Punkt der Einleitung darf 6 °C – ausgehend von der vorhandenen Grundwassertemperatur am Standort – nicht überschreiten.

Anlagen, bei denen keine Wasserentnahme, sondern nur eine thermische Nutzung des Untergrunds stattfindet (z. B. Erdwärmekollektoren, -sonden, Sonderformen), sind entsprechend Vorsorgetatbestand (§ 31c Abs. 5 WRG 1959) bewilligungspflichtig, wenn:

- sie in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung errichtet werden sollen;
- wenn die Gewinnung von Erdwärme in Form von Vertikalkollektoren (Tiefsonden) erfolgt;
- wenn Anlagen zur Wärmenutzung von Gewässern (z. B. im Gewässer verlegte Kollektorrohre, keine Wasserentnahme) errichtet werden sollen.

Für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren sollte die Temperatur des Wärmeträgermediums bei Kühlbetrieb +30 °C nicht überschreiten. Bei Heizbetrieb sollte Eisbildung im Verlegebereich der Erdwärmekollektoren vermieden werden bzw. die mittlere Temperatur von -1,5 °C im Wärmeträgermedium der Erdwärmesonden nicht unterschritten werden.

1.5 Änderungen der Grundwassertemperatur – Konsequenzen

Grundwassertemperaturen und ihre zeitliche Entwicklung haben Auswirkungen auf physikalische, chemische und biologische Vorgänge im Grundwasserleiter. Generell erhöht sich die Reaktionsrate von chemischen Prozessen mit einer Temperaturerhöhung, die Löslichkeit von Sauerstoff nimmt hingegen ab. Temperaturveränderungen beeinflussen biologische Prozesse, da Grundwasserorganismen häufig an jeweils spezielle Temperaturbandbreiten angepasst sind, in der ihr Überleben optimal gesichert ist (Brielmann et al., 2009; Griebler et al., 2016). Somit haben Änderungen der Grundwassertemperatur Konsequenzen für ökologische Belange des Grundwassers.

Auch für wasserwirtschaftliche Planungen und Managementstrategien sind Temperaturänderungen zu berücksichtigen, da diese beispielsweise Auswirkungen auf die Trinkwasser-

und Kühlwasserversorgung aus Grundwasser oder die geothermische Nutzung von Grundwässern haben können (BMLFUW, 2017; Schönher et al, 2021).

1.6 Bisheriger Kenntnisstand zur Entwicklung der Grundwassertemperaturen in Österreich

Für den Zeitraum 1997–2009 wurde in einer Studie (Umweltbundesamt, 2011) in mehr als der Hälfte aller untersuchten 71 Grundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern in Österreich ein signifikanter Grundwassertemperaturanstieg von im Durchschnitt $0,7\text{ °C}$ (Bandbreite $0,4\text{ °C}$ bis $1,3\text{ °C}$) beobachtet. Exemplarisch konnte am Beispiel von Messstellen im Marchfeld der zeitlich verzögerte Anstieg der Grundwassertemperaturen in Abhängigkeit vom Anstieg der Boden- und Lufttemperaturen dargestellt werden (Umweltbundesamt, 2011).

Benz et al. (2018) zeigten für den Zeitraum 1994–2013 ebenfalls einen linearen Anstieg der Grundwassertemperaturen in Österreich von im Durchschnitt $0,7 \pm 0,8\text{ °C}$ an insgesamt 227 Grundwassermessstellen, die mit einem gleichzeitigen Anstieg der Lufttemperaturen im gleichen Zeitraum um $0,5 \pm 0,3\text{ °C}$ einhergehen. Generell konnte ein guter Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Lufttemperatur und dem Anstieg der Grundwassertemperatur nachgewiesen werden, lokal war dieser Zusammenhang allerdings nicht immer gegeben, weil hydrogeologische Gegebenheiten und anthropogene Einflussfaktoren größere Auswirkungen hatten (Benz et al., 2018). Schönher et al. (2021) zeigten für den Zeitraum 2008–2018 an den GZÜV-Messstellen einen Anstieg der Grundwassertemperatur von im Mittel $0,03\text{ °C}$ pro Jahr. In einer das Bundesland Tirol umfassenden Studie wurde ebenfalls ein deutlicher Anstieg der Mittelwerte der Grundwassertemperaturen auf Tagesmittelbasis von etwa $0,06\text{ °C}$ pro Jahr festgestellt (Amt der Tiroler Landesregierung, 2021).

Im Rahmen von Potenzialabschätzungen der thermischen Grundwassernutzung werden insbesondere für die urbanen Zentren laufend verbesserte Datengrundlagen zur Temperaturensituation im Grundwasser erarbeitet. Für Wien z. B. im Rahmen der Projekte GeoPLASMA-CE (Interreg), Managing Urban Shallow geothermal Energy (MUSE; GeoERA) oder Heat below the city (WWTF, 2021–2024). Hierbei wurden in Wien lokal Grundwassertemperaturen $>25\text{ °C}$ und höher ermittelt. Urbane Bereiche mit lokal erhöhten Grundwassertemperaturen wurden beispielsweise auch für das dichtverbaute Stadtzentrum von Graz mit rund $3\text{–}5\text{ °C}$ über der durchschnittlichen Grundwassertemperatur festgestellt (Amt der Steiermärki-

schen Landesregierung, 2012). Auch im Stadtgebiet von Linz wurden insbesondere im Zusammenhang mit lokal konzentrierten Kühlwassernutzungen signifikant erhöhte Grundwassertemperaturen nachgewiesen (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2004).

Im Rahmen eines Forschungsprojektes werden derzeit zudem Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Quellen (ECOSPRING (OEAW-ESS 2021; 2023–2025)) untersucht.

2 Ziel

Ziel der vorliegenden Studie war es, die aktuelle flächendeckende Temperatursituation und -entwicklung für Grundwassermessstellen in Österreich zu erheben und darzustellen. Ergänzend sollten wesentliche natürliche und anthropogene Einflüsse auf die Grundwassertemperaturen und ihre zeitliche Entwicklung an den GZÜV-Messstellen ermittelt und beschrieben werden. Die Ergebnisse liefern Grundlagen für Empfehlungen zum Temperaturmanagement österreichischer Grundwasserkörper.

3 Datengrundlagen und -aufbereitung

3.1 Messdaten der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV)

Die gesetzlichen Grundlagen für die Überwachungsmessnetze finden sich im Wasserrechtsgesetz (WRG §59c, BGBl. Nr. 215/1959 idgF). Die Überwachung des chemischen Grundwasserzustands erfolgt in Österreich auf Basis der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 idgF). Neben der Erhebung der in der GZÜV definierten chemischen Parameter sind zur Beurteilung der Repräsentativität der Grund- und Quellwasserproben auch maßgebliche Begleitparameter wie Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt zu bestimmen. Die Grund- und Quellwassertemperaturen werden im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachung während der Probenahme (z. B. während des Pumpens oder der Hahnentnahme) und in maximal vierteljährlichen Intervallen erhoben. Dementsprechend liegt für das GZÜV-Messnetz ein Datensatz der Grundwassertemperaturen in Österreich vor.

Gemäß GZÜV sind für die Messung der Wassertemperatur bei der Vor-Ort-Untersuchung Verfahren entsprechend ÖNORM M 6616 anzuwenden (BMLFUW, 2015). Die Temperaturmessung erfolgt für das Grundwasser im Normalfall elektronisch per Handmessgerät entweder direkt im Förderstrom oder in einer Durchflussmesszelle, bei Quellen wird beim Quellsprung oder im Zulauf (zur Quellstube) oder in einem kleinen Messbecher unter dem Zulauf gemessen (BMLFUW, 2015).

Die GZÜV-Daten sind öffentlich über die H2O-Fachdatenbank des Wasserinformationssystems Austria (WISA, wasser.umweltbundesamt.at/h2odb/) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) abrufbar. Neben der Verortung der Messstellen liegen Informationen zur Charakteristik der Messstellen (Stammdaten) vor.

Die Länge der Zeitreihen und die Datendichte variiert für die einzelnen GZÜV-Messstellen je nach Messstellenhistorie (Beobachtungsbeginn und -ende, Messunterbrechungen) und Belastungssituation durch Schadstoffe. Für die vorliegenden Auswertungen wurden Temperaturzeitreihen von insgesamt 1.917 GZÜV-Messstellen im Zeitraum 2003–2022 herangezogen. Von diesen GZÜV-Messstellen waren 335 gleichzeitig WKEV-Messstellen.

3.2 Messdaten der Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV)

Die Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV, BGBl. II Nr. 478/2006 idgF) definiert die fachlichen Anforderungen für das Messnetz zur Erhebung des Wasserkreislaufs. Der Fokus der Erfassung durch das Grundwassermessnetz der WKEV liegt auf Einzelgrundwasserkörpern (vgl. Kapitel 3.3.1). Die Messung der Grundwassertemperatur erfolgt im WKEV-Messnetz ergänzend zur Erfassung der Grundwasserdruckflächen überwiegend kontinuierlich mit ortsfest, in definierten Messtiefen installierten Messsonden.

Für die vorliegenden Analysen stellte die Abteilung I/3 – Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) Monatsmittelwerte der Grundwassertemperatur im Zeitraum 1963–2020 aus dem hydrographischen Messnetz zur Verfügung. Für die vorliegenden Auswertungen wurden Temperaturzeitreihen von insgesamt 1.499 WKEV-Messstellen im Zeitraum 2011–2020 herangezogen.

Die WKEV-Daten sind öffentlich über die WebGIS-Applikation eHYD (ehyd.gv.at) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) abrufbar. Neben der Verortung der Messstellen liegen Informationen zur Charakteristik der Messstellen (Stammdaten) vor.

Die Analyse von WKEV-*Quellmessstellen*² ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Für Informationen zur Temperaturentwicklung von Quellen wird auf Seelig et al. (2023) verwiesen.

3.3 Zusätzliche Informationen

3.3.1 Grundwasserkörper

Eine räumlich aggregierte Betrachtung der Grundwassertemperaturen erfolgte auf Basis der 142 Grundwasserkörper Österreichs (BMLRT, 2021). Grundwasserkörper sind Managementeinheiten gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG idgF) und umfassen abgegrenzte Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter. Sie

² [Quellmessstellen in Österreich – Richtlinie für die Errichtung und Beobachtung \(bml.gv.at\)](http://bml.gv.at)

werden auf Basis von hydrogeologischen, Landnutzungs- und Belastungskriterien abgegrenzt.

Vertikal wird in Österreich zwischen oberflächennahen Grundwasserkörpern und Tiefengrundwasserkörpern unterschieden. Als oberflächennahe werden jene Grundwasserkörper bezeichnet, die das oberste relevante Grundwasserstockwerk umfassen, bzw. jene Anteile des Grundwassers, die sich im aktuellen Wasserkreislauf befinden und nicht als Tiefengrundwasser zu bezeichnen sind. Insgesamt 65 Grundwasserkörper lassen sich als hydrologisch zusammenhängende, dreidimensional abgrenzbare Grundwasservolumen beschreiben. Sie werden als **Einzelgrundwasserkörper** bezeichnet und befinden sich größtenteils in quartären Sedimenten. Die Aquifere sind als Porengrundwasserleiter ausgebildet (BMLRT, 2021). Weitere 68 oberflächennahe Grundwasserkörper wurden auf Basis hydrogeologisch relevanter tektonischer Großeinheiten als sogenannte **Gruppen von Grundwasserkörpern** abgegrenzt.

Die neun österreichischen **Tiefengrundwasserkörper** waren nicht Gegenstand des Projektes.

3.3.2 Landnutzung

Um den Einfluss der Landnutzung auf die Situation und Entwicklung der Quell- und Grundwassertemperaturen an den **GZÜV-Messstellen** untersuchen zu können, wurden Informationen zur überwiegenden Landnutzung im Umfeld von Messstellen aus der entsprechenden Klassifikation von GZÜV-Grundwassermessstellen (BML, 2023) herangezogen.

3.3.3 Höhenlage

Um den Einfluss der Höhenlage auf die Situation und Entwicklung der Quell- und Grundwassertemperaturen an den **GZÜV-Messstellen** untersuchen zu können, wurden die Höhenlagen der GZÜV-Grundwassermessstellen durch Verschneidung der Messstellenkoordinaten mit dem Digitalen Geländemodell (DGM) Österreich in der Rasterweite 100 m (BEV, 2022) ermittelt.

3.3.4 Lufttemperatur

Um den Einfluss der Lufttemperatur auf die Situation und Entwicklung der Quell- und Grundwassertemperaturen an den **GZÜV-Messstellen** untersuchen zu können, wurden

mittlere Lufttemperaturen im Umfeld der Grundwassermessstellen durch die Verschneidung der Messstellenkoordinaten mit dem in Kilometerauflösung über Österreich vorliegendem Rasterdatensatzes SPARTACUS von GeoSphere Austria³ und der Berechnung arithmetischer Mittel der Jahresmittel der Lufttemperaturen im Zeitraum 2011–2020 ermittelt.

3.4 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung erfolgte iterativ unter Ermittlung der messstellenspezifischen statistischen Lagemaße und Darstellung der Häufigkeiten und Verteilungen, so dass etwaige Ausreißer und Messstellenbesonderheiten erkannt, im Datensatz entsprechend gekennzeichnet und gegebenenfalls vor der weiteren statistischen Analyse entfernt werden konnten.

Die Daten wurden mittels der frei verfügbaren Software R (R Core Team, 2022) und der R-Paket-Kompilation *tidyverse* (Wickham et al., 2019) sowie den R-Paketen *rpart* (Therneau & Atkinson, 2022) und *rpart.plot* (Milborrow, 2022) aufbereitet und analysiert. Diese können über den Server des R Comprehensive Archive Network ([CRAN](https://cran.r-project.org/)) heruntergeladen werden.

³ [GeoSphere Austria Data Hub \(zamg.ac.at\)](https://data.zamg.ac.at/)

4 Methodik

4.1 Situation

Die Darstellung der Ist-Situation der Grundwassertemperaturen erfolgte separat für die Messstellen der **Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV)** und die Messstellen der **Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV)**.

Die durchschnittliche (mittlere) Situation der Grundwassertemperatur wurde für beide Datengrundlagen (GZÜV, WKEV) in Anlehnung an die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 idgF) für einen 3-jährigen Beurteilungszeitraum ermittelt. Diese Vorgangsweise berücksichtigt den Untersuchungsumfang der GZÜV, der an Grundwassermessstellen je nach Belastungsgrad einzelne bis maximal quartalsweise Erhebungen der Grundwasserparameter vorsieht (1- bis 4-mal pro Jahr).

Für die **GZÜV**-Grundwassermessstellen lagen zum Auswertzeitpunkt Messdaten bis einschließlich 2022 vor (Kapitel 5.1). Arithmetische Mittel der Jahresmittelwerte der Grundwassertemperatur für die GZÜV-Messstellen wurden deshalb unter Berücksichtigung von Mindestkriterien ($n \geq 1$ pro Jahr) für den Beurteilungszeitraum 2020–2022 berechnet. GZÜV-Grundwassermessstellen umfassen sowohl Brunnen, Sonden als auch Quellen.

Für die Erhebungen entsprechend **WKEV** lagen zum Auswertzeitpunkt Monatsmittel der Grundwassertemperatur bis einschließlich 2020 vor (Kapitel 5.2). Für die Darstellung der Ist-Situation an den WKEV-Messstellen wurden aus den Monatsmitteln unter Berücksichtigung von Mindestkriterien ($n \geq 10$ Monatsmittel pro Jahr) arithmetische Mittel der Jahresmittelwerte für den Zeitraum 2018–2020 berechnet. Die hier untersuchten Grundwassermessstellen umfassen keine Daten des Quellmonitorings. Untersuchungen zur Entwicklung der Quellwassertemperaturen liegen gesondert vor (Seelig et al., 2023).

Um etwaige höhere saisonale Belastungen des Grundwassers durch natürliche oder anthropogen verursachte Erwärmung zu erfassen, erfolgte zusätzlich für die genannten Zeiträume eine Darstellung der Maximalwerte der Monatsmittel (WKEV) für 2018–2020 bzw. anhand der Maximalwerte der Quartalswerte (GZÜV) für 2020–2022.

4.2 Trend

Die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung der Grundwassertemperaturen auf einen Trend erfolgte mittels saisonalem Mann-Kendall-Test. Die Trendanalysen erfolgten auf Basis von Monatsmittelwerten (WKEV) bzw. auf Grundlage von Quartalswerten (GZÜV).

Grundsätzlich sind statistische Trendanalysen Verfahren zur Hypothesenüberprüfung. Die Nullhypothese besagt, es existiert kein Trend. Die Ablehnung der Nullhypothese bedeutet nicht automatisch, dass kein Trend vorhanden ist, sondern dass die statistische Evidenz nicht ausreicht, um anhand des gewählten Vertrauensbereiches einen Trend abzuleiten. Die lineare Regression setzt eine Normalverteilung der untersuchten Messdaten voraus, welche für Umweltdaten häufig nicht zutrifft. Im Fall nicht normalverteilter Daten werden nicht-parametrische Test wie der **Mann-Kendall-Test** verwendet, der zudem robuster in Bezug auf Ausreißer und Datenlücken ist. Beide erfordern konstante Varianz und Unabhängigkeit der Messwerte. Da die Zeitreihen der Grundwassertemperaturen saisonal geprägt sein können, wird der **saisonale Mann-Kendall-Test** angewendet, um etwaige saisonale Effekte zu berücksichtigen. Für den WKEV-Datensatz erfolgte die saisonale Unterteilung dabei nach Monaten, für den GZÜV-Datensatz nach Quartalen.

Ob es sich um einen statistisch signifikanten Trend handelt, der sich von der Variabilität der jeweiligen Zeitreihen der Grundwassertemperatur abhebt, wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen auf Basis eines Signifikanzniveaus von 95 %, d. h. einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ bewertet. Ein p-Wert kleiner 0,05 wird als signifikant angesehen. Die Nullhypothese wird abgelehnt. Es liegt ein statistisch signifikanter Trend vor.

Der Trendeffekt wird im Fall des Mann-Kendall-Tests mittels Kendalls τ (tau) angegeben. Dieser spiegelt in seiner Höhe die Stärke des Zusammenhangs zwischen dem zeitlichen Verlauf und der Grundwassertemperatur wider. Je näher der Betrag von τ bei „1“ liegt, desto ausgeprägter ist der Zusammenhang, bei Betrag „0“ besteht kein Zusammenhang. Das Vorzeichen von τ (tau) gibt die Richtung des Trends (Zu- bzw. Abnahme) der Grundwassertemperatur an. Im vorliegenden Projekt wurde der Kendall-Rangkorrelationskoeffizient τ (tau) wie in Tabelle 1 angegeben interpretiert.

Die Trendrate, also der Anstieg bzw. die Abnahme der Grundwassertemperatur über eine definierte Zeiteinheit wird aus der Steigung des Theil-Sen-Schätzers abgelesen.

Tabelle 1: Vereinfachte Interpretation der Stärke des Zusammenhangs zwischen zeitlicher Entwicklung und Grundwassertemperatur anhand von Kendalls τ , vorausgesetzt es liegt ein statistisch signifikanter Trend ($p < 0,05$) vor.

Größenordnung τ	Interpretation
$< 0,1$	vernachlässigbarer Zusammenhang (kein Trend)
$\geq 0,1$ bis $< 0,5$	wenig ausgeprägter Zusammenhang (Trend)
$\geq 0,5$ bis $< 1,0$	stark ausgeprägter Zusammenhang (Trend)

Quelle: Umweltbundesamt 2023

Um eine sichere Aussage bezüglich der Trendentwicklung an einer Messstelle zu treffen, wurden Mindestanforderungen an die Datenqualität festgelegt:

- Länge der Zeitreihe mindestens acht Jahre,
- mindestens zehn Monatsmittelwerte pro Jahr für die Berechnung des Jahresmittels und Trendauswertungen basierend auf Grundwassertemperaturdaten der WKEV,
- mindestens ein Quartalswert pro Jahr für die Berechnung des Jahresmittels und Trendauswertungen basierend auf Grundwassertemperaturdaten der GZÜV.

Für Grundwassermessstellen liegen aufgrund der Vorgaben der GZÜV je nach Belastungssituation ein bis maximal vier Quartalswerte für die Wassertemperatur als begleitend erhobener Vor-Ort-Parameter vor. Um den Einfluss der Zeitreihenlänge auf die Trendbeurteilung zu untersuchen, wurde deshalb an den GZÜV-Grundwassermessstellen für den **10-jährigen (2013–2022)** und den **20-jährigen Zeitraum (2003–2022)** Trendbeurteilungen durchgeführt. Für die WKEV-Messstellen wurden Trendbeurteilungen für den 10-jährigen Zeitraum (2011–2020) durchgeführt.

4.3 Einflussfaktoren

Der Einfluss von Lufttemperaturen, Höhenlagen und Landnutzungen an GZÜV-Grundwassermessstellen auf beobachtete Grundwassertemperaturen wurde mittels Entscheidungsbaum (Regression, ANOVA) untersucht.

5 Ergebnisse

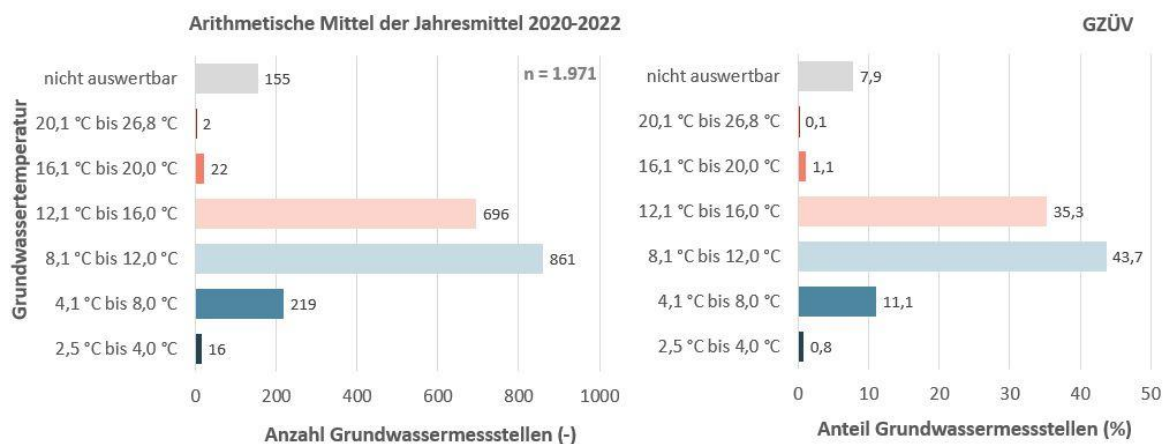
5.1 Gewässerzustandsüberwachung (GZÜV)

5.1.1 Situation der Grundwassertemperaturen (2020–2022)

5.1.1.1 Arithmetische Mittel der Jahresmittel (2020–2022)

Im Zeitraum von 2020 bis 2022 lagen die Mittelwerte der Grundwassertemperaturen an den GZÜV-Messstellen in Österreich größtenteils zwischen 4,1 °C und 16,0 °C. Eine begrenzte Anzahl von Messstellen (22) zeigte mittlere Grundwassertemperaturen von 16,1 °C bis 20,0 °C (Abbildung 1). Zwei weitere Messstellen wiesen Grundwassertemperaturen von 20,1 °C bis 26,8 °C auf. Gleichzeitig wurden an 16 Messstellen mittlere Grundwassertemperaturen $\leq 4,0$ °C gemessen (Abbildung 1). Etwa 35,3 % (696) der insgesamt 1.971 untersuchten Messstellen der GZÜV wiesen arithmetische Mittel der Grundwassertemperaturen im Bereich von 12,1 °C bis 16,0 °C auf.

Abbildung 1: Häufigkeiten der arithmetischen Mittel der Jahresmittelwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Die geographische Verteilung der Temperaturverhältnisse im Grundwasser ist in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt. Höhenabhängig traten die niedrigsten Grundwassertemperaturen von $\leq 4,0$ °C in den Grundwassermessstellen der Grundwasserkörper Nördliche Kalkalpen, Zentralzone und Niedere Tauern auf. Grundwassertemperaturen $>12,0$ °C wurden überwiegend in Porengrundwasserkörpern der Tallagen, wie z. B. den Grundwasserkörpern Rheintal, Unteres Salzachtal, Linzer Becken oder Marchfeld (Abbildung 2, Abbildung 3), festgestellt.

Im Burgenland und der Steiermark (Abbildung 3) zeigten beispielsweise Messstellen der Grundwasserkörper Parndorfer Platte, Seewinkel, Grazer Feld und Leibnitzer Feld Grundwassertemperaturen $>12,0$ °C. Im Osten des Burgenlandes liegen allerdings bereits die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in einem Bereich von 12 bis 14 °C (CCCA, 2023). Mehrere **Messstellen** mit mittleren Grundwassertemperaturen $>16,0$ °C sind in den Grundwasserkörpern Südliches Wiener Becken (5 von 76) und Marchfeld (3 von 68) situiert (Abbildung 3, Tabelle 2 im Anhang).

Abbildung 2: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.

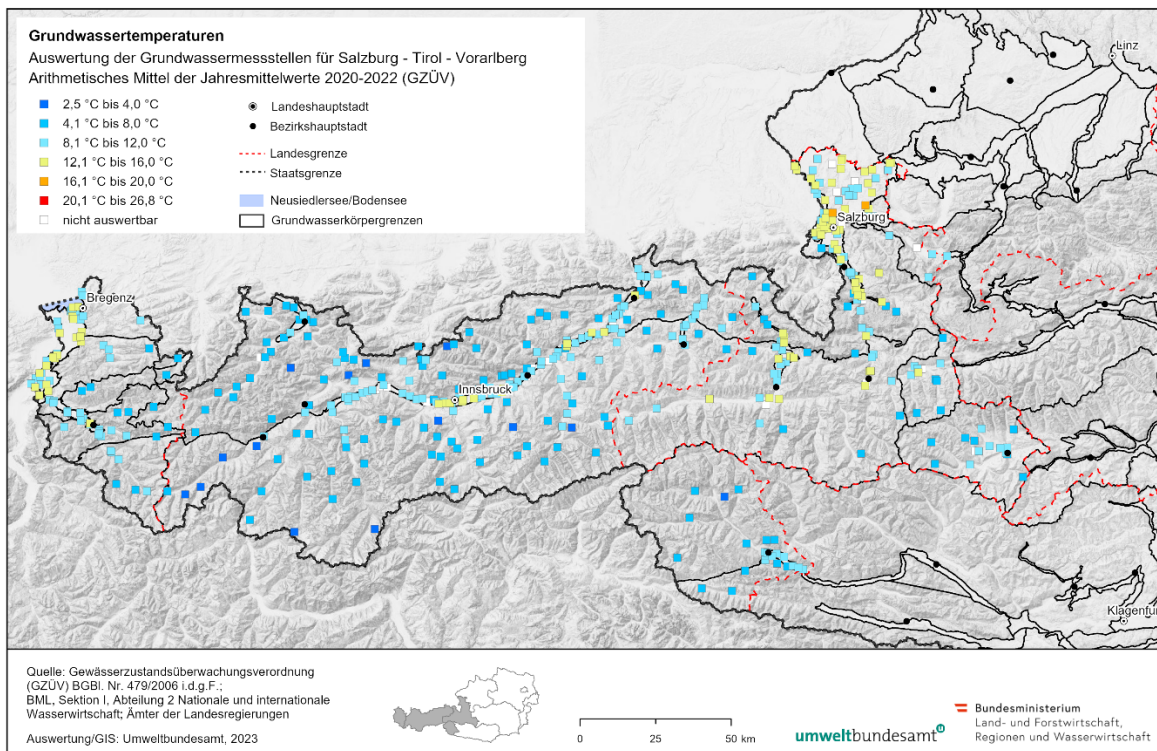
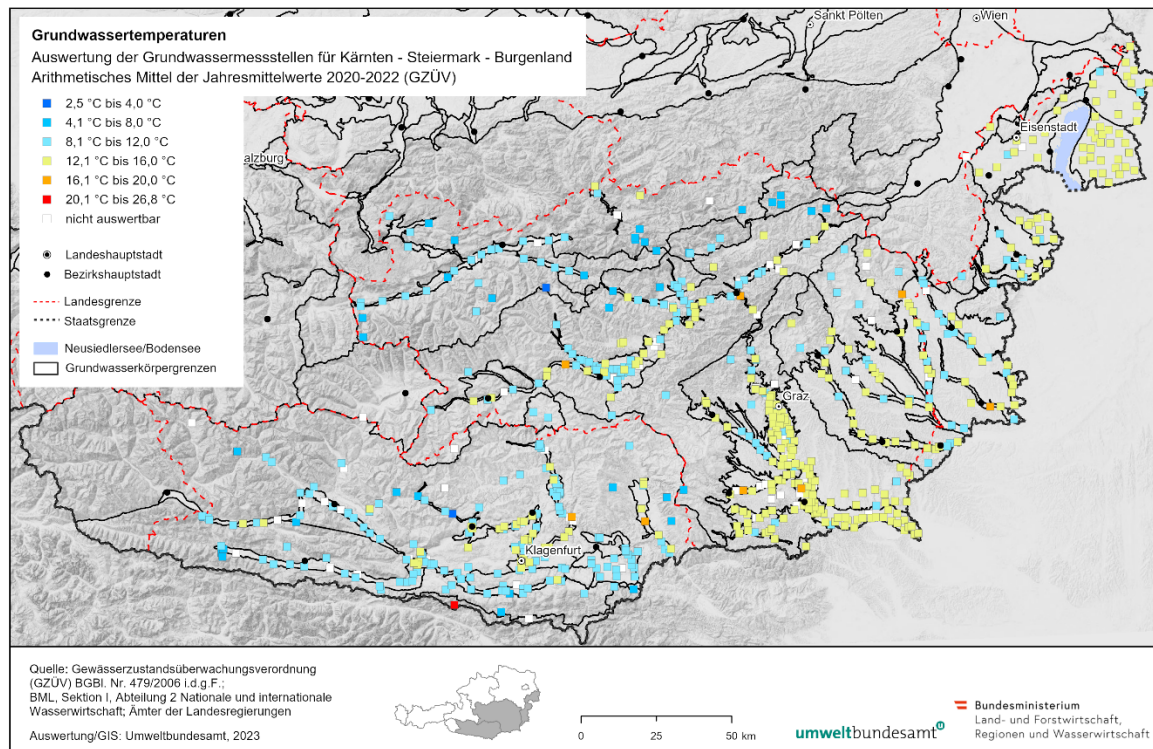
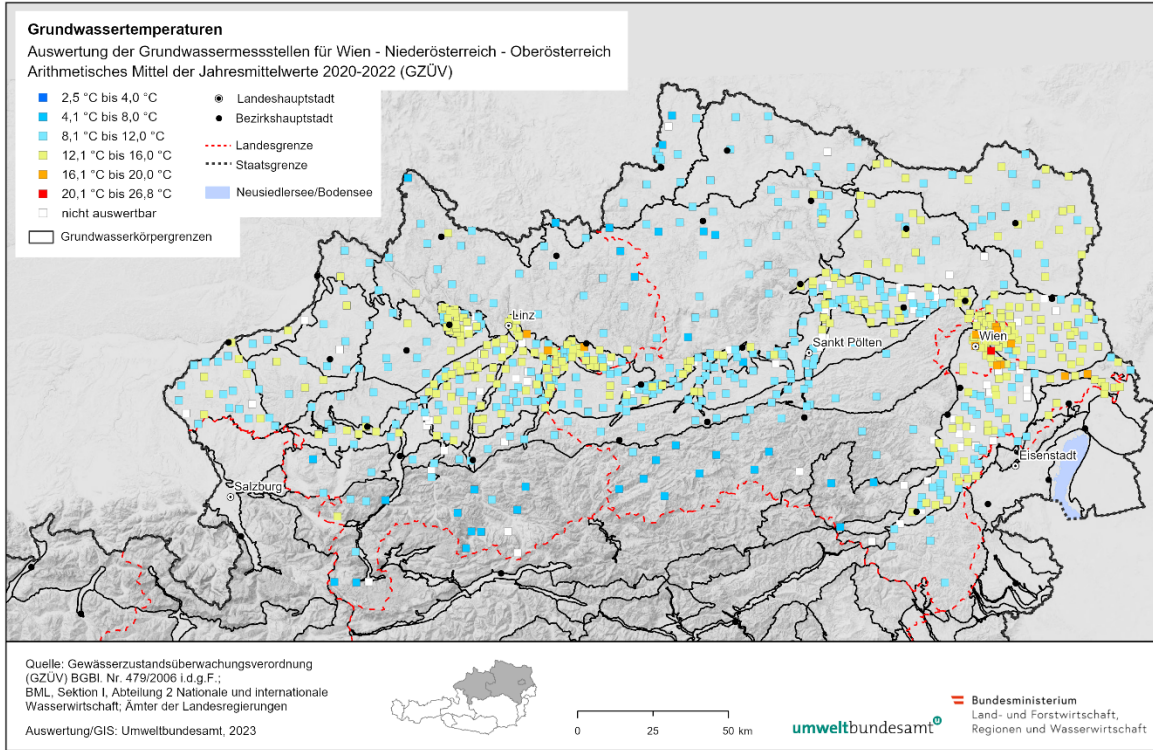


Abbildung 3: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) sowie Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).



Eine Zusammenfassung der statistischen Kennwerte der Grundwassertemperaturen auf **Grundwasserkörperebene** ist in Tabelle 2 des Anhangs dargestellt. Die Tabelle enthält zudem die mittleren Seehöhen der Grundwasserkörper. Grundwassertemperaturen >13 °C wurden im Zeitraum 2020–2022 im Mittel für die **Grundwasserkörper** Safental, Lassnitz, Stainzbach, Linzer Becken, Leibnitzer Feld, Grazer Feld, Seewinkel, Leithagebirge, Ikvatal, Marchfeld, Stremtal, Unteres Murtal, Murchbruchstal, Sulmtal, Weststeirisches Hügelland und Wulkatal ermittelt, also mit Ausnahme des Linzer Beckens für Grundwasserkörper im Osten und Südosten Österreichs.

5.1.1.2 Maxima der Quartalsmessungen (2020–2022)

Lokal auftretende anthropogene Beeinflussungen der Grundwassertemperaturen wurden anhand der Maxima der Quartalswerte (Stichproben) im Beurteilungszeitraum 2020–2022 (siehe Abbildung 4) untersucht. Von 1.971 untersuchten Messstellen wiesen 144 (7,3 %) Maximalwerte der Grundwassertemperaturen von 16,1 °C bis 20,0 °C auf (Abbildung 4). Weitere 25 (1,3 %) Messstellen zeigten Maximalwerte der Grundwassertemperaturen von 20,1 °C bis 26,8 °C (Abbildung 4).

Abbildung 4: Häufigkeiten der Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Diese Temperaturspanne liegt über dem erwarteten Bereich für unbeeinflusste Grundwassertemperaturen, der oberflächennah in der Regel den mittleren Lufttemperaturen im Einzugsgebiet entspricht. Aus den Kartendarstellungen der Maximalwerte (Abbildung 5, Abbildung 6) ist ersichtlich, dass insbesondere urbane Siedlungsbereiche (z. B. um Bregenz, Salzburg, Linz, Wien oder Graz) häufig höhere Maximalwerte der Grundwassertemperaturen aufwiesen.

Abbildung 5: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.

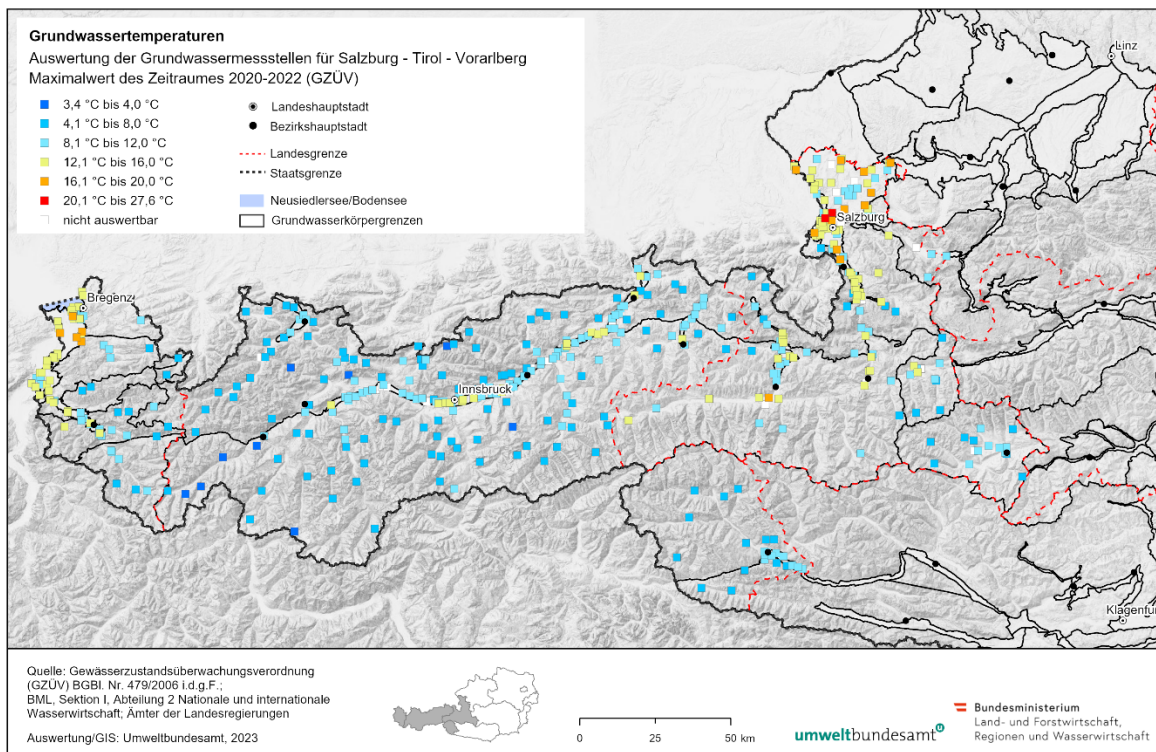
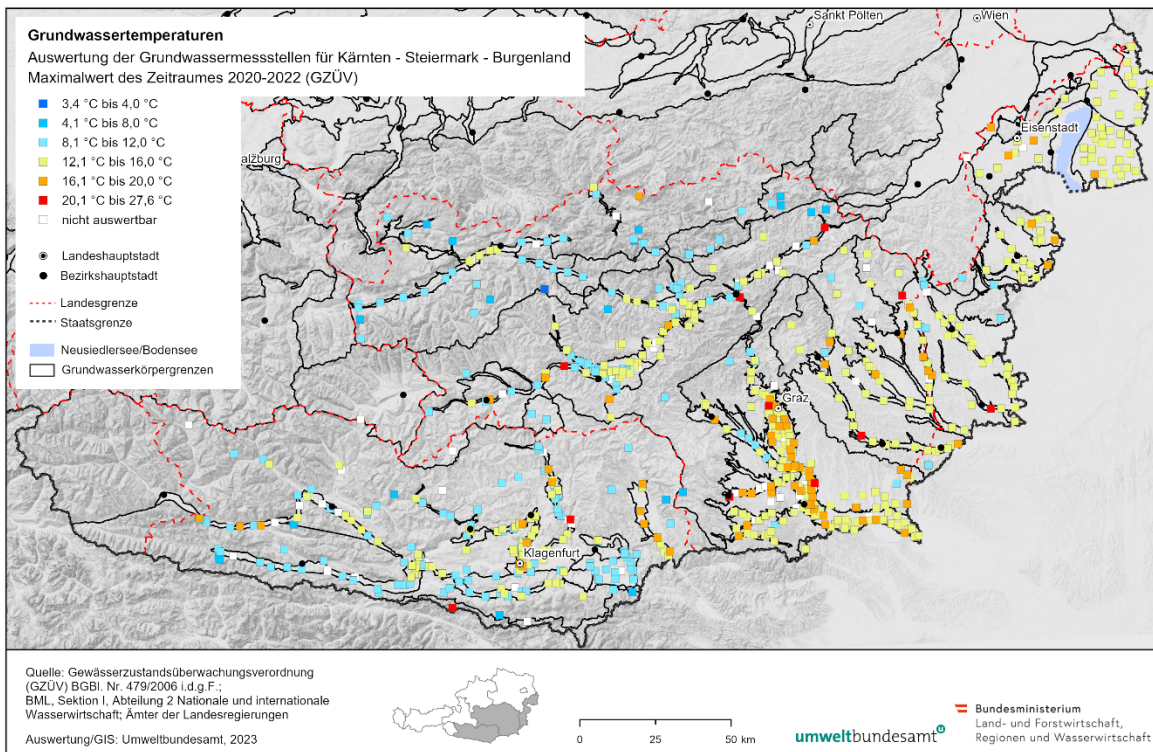
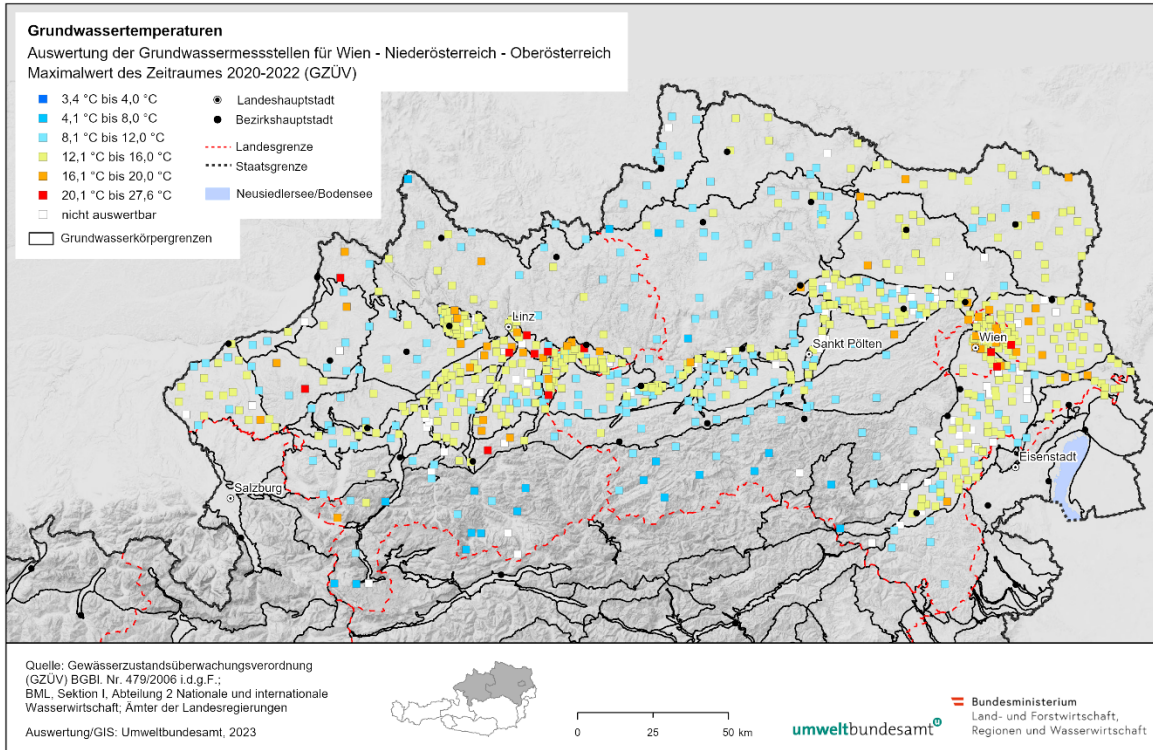


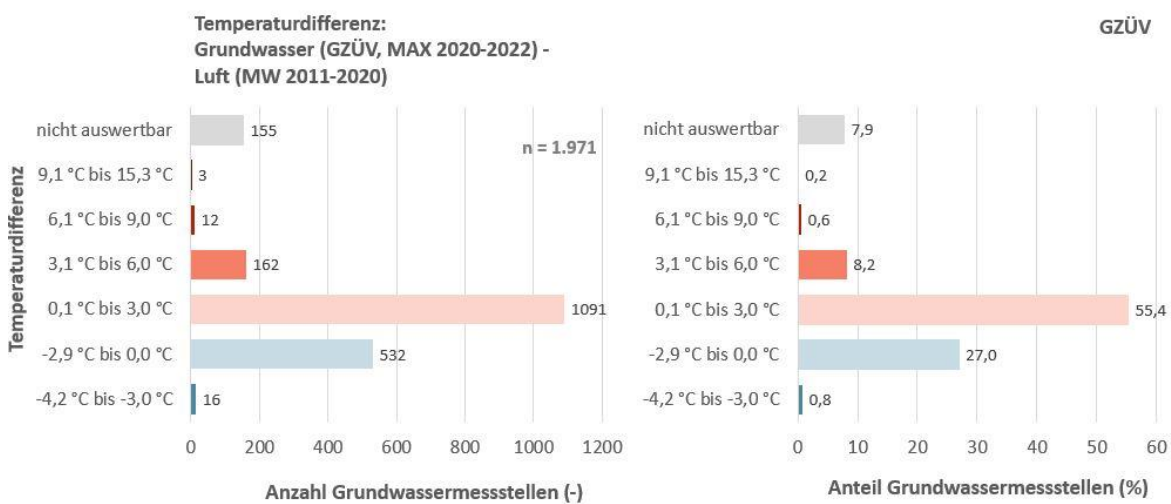
Abbildung 6: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) sowie Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).



5.1.1.3 Temperaturdifferenzen Grundwasser – Luft

Die Analyse der Differenzen zwischen den Grundwassertemperatur-Maximalwerten (2020–2022) und dem arithmetischen Mittel der jährlichen Lufttemperaturen (2011–2020) an den GZÜV-Messstellen zeigt für 8,2 % (162) Messstellen eine Abweichung von 3,1 °C bis 6,0 °C zum Lufttemperaturmittel im Messstellenumfeld (Abbildung 7). Für 0,8 % (15) Messstellen beträgt die Differenz sogar 6,1 °C bis 15,3 °C. An diesen Messstellen ist von einer deutlichen Beeinflussung der Grundwassertemperaturen durch anthropogene oder geothermische Wärmequellen auszugehen.

Abbildung 7: Häufigkeiten der Temperaturdifferenzen zwischen den Maximalwerten der Grundwassertemperaturen an den GZÜV-Messstellen (2020–2022) und den arithmetischen Mitteln der jährlichen Lufttemperaturen (2011–2020) im Umfeld der GZÜV-Messstellen.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, GeoSphere Austria, Umweltbundesamt

Regional gehäuft traten positive Abweichungen zur mittleren Lufttemperatur von 3,1 °C bis 6,0 °C in den Grundwasserkörpern Grazer Feld, Unteres Salzbachtal und Salzburger Alpenvorland auf. Lokal waren in urbanen Bereichen (Klagenfurt, Linz, Wien, Salzburg) noch höhere Temperaturdifferenzen zu verzeichnen. Generell ist zu beachten, dass insbesondere in engen Tälern oder Randbereichen von Tälern die ermittelten Temperaturdifferenzen mit größeren Unsicherheiten behaftet sind, da die verwendeten Datensätze der Lufttemperaturen in einer Kilometerauflösung über Österreich vorliegen (siehe Kapitel 3.3.4). Negative Temperaturdifferenzen von <-3,0 °C waren vor allem für Quellmessstellen in den Nördlichen Kalkalpen festzustellen (Abbildung 8).

Abbildung 8: Temperaturdifferenzen Grundwasser (GZÜV, Maximum 2020–2022) zu Luft (arithmetisches Mittel der Jahresmittel 2011–2020) in den Bundesländern Salzburg, Tirol - Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).

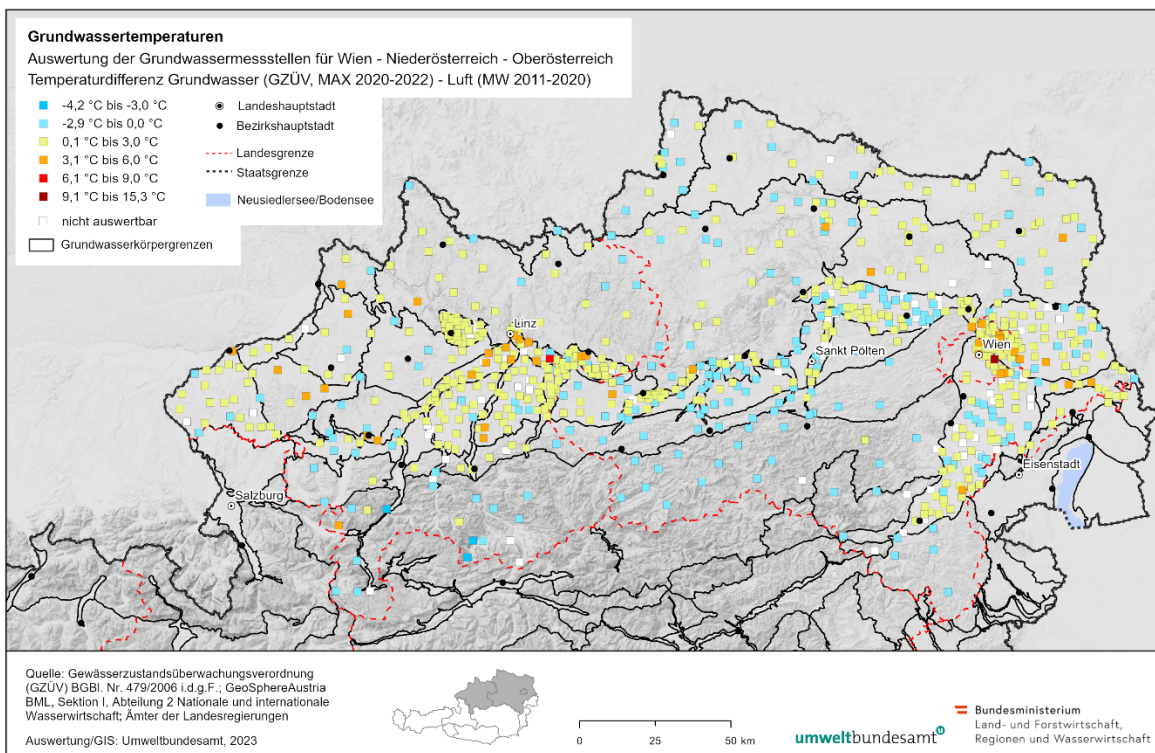
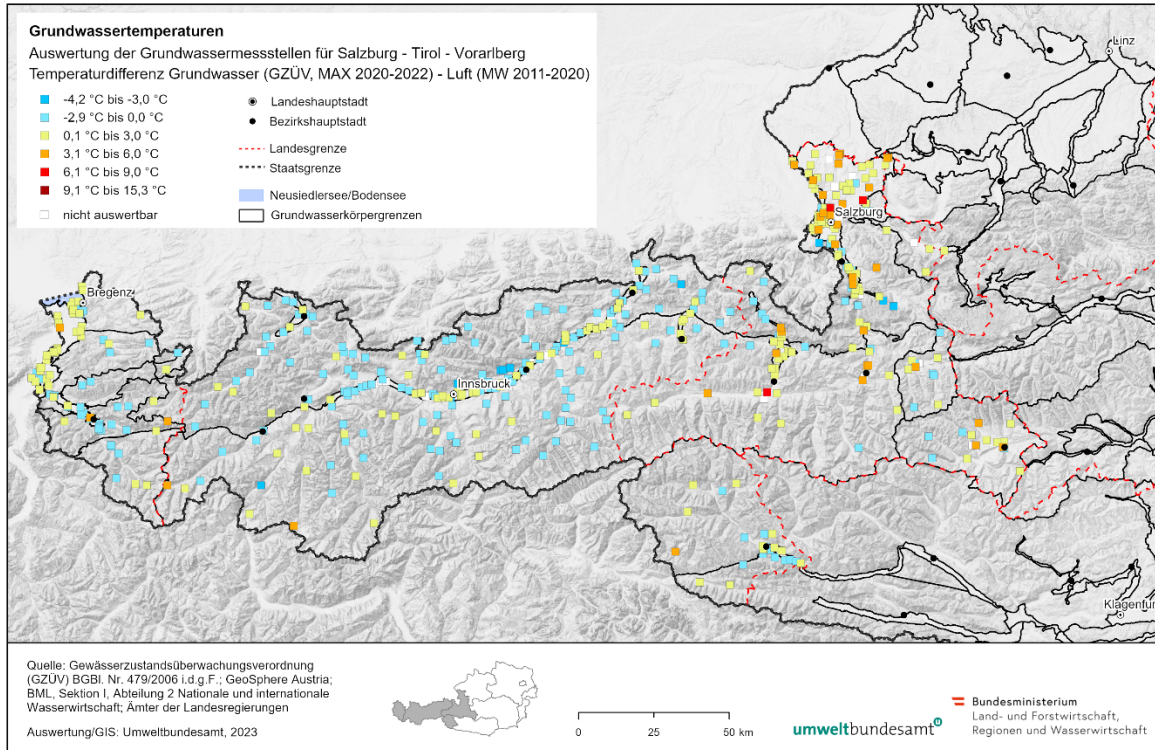
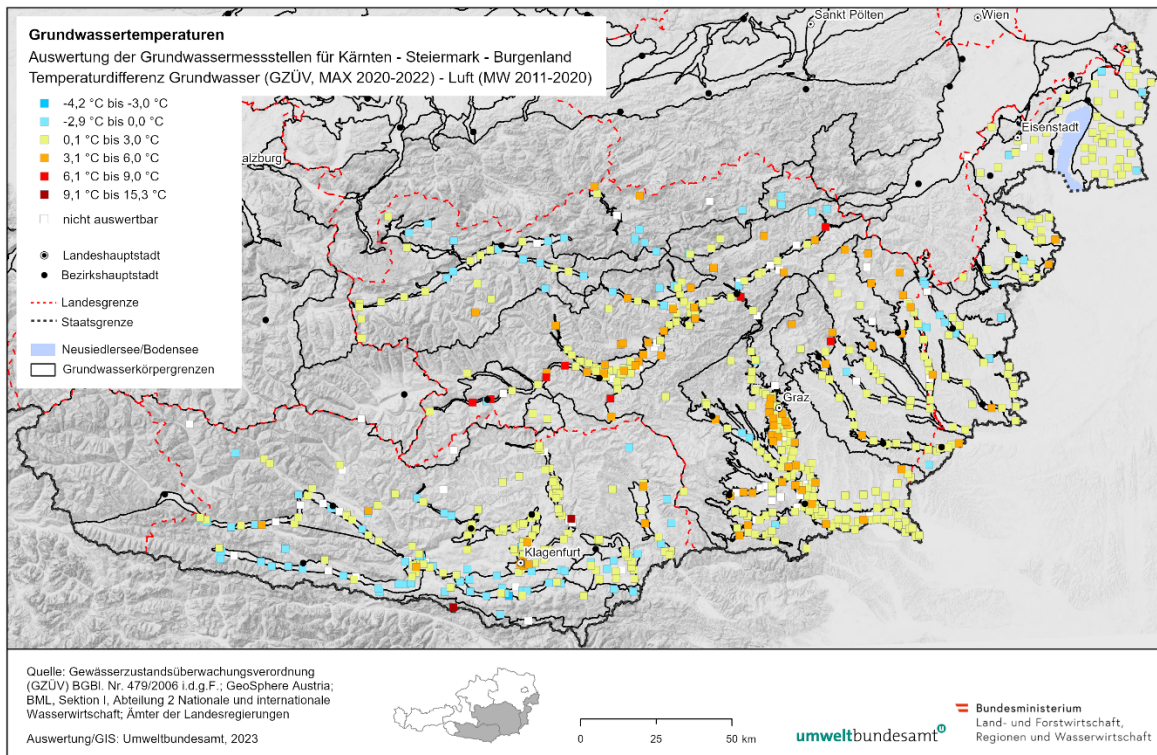


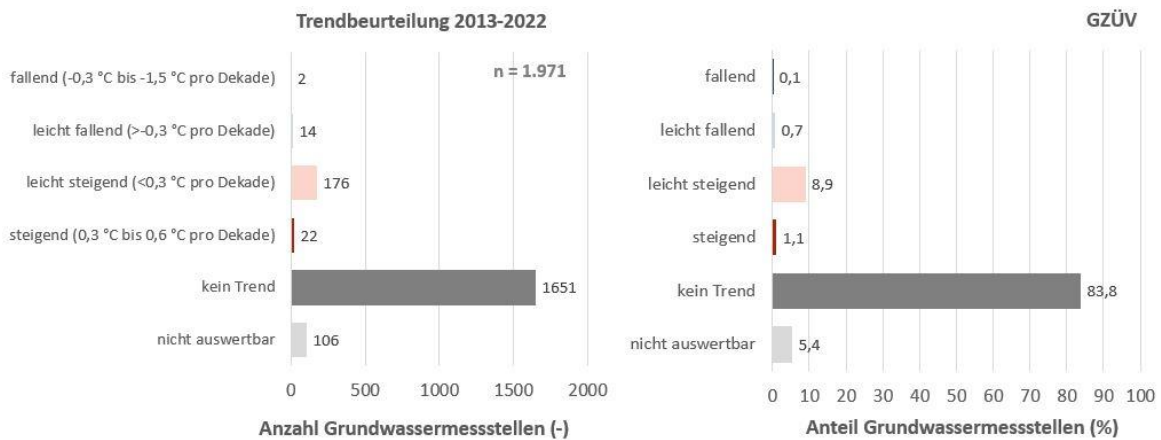
Abbildung 9: Temperaturdifferenzen Grundwasser (GZÜV, Maximum 2020–2022) zu Luft (arithmetisches Mittel der Jahresmittel 2011–2020) in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.



5.1.2 Trends der Grundwassertemperaturen (2013–2022)

Der Auswerteperiodenraum 2013–2022 wurde gewählt, um die aktuellsten Entwicklungen der Grundwassertemperaturen abzubilden. Im 10-jährigen Beurteilungszeitraum 2013–2022 wiesen insgesamt 198 GZÜV-Messstellen (10,0 %) einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon 22 einen Anstieg von 0,3 °C bis 0,6 °C pro Dekade (Abbildung 10). Sechzehn Messstellen (0,8 %) zeigten einen signifikant fallenden oder leicht fallenden Trend der Grundwassertemperaturen. An 1.651 GZÜV-Grundwassermessstellen (83,8 %) war auf Basis des 10-jährigen Beurteilungszeitraumes und der vorliegenden Quartalswerte (Stichproben) hinsichtlich der Grundwassertemperaturen kein signifikanter Trend feststellbar, an 106 Messstellen entsprach die Datendichte nicht den definierten Anforderungen für eine Trendbeurteilung.

Abbildung 10: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an GZÜV-Messstellen im Zeitraum 2013–2022.

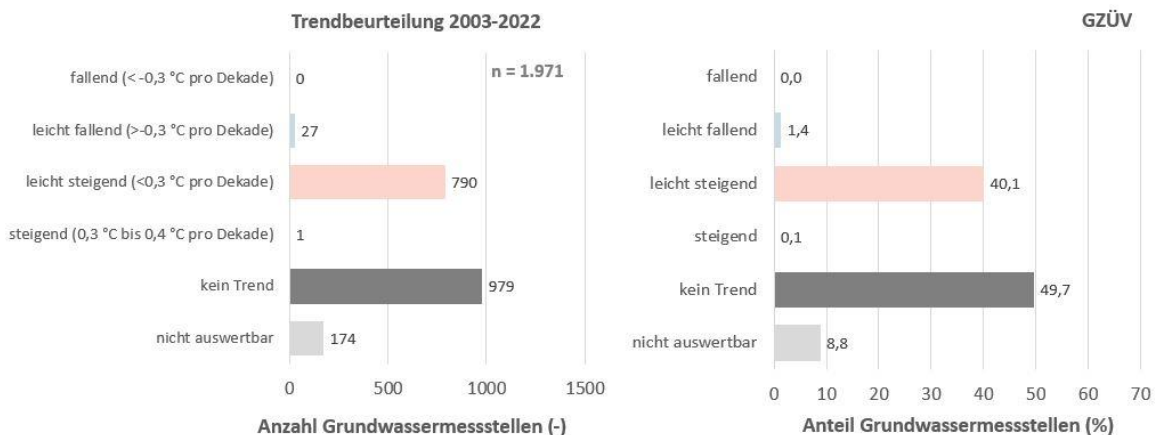


Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

5.1.3 Trends der Grundwassertemperaturen (2003–2022)

Im 20-jährigen Beurteilungszeitraum 2003–2022 wiesen insgesamt 791 GZÜV-Messstellen (40,2 %) einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon eine mit einem Anstieg 0,3 °C bis 0,4 °C pro Dekade (Abbildung 11).

Abbildung 11: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an GZÜV-Messstellen im Zeitraum 2003–2022.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Siebenundzwanzig Messstellen (1,4 %) zeigten einen leicht fallenden Trend der Grundwassertemperaturen (Abbildung 11). An 979, also knapp der Hälfte der Messstellen (49,7 %), war hinsichtlich der Grundwassertemperaturen kein signifikanter Trend feststellbar, an 174 Messstellen entsprach die Datendichte nicht den definierten Anforderungen für eine Trendbeurteilung. Der Auswertzeitraum 2003–2022 wurde gewählt, da insbesondere schwächere Trends in der Regel längere Zeitreihen erfordern, um als signifikant erfasst zu werden. Dies gilt besonders, wenn für den im vorliegenden Projekt verwendeten saisonalen Mann-Kendall-Test nur ein- bis maximal viermalige Quartalswerte je GZÜV-Messstelle vorliegen.

Leicht steigende Trends der Grundwassertemperaturen waren insbesondere in den Porengrundwasserkörpern der Tal- und Tieflagen nahezu flächendeckend zu verzeichnen (Abbildung 12, Abbildung 13). Auf die Fläche des Grundwasserkörpers bezogen traten steigende Trends der Grundwassertemperaturen gehäuft z. B. in den Grundwasserkörpern Rheintal, Inntal, Pinzgauer Saalachtal und Unteres Salzachtal auf (Abbildung 12).

Ebenso waren in Oberösterreich und Niederösterreich z. B. in den Grundwasserkörpern Unteres Ennstal, Linzer Becken, Tullnerfeld und Marchfeld auf die Fläche der Grundwasserkörper bezogen häufiger leicht steigende Trends der Grundwassertemperaturen festzustellen (Abbildung 12). Im Burgenland, der Steiermark und Kärnten wurden leicht steigende Trends flächig gehäuft in den Grundwasserkörpern Glantal, Unteres Gurktal, Grazer Feld, Aichfeld-Murboden, Lafnitztal, Feistritztal, Raabtal, Rosental und Kainach registriert (Abbildung 13). Eine Zusammenfassung der Trendbeurteilung der Grundwassertemperaturen auf Grundwasserkörperebene für den Zeitraum 2003–2022 ist in Tabelle 3 des Anhangs dargestellt.

Abbildung 12: Trends der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2003–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).

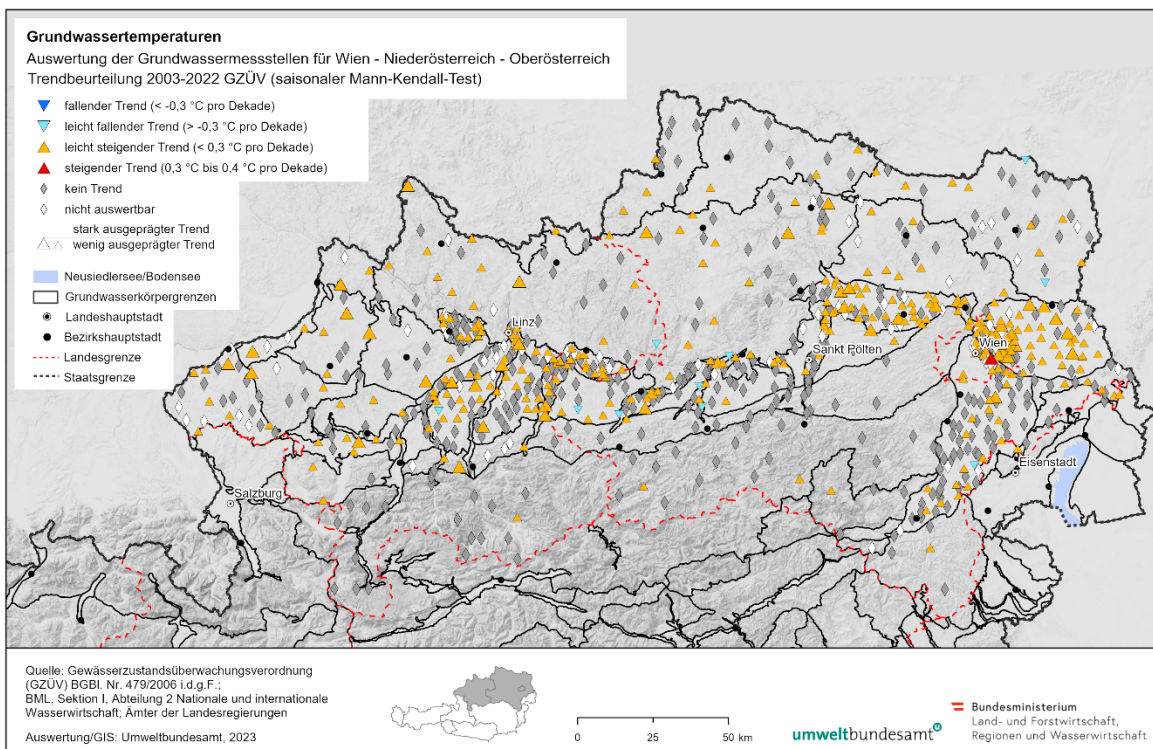
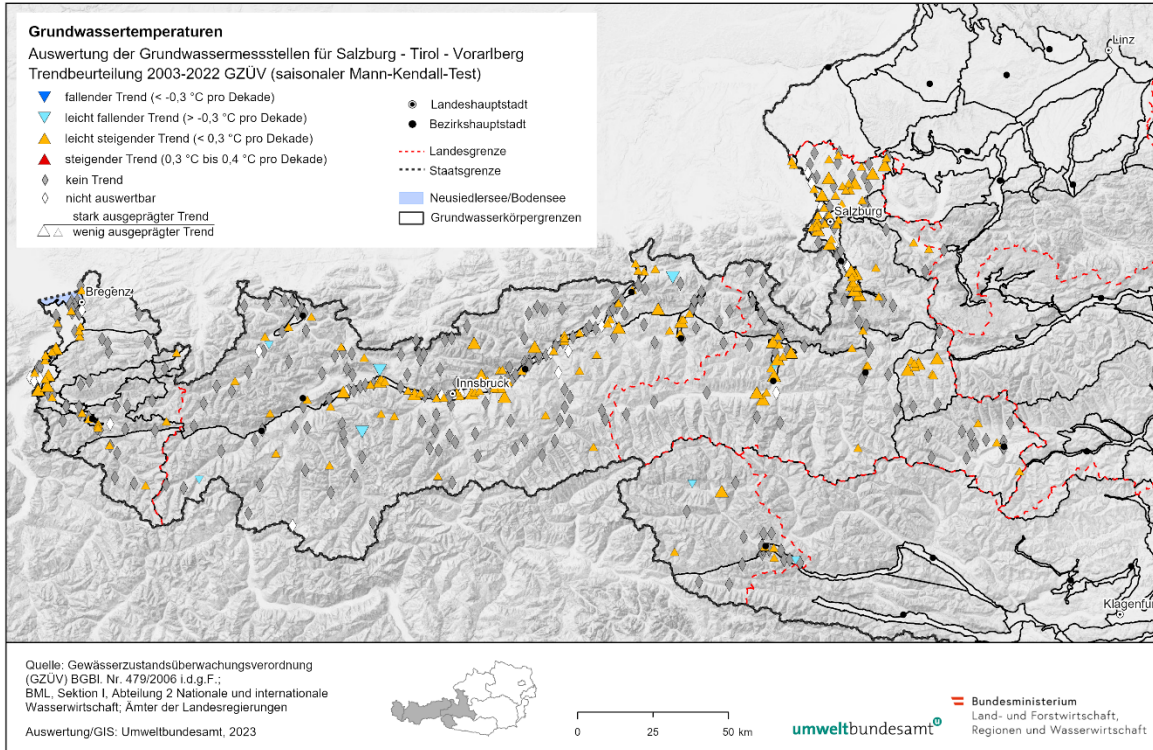
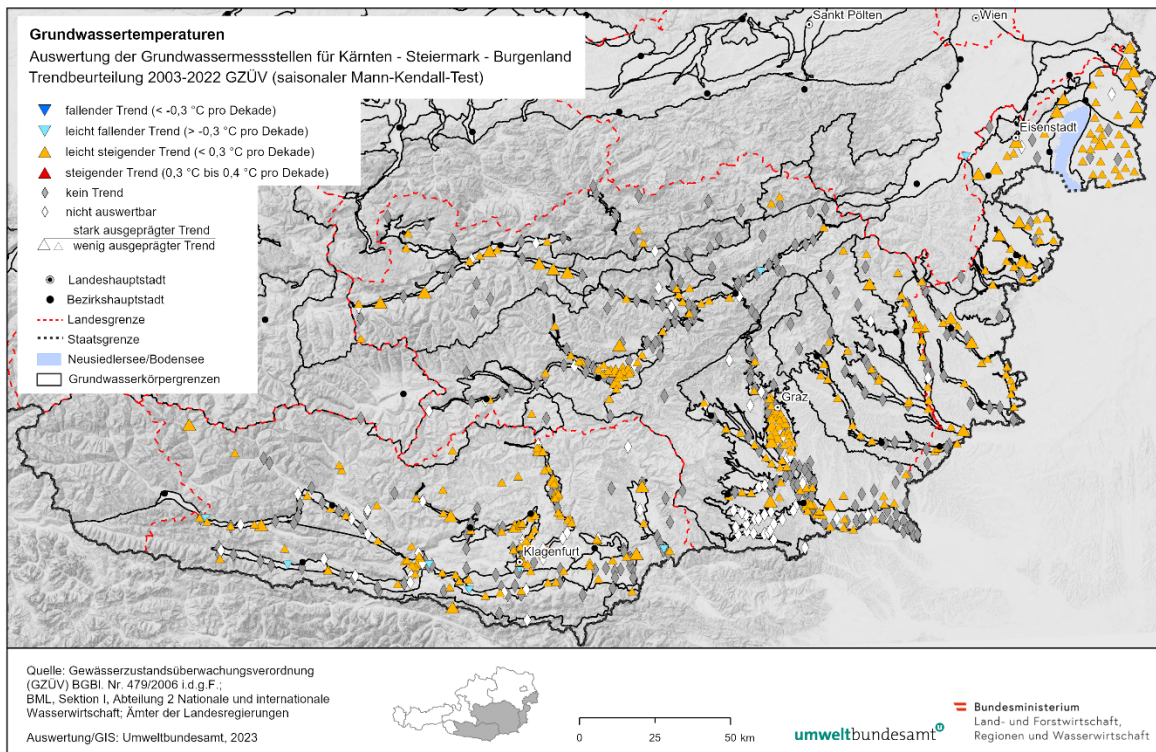


Abbildung 13: Trends der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2003–2022 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.

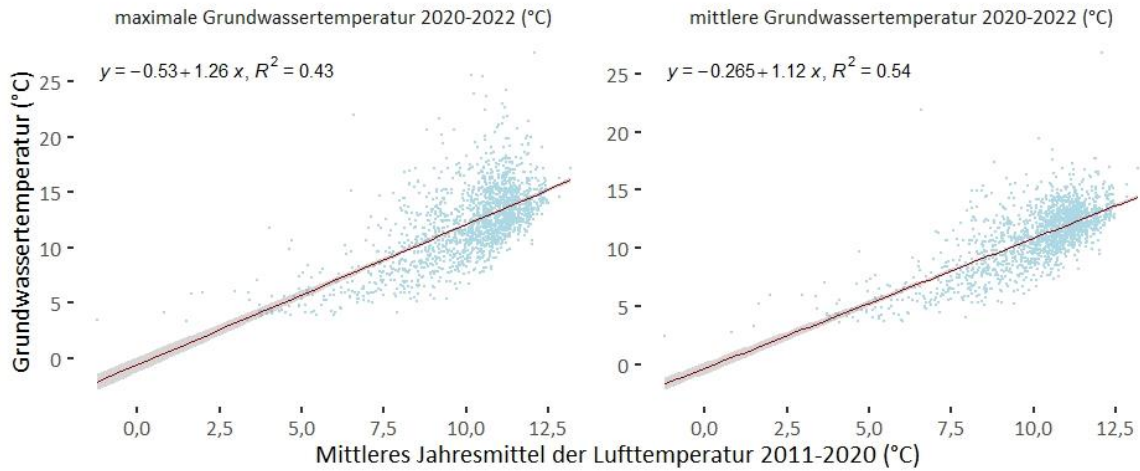


5.1.4 Einflüsse auf Grundwassertemperaturen

Zwischen den Lufttemperaturen im Messstellenumfeld und den an den GZÜV-Messstellen registrierten maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen besteht ein linearer Zusammenhang (Abbildung 14). Dieser Zusammenhang nimmt bei höheren maximalen Grundwassertemperaturen (>15 °C) stark ab (Abbildung 14). Im Bereich höherer maximaler Grundwassertemperaturen unterliegen die Messwerte einer stärkeren Streuung, so dass von weiteren Einflussgrößen neben der Lufttemperatur ausgegangen werden muss.

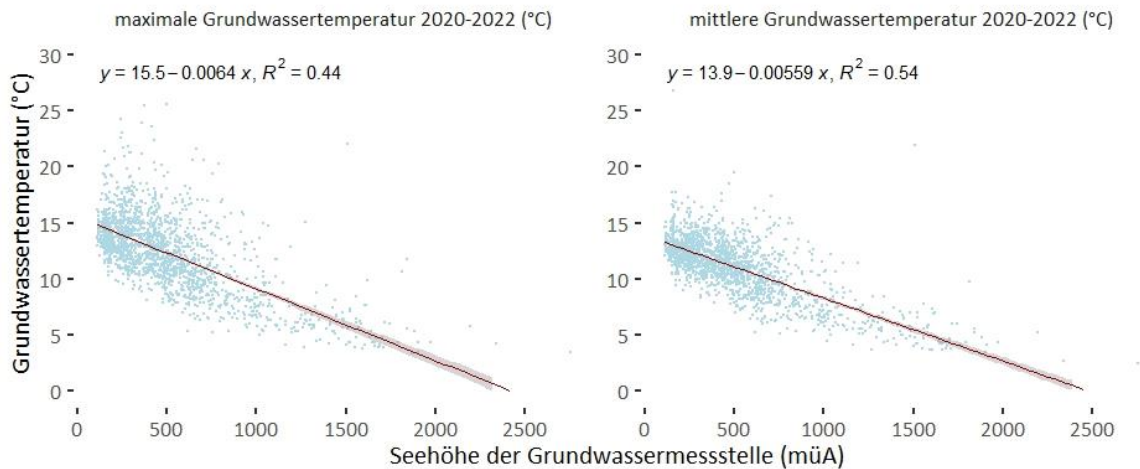
Ähnliches lässt sich für den Zusammenhang zwischen der Höhenlage der GZÜV-Messstellen und den beobachteten maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen feststellen (Abbildung 15). Mit zunehmender Höhenlage der Messstellen nehmen die maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen linear ab (Abbildung 15). In tieferen Lagen <500 müa ist dieser Zusammenhang schwächer ausgeprägt und eine größere Streuung der Messwerte zu beobachten (Abbildung 15). Hier wirken weitere Einflüsse auf die Grundwassertemperaturen.

Abbildung 14: Abhängigkeit der maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen (GZÜV, 2020–2022) vom arithmetischen Mittel der Lufttemperatur (2011–2020).



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Abbildung 15: Abhängigkeit der maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen von der Seehöhe der GZÜV-Grundwassermessstellen.

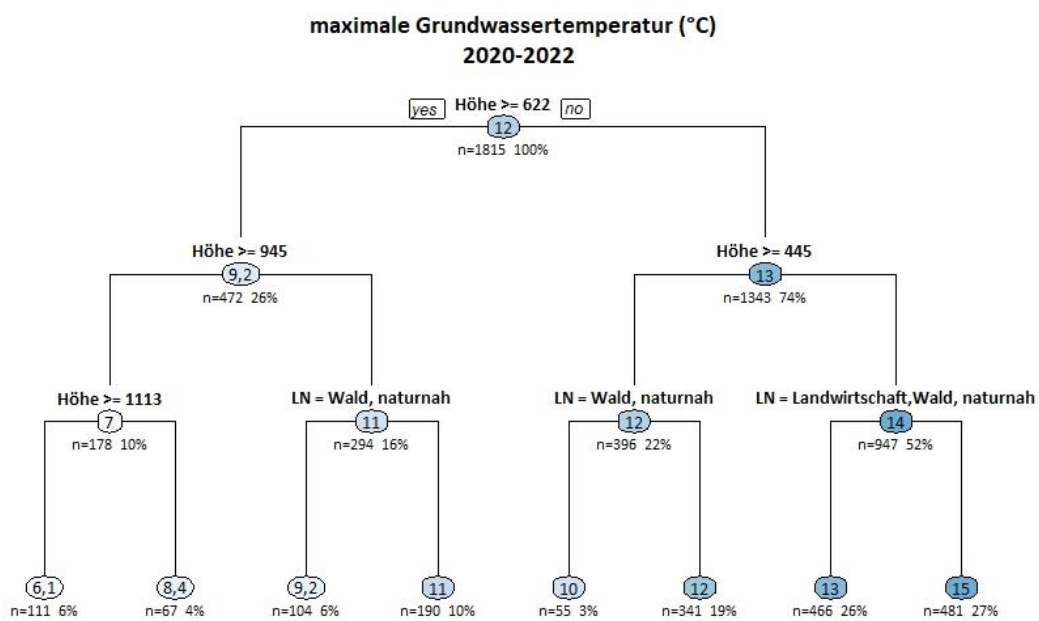


Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Neben der Höhenlage und der vorherrschenden Lufttemperatur kann sich auch die Landnutzung auf die Grundwassertemperaturen an Grundwassermessstellen auswirken. Deshalb wurden Informationen zur Landnutzung im Umfeld von GZÜV-Grundwassermessstellen und deren Höhenlage herangezogen (BML, 2023) und mittels Regressionsbaum

(ANOVA) (siehe Kapitel 4.3) überprüft, inwieweit diese Einfluss auf die Vorhersage der maximalen Grundwassertemperaturen im Zeitraum 2020–2022 haben. Grundwassermessstellen wurden auf Basis von Landnutzungsinformationen den Klassen „Industrie, Gewerbe, Verkehr und Abbau“, „Landwirtschaft“, „Siedlung“, „Sport- und Freizeitanlagen“ sowie „Wald, naturnah“ zugeordnet (BML, 2023).

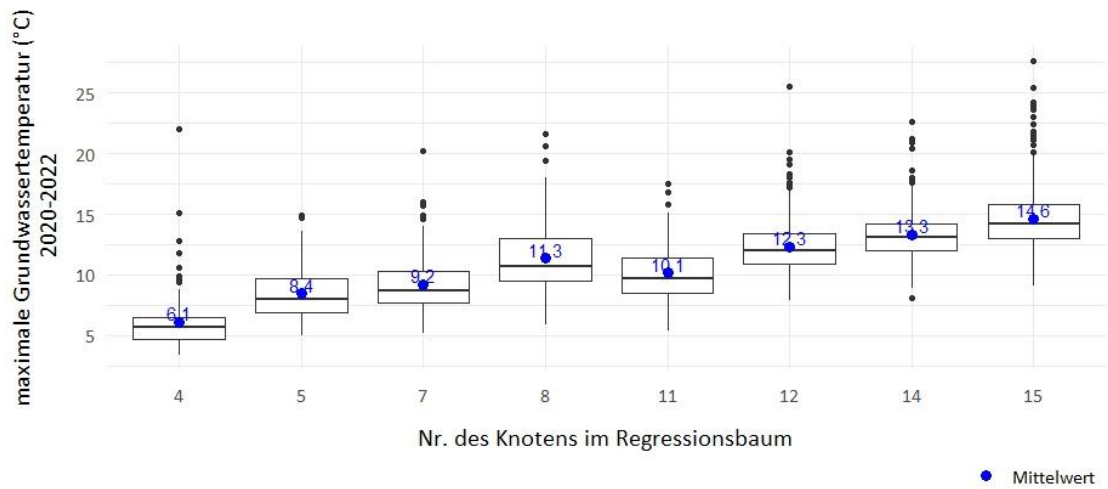
Abbildung 16: Regressionsbaum (ANOVA) zur regelbasierten Vorhersage der maximalen Grundwassertemperaturen im Zeitraum 2020–2022 (Werte in Knoten = gerundete Mittelwerte, Höhe in müA, LN = Landnutzung, n = Anzahl Messstellen).



Quelle: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen; Auswertung: Umweltbundesamt

Wie aus Abbildung 16 ersichtlich, sind höhere maximale Grundwassertemperaturen insbesondere dann zu erwarten, wenn Grundwassermessstellen in Höhenlagen <445 müA situiert sind und **nicht** den Landnutzungen „Landwirtschaft“ und „Wald, naturnah“ zuzuordnen sind. Die statistische Verteilung der maximalen Grundwassertemperaturen in den Endknoten des Regressionsbaums ist den Boxplots in Abbildung 17 zu entnehmen. Die Boxplots zeigen allerdings auch, dass noch weitere lokale Faktoren auf die Grundwassertemperaturen wirken, da alle im Regressionsverfahren ermittelten und durch Boxplots dargestellten Gruppen der maximalen Grundwassertemperaturen auch Ausreißer mit höheren Grundwassertemperaturen aufweisen (Abbildung 17).

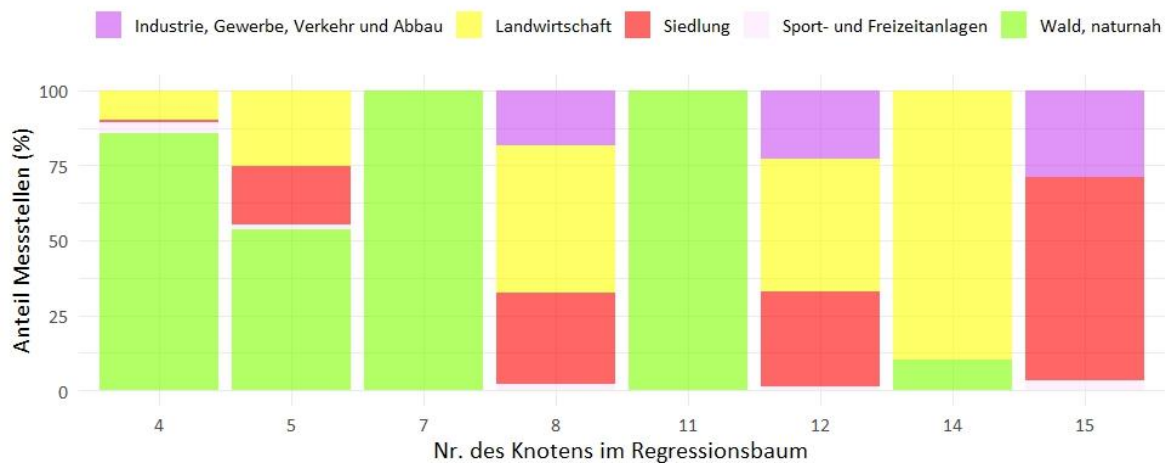
Abbildung 17: Verteilung der maximalen Grundwassertemperaturen in den Endknoten des Regressionsbaums.



Quelle: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen; Auswertung: Umweltbundesamt

Die Gruppe der Grundwassermessstellen (Knoten 15) mit den im Mittel höchsten Grundwassertemperaturen (14,6 °C) ist vorwiegend durch die Landnutzung „Siedlung“ und nachgeordnet durch die Landnutzungen „Industrie, Gewerbe, Verkehr und Abbau“ sowie „Sport- und Freizeitanlagen“ geprägt (Abbildung 18).

Abbildung 18: Verteilung der Landnutzungen in den Endknoten des Regressionsbaums zur Vorhersage der maximalen Grundwassertemperaturen.



Quelle: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen; Auswertung: Umweltbundesamt

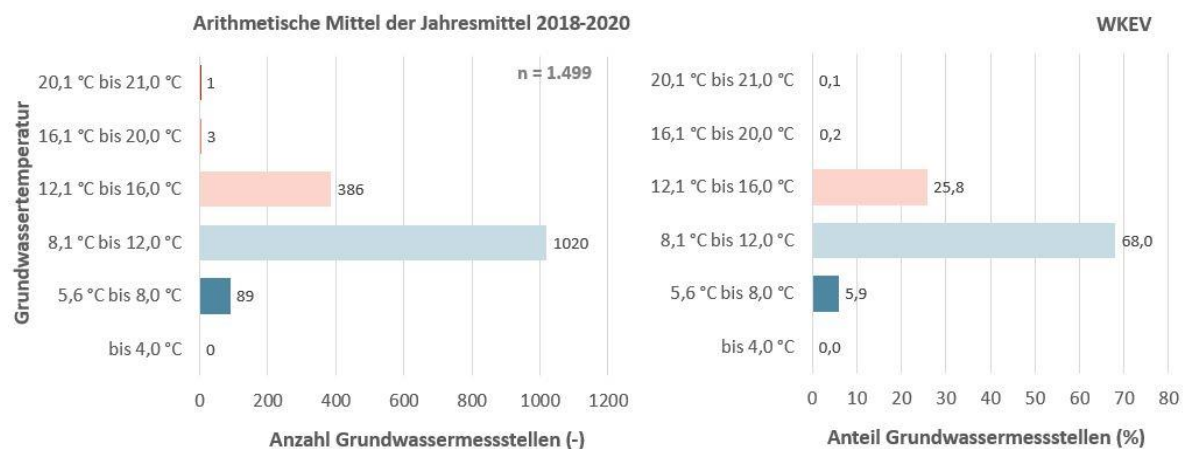
5.2 Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV)

5.2.1 Situation der Grundwassertemperaturen (2018–2020)

5.2.1.1 Arithmetische Mittel der Jahresmittel (2018–2020)

Im Zeitraum 2018–2020 lagen die arithmetischen Mittel der Grundwassertemperaturen an den WKEV-Messstellen in Österreich überwiegend im Bereich von 8,1 °C bis 16 °C. Dies traf auf 93,8 % (1.406) der insgesamt 1.499 untersuchten WKEV-Grundwassermessstellen zu. Lediglich vier Messstellen (siehe Abbildung 19) zeigten mittlere Grundwassertemperaturen im Bereich von 16,1 °C bis 21,0 °C. An 5,9 % (89) der Messstellen wurde eine mittlere Grundwassertemperatur von <8,0 °C gemessen. 68,0 % (1.020) der 1.499 analysierten WKEV-Messstellen verzeichneten mittlere Grundwassertemperaturen im Bereich von 8,1 °C bis 12,0 °C (Abbildung 19).

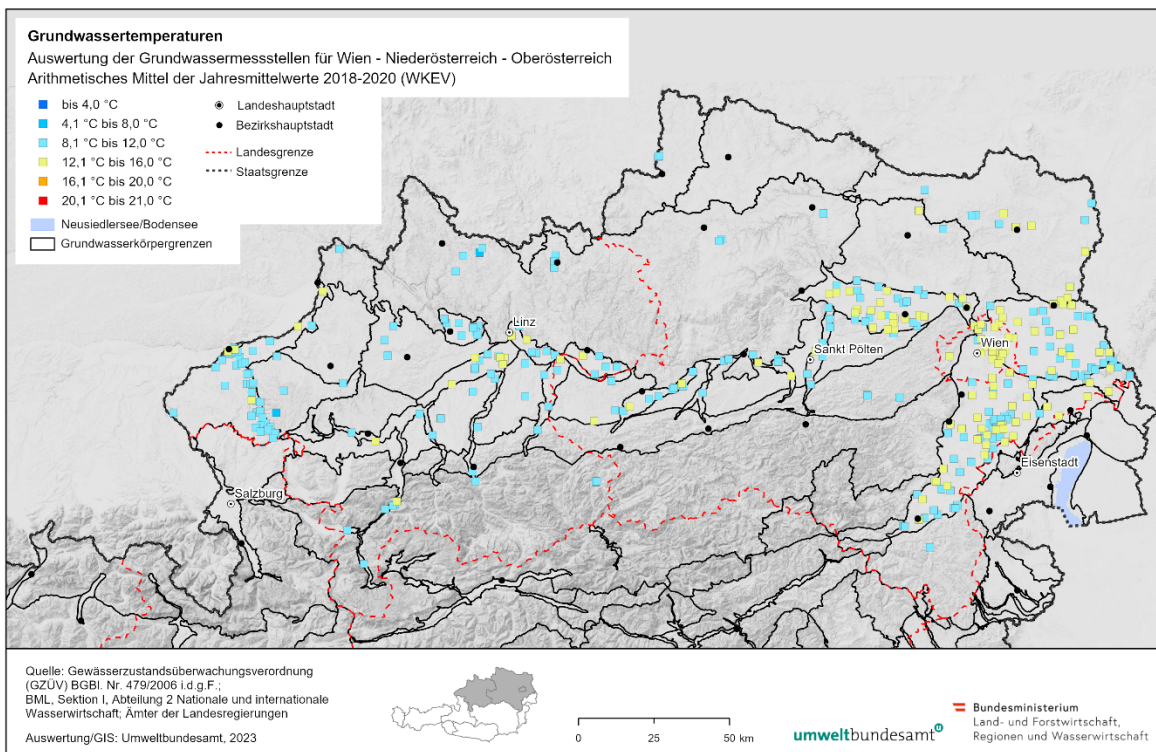
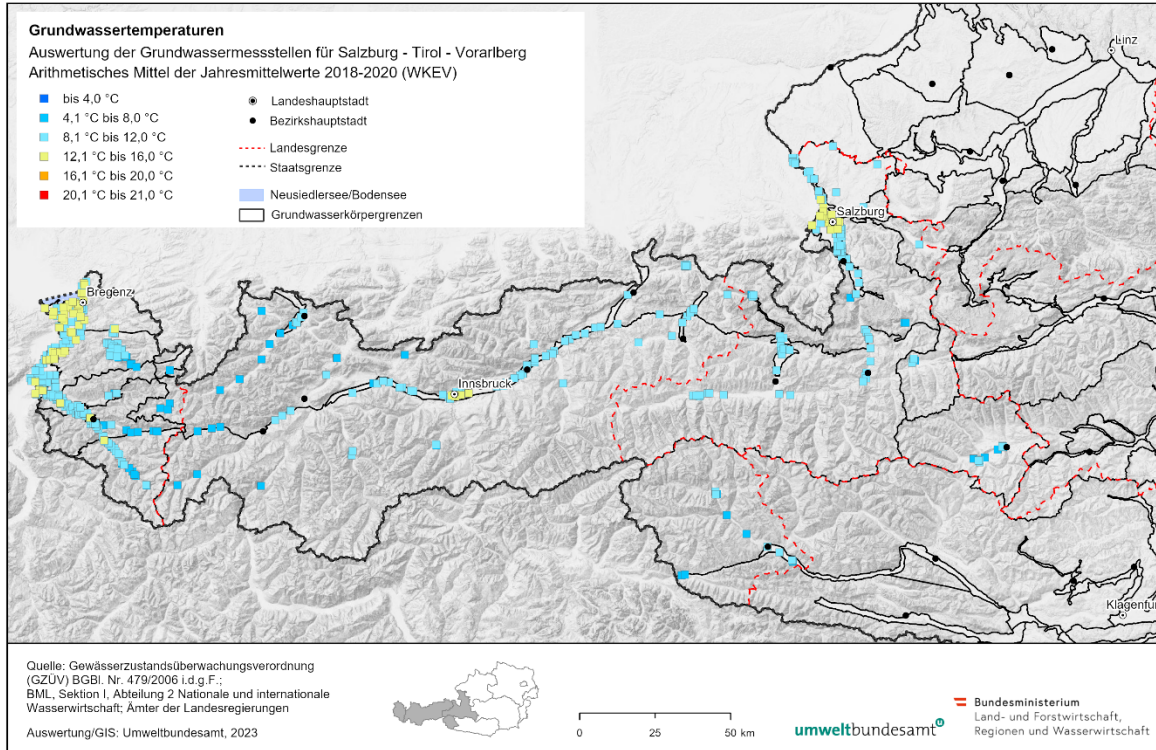
Abbildung 19: Häufigkeiten der arithmetischen Mittel der Jahresmittelwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Beurteilungszeitraum 2018–2020.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

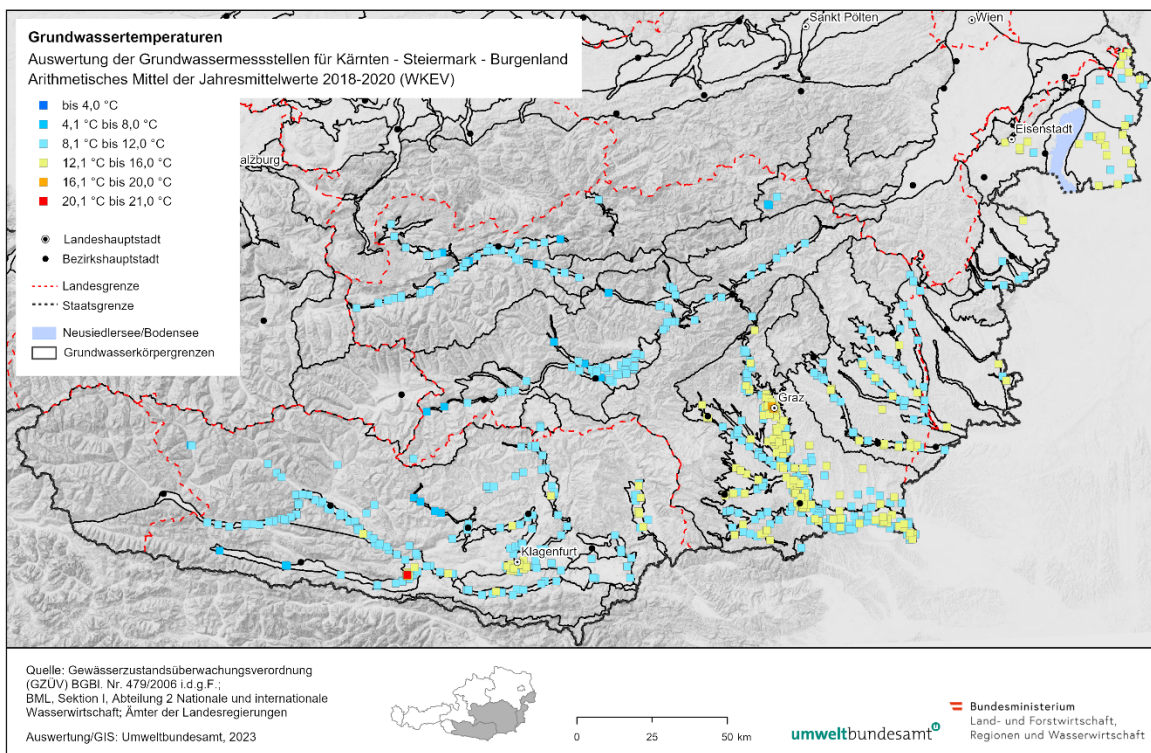
Die geographische Verteilung der in den WKEV-Messstellen gemessenen Temperaturverhältnisse im Grundwasser ist in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Auch im WKEV-Messnetz traten höhenabhängig die niedrigsten mittleren Grundwassertemperaturen in Grundwassermessstellen im Talbereich der Grundwasserkörper Nördliche Kalkalpen und Zentralzone auf (Abbildung 20).

Abbildung 20: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).



Urban dicht besiedelte Bereiche wie z. B. Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Graz und Wien sowie Teilbereiche der Grundwasserkörper Tullnerfeld, Südl. Wiener Becken, Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal wiesen gehäuft Grundwassertemperaturen im Bereich von 12,1 bis 16,0 °C auf (Abbildung 20 und Abbildung 21).

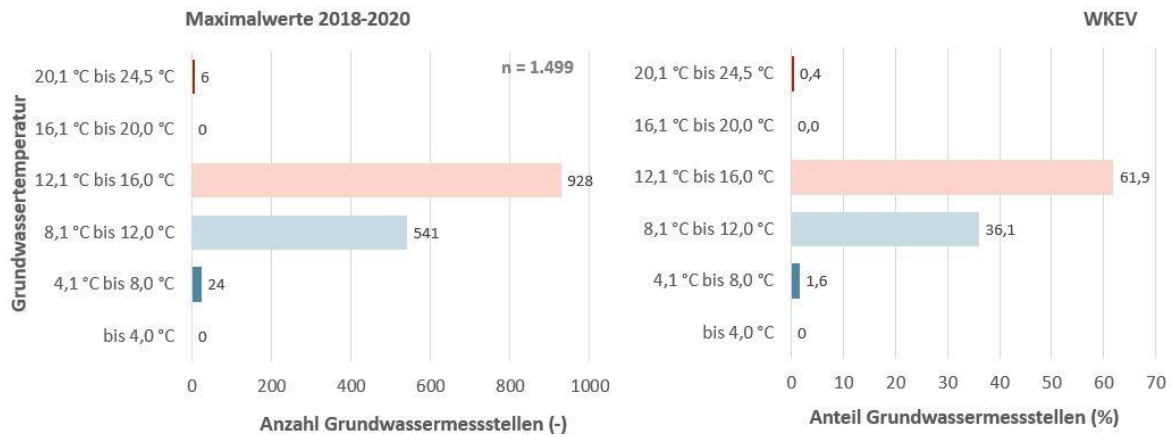
Abbildung 21: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.



5.2.1.2 Maxima der Monatsmittel (2018–2020)

Erhöhte Grundwassertemperaturen werden aus den Maximalwerten der Monatsmittel im Beurteilungszeitraum 2018–2020 (Abbildung 22) ersichtlich. Von 1.499 untersuchten WKEV-Messstellen wiesen sechs (0,4 %) Temperaturen von 20,1 °C bis 24,5 °C auf (Abbildung 22). Die Karten (Abbildung 23, Abbildung 24) zeigen zudem, dass die bereits genannten Porengrundwasserkörper in tieferen Lagen (Kapitel 5.1.1) maximale Grundwassertemperaturen >12,0 °C aufwiesen. Die vorliegende Auswertung beruht auf Monatsmittelwerten. In stündlichen oder täglichen Zeiträumen auftretende Höchstwerte aus anthropogener Beeinflussung sind deshalb im Datensatz möglicherweise nicht erfasst.

Abbildung 22: Häufigkeiten der Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Beurteilungszeitraum 2018–2020.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Abbildung 23: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.

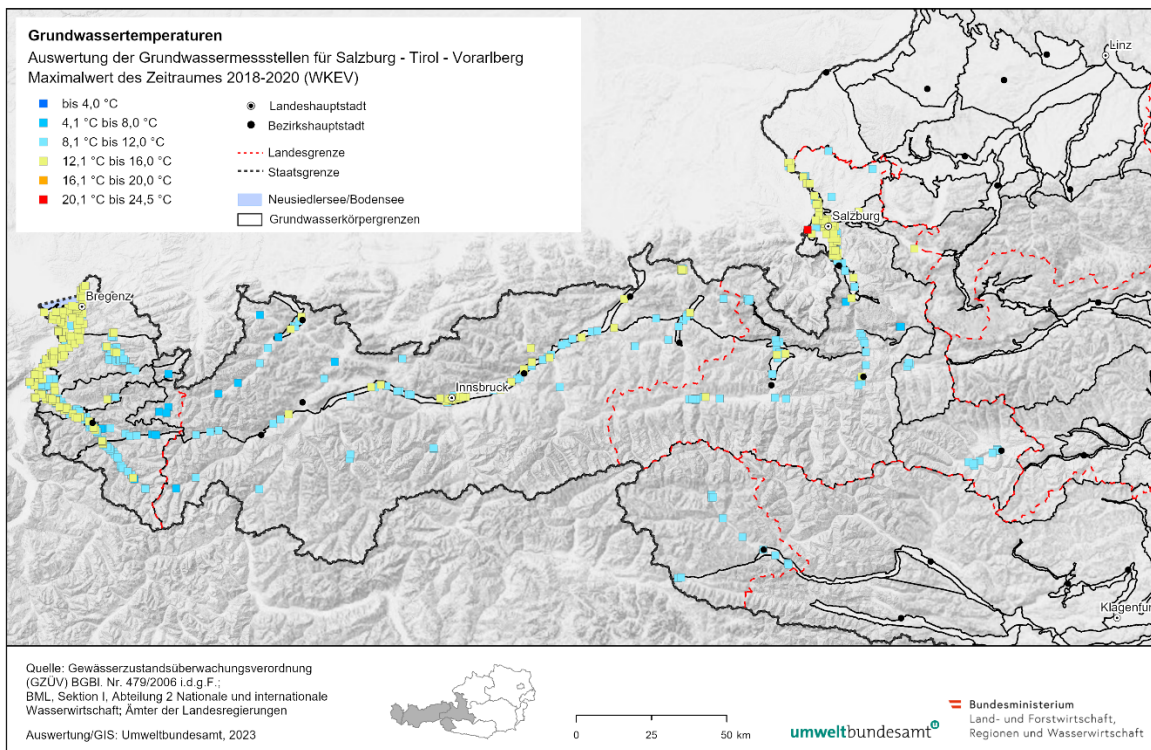
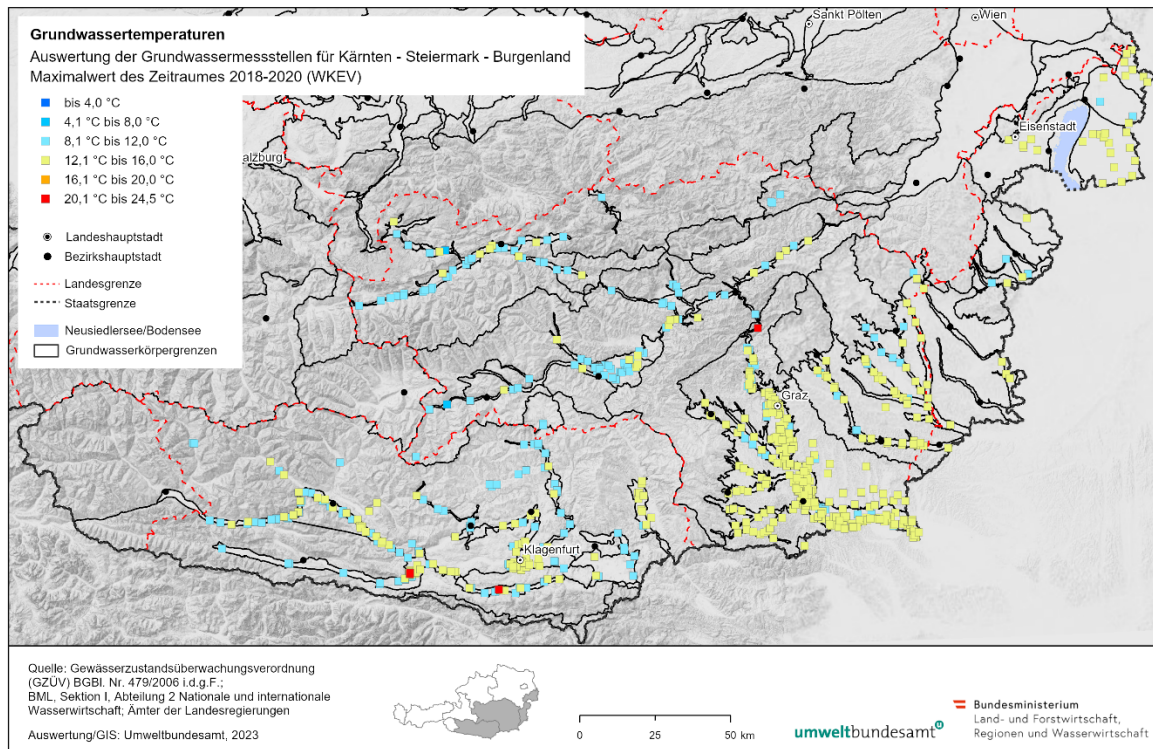
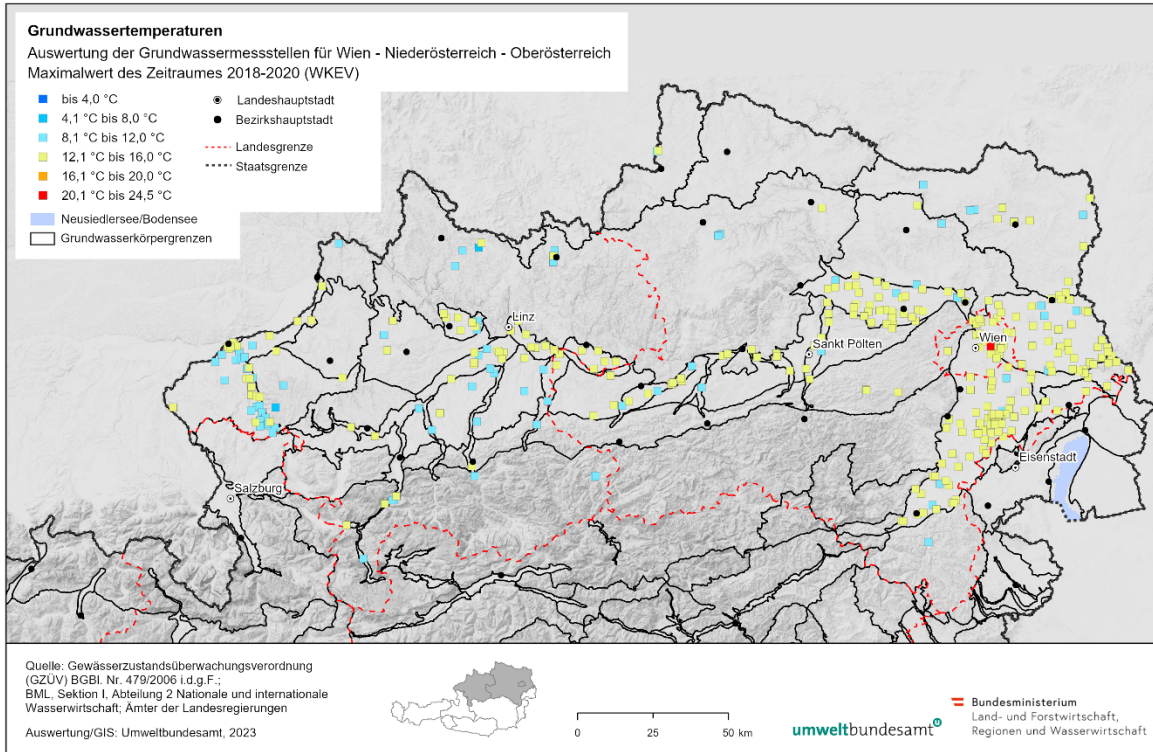


Abbildung 24: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) und Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).

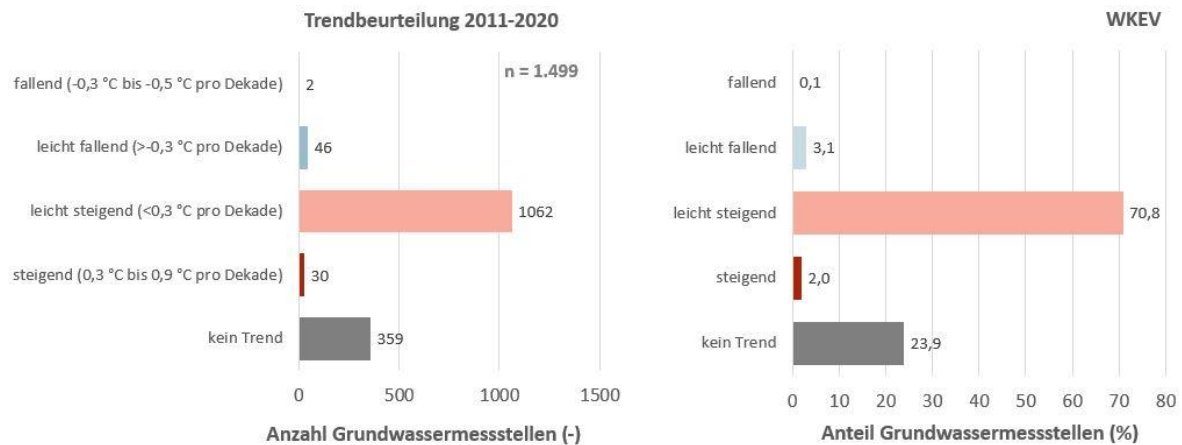


Eine Zusammenfassung der statistischen Kennwerte der Grundwassertemperaturen auf Grundwasserkörperebene ist in Tabelle 4 des Anhangs dargestellt.

5.2.2 Trends der Grundwassertemperaturen 2011–2020

Im Beurteilungszeitraum 2011–2020 wiesen insgesamt 1.092 WKEV-Grundwassermessstellen (72,8 %) – fast drei Viertel aller 1.499 untersuchten – einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon 30 (2,0 %) einen Anstieg von 0,3 °C bis 0,9 °C pro Dekade (Abbildung 25). Ein geringer Anteil der Messstellen (3,2 %) wies einen signifikant fallenden oder leicht fallenden Trend der Grundwassertemperaturen auf (Abbildung 25). Bei etwa einem Viertel aller WKEV-Messstellen (23,9 %) ist hinsichtlich der Grundwassertemperaturen kein signifikanter Trend feststellbar. Der Auswertzeitraum 2011–2020 wurde gewählt, um die jüngsten Entwicklungen der Grundwassertemperaturen abzubilden. Aufgrund der für die Trendbeurteilung herangezogenen Monatsmittelwerte der WKEV-Messstellen war die Länge der Zeitreihe (10 Jahre) ausreichend, um mittels saisonalem Mann-Kendall-Test auch schwache Trends zu detektieren.

Abbildung 25: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an WKEV-Messstellen im Zeitraum 2011–2020.



Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Leicht steigende Trends der Grundwassertemperaturen waren auf Basis des Beurteilungszeitraumes 2011–2020 insbesondere in den Porengrundwasserkörpern nahezu flächendeckend festzustellen (Abbildung 26 und Abbildung 27).

Abbildung 26: Trends der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2011–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).

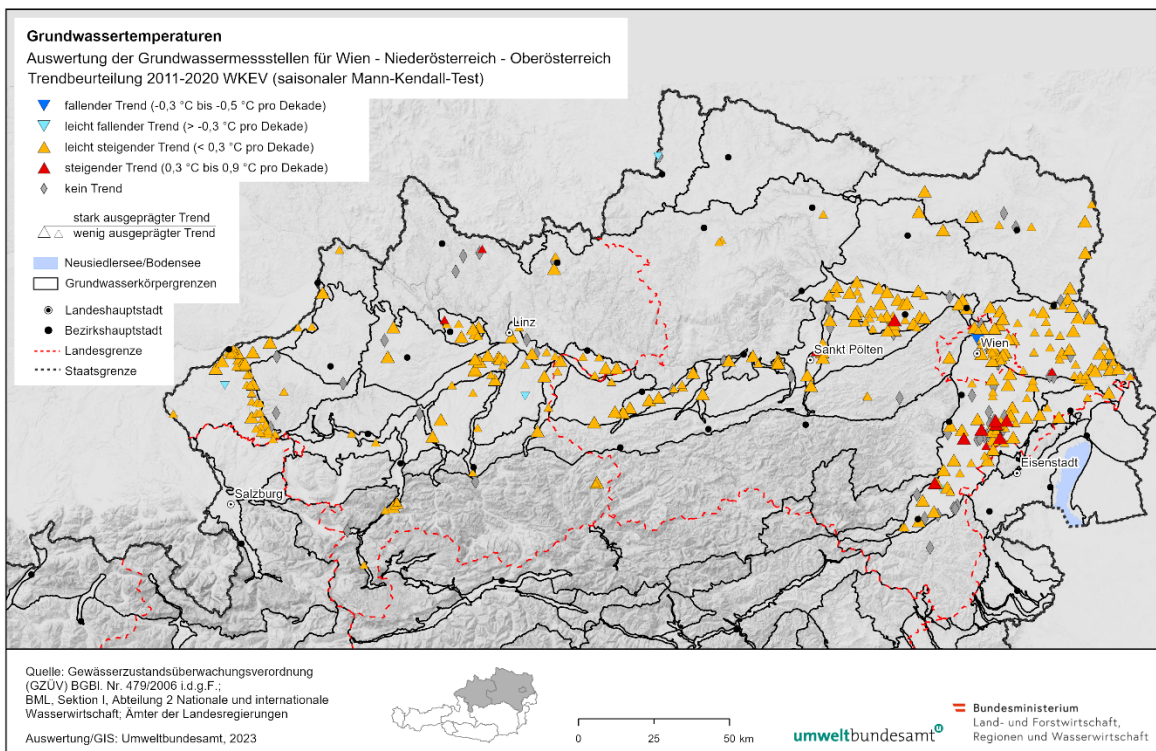
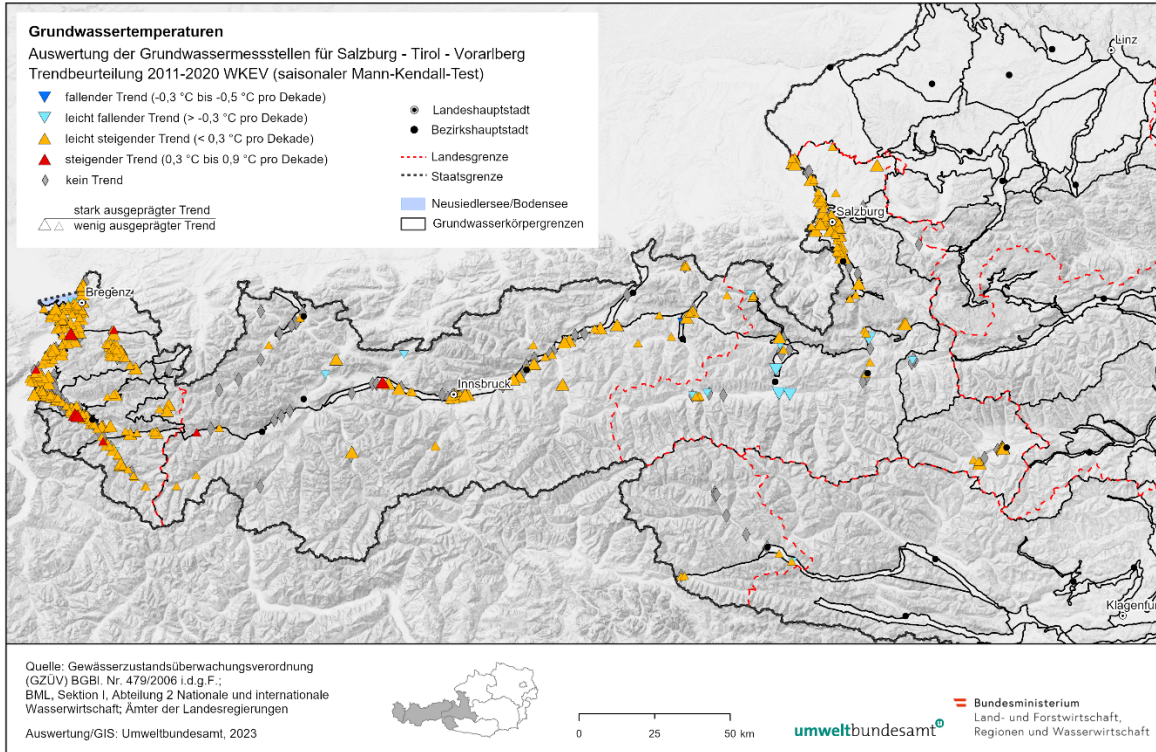
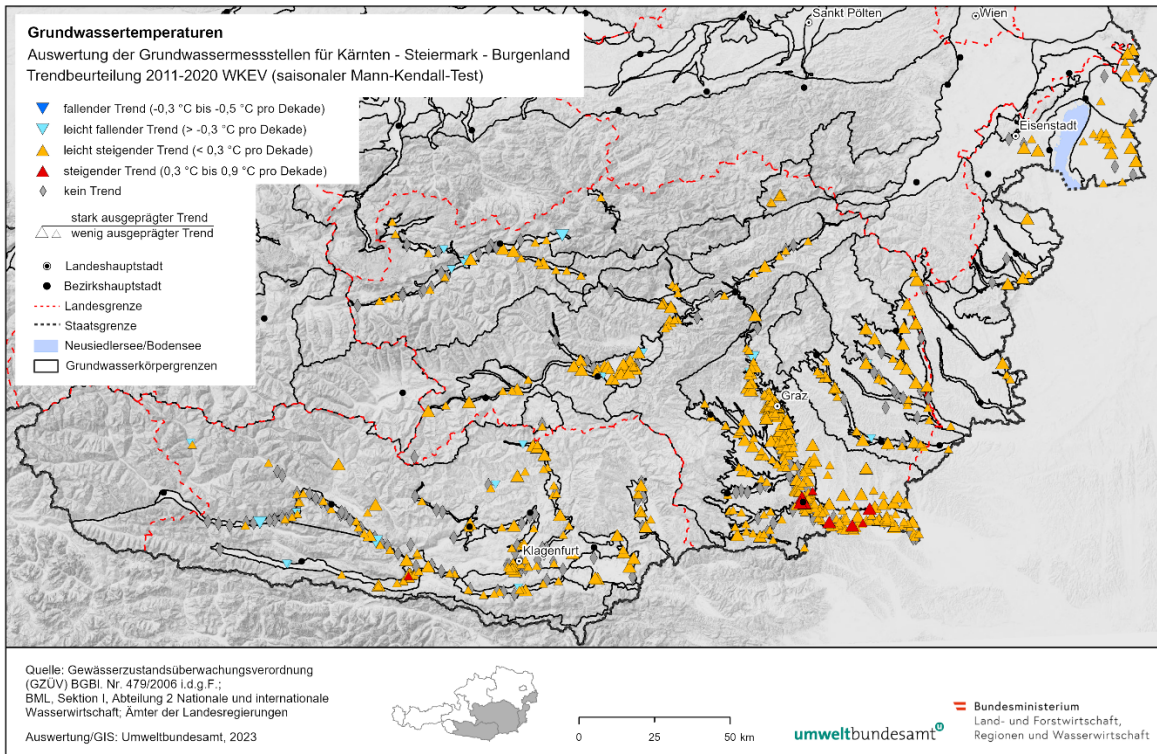


Abbildung 27: Trends der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2011–2020 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.



Eine Zusammenfassung der Trendbeurteilung der Grundwassertemperaturen auf Grundwasserkörperebene für den Zeitraum 2011–2020 ist in Tabelle 5 des Anhangs dargestellt.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die an den Grundwassermessstellen beobachteten Grundwassertemperaturen wiesen eine geographische Verteilung auf. Höhenabhängig traten die niedrigsten Grundwassertemperaturen von $<4,0\text{ °C}$ an den Messstellen der Grundwasserkörper Nördliche Kalkalpen, Zentralzone und Niedere Tauern auf.

Arithmetische Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen $>12,0\text{ °C}$ waren regional verbreitet an Messstellen in den Porengrundwasserkörpern der Tallagen wie z. B. den Grundwasserkörpern Rheintal, Unteres Salzachtal, Linzer Becken oder Marchfeld zu finden. Im Burgenland und der Steiermark zeigten beispielsweise Messstellen der Grundwasserkörper Parndorfer Platte, Seewinkel, Grazer Feld und Leibnitzer Feld häufig Grundwassertemperaturen $>12,0\text{ °C}$. Allerdings liegen im Osten des Burgenlandes bereits die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in einem Bereich von 12 bis 14 °C .

Eine geringe Anzahl von Grundwassermessstellen der GZÜV (24) bzw. der WKEV (4) wies deutlich erhöhte ($>16,0\text{ °C}$) arithmetische Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen im Zeitraum 2020–2022 (GZÜV) bzw. 2018–2020 (WKEV) auf. Mehrere GZÜV-Messstellen mit mittleren Grundwassertemperaturen $>16,0\text{ °C}$ sind in den Grundwasserkörpern Südliches Wiener Becken (5 von 76) und Marchfeld (3 von 68) situiert. Von 1.971 untersuchten Messstellen wiesen 144 (7,3 %) Maximalwerte der Grundwassertemperaturen von $16,1\text{ °C}$ bis $20,0\text{ °C}$ auf. Weitere 25 (1,3 %) Messstellen zeigten Maximalwerte der Grundwassertemperaturen von $20,1\text{ °C}$ bis $26,8\text{ °C}$.

Mittlere Grundwassertemperaturen von $>13\text{ °C}$ im Zeitraum 2020–2022 wurden für die Grundwasserkörper Safental, Lassnitz, Stainzbach, Linzer Becken, Leibnitzer Feld, Grazer Feld, Seewinkel, Leithagebirge, Ikvatal, Marchfeld, Stremtal, Unteres Murtal, Murdurchbruchstal, Sulmtal, Weststeirisches Hügelland und Wulkatal ermittelt, also mit Ausnahme des Linzer Beckens für Grundwasserkörper im Osten und Südosten Österreichs. Regional gehäuft traten Abweichungen zur mittleren Lufttemperatur (Temperaturdifferenzen) von $>3,0\text{ °C}$ in den Grundwasserkörpern Grazer Feld, Unteres Salzachtal und Salzburger Alpenvorland auf.

Die Ergebnisse der Trendbeurteilung waren von der Länge der zugrundeliegenden Zeitreihen und der Messfrequenz abhängig. Auf Basis von 20-jährigen Zeitreihen der GZÜV-Quartalswerte im Zeitraum 2003–2022, wiesen 790 der GZÜV-Messstellen (40,1 %) einen signifikanten, leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen von weniger als 0,3 °C pro Dekade auf. Eine Messstelle zeigte einen Anstieg von 0,4 °C pro Dekade. Im 10-jährigen Zeitraum 2013–2022 wiesen insgesamt 198 GZÜV-Messstellen (10,0 %) einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon 22 mit einem Anstieg von mehr als 0,3 °C bis 0,6 °C pro Dekade.

Auf Basis von 10-jährigen Zeitreihen der WKEV-Monatsmittelwerte im Zeitraum 2011–2020 wiesen insgesamt 1.092 (72,8 %) der Messstellen einen signifikant steigenden oder leicht steigenden Trend der Grundwassertemperaturen auf, davon 30 (2,0 %) einen Anstieg von mehr als 0,3 °C bis 0,9 °C pro Dekade. Einzelne Messstellen beider Datensätze zeigten fallende Trends der Grundwassertemperaturen.

Die räumliche Verteilung der Grundwassertemperaturen hängt im Wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten und der zeitlichen Entwicklung der Lufttemperaturen, der Landnutzung und dem Einsatz oberflächennaher geothermischer Anlagen ab. Urbane Bereiche und Siedlungsgebiete zeigten in Österreich im Mittel um mindestens 2 °C erhöhte Grundwassertemperaturen gegenüber Bereichen mit anderen Landnutzungen. Lokal und saisonal ist jedoch mit deutlich größerer Erwärmung des Grundwassers zu rechnen.

Die Grundwassertemperaturen werden durch die klimawandelbedingte Zunahme der Lufttemperaturen langfristig in geringem Ausmaß weiter steigen. In Siedlungen oder urbanen Bereichen können durch menschliche Aktivitäten verursachte bzw. durch Wärmeinsel-Effekte hervorgerufene, stärker steigende Grundwassertemperaturen Auswirkungen auf physikalische, chemische und biologische Vorgänge wie z. B. Redoxvorgänge, mikrobielle Abbauprozesse und die Grundwasserfauna haben. Derartige Auswirkungen werden derzeit zum einen für urbane Bereiche zum anderen für alpine Quellen in Forschungsprojekten untersucht. Auf Basis der aktuellen Erkenntnisse ergeben sich folgende Empfehlungen. In urbanen Bereichen sollten Grundwassertemperaturen als Grundlage für ein geeignetes thermisches Management zeitlich und räumlich engmaschiger überwacht werden. In den flussbegleitenden Porengrundwasserkörpern bedürfen Wechselwirkungen zwischen Niederwasserphasen, Kühlwassereinleitungen, Fließgewässer- und Grundwassertemperaturen einer näheren Betrachtung. Negative Auswirkungen müssen durch geeignete Anpassungsstrategien abgemindert oder verhindert werden.

Anhang

Tabelle 2: Statistische Verteilung der arithmetischen Mittel der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 auf Ebene der Grundwasserkörper und mittlere Seehöhe der Grundwasserkörper; in absteigender Reihenfolge der arithmetischen Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen.

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Safental [LRR]	301	1	0	0	14,5	14,5	14,5
Lassnitz, Stainzbach [MUR]	312	9	1	11,1	13,0	14,2	16,4
Linzer Becken [DUJ]	251	13	2	15,4	11,0	14,1	17,3
Leibnitzer Feld [MUR]	278	23	1	4,3	12,2	13,6	16,8
Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR]	336	36	0	0	11,4	13,5	15,6
Seewinkel [LRR]	119	24	0	0	12,1	13,4	15,1
Leithagebirge [LRR]	309	1	0	0	13,3	13,3	13,3
Marchfeld [DUJ]	153	68	3	4,4	10,5	13,2	17,7
Unteres Murtal [MUR]	235	24	0	0	11,9	13,2	15,9
Ikvatal [LRR]	276	9	0	0	11,8	13,2	15,2
Stremtal [LRR]	221	5	1	20,0	11,7	13,2	16,8
Weststeirisches Hügelland [DRA]	438	1	0	0	13,1	13,1	13,1
Wulkatal [LRR]	213	8	0	0	11,9	13,1	14,3
Murdurchbruchstal (Bruck/Mur - Graz/Andritz) [MUR]	418	7	1	14,3	11,3	13,1	18,5
Weststeirisches Hügelland [MUR]	399	1	0	0	13,1	13,1	13,1
Sulmtal [MUR]	322	9	0	0	12,1	13,1	15,5

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Welser Heide [DUJ]	301	21	0	0	11,7	13,0	14,6
Oberes Murtal [MUR]	782	10	1	10	8,9	13,0	17,4
Raabtal [LRR]	304	17	0	0	11,7	13,0	15,0
Südl. Wiener Becken-Ostrand [DUJ]	185	13	2	15,4	11,3	13,0	16,2
Südl. Wiener Becken [DUJ]	230	76	5	6,6	9,5	12,9	26,8
Klagenfurter Becken [DRA]	432	10	0	0	10,5	12,9	15,3
Südl. Wiener Becken-Ostrand [LRR]	187	6	0	0	11,6	12,9	14,6
Hügelland zwischen Mur und Raab [MUR]	352	15	0	0	11,0	12,9	14,2
Kremstal [DUJ]	361	3	0	0	11,8	12,9	13,4
Machland [DUJ]	238	18	1	5,6	11,3	12,8	16,3
Parndorfer Platte [LRR]	157	7	0	0	11,6	12,8	13,5
Lafnitztal [LRR]	279	15	1	6,7	11,2	12,8	16,9
Weinviertel [DUJ]	263	15	0	0	11,1	12,6	15,0
Lavanttal [DRA]	429	10	1	10	9,7	12,6	16,4
Rabnitztal [LRR]	245	6	0	0	11,8	12,6	15,0
Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]	870	5	0	0	10,4	12,6	15,5
Saggautal [MUR]	320	8	0	0	11,0	12,6	15,1
Unteres Salzachtal [DBJ]	437	48	2	4,2	8,5	12,5	17,6
Salzburger Alpenvorland [DBJ]	557	23	1	4,3	9,9	12,5	16,3
Fischbacher Alpen [MUR]	981	1	0	0	12,5	12,5	12,5
Heideboden [DUJ]	137	7	0	0	11,6	12,4	12,7
Eferdinger Becken [DUJ]	265	26	0	0	11,4	12,4	13,5
Weinviertel [MAR]	223	31	0	0	10,5	12,3	14,6
Feistritztal [LRR]	293	10	0	0	11,4	12,3	13,4

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Traun- und Zubringertäler [DUJ]	441	8	0	0	9,8	12,3	14,1
Kainach [MUR]	350	11	0	0	10,6	12,2	14,3
Rheintal [RHE]	417	35	0	0	9,9	12,2	14,5
Ilz und Rittscheintal [LRR]	284	3	0	0	10,7	12,2	14,0
Karawanken [DRA]	1.302	3	1	33,3	6,3	12,2	21,9
Tullnerfeld [DUJ]	181	53	0	0	10,4	12,1	15,7
Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]	286	19	0	0	10,7	12,1	13,9
Hügelland Rabnitz [LRR]	297	3	0	0	11,7	12,1	12,6
Glantal [DRA]	511	23	0	0	10,3	12,0	13,6
Mürz [MUR]	577	8	1	12,5	8,9	12,0	16,0
Hügelland Raab West [LRR]	372	2	0	0	11,1	12,0	12,9
Zwischen Alm und Krems [DUJ]	405	19	0	0	10,1	12,0	13,5
Zwischen Krems und Moosbachtal [DUJ]	361	24	0	0	10,6	12,0	14,2
Unteres Gurktal [DRA]	470	9	0	0	10,8	11,9	13,3
Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]	642	20	0	0	8,9	11,9	15,0
Hügelland Raab Ost [LRR]	335	10	0	0	9,7	11,9	13,1
Ybbstal / Ybbser Scheibe [DUJ]	276	20	0	0	8,5	11,8	15,1
Pinkatal [LRR]	274	12	0	0	9,8	11,8	12,8
Stoosbachtal [LRR]	249	3	0	0	11,3	11,8	12,1
Schlierhügelland [DBJ]	420	8	0	0	9,5	11,7	15,7
Seetaler Alpen Nord [MUR]	1.260	1	0	0	11,6	11,6	11,6
Fischbacher Alpen [LRR]	840	6	0	0	10,4	11,6	13,4
Unteres Inntal [DBJ]	352	3	0	0	11,0	11,6	12,5

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Kobernaubergwald [DBJ]	544	9	0	0	8,7	11,5	15,2
Zwischen Salzach und Mattig [DBJ]	456	20	0	0	9,3	11,5	14,3
Wechselgebiet [LRR]	940	2	0	0	10,6	11,4	12,2
Traisental [DUJ]	259	15	0	0	8,3	11,3	13,4
Südl. Machland [DUJ]	234	6	0	0	10,3	11,2	12,1
Altes Gurktal [DRA]	497	7	0	0	10,3	11,2	11,9
Aichfeld-Murboden (Judenburg - Knittelfeld) [MUR]	738	27	0	0	8,8	11,2	14,7
Erlauftal / Pöchlerner Feld [DUJ]	253	13	0	0	9,0	11,1	14,1
Pielachtal [DUJ]	258	9	0	0	9,7	11,1	12,4
Schlierhügelland [DUJ]	389	9	0	0	9,5	11,1	12,7
NÖ Alpenvorland [DUJ]	298	28	0	0	9,1	11,0	14,0
Krappfeld [DRA]	587	17	0	0	10,1	11,0	12,4
Metnitztal [DRA]	657	4	0	0	9,7	10,9	12,2
Molasse und nördliche Flyschzone [RHE]	799	3	0	0	8,8	10,9	12,0
Inntal [DBJ]	569	58	0	0	7,6	10,8	13,5
Drautal [DRA]	564	37	0	0	7,3	10,7	15,0
Jauntal [DRA]	475	15	0	0	9,8	10,7	11,7
Walgau [RHE]	528	12	0	0	8,7	10,7	14,5
Zwischen Vöckla und Traun [DUJ]	524	7	0	0	9,4	10,7	13,0
Pinzgauer Saalachtal [DBJ]	738	17	0	0	7,7	10,6	14,7
Liesing [MUR]	687	8	0	0	6,6	10,6	12,8
Günser Gebirge Umland [LRR]	507	1	0	0	10,6	10,6	10,6
Rosental [DRA]	447	12	0	0	9,6	10,5	12,5

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]	483	1	0	0	10,3	10,3	10,3
Salzburger Alpenvorland [DUJ]	710	3	0	0	9,2	10,2	12,2
Böhmische Masse [MAR]	509	9	0	0	9,2	10,2	11,0
Grazer Bergland westlich der Mur [MUR]	637	2	0	0	9,6	10,2	10,9
Günstal [LRR]	350	1	0	0	10,2	10,2	10,2
Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe [MUR]	1.044	3	0	0	6,6	10,1	15,0
Großache [DBJ]	691	8	0	0	8,8	10,0	11,7
Böhmische Masse [DUJ]	580	65	0	0	6,2	9,9	14,1
Böhmische Masse [DBJ]	487	2	0	0	8,6	9,8	11,0
Gailtal [DRA]	588	14	0	0	7,8	9,8	11,3
Tiebel [DRA]	716	10	0	0	6,9	9,8	13,1
Sattnitz [DRA]	608	6	0	0	8,4	9,8	10,9
Grazer Bergland östlich der Mur [MUR]	883	1	0	0	9,7	9,7	9,7
Niedere Tauern einschl. Seckauer Tauern [MUR]	1.445	4	0	0	4,8	9,7	13,3
Hausruck [DUJ]	537	6	0	0	8,1	9,7	11,6
Flyschzone [DUJ]	506	18	0	0	8,0	9,6	11,9
Grauwackenzone Mitte [MUR]	1.179	3	0	0	7,1	9,5	12,4
Kristallin nördlich des Mürztales einschl. Grauwackenzone [MUR]	951	5	0	0	6,6	9,5	12,7
Bucklige Welt [LRR]	651	6	0	0	8,3	9,3	10,9
Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]	648	7	0	0	8,4	9,2	9,8
Grebenzen [DRA]	1.073	2	0	0	8,3	9,2	10,2

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]	736	6	0	0	7,2	9,1	10,7
Böhmische Masse [ELB]	645	13	0	0	7,0	8,8	10,9
Zentralzone [DRA]	1.450	31	1	3,2	4,1	8,8	19,4
Palten [DUJ]	699	5	0	0	7,7	8,6	9,1
Salzburger Hohe Tauern [DUJ]	1.450	10	0	0	5,8	8,5	13,6
Helvetikum [RHE]	1.094	4	0	0	6,3	8,5	9,7
Turrach, Kreischberg, Frauenalpe, Stolzalpe [MUR]	1.415	1	0	0	8,4	8,4	8,4
Nördliche Kalkalpen [DUJ]	955	47	0	0	4,5	8,3	14,8
Nördliche Kalkalpen [MUR]	1.276	6	0	0	6,3	8,1	10,7
Kristallin [RHE]	1.862	6	0	0	5,4	8,1	10,0
Lechtal [DBJ]	877	6	0	0	6,6	7,9	9,0
Traun [DUJ]	733	2	0	0	6,3	7,9	9,5
Nördliche Kalkalpen [LRR]	907	2	0	0	7,8	7,9	7,9
Südliche Kalkalpen [DRA]	1.233	17	0	0	5,8	7,8	11,7
Nördliche Kalkalpen [RHE]	1.605	10	0	0	4,8	7,8	10,3
Salzburger Hohe Tauern [MUR]	1.695	14	0	0	4,8	7,8	11,5
Grauwackenzone Mitte [DUJ]	1.306	1	0	0	7,6	7,6	7,6
Niedere Tauern einschl. Grauwackenzone [DUJ]	1.480	6	0	0	3,8	7,5	10,7
Zentralzone [DBJ]	1.805	85	0	0	2,5	7,1	15,4
Nördliche Kalkalpen [DBJ]	1.384	84	0	0	3,7	7,0	14,5
Südliche Flyschzone [DBJ]	1.468	1	0	0	7,0	7,0	7,0
Helvetikum [DBJ]	1.459	1	0	0	6,8	6,8	6,8

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Grauwackenzone [LRR]	672	1	0	0	6,8	6,8	6,8
Südliche Flyschzone [RHE]	1.255	2	0	0	5,4	6,1	6,8
Semmering [LRR]	936	–	–	–	–	–	–
Zwischen Traun und Alm [DUJ]	452	–	–	–	–	–	–

Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt 2023

Tabelle 3: Anzahl und Anteil von Messstellen mit fallendem und steigendem Trend der Grundwassertemperaturen (GZÜV) in den Grundwasserkörpern im Zeitraum 2003–2022.

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Stoosbachtal [LRR]	3	0	0	3	100,0	0	0
Hügelland Rabnitz [LRR]	3	0	0	3	100,0	0	0
Helvetikum [DBJ]	1	0	0	1	100,0	0	0
Günstal [LRR]	1	0	0	1	100,0	0	0
Leithagebirge [LRR]	1	0	0	1	100,0	0	0
Seewinkel [LRR]	24	0	3	21	87,5	0	0
Heideboden [DUJ]	7	0	1	6	85,7	0	0
Parndorfer Platte [LRR]	7	1	0	6	85,7	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Metnitztal [DRA]	5	1	0	4	80,0	0	0
Ikvatal [LRR]	9	0	2	7	77,8	0	0
Salzburger Hohe Tauern [DUJ]	11	0	3	8	72,7	0	0
Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR]	38	4	7	27	71,1	0	0
Hügelland Raab Ost [LRR]	10	0	3	7	70,0	0	0
Aichfeld-Murboden (Judenburg - Knittelfeld) [MUR]	29	1	8	20	69,0	0	0
Marchfeld [DUJ]	72	10	13	49	68,1	0	0
Wulkatal [LRR]	9	1	2	6	66,7	0	0
Rabnitztal [LRR]	6	0	2	4	66,7	0	0
Weststeirisches Hügelland [MUR]	3	1	0	2	66,7	0	0
Wechselgebiet [LRR]	3	0	1	2	66,7	0	0
Lafnitztal [LRR]	17	1	5	11	64,7	0	0
Glantal [DRA]	25	2	7	16	64,0	0	0
Kainach [MUR]	11	1	3	7	63,6	0	0
Tullnerfeld [DUJ]	60	7	16	37	61,7	0	0
Pinkatal [LRR]	13	0	5	8	61,5	0	0
Feistritztal [LRR]	10	0	4	6	60,0	0	0
Palten [DUJ]	5	0	2	3	60,0	0	0
Raabtal [LRR]	17	0	7	10	58,8	0	0
Salzburger Alpenvorland [DBJ]	26	0	11	15	57,7	0	0
Linzer Becken [DUJ]	14	2	4	8	57,1	0	0
Schlierhügelland [DBJ]	9	0	4	5	55,6	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]	9	2	2	5	55,6	0	0
Unteres Gurktal [DRA]	11	3	2	6	54,5	0	0
Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]	19	0	9	10	52,6	0	0
Rosental [DRA]	12	2	2	6	50,0	4	33,3
Großsache [DBJ]	8	0	4	4	50,0	0	0
Hausruck [DUJ]	6	1	3	3	50,0	0	0
Karawanken [DRA]	4	0	1	2	50,0	0	0
Unteres Inntal [DBJ]	4	0	0	2	50,0	0	0
Böhmische Masse [DBJ]	2	1	0	1	50,0	0	0
Traun [DUJ]	2	0	1	1	50,0	0	0
Grebenzen [DRA]	2	0	1	1	50,0	0	0
Grazer Bergland östlich der Mur [MUR]	2	0	1	1	50,0	0	0
Turrach, Kreischberg, Frauenalpe, Stolzalpe [MUR]	2	7	0	1	50,0	0	0
Hügelland Raab West [LRR]	2	5	1	1	50,0	0	0
Unteres Salzbachtal [DBJ]	51	7	19	25	49,0	0	0
Machland [DUJ]	19	4	6	9	47,4	0	0
Pinzgauer Saalachtal [DBJ]	17	0	8	8	47,1	2	11,8
Krappfeld [DRA]	17	0	9	8	47,1	0	0
Zwischen Alm und Krems [DUJ]	20	7	8	9	45,0	2	10,0
Inntal [DBJ]	66	5	32	29	43,9	0	0
Drautal [DRA]	44	5	18	19	43,2	4	9,1
Erlauftal / Pöchlerner Feld [DUJ]	14	0	6	6	42,9	4	28,6

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Altes Gurktal [DRA]	7	1	3	3	42,9	0	0
Zwischen Vöckla und Traun [DUJ]	7	4	4	3	42,9	0	0
Walgau [RHE]	12	0	7	5	41,7	0	0
Weinviertel [DUJ]	17	3	7	7	41,2	0	0
Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]	22	0	13	9	40,9	0	0
Böhmische Masse [DUJ]	65	0	34	26	40,0	2	3,1
Rheintal [RHE]	35	5	16	14	40,0	0	0
Traisental [DUJ]	20	1	11	8	40,0	0	0
Hügelland zwischen Mur und Raab [MUR]	15	0	9	6	40,0	0	0
Tiebel [DRA]	10	1	5	4	40,0	0	0
Südl. Wiener Becken-Ostrand [DUJ]	13	0	7	5	38,5	0	0
Traun- und Zubringertäler [DUJ]	13	1	8	5	38,5	0	0
Zentralzone [DRA]	35	1	17	13	37,1	4	11,4
Zwischen Krems und Moosbachtal [DUJ]	27	0	16	10	37,0	0	0
Böhmische Masse [ELB]	14	0	9	5	35,7	0	0
Welser Heide [DUJ]	23	3	12	8	34,8	0	0
Leibnitzer Feld [MUR]	27	1	17	9	33,3	0	0
Lassnitz, Stainzbach [MUR]	12	2	6	4	33,3	0	0
Kobernaubergwald [DBJ]	9	1	5	3	33,3	0	0
Südl. Machland [DUJ]	6	0	4	2	33,3	0	0
Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]	6	1	3	2	33,3	0	0
Nördliche Kalkalpen [MUR]	6	0	4	2	33,3	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Kristallin [RHE]	6	0	4	2	33,3	0	0
Nördliche Kalkalpen [LRR]	3	0	2	1	33,3	0	0
Grauwackenzone Mitte [MUR]	3	1	1	1	33,3	0	0
Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe [MUR]	3	0	2	1	33,3	0	0
Molasse und nördliche Flyschzone [RHE]	3	0	2	1	33,3	0	0
Kremstal [DUJ]	3	1	2	1	33,3	0	0
Jauntal [DRA]	16	0	11	5	31,3	0	0
Südl. Wiener Becken [DUJ]	92	7	55	28	30,4	4	4,3
Eferdinger Becken [DUJ]	30	4	17	9	30,0	0	0
Pielachtal [DUJ]	10	1	6	3	30,0	0	0
Klagenfurter Becken [DRA]	10	2	4	3	30,0	2	20
Böhmische Masse [MAR]	10	0	7	3	30,0	0	0
Südliche Kalkalpen [DRA]	17	1	11	5	29,4	0	0
Fischbacher Alpen [LRR]	7	1	4	2	28,6	0	0
Ybbstal / Ybbser Scheibe [DUJ]	22	1	15	6	27,3	0	0
Zwischen Salzach und Mattig [DBJ]	22	7	10	6	27,3	0	0
Lavanttal [DRA]	11	1	6	3	27,3	2	18,2
Weinviertel [MAR]	31	4	17	8	25,8	4	12,9
Sattnitz [DRA]	8	0	6	2	25,0	0	0
Niedere Tauern einschl. Seckauer Tauern [MUR]	4	0	3	1	25,0	0	0
Unteres Murtal [MUR]	25	2	17	6	24,0	0	0
Nördliche Kalkalpen [DBJ]	86	1	62	20	23,3	6	7,0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Zentralzone [DBJ]	87	5	60	20	23,0	4	4,6
Gailtal [DRA]	18	4	9	4	22,2	2	11,1
Schlierhügelland [DUJ]	9	1	6	2	22,2	0	0
NÖ Alpenvorland [DUJ]	28	4	15	6	21,4	6	21,4
Salzburger Hohe Tauern [MUR]	15	0	12	3	20,0	0	0
Nördliche Kalkalpen [RHE]	10	1	7	2	20,0	0	0
Stremtal [LRR]	5	0	4	1	20,0	0	0
Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]	5	0	4	1	20,0	0	0
Oberes Murtal [MUR]	11	2	7	2	18,2	0	0
Nördliche Kalkalpen [DUJ]	54	0	45	9	16,7	0	0
Lechtal [DBJ]	6	0	5	1	16,7	0	0
Niedere Tauern einschl. Grauwackenzone [DUJ]	6	0	5	1	16,7	0	0
Südl. Wiener Becken-Ostrand [LRR]	6	5	5	1	16,7	0	0
Bucklige Welt [LRR]	6	0	5	1	16,7	0	0
Flyschzone [DUJ]	19	1	12	3	15,8	0	0
Liesing [MUR]	9	1	7	1	11,1	0	0
Murdurchbruchstal (Bruck/Mur - Graz/Andritz) [MUR]	10	1	8	1	10,0	0	0
Mürz [MUR]	11	0	9	1	9,1	2	18,2
Südliche Flyschzone [DBJ]	1	0	1	0	0,0	0	0
Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]	2	0	2	0	0,0	0	0
Grauwackenzone Mitte [DUJ]	1	1	0	0	0,0	0	0
Salzburger Alpenvorland [DUJ]	3	0	3	0	0,0	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. nicht auswertbar	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Weststeirisches Hügelland [DRA]	1	1	0	0	0,0	0	0
Grauwackenzone [LRR]	1	0	1	0	0,0	0	0
Semmering [LRR]	1	1	0	0	0,0	0	0
Fischbacher Alpen [MUR]	2	0	2	0	0,0	0	0
Grazer Bergland westlich der Mur [MUR]	2	2	0	0	0,0	0	0
Kristallin nördlich des Mürztals einschl. Grauwackenzone [MUR]	5	0	5	0	0,0	0	0
Seetaler Alpen Nord [MUR]	1	0	1	0	0,0	0	0
Safental [LRR]	1	0	1	0	0,0	0	0
Günser Gebirge Umland [LRR]	1	0	1	0	0,0	0	0
Helvetikum [RHE]	4	0	4	0	0,0	0	0
Südliche Flyschzone [RHE]	2	0	2	0	0,0	0	0
Ilz und Rittscheintal [LRR]	4		4	0	0,0	0	0
Sulmtal [MUR]	11	4	0	0	0,0	0	0
Saggautal [MUR]	8	10	0	0	0,0	0	0
Zwischen Traun und Alm [DUJ]	–	–	–	–	–	–	–

Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt 2023

Tabelle 4: Statistische Verteilung der arithmetischen Mittel der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 auf Ebene der Grundwasserkörper und mittlere Seehöhe der Grundwasserkörper (ohne WKEV-Quellmessstellen); in absteigender Reihenfolge der arithmetischen Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen.

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR]	336	70	2	2,9	10,3	12,8	17,1
Südl. Wiener Becken-Ostrand [LRR]	187	4	0	0	11,8	12,8	13,4
Wulkatal [LRR]	213	5	0	0	11,7	12,7	14,3
Seewinkel [LRR]	119	14	0	0	11,3	12,6	14,6
Marchfeld [DUJ]	153	58	0	0	10,7	12,4	14,6
Heideboden [DUJ]	137	7	0	0	11,4	12,4	13,4
Tullnerfeld [DUJ]	181	36	0	0	10,8	12,4	14,3
Lassnitz, Stainzbach [MUR]	312	12	0	0	10,8	12,3	13,3
Leibnitzer Feld [MUR]	278	44	0	0	10,9	12,3	13,8
Ikvatal [LRR]	276	1	0	0	12,3	12,3	12,3
Welser Heide [DUJ]	301	10	0	0	11,1	12,2	14,4
Klagenfurter Becken [DRA]	432	26	0	0	9,1	12,2	14,5
Saggautal [MUR]	320	9	0	0	11,0	12,2	14,0
Weinviertel [MAR]	223	15	0	0	10,8	12,2	14,0
Südl. Wiener Becken-Ostrand [DUJ]	185	7	0	0	11,3	12,1	12,8

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Südl. Wiener Becken [DUJ]	230	80	0	0	9,9	12,1	14,9
Weststeirisches Hügelland [DRA]	438	1	0	0	12,0	12,0	12,0
Hügelland zwischen Mur und Raab [MUR]	352	19	0	0	11,0	12,0	14,5
Raabtal [LRR]	304	23	0	0	9,9	11,9	13,8
Rabnitztal [LRR]	245	1	0	0	11,9	11,9	11,9
Unteres Murtal [MUR]	235	67	0	0	10,4	11,8	13,1
Machland [DUJ]	238	5	0	0	11,5	11,7	12,3
Parndorfer Platte [LRR]	157	4	0	0	11,3	11,7	12,5
Weinviertel [DUJ]	263	4	0	0	11,1	11,7	12,3
Lavanttal [DRA]	429	11	0	0	9,8	11,7	13,3
Traisental [DUJ]	259	9	0	0	10,8	11,7	13,1
Pielachtal [DUJ]	258	6	0	0	10,9	11,7	12,7
Safental [LRR]	301	7	0	0	11,2	11,6	12,2
Kainach [MUR]	350	16	0	0	10,6	11,6	13,8
Rheintal [RHE]	417	99	0	0	8,2	11,6	14,4
Ybbstal / Ybbser Scheibe [DUJ]	276	9	0	0	10,7	11,6	12,7
NÖ Alpenvorland [DUJ]	298	3	0	0	11,2	11,6	12,2
Molasse und nördliche Flyschzone [RHE]	799	12	0	0	10,4	11,6	12,8

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Flyschzone [DUJ]	506	4	0	0	11,2	11,6	12,2
Linzer Becken [DUJ]	251	7	0	0	9,9	11,5	14,1
Weststeirisches Hügelland [MUR]	399	1	0	0	11,5	11,5	11,5
Kremstal [DUJ]	361	1	0	0	11,5	11,5	11,5
Sulmtal [MUR]	322	10	0	0	10,9	11,4	12,5
Ilz und Rittscheintal [LRR]	284	2	0	0	11,1	11,4	11,8
Hügelland Raab West [LRR]	372	4	0	0	10,7	11,4	12,2
Zwischen Krems und Moosbachl [DUJ]	361	3	0	0	10,8	11,4	12,1
Lafnitztal [LRR]	279	7	0	0	10,7	11,3	12,0
Unteres Salzachtal [DBJ]	437	58	0	0	6,3	11,3	16,0
Zwischen Alm und Krems [DUJ]	405	4	0	0	10,5	11,3	11,9
Pinkatal [LRR]	274	8	0	0	9,0	11,3	12,7
Unteres Inntal [DBJ]	352	9	0	0	10,3	11,3	12,9
Murdurchbruchstal (Bruck/Mur - Graz/Andritz) [MUR]	418	23	0	0	10,1	11,2	12,5
Südl. Machland [DUJ]	234	1	0	0	11,2	11,2	11,2
Eferdinger Becken [DUJ]	265	8	0	0	10,7	11,1	11,9
Feistritztal [LRR]	293	15	0	0	10,1	11,1	12,3

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Glantal [DRA]	511	11	0	0	9,2	11,1	12,1
Erlauftal / Pöchlerner Feld [DUJ]	253	3	0	0	10,8	11,1	11,5
Bucklige Welt [LRR]	651	1	0	0	11,0	11,0	11,0
Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]	286	5	0	0	9,8	10,9	12,1
Hügelland Rabnitz [LRR]	297	2	0	0	10,6	10,8	11,0
Unteres Gurktal [DRA]	470	6	0	0	10,7	10,8	11,0
Schlierhügelland [DBJ]	420	1	0	0	10,7	10,7	10,7
Schlierhügelland [DUJ]	389	3	0	0	10,2	10,7	11,8
Zwischen Salzach und Mattig [DBJ]	456	34	0	0	9,6	10,6	12,6
Krappfeld [DRA]	587	4	0	0	9,4	10,6	13,4
Inntal [DBJ]	569	43	0	0	7,2	10,6	13,6
Traun- und Zubringertäler [DUJ]	441	10	0	0	8,3	10,5	12,3
Altes Gurktal [DRA]	497	3	0	0	9,9	10,5	11,1
Drautal [DRA]	564	65	2	3,1	7,9	10,4	21,0
Günstal [LRR]	350	2	0	0	9,2	10,4	11,6
Böhmische Masse [ELB]	645	2	0	0	10,0	10,3	10,6
Jauntal [DRA]	475	6	0	0	9,3	10,1	11,4
Rosental [DRA]	447	15	0	0	8,9	10,1	14,2

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Zwischen Traun und Alm [DUJ]	452	1	0	0	10,0	10,0	10,0
Mürz [MUR]	577	7	0	0	8,8	9,9	10,7
Salzburger Alpenvorland [DBJ]	557	4	0	0	8,5	9,8	11,2
Walgau [RHE]	528	57	0	0	7,7	9,8	14,6
Gailtal [DRA]	588	18	0	0	6,9	9,8	12,3
Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]	642	14	0	0	8,2	9,7	10,5
Nördliche Kalkalpen [DUJ]	955	5	0	0	8,7	9,7	10,2
Aichfeld-Murboden (Judenburg - Knittelfeld) [MUR]	738	29	0	0	7,6	9,4	10,4
Metnitztal [DRA]	657	6	0	0	8,6	9,4	10,5
Großsache [DBJ]	691	6	0	0	8,1	9,3	10,3
Böhmische Masse [DBJ]	487	1	0	0	9,2	9,2	9,2
Zentralzone [DRA]	1.450	25	0	0	6,5	9,2	11,5
Pinzgauer Saalachtal [DBJ]	738	12	0	0	7,8	9,1	10,4
Salzburger Alpenvorland [DUJ]	710	1	0	0	9,1	9,1	9,1
Böhmische Masse [DUJ]	580	10	0	0	7,1	9,1	10,9
Palten [DUJ]	699	7	0	0	7,9	9,1	9,9
Helvetikum [RHE]	1.094	34	0	0	7,2	9,1	11,7
Oberes Murtal [MUR]	782	9	0	0	7,7	9,0	11,8

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Liesing [MUR]	687	5	0	0	7,4	9,0	10,1
Tiebel [DRA]	716	8	0	0	7,5	9,0	11,5
Turrach, Kreischberg, Frauenalpe, Stolzalpe [MUR]	1.415	1	0	0	9,0	9,0	9,0
Traun [DUJ]	733	3	0	0	8,4	9,0	9,5
Zentralzone [DBJ]	1.805	34	0	0	5,8	9,0	11,2
Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]	648	12	0	0	7,4	8,9	9,8
Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]	736	18	0	0	7,2	8,7	9,5
Kristallin [RHE]	1.862	20	0	0	7,1	8,7	12,2
Salzburger Hohe Tauern [MUR]	1.695	10	0	0	7,7	8,6	9,6
Südliche Flyschzone [RHE]	1.255	3	0	0	7,8	8,6	9,8
Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]	483	1	0	0	8,5	8,5	8,5
Lechtal [DBJ]	877	6	0	0	7,6	8,5	10,0
Kobernaufserwald [DBJ]	544	2	0	0	7,5	8,4	9,2
Salzburger Hohe Tauern [DUJ]	1.450	4	0	0	8,0	8,4	8,6
Grebenzen [DRA]	1.073	2	0	0	8,3	8,3	8,3
Südliche Kalkalpen [DRA]	1.233	3	0	0	7,0	8,3	10,8
Nördliche Kalkalpen [DBJ]	1.384	28	0	0	5,6	8,0	11,6
Nördliche Kalkalpen [RHE]	1.605	13	0	0	6,4	7,9	9,2

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Nördliche Kalkalpen [MUR]	1.276	4	0	0	6,5	7,4	8,3
Südliche Flyschzone [DBJ]	1.468	1	0	0	6,7	6,7	6,7
Leithagebirge [LRR]	309	–	–	–	–	–	–
Stremtal [LRR]	221	–	–	–	–	–	–
Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]	870	–	–	–	–	–	–
Fischbacher Alpen [MUR]	981	–	–	–	–	–	–
Karawanken [DRA]	1.302	–	–	–	–	–	–
Hügelland Raab Ost [LRR]	335	–	–	–	–	–	–
Stoosbachtal [LRR]	249	–	–	–	–	–	–
Seetaler Alpen Nord [MUR]	1.260	–	–	–	–	–	–
Fischbacher Alpen [LRR]	840	–	–	–	–	–	–
Wechselgebiet [LRR]	940	–	–	–	–	–	–
Zwischen Vöckla und Traun [DUJ]	524	–	–	–	–	–	–
Günser Gebirge Umland [LRR]	507	–	–	–	–	–	–
Böhmische Masse [MAR]	509	–	–	–	–	–	–
Grazer Bergland westlich der Mur [MUR]	637	–	–	–	–	–	–
Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe [MUR]	1.044	–	–	–	–	–	–
Sattnitz [DRA]	608	–	–	–	–	–	–

Name des Grundwasserkörpers	mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche (müA)	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl MST >16°C	Anteil MST >16°C (%)	Minimum (°C)	Arithmetisches Mittel (°C)	Maximum (°C)
Grazer Bergland östlich der Mur [MUR]	883	-	-	-	-	-	-
Niedere Tauern einschl. Seckauer Tauern [MUR]	1.445	-	-	-	-	-	-
Hausruck [DUJ]	537	-	-	-	-	-	-
Grauwackenzone Mitte [MUR]	1.179	-	-	-	-	-	-
Kristallin nördlich des Mürztales einschl. Grauwackenzone [MUR]	951	-	-	-	-	-	-
Nördliche Kalkalpen [LRR]	907	-	-	-	-	-	-
Grauwackenzone Mitte [DUJ]	1.306	-	-	-	-	-	-
Niedere Tauern einschl. Grauwackenzone [DUJ]	1.480	-	-	-	-	-	-
Helvetikum [DBJ]	1.459	-	-	-	-	-	-
Grauwackenzone [LRR]	672	-	-	-	-	-	-
Semmering [LRR]	936	-	-	-	-	-	-

Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt 2023

Tabelle 5: Anzahl und Anteil von Messstellen mit fallendem und steigendem Trend der Grundwassertemperaturen (WKEV) in den Grundwasserkörpern im Zeitraum 2011–2020.

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Aichfeld-Murboden (Judenburg - Knittelfeld) [MUR]	29	9	19	65,5	1	3,4
Altes Gurktal [DRA]	3	0	3	100,0	0	0
Böhmische Masse [DBJ]	1	0	1	100,0	0	0
Böhmische Masse [DUJ]	10	4	6	60,0	0	0
Böhmische Masse [ELB]	2	1	0	0	1	50,0
Böhmische Masse [MAR]	–	–	–	–	–	–
Bucklige Welt [LRR]	1	1	0	0	0	0
Drautal [DRA]	65	33	28	43,1	4	6,2
Eferdinger Becken [DUJ]	8	0	8	100,0	0	0
Erlauftal / Pöchlerner Feld [DUJ]	3	1	2	66,7	0	0
Feistritztal [LRR]	15	6	8	53,3	1	6,7
Fischbacher Alpen [LRR]	–	–	–	–	–	–
Fischbacher Alpen [MUR]	–	–	–	–	–	–
Flyschzone [DUJ]	4	1	3	75,0	0	0
Gailtal [DRA]	18	3	13	72,2	2	11,1
Glantal [DRA]	11	4	7	63,6	0	0
Grauwackenzone [LRR]	–	–	–	–	–	–
Grauwackenzone Mitte [DUJ]	–	–	–	–	–	–
Grauwackenzone Mitte [MUR]	–	–	–	–	–	–
Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]	–	–	–	–	–	–

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Grazer Bergland östlich der Mur [MUR]	–	–	–	–	–	–
Grazer Bergland westlich der Mur [MUR]	–	–	–	–	–	–
Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR]	70	6	63	90,0	1	1,4
Greibenzen [DRA]	2	1	1	50,0	0	0
Großsache [DBJ]	6	1	4	66,7	1	16,7
Günser Gebirge Umland [LRR]	–	–	–	–	–	–
Günstal [LRR]	2	1	1	50,0	0	0
Hausruck [DUJ]	–	–	–	–	–	–
Heideboden [DUJ]	7	1	6	85,7	0	0
Helvetikum [DBJ]	–	–	–	–	–	–
Helvetikum [RHE]	34	10	24	70,6	0	0
Hügelland Raab Ost [LRR]	–	–	–	–	–	–
Hügelland Raab West [LRR]	4	1	3	75,0	0	0
Hügelland Rabnitz [LRR]	2	1	1	50,0	0	0
Hügelland zwischen Mur und Raab [MUR]	19	0	19	100,0	0	0
Ikvatal [LRR]	1	0	1	100,0	0	0
Ilz und Rittscheintal [LRR]	2	1	1	50,0	0	0
Inntal [DBJ]	43	18	24	55,8	1	2,3
Jauntal [DRA]	6	2	4	66,7	0	0
Kainach [MUR]	16	1	15	93,8	0	0
Karawanken [DRA]	–	–	–	–	–	–
Klagenfurter Becken [DRA]	26	12	14	53,8	0	0
Kobernaußerwald [DBJ]	2	1	1	50,0	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Krappfeld [DRA]	4	1	3	75,0	0	0
Kremstal [DUJ]	1	0	1	100,0	0	0
Kristallin [RHE]	20	4	15	75,0	1	5,0
Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe [MUR]	–	–	–	–	–	–
Kristallin nördlich des Mürztales einschl. Grauwackenzone [MUR]	–	–	–	–	–	–
Lafnitztal [LRR]	7	2	5	71,4	0	0
Lassnitz, Stainzbach [MUR]	12	6	6	50,0	0	0
Lavanttal [DRA]	11	4	7	63,6	0	0
Lechtal [DBJ]	6	5	1	16,7	0	0
Leibnitzer Feld [MUR]	44	7	37	84,1	0	0
Leithagebirge [LRR]	–	–	–	–	–	–
Liesing [MUR]	5	1	4	80,0	0	0
Linzer Becken [DUJ]	7	2	5	71,4	0	0
Machland [DUJ]	5	0	5	100,0	0	0
Marchfeld [DUJ]	58	7	51	87,9	0	0
Metnitztal [DRA]	6	0	5	83,3	1	16,7
Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]	–	–	–	–	–	–
Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]	12	5	5	41,7	2	16,7
Molasse und nördliche Flyschzone [RHE]	12	2	10	83,3	0	0
Murdurchbruchstal (Bruck/Mur - Graz/Andritz) [MUR]	–	–	–	–	–	–
Mürz [MUR]	7	2	5	71,4	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Niedere Tauern einschl. Grauwackenzone [DUJ]	–	–	–	–	–	–
Niedere Tauern einschl. Seckauer Tauern [MUR]	–	–	–	–	–	–
NÖ Alpenvorland [DUJ]	3	1	2	66,7	0	0
Nördliche Kalkalpen [DBJ]	28	11	15	53,6	2	7,1
Nördliche Kalkalpen [DUJ]	5	2	3	60,0	0	0
Nördliche Kalkalpen [LRR]	–	–	–	–	–	–
Nördliche Kalkalpen [MUR]	4	0	4	100,0	0	0
Nördliche Kalkalpen [RHE]	13	3	10	76,9	0	0
Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]	18	9	6	33,3	3	16,7
Oberes Murtal [MUR]	9	0	9	100,0	0	0
Palten [DUJ]	7	1	6	85,7	0	0
Parndorfer Platte [LRR]	4	2	2	50,0	0	0
Pielachtal [DUJ]	6	1	5	83,3	0	0
Pinkatal [LRR]	8	1	7	87,5	0	0
Pinzgauer Saalachtal [DBJ]	12	4	4	33,3	4	33,3
Raabtal [LRR]	23	5	17	73,9	1	4,3
Rabnitztal [LRR]	1	0	1	100,0	0	0
Rheintal [RHE]	99	17	78	78,8	4	4,0
Rosental [DRA]	15	5	9	60,0	1	6,7
Safental [LRR]	7	2	5	71,4	0	0
Saggautal [MUR]	9	2	7	77,8	0	0
Salzburger Alpenvorland [DBJ]	4	1	3	75,0	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Salzburger Alpenvorland [DUJ]	1	1	0	0	0	0
Salzburger Hohe Tauern [DUJ]	4	3	0	0	1	25,0
Salzburger Hohe Tauern [MUR]	10	3	7	70,0	0	0
Sattnitz [DRA]	–	–	–	–	–	–
Schlierhügelland [DBJ]	1	1	0	0	0	0
Schlierhügelland [DUJ]	3	1	2	66,7	0	0
Seetaler Alpen Nord [MUR]	–	–	–	–	–	–
Seewinkel [LRR]	14	2	12	85,7	0	0
Semmering [LRR]	–	–	–	–	–	–
Stoobachtal [LRR]	–	–	–	–	–	–
Stremtal [LRR]	–	–	–	–	–	–
Südl. Machland [DUJ]	1	0	1	100,0	0	0
Südl. Wiener Becken [DUJ]	80	21	57	71,3	2	2,5
Südl. Wiener Becken-Ostrand [DUJ]	7	0	7	100,0	0	0
Südl. Wiener Becken-Ostrand [LRR]	4	0	4	100,0	0	0
Südliche Flyschzone [DBJ]	1	1	0	0	0	0
Südliche Flyschzone [RHE]	3	0	3	100,0	0	0
Südliche Kalkalpen [DRA]	3	1	2	66,7	0	0
Sulmtal [MUR]	10	2	8	80,0	0	0
Tiebel [DRA]	8	4	3	37,5	1	12,5
Traisental [DUJ]	9	2	7	77,8	0	0
Traun [DUJ]	3	1	2	66,7	0	0
Traun- und Zubringertäler [DUJ]	10	1	9	90,0	0	0

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Tullnerfeld [DUJ]	36	0	36	100,0	0	0
Turrach, Kreischberg, Frauenalpe, Stolzalpe [MUR]	1	1	0	0	0	0
Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]	5	0	5	100,0	0	0
Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]	1	0	1	100,0	0	0
Unteres Gurktal [DRA]	6	3	3	50,0	0	0
Unteres Inntal [DBJ]	9	1	8	88,9	0	0
Unteres Murtal [MUR]	67	14	52	77,6	1	1,5
Unteres Salzachtal [DBJ]	58	8	50	86,2	0	0
Walgau [RHE]	57	19	38	66,7	0	0
Wechselgebiet [LRR]	–	–	–	–	–	–
Weinviertel [DUJ]	4	1	3	75,0	0	0
Weinviertel [MAR]	15	3	12	80,0	0	0
Welser Heide [DUJ]	10	0	10	100,0	0	0
Weststeirisches Hügelland [DRA]	1	0	1	100,0	0	0
Weststeirisches Hügelland [MUR]	1	0	1	100,0	0	0
Wulkatal [LRR]	5	2	3	60,0	0	0
Ybbstal / Ybbser Scheibe [DUJ]	9	1	8	88,9	0	0
Zentralzone [DBJ]	34	10	19	55,9	5	14,7
Zentralzone [DRA]	25	9	14	56,0	2	8,0
Zwischen Alm und Krems [DUJ]	4	0	4	100,0	0	0
Zwischen Krems und Moosbachl [DUJ]	3	0	2	66,7	1	33,3
Zwischen Salzach und Mattig [DBJ]	34	1	32	94,1	1	2,9

Name des Grundwasserkörpers	Anzahl auswertbare Mst.	Anzahl Mst. kein Trend	Anzahl Mst. Trend steigend	Anteil Mst. Trend steigend (%)	Anzahl Mst. Trend fallend	Anzahl Mst. Trend fallend (%)
Zwischen Traun und Alm [DUJ]	1	1	0	0	0	0
Zwischen Vöckla und Traun [DUJ]	-	-	-	-	-	-

Quelle: BML, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt 2023

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vereinfachte Interpretation der Stärke des Zusammenhangs zwischen zeitlicher Entwicklung und Grundwassertemperatur anhand von Kendalls τ , vorausgesetzt es liegt ein statistisch signifikanter Trend ($p < 0,05$) vor.....	21
Tabelle 2: Statistische Verteilung der arithmetischen Mittel der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 auf Ebene der Grundwasserkörper und mittlere Seehöhe der Grundwasserkörper; in absteigender Reihenfolge der arithmetischen Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen.	48
Tabelle 3: Anzahl und Anteil von Messstellen mit fallendem und steigendem Trend der Grundwassertemperaturen (GZÜV) in den Grundwasserkörpern im Zeitraum 2003–2022.	54
Tabelle 4: Statistische Verteilung der arithmetischen Mittel der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 auf Ebene der Grundwasserkörper und mittlere Seehöhe der Grundwasserkörper (ohne WKEV-Quellmessstellen); in absteigender Reihenfolge der arithmetischen Mittel der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen.	61
Tabelle 5: Anzahl und Anteil von Messstellen mit fallendem und steigendem Trend der Grundwassertemperaturen (WKEV) in den Grundwasserkörpern im Zeitraum 2011–2020.	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Häufigkeiten der arithmetischen Mittel der Jahresmittelwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022.....	22
Abbildung 2: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.	23
Abbildung 3: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) sowie Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).	24
Abbildung 4: Häufigkeiten der Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022.....	25
Abbildung 5: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.	26
Abbildung 6: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2020–2022 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) sowie Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).	27
Abbildung 7: Häufigkeiten der Temperaturdifferenzen zwischen den Maximalwerten der Grundwassertemperaturen an den GZÜV-Messstellen (2020–2022) und den arithmetischen Mitteln der jährlichen Lufttemperaturen (2011–2020) im Umfeld der GZÜV-Messstellen.	28
Abbildung 8: Temperaturdifferenzen Grundwasser (GZÜV, Maximum 2020–2022) zu Luft (arithmetisches Mittel der Jahresmittel 2011–2020) in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).	29
Abbildung 9: Temperaturdifferenzen Grundwasser (GZÜV, Maximum 2020–2022) zu Luft (arithmetisches Mittel der Jahresmittel 2011–2020) in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.	30
Abbildung 10: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an GZÜV-Messstellen im Zeitraum 2013–2022.	31
Abbildung 11: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an GZÜV-Messstellen im Zeitraum 2003–2022.	31
Abbildung 12: Trends der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2003–2022 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).	33
Abbildung 13: Trends der Grundwassertemperaturen (GZÜV) im Zeitraum 2003–2022 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.	34

Abbildung 14: Abhängigkeit der maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen (GZÜV, 2020–2022) vom arithmetischen Mittel der Lufttemperatur (2011–2020).	35
Abbildung 15: Abhängigkeit der maximalen und mittleren Grundwassertemperaturen von der Seehöhe der GZÜV-Grundwassermessstellen.	35
Abbildung 16: Regressionsbaum (ANOVA) zur regelbasierten Vorhersage der maximalen Grundwassertemperaturen im Zeitraum 2020–2022 (Werte in Knoten = gerundete Mittelwerte, Höhe in müA, LN = Landnutzung, n = Anzahl Messstellen).	36
Abbildung 17: Verteilung der maximalen Grundwassertemperaturen in den Endknoten des Regressionsbaums.	37
Abbildung 18: Verteilung der Landnutzungen in den Endknoten des Regressionsbaums zur Vorhersage der maximalen Grundwassertemperaturen.	37
Abbildung 19: Häufigkeiten der arithmetischen Mittel der Jahresmittelwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Beurteilungszeitraum 2018–2020.	38
Abbildung 20: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).	39
Abbildung 21: Mittlere Situation der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.	40
Abbildung 22: Häufigkeiten der Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Beurteilungszeitraum 2018–2020.	41
Abbildung 23: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg.	41
Abbildung 24: Maximalwerte der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2018–2020 in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (oben) und Kärnten, Steiermark und Burgenland (unten).	42
Abbildung 25: Häufigkeiten von Trends der Grundwassertemperaturen an WKEV-Messstellen im Zeitraum 2011–2020.	43
Abbildung 26: Trends der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2011–2020 in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg (oben) sowie Wien, Niederösterreich und Oberösterreich (unten).	44
Abbildung 27: Trends der Grundwassertemperaturen (WKEV) im Zeitraum 2011–2020 in den Bundesländern Kärnten, Steiermark und Burgenland.	45

Literaturverzeichnis

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (2004): Grundwasserbewirtschaftung Linz. Hydrologische und thermische Ist-Situation. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Linz (Zugriff am 24.10.2023).

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2012): Erhebung und Potentialanalyse der geothermischen Nutzung des Grundwassers im Raum Stadt Graz östlich der Mur. Endbericht – Juli 2012. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A – Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft, Graz (Zugriff am 24.10.2023).

Amt der Tiroler Landesregierung (2021): Grundwassertemperaturen Tirols. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Innsbruck, (Zugriff am 24.10.2023).

Benz, S.A., Bayer, P., Winkler, G., Blum, P. (2018): Recent trends of groundwater temperatures in Austria. In: Hydrology and Earth System Sciences, 22 (6), S. 3143–3154. doi.org/10.5194/hess-22-3143-2018 (Zugriff am 24.10.2023).

BEV (2022): Digitales Geländehöhenmodell – Höhenraster 100m. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. data.bev.gv.at/geonetwork/srv/api/records/cd4b9dc4-e2d2-447e-baf4-cc4d39d47265 (Zugriff am 24.10.2023).

BMK (2022): FTI-Roadmap Geothermie. Vision und FTI-politische Fragestellungen. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien. F&E Roadmap Geothermie – 2022 (nachhaltigwirtschaften.at) (Zugriff am 24.10.2023).

BMLFUW (2013): Langzeitentwicklung der Wassertemperatur in österreichischen Fließgewässern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung VII/3-Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro). 14. Österreichischer Klimatag, Poster. ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/03_Aktivitaeten/Klimatag/Klimatag2013/Poster_14.Klimatag/P15_Standhartinger.pdf (Zugriff am 24.10.2023).

BMLFUW (2015): Probennahmehandbuch Chemie Wasser. Grundwasser, Oberflächengewässer, Sedimente. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. [info.bml.gv.at/dam/jcr:630d6131-109a-4005-ac8e-66b348192cd7/Probennahmehandbuch_Chemie_Wasser.pdf](https://www.bml.gv.at/dam/jcr:630d6131-109a-4005-ac8e-66b348192cd7/Probennahmehandbuch_Chemie_Wasser.pdf) (Zugriff am 24.10.2023).

BMLFUW (2017): Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, Teil 1 – Kontext. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, (Zugriff am 24.10.2023).

BMLRT (2021): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021 (GZ. 2022-0.270.778). Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Wien. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021.pdf (Zugriff am 24.10.2023).

BMLRT (2023, in Veröffentlichung): Klassifikation von GZÜV-Grundwassermessstellen. Potenzielle und tatsächliche Einflussfaktoren auf die Grundwasserqualität. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Wien.

Böttcher, F., Zosseder, K. (2022): Thermal influences on groundwater in urban environments – A multivariate statistical analysis of the subsurface heat island effect in Munich. In: Science of The Total Environment, 810, S. 152193. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152193 (Zugriff am 24.10.2023).

Brielmann, H., Griebler, C., Schmidt, S. I., Michel, R., & Lueders, T. (2009): Effects of thermal energy discharge on shallow groundwater ecosystems. FEMS microbiology ecology, 68(3), 273-286. doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00674.x (Zugriff am 24.10.2023).

CCCA (2023): Klimastatusbericht Österreich 2022. Stangl M., Formayer H., Hiebl J., Orlik A., Hinger D., Bauer C., Wilfinger P., Wolf A., Wien: CCCA (Zugriff am 24.10.2023).

Epting, J., Huggenberger, P. (2013): Unraveling the heat island effect observed in urban groundwater bodies – Definition of a potential natural state. In: Journal of Hydrology, 501, S. 193–204. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.002 (Zugriff am 24.10.2023).

GBA (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500 000. Geologische Bundesanstalt, Wien, (Zugriff am 24.10.2023).

Griebler, C., Brielmann, H., Haberer, C.M., Kaschuba, S., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., Walter-Hertkorn, S., Lueders, T. (2016): Potential impacts of geothermal energy use and storage of heat on groundwater quality, biodiversity, and ecosystem processes. *Environ Earth Sci* 75, 1391 (2016). doi.org/10.1007/s12665-016-6207-z (Zugriff am 24.10.2023).

Kotlarski, S., Gobiet, A., Morin, S., Olefs, M., Rajczak, J., Samacoits, R. (2022): 21st Century alpine climate change. *Clim Dyn* 60, 65–86. doi.org/10.1007/s00382-022-06303-3 (Zugriff am 24.10.2023).

Milborrow, S. (2022): rpart.plot: Plot 'rpart' Models: An Enhanced Version of 'plot.rpart'. R package version 3.1.1, CRAN.R-project.org/package=rpart.plot (Zugriff am 24.10.2023).

Noethen, M., Hemmerle, H., Menberg, K., Epting, J., Benz, S. A., Blum, P., Bayer, P. (2023): Thermal impact of underground car parks on urban groundwater. In: *Science of The Total Environment*, 903, S. 166572. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166572 (Zugriff am 24.10.2023).

ÖWAV (2009): ÖWAV-Regelblatt 207. Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), Wien.

R Core Team (2022): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. www.R-project.org/ (Zugriff am 24.10.2023).

Schönher, C., Proksch, P., Kerschbauerm, D., Fiedler, C., Zunabovic-Pichler, M., Mayr, E., Perfler, R. (2021): Auswirkungen von erhöhten Wassertemperaturen bei Trinkwassergewinnung, -speicherung und -verteilung. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Siedlungswasserbau, Wien.

Seelig, M., Seelig, S., Vremec, M., Hausleber, M., Obwegs, M., Wagner, T., Brielmann, H., Stromberger, B., Eybl, J., Winkler, G. (2023, in Veröffentlichung): Zeitreihen- und Trendanalyse der Quellmessstellen des Hydrographischen Dienstes. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (Hrsg.), Wien.

Therneau, T., Atkinson, B. (2022): rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package version 4.1.19, CRAN.R-project.org/package=rpart (Zugriff am 24.10.2023).

Umweltbundesamt (2011): Trends der Grundwassertemperatur - Untersuchungen von Daten der Überwachung des Gewässerzustandes in Österreich. REP-0328, Umweltbundesamt, Wien, (Zugriff am 24.10.2023).

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L.D., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T.L., Miller, E., Bache, S.M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D.P., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H. (2019): “Welcome to the tidyverse.” Journal of Open Source Software, *4*(43), 1686. doi.org/10.21105/joss.01686 (Zugriff am 24.10.2023).

Rechtsvorschriften

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idgF):

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010

idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.

Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV; BGBl. II Nr. 478/2006 idgF):

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG):

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 327. Zuletzt geändert durch RL 2014/101/EU. ABl. L 311/32.

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959; BGBl. Nr. 215/1959 idgF):

Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG. 1959.

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
ANOVA	engl. Analysis of Variance (Varianzanalyse)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMLRT	Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus
CCCA	Climate Change Centre Austria
CRAN	Comprehensive Archive Network
DGM	Digitales Geländemodell
GBA	Geologische Bundesanstalt
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
MAX	Maximum
müA	Meter über Adria
MW	Mittelwert
n	Anzahl
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
QZV Chemie GW	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
WKEV	Wasserkreislaufferhebungsverordnung
WRG	Wasserrechtsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WWTF	Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds
z. B.	Zum Beispiel
τ	Kendall-Rangkorrelationskoeffizient

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at