

## Trends der Grundwassertemperatur

Untersuchungen von Daten der Überwachung  
des Gewässerzustandes in Österreich





# **TRENDS DER GRUNDWASSERTEMPERATUR**

Untersuchungen von Daten der Überwachung des  
Gewässerzustandes in Österreich

Christina Schartner  
Martin Kralik

REPORT  
REP-0328

Wien, 2011

**Projektleitung**

Johannes Grath

**AutorInnen**

Christina Schartner

Martin Kralik

**Lektorat**

Maria Deweis

**Satz/Layout**

Ute Kutschera

**Umschlagphoto**

© Umweltbundesamt/F. Humer

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

*Gedruckt auf CO<sub>2</sub>-neutralem 100 % Recyclingpapier*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2011

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-130-7

# INHALT

	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	5
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	7
<b>2</b>	<b>DATENGRUNDLAGE UND METHODIK</b> .....	8
2.1	Datengrundlage.....	8
2.2	Methodik.....	8
<b>3</b>	<b>TRENDANALYSE AUF EBENE DER GRUNDWASSERKÖRPER</b> .....	9
<b>4</b>	<b>MÖGLICHE URSACHEN FÜR ÄNDERUNGEN DER GRUNDWASSERTEMPERATUR</b> .....	13
<b>5</b>	<b>AUSWIRKUNGEN VON ÄNDERUNGEN DER (GRUND)WASSERTEMPERATUR</b> .....	14
<b>6</b>	<b>DETAILUNTERSUCHUNGEN IM MARCHFELD</b> .....	15
<b>6.1</b>	<b>Einflussfaktoren und stationstypische Eigenschaften</b> .....	19
6.1.1	Charakteristika und deren mögliche Einflüsse auf die Grundwassertemperatur der ausgewählten Messstellen.....	19
<b>6.2</b>	<b>Luft- und Bodentemperaturentwicklung im Marchfeld</b> .....	20
<b>7</b>	<b>FAZIT UND DISKUSSION</b> .....	23
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	24

## TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Ergebnisse der Trendanalyse auf GWK-Ebene .....	9
Tabelle 2:	Löslichkeiten von Gasen (Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid) bei unterschiedlichen Temperaturen .....	14
Abbildung 1:	Karte mit Trends der Grundwassertemperatur (1997–2009). .....	12
Abbildung 2:	Qualitative Grundwassermessstellen im Marchfeld. ....	16
Abbildung 3:	Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (jährliche Auflösung). ....	17
Abbildung 4:	Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (halbjährliche Auflösung). ....	18
Abbildung 5:	Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (vierteljährliche Auflösung). ....	18
Abbildung 6:	Langzeitmessreihe der Lufttemperatur in Groß Enzersdorf (geglättete Jahresmittel). ....	21
Abbildung 7:	Luft-, Boden- und Grundwassertemperatur in Groß Enzersdorf (Monatsmittel). ....	21
Abbildung 8:	Luft-, Boden- und Grundwassertemperatur in Groß Enzersdorf und Grundwassertemperatur im Marchfeld (geglättete Jahresmittel). ....	22

## ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es Veränderungen der Grundwassertemperatur in Österreich statistisch, hinsichtlich Trendentwicklungen, auszuwerten, zu quantifizieren und mögliche Ursachen für die Veränderungen zu identifizieren. Es wurden Trendtests auf der Ebene von Grundwasserkörpern und Gruppen von Grundwasserkörpern in ganz Österreich und in einer ausgewählten Region auch auf Messstellenebene durchgeführt.

Die statistische Analyse für 71 Grundwasserkörper mit insgesamt 1.167 Messstellen wurde auf Grundwasserkörper-Ebene mit dem Programm WATERSTAT durchgeführt. Die Analyse beruht auf dem statistisch-methodischen Konzept des Trendtests „LOESS smoother“, einem linearen Regressionsmodell, und dem ANOVA-Test (ANalysis Of VAriance).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von 1997–2009 ein signifikanter Grundwassertemperaturanstieg im Bereich von 0,7 °C (Bandbreite 0,4 °C bis 1,3 °C) in mehr als der Hälfte aller untersuchten Grundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern in Österreich stattgefunden hat. Aufgrund einer Literaturrecherche wurden mehrere direkte, indirekte, anthropogene oder natürliche Einflussfaktoren auf die Temperatur des Grundwassers identifiziert. Beim Versuch mehr oder weniger starke Einflüsse gezielt herauszufiltern, konnte festgestellt werden, dass sich die verschiedenen Faktoren überlagern dürften und nicht differenzierbar sind.

Obwohl die stationstypischen Charakteristika und mitunter sehr kleinräumige Einflussfaktoren auf die Temperatur im Grundwasser wirken, können sie nicht von anderen sich überlagernden Faktoren getrennt werden. Es konnte eine sehr gute Korrelation mit der Entwicklung der Lufttemperatur festgestellt werden.

Ähnliche Beobachtungen in Bezug auf den Temperaturanstieg im Grundwasser wurden auch in anderen Arbeiten gemacht. Der signifikante Temperaturanstieg zeigte sich ebenfalls im Rahmen der Arbeiten zum Forschungsprojekt ALP-WATER-SCARCE (KRALIK & SCHATNER 2010) in ausgewählten Quellwässern in Kärnten und in der Steiermark. Die kürzlich erschienene Studie der ZAMG und der TU Wien, „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ (BMLFUW 2010), die von Bund und Ländern beauftragt wurde, bestätigt den hier festgestellten Trend ebenfalls.

Die Wassertemperatur ist ein Schlüsselparameter, der verschiedene physikalische, chemische und mikrobielle Vorgänge beeinflusst. Vor allem die Löslichkeit von Gasen und die Grundwasserorganismen zeigen eine sensible Abhängigkeit von der Temperatur im Wasser.

Durch die gute Korrelation der Grundwassertemperatur mit der Lufttemperatur und dem in vielen Klimamodellen simulierten Lufttemperaturanstieg in den nächsten Jahrzehnten ist eine weitere Erhöhung der Grundwassertemperatur aus heutiger Sicht wahrscheinlich (siehe auch BMLFUW 2010).

Der Auswirkung dieser Entwicklung auf die Bewirtschaftung und Nutzung von Grundwasser, v. a. in Bezug auf Wärmeeinleitungen und allenfalls auf die Grundwasserqualität, sollte in Zukunft entsprechendes Augenmerk beigemessen werden.



# 1 EINLEITUNG

Im Rahmen verschiedener Auswertungen von Grundwasserdaten aus Österreich wurde die Tendenz zu einem Temperaturanstieg im Grundwasser in verschiedenen Regionen festgestellt. Diese Feststellung gab Anlass zur genaueren Analyse des Trendverhaltens der Wassertemperatur in Österreichs Grundwasserkörpern. Es wurden Trendtests auf der Ebene von Grundwasserkörpern und Gruppen von Grundwasserkörpern in ganz Österreich und in einer ausgewählten Region auch auf Messstellenebene durchgeführt. Zusätzlich zur Datenauswertung wurden auch potenzielle Ursachen der Veränderungen recherchiert, wobei unter anderem auf bereits bestehende Literatur zurückgegriffen wurde. Im Zuge dieser Recherchen konnte festgestellt werden, dass eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Temperatur im Grundwasserkörper wirken kann.

Für die statistische Analyse konnte auf eine solide Datenbasis des GZÜV<sup>1</sup>-Messnetzes zurückgegriffen werden. Es wurden rund 2.000 Stationen für die Analyse herangezogen, wobei aufgrund der für diese Analyse angewandten, sehr strengen Auswahlkriterien einige Messreihen nicht berücksichtigt werden konnten (z. B. Lücke in der Zeitreihe). Für den Zeitraum von 1997 bis einschließlich 2009 konnten schließlich 71 Grundwasserkörper (GWK) mit insgesamt 1.167 Messstellen mit lückenlosen Datenreihen untersucht werden.

Ziel dieser Arbeit war es, zusätzlich zur Darstellung des Trendverhaltens, einen Versuch anzustellen den Temperaturanstieg im Grundwasser auch kausal zu erklären. Dazu wurde in einem ausgewählten Grundwasserkörper – dem Marchfeld – für jede einzelne Messstelle eine Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren definiert und es wurde geprüft, ob ein Zusammenhang mit der Signifikanz und der Richtung des Trends herzustellen ist.

**Temperaturanstieg im Grundwasser festgestellt**

**1.167 GZÜV-Messstellen wurden untersucht**

---

<sup>1</sup> GZÜV: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung

## 2 DATENGRUNDLAGE UND METHODIK

### 2.1 Datengrundlage

#### **Zeitreihe 1997–2009**

Die Auswertungen wurden auf Basis von GZÜV-Daten durchgeführt, die auf Jahreswerte aggregiert wurden. Die untersuchten Zeitreihen umfassen die Periode 1997 bis einschließlich 2009. Der Beginn wurde mit 1997 festgelegt, da zu diesem Zeitpunkt der Messnetzausbau abgeschlossen war und daher weitgehend konsistente Zeitreihen vorliegen.

#### **Kriterien der Datenauswahl**

Für die Auswahl der Daten, die zur Analyse herangezogen wurden, wurden folgende Kriterien angewendet:

- Es müssen mindestens fünf auswertbare Messstellen pro GWK vorhanden sein,
- die Datenreihe (Jahresmittelwerte) muss von 1997 bis 2009 durchgängig sein und darf keine Lücken aufweisen.

Aufgrund der großen Messstellendichte des GZÜV-Messnetzes und trotz der oben angeführten strengen Auswahlkriterien konnte eine solide Datenbasis untersucht werden. Es wurden 1.167 Messstellen in 71 GWK in die Auswertung einbezogen.

### 2.2 Methodik

#### **Programm WATERSTAT**

Die statistische Analyse auf der Grundwasserkörperebene wurde mit dem Programm WATERSTAT durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine Software, die für die Trendanalyse aggregiert auf GWK entwickelt wurde. Die hier angewandte Methode wurde im Rahmen eines EU-Projektes (Ec 2001) ([www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net)) entwickelt. Das statistisch-methodische Konzept von WATERSTAT beruht auf den Trendtests „LOESS smoother“, einem linearen Regressionsmodell, und dem ANOVA-Test (ANalysis Of VAriance).

#### **Ermittlung des Trends**

Bei der Auswahl der Methodik zur Trendberechnung wurde diesem Ansatz der Vorzug gegeben, da eine Erweiterung der Methode auf eine Ursache-Wirkungsbeziehung möglich ist und u. a. auch nicht-monotone Trends, also auch solche, die Saisonalitäten feststellen können, detektiert werden können. Die Anwendung des linearen Ansatzes ist unter der Annahme, dass die Residuen (Zufallsfehler) annähernd normalverteilt sind, zulässig. Die Trendauswertung erfolgte auf GWK-Basis und in diesem Fall mit einer jährlich aggregierten Datengrundlage – sowohl für Poren- als auch für Karst- und Kluftgrundwasserkörper (Einzel-GWK und Gruppen von GWK). Das Signifikanzniveau lag bei 5 %.

#### **Trendanalyse einzelner Messstellen**

Zusätzlich kamen auch Trendanalysen auf Ebene einzelner Messstelle zur Anwendung. Diese wurden mit dem im hydrologischen Fachbereich häufig verwendeten Mann-Kendall-Trendtest durchgeführt. Um die Vergleichbarkeit mit den Auswertungen auf GWK-Ebene zu gewährleisten wurde ebenfalls mit Jahresmittelwerten gerechnet und auch hier lag das Signifikanzniveau für die Auswertungen bei 5 %. Die Untersuchung auf Messstellenebene ist deshalb von hoher Relevanz, da nur auf diese Weise lokale Einflussfaktoren, die erhebliche Wirkung auf die Grundwassertemperatur haben können, deutlich sichtbar werden.

### 3 TRENDANALYSE AUF EBENE DER GRUNDWASSERKÖRPER

Die Trends der Temperaturentwicklung wurden zunächst auf GWK-Ebene analysiert:

Es konnten 71 GWK in die Auswertung der Datenreihen von 1997 bis einschließlich 2009 aufgenommen werden, da diese den Auswertekriterien entsprachen. 41 (57,7 %) GWK wiesen einen signifikant positiven Trend, also einen Temperaturanstieg (Tabelle 1: Spalte Trendrichtung: ↗), auf. Der Anstieg der Temperatur bewegte sich im Bereich von 0,7 °C, wobei sich die Bandbreite von 0,4 °C bis 1,3 °C erstreckte. Eine Gruppe von GWK – „Nördliche Kalkalpen“ (RHE) – zeigte eine signifikante Temperaturabnahme (Tabelle 1: Spalte Trendrichtung: ↘). Bei 29 (40,8 %) GWK konnte kein signifikanter Trend festgestellt werden (Tabelle 1: Spalte Trendrichtung: –).

#### **Ergebnisse der GWK-Trendanalyse**

Tabelle 1: Ergebnisse der Trendanalyse auf GWK-Ebene.

Grundwasserkörper-Code	Grundwasserkörper [Planungsraum]	Trendrichtung	Anzahl auswertbarer Mst.
GK100002	Inntal [DBJ]	↗	29
GK100004	Lechtal [DBJ]	↗	5
GK100005	Pinzgauer Saalachtal [DBJ]	↗	16
GK100006	Unteres Salzachtal [DBJ]	↗	48
GK100009	Nördliche Kalkalpen [DBJ]	↗	35
GK100010	Zentralzone [DBJ]	↗	26
GK100013	Salzach – Inn – Mattig [DBJ]	–	16
GK100014	Salzburger Alpenvorland [DBJ]	↗	22
GK100017	Erlauftal/Pöchlamer Feld [DUJ]	↗	12
GK100018	Heideboden [DUJ]	↗	6
GK100019	Machland [DUJ]	–	10
GK100020	Marchfeld [DUJ]	↗	49
GK100021	Parndorfer Platte [LRR]	↗	6
GK100022	Pielachtal [DUJ]	–	8
GK100023	Südliches Machland [DUJ]	↗	6
GK100024	Südliches Wiener Becken [DUJ]	–	69
GK100025	Traisental [DUJ]	–	15
GK100026	Tullnerfeld [DUJ]	↗	48
GK100027	Unteres Ennstal [DUJ]	↗	16
GK100028	Ybbstal/Ybbser Scheibe [DUJ]	–	21
GK100032	Alpenvorland [DUJ]	–	19
GK100035	Weinviertel [DUJ]	–	11
GK100036	Eferdinger Becken [DUJ]	↗	14
GK100037	Liesing [MUR]	–	6
GK100038	Linzer Becken [DUJ]	–	6
GK100044	Vöckla – Ager – Traun – Alm [DUJ]	–	15
GK100045	Welser Heide [DUJ]	–	13
GK100055	Salzburger Hohe Tauern [DUJ]	–	7

Grundwasserkörper-Code	Grundwasserkörper [Planungsraum]	Trendrichtung	Anzahl auswertbarer Mst.
GK100057	Traun-Enns-Platte [DUJ]	↗	14
GK100059	Drautal [DRA]	↗	27
GK100061	Glantal [DRA]	↗	23
GK100062	Jauntal [DRA]	↗	12
GK100063	Klagenfurter Becken [DRA]	↗	8
GK100064	Krappfeld [DRA]	↗	8
GK100065	Lavanttal [DRA]	↗	11
GK100067	Rosental [DRA]	↗	11
GK100068	Tiebel [DRA]	–	7
GK100075	Sattnitz [DRA]	↗	6
GK100077	Südliche Kalkalpen [DRA]	–	7
GK100079	Böhmische Masse [ELB]	–	11
GK100081	Wulkatal [LRR]	↗	7
GK100094	Böhmische Masse [MAR]	↗	10
GK100095	Weinviertel [MAR]	–	25
GK100096	Aichfeld-Murboden (Judenburg – Knittelfeld) [MUR]	↗	19
GK100097	Grazer Feld (Graz/Andritz – Wildon) [MUR]	↗	26
GK100098	Leibnitzer Feld [MUR]	–	23
GK100099	Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]	↗	19
GK100100	Murdurchbruchstal (Bruck/Mur – Graz/Andritz) [MUR]	↗	10
GK100101	Oberes Murtal [MUR]	–	12
GK100102	Unteres Murtal [MUR]	–	24
GK100103	Kainach [MUR]	–	10
GK100104	Lassnitz, Stainzbach [MUR]	–	10
GK100126	Feistritztal [LRR]	–	10
GK100128	Ikvatal [LRR]	↗	8
GK100129	Lafnitztal [LRR]	↗	12
GK100130	Pinkatal [LRR]	↗	14
GK100131	Raabtal [LRR]	–	9
GK100132	Rabnitztal [LRR]	↗	7
GK100134	Seewinkel [LRR]	↗	24
GK100136	Stremtal [LRR]	↗	5
GK100149	Rheintal [RHE]	↗	22
GK100150	Walgau [RHE]	–	12
GK100154	Nördliche Kalkalpen [RHE]	↘	5
GK100156	Mürz [MUR]	↗	17
GK100176	Südliches Wiener Becken-Ostrand [DUJ]	–	9
GK100181	Hügelland Raab Ost [LRR]	↗	8
GK100185	Salzburger Hohe Tauern [MUR]	↗	11
GK100186	Zentralzone [DRA]	↗	16
GK100188	Flyschzone [DUJ]	–	6
GK100189	Nördliche Kalkalpen [DUJ]	–	49
GK100190	Böhmische Masse [DUJ]	–	54

In Abbildung 1 ist die geografische Verteilung der GWK mit und ohne Trend gut ersichtlich. Vor allem in Kärnten nördlich der Drau, in Tirol, Osttirol und Salzburg finden sich hauptsächlich GWK mit signifikanter Temperaturzunahme. Des Weiteren sind auch im Osten des Landes einige GWK mit steigender Temperatur feststellbar. Entlang der Donau verzeichnen die GWK Marchfeld [DUJ], Tullnerfeld [DUJ], Südliches Machland [DUJ], Unteres Ennstal [DUJ], Traun-Enns-Platte [DUJ] sowie Eferdinger Becken [DUJ] einen signifikanten Temperaturanstieg. In Vorarlberg befindet sich der einzige GWK (Nördliche Kalkalpen [RHE]) mit signifikanter Abnahme der Temperatur. Kein Trend zeigt sich in den meisten GWK in Nieder- und Oberösterreich sowie in Kärnten südlich der Drau. Große Teile der Steiermark sind aufgrund der strengen Auswahlkriterien der Datengrundlage nicht auswertbar. Das heißt, es sind in diesen GWK und Gruppen von GWK zwischen 1997 und 2009 weniger als fünf Messstellen mit lückenlosen Temperaturmessreihen vorhanden. Dabei handelt es sich vor allem um kleinere GWK, die ohnehin über nur wenige Messstellen verfügen.

***Temperaturanstieg  
v. a. im Südwesten  
Österreichs und  
entlang der Donau***

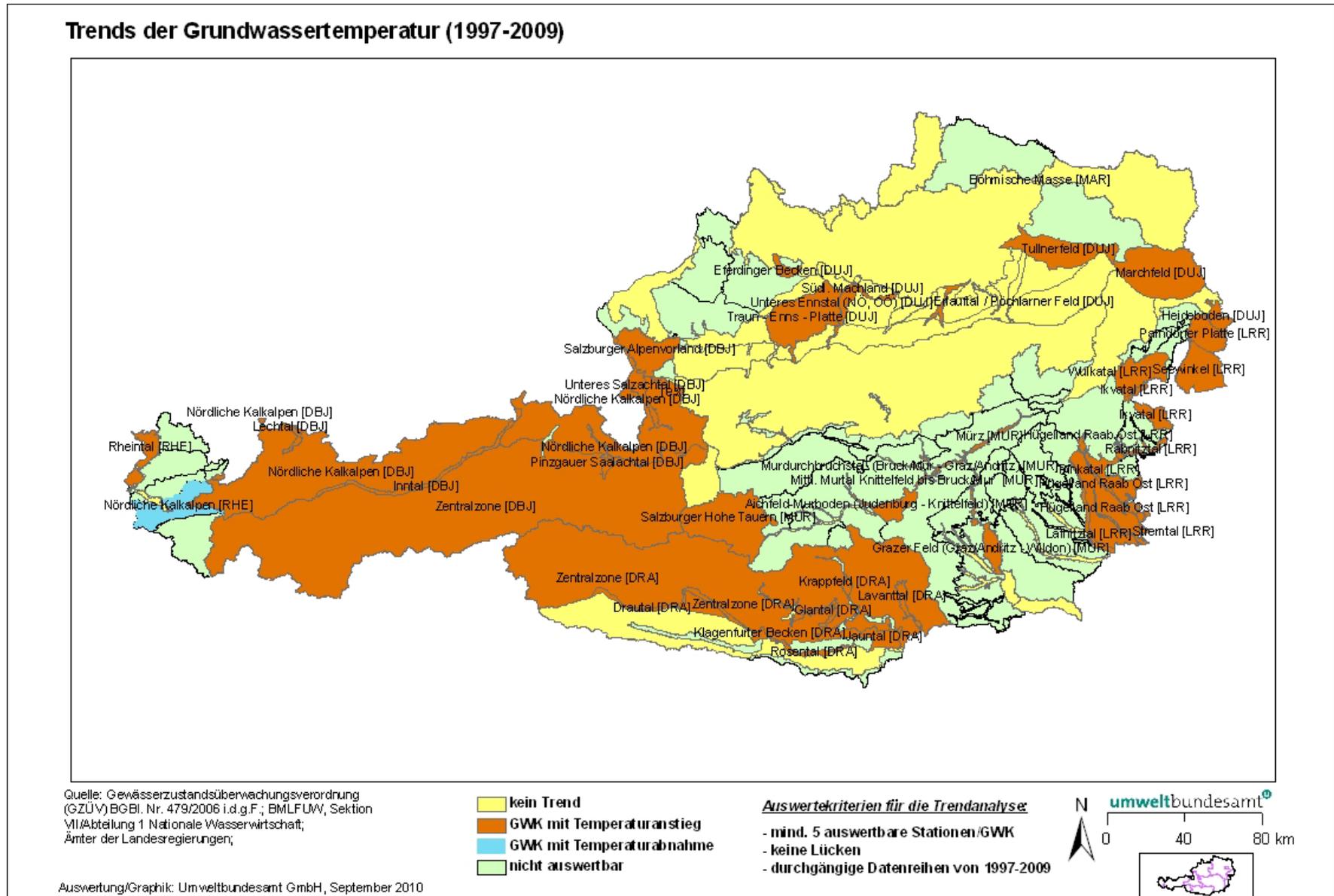


Abbildung 1: Karte mit Trends der Grundwassertemperatur (1997–2009).

## 4 MÖGLICHE URSACHEN FÜR ÄNDERUNGEN DER GRUNDWASSERTEMPERATUR

Die Auswertung der Grundwasserdaten zeigen einen deutlichen Anstieg der Temperatur in mehr als der Hälfte aller auswertbaren GWK in Österreich. Als nächsten Schritt galt es, die möglichen Ursachen für diese Erwärmung abzuklären. Der Zusammenhang mit dem durch den Klimawandel verursachten Lufttemperaturanstieg scheint zunächst naheliegend. Im Zuge von Recherchen in Fachliteratur wird jedoch ersichtlich, dass auch sehr kleinräumige Einflussfaktoren eine Wirkung auf die Temperatur des Grundwassers haben. Vor allem in besiedelten Gebieten können unterirdische Bauwerke wie Tunnel, U-Bahnschächte, Tiefgaragen, Keller, das Abwasserkanalnetz, Fernheizleitungen oder Stromtrassen zu einer direkten Beeinflussung und einer Erhöhung der Grundwassertemperatur führen (BLOBELT 1999). Geothermieanlagen, die für Heizzwecke genutzt werden, hingegen tragen zu einer Abkühlung des Grundwassers bei. Weitere Faktoren, die zu Veränderungen beitragen können, sind die Einleitung von Kühl- und Sickerwasser, Versickerung von Sommer- oder Winterniederschlägen (z. B. Dachwässer), Uferinfiltration und Baggerseen.

### ***kleinräumige Einflussfaktoren***

Indirekt kann die Grundwassertemperatur auch durch eine Störung des Wasserhaushalts, verursacht durch einen hohen Versiegelungsgrad oder durch Veränderung der Bodeneigenschaften durch Anhäufung von Baukörpern (Veränderung der Oberflächenwärmeleitung und -wärmekapazität), beeinflusst werden. Änderungen des Strahlungshaushaltes durch Veränderungen der Luftzusammensetzung können sich auch bis zu einem gewissen Maß auf die Grundwassertemperatur auswirken (CATHOMEN 2002).

Es ist auch sehr wahrscheinlich bzw. bekannt, dass stationstypische Einflussfaktoren wie z. B. die Art der Probenahme (Hahnenentnahme oder Bepumpung) oder der Messstelle sowie die Entnahmetiefe Auswirkungen auf die Temperaturmesswerte haben. Um einen solchen möglichen systematischen Fehler bestmöglich ausschließen zu können, wurde untersucht, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer dieser Variablen und dem Temperaturanstieg hergestellt werden kann (siehe Kapitel 6).

## 5 AUSWIRKUNGEN VON ÄNDERUNGEN DER (GRUND)WASSESTEMPERATUR

Verschiedene chemische Vorgänge im Wasser sind temperaturabhängig, was zu einer Beeinflussung der Wasserqualität führen kann. So ist z. B. die Löslichkeit aller Stoffe mehr oder weniger von der Temperatur abhängig.

### **kaum Auswirkung auf Löslichkeit von Feststoffen**

An den Beispielen Natriumchlorid und Kaliumchlorid soll hier der Einfluss der Temperatur auf die Löslichkeit im Wasser verdeutlicht werden: Während die Löslichkeit von Natriumchlorid bei 20 °C 26,5 Gewichtsprozent beträgt, liegt der Wert der Löslichkeit bei 80 °C bei 27,5 Gewichtsprozent. Ebenso steigt die Löslichkeit bei Kaliumchlorid von 25,5 (20 °C) auf 33,6 Gewichtsprozent bei 80 °C an (D'ANS-LAX, 1967).

Die beiden Beispiele illustrieren zwar die Abhängigkeit der Löslichkeit von der Temperatur, zeigen aber gleichzeitig auf, dass die Veränderung der Temperatur eines Grundwasserkörpers um weniger als 1 °C bis 1,5 °C keine größeren Auswirkungen auf die Feststoffanteile hat.

### **markante Auswirkung auf Löslichkeit von Gasen**

Die Wechselwirkung zwischen Gasen bzw. deren Löslichkeit und der Temperatur ist hingegen weitaus sensibler. Die folgende Tabelle zeigt die Löslichkeitskoeffizienten von reinem Sauerstoff, reinem Stickstoff und reinem Kohlendioxid in g(Gas)/kg(Wasser)/bar (D'ANS-LAX, 1967).

Tabelle 2: Löslichkeit von Gasen (Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid) bei unterschiedlichen Temperaturen (D'ANS-LAX 1967).

Temperatur (°C)	Sauerstoff	Stickstoff	Kohlendioxid
0	0,0676	0,0281	3,26
10	0,0526	0,0226	2,28
20	0,0428	0,0190	1,67

Die Wassertemperatur ist also ein Schlüsselparameter, der viele Prozesse mitbestimmt. Während Temperaturveränderungen von wenigen °C im Temperaturbereich von 0–20 °C nur geringfügige Auswirkungen auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Grundwassers haben, zeigen die Löslichkeit von Gasen und die Grundwasserfauna eine sensible Abhängigkeit von der Wassertemperatur.

### **bedeutende Auswirkung auf Mikroorganismen**

Wachstum, Vermehrung und Stoffwechsel der im Grundwasser lebenden Mikroorganismen sind ebenfalls an relativ enge Temperaturbereiche gebunden. Die bedeutende Wirkung der Mikroorganismen im Grundwasserleiter besteht im Abbau von organischen Stoffen, was wesentlich zur Grundwasserreinigung beiträgt. Temperaturänderungen im Grundwasserleiter beeinflussen somit die biologische Aktivität der Mikroorganismen und die Zusammensetzung der Fauna (BAUER et al. 2009).

## 6 DETAILUNTERSUCHUNGEN IM MARCHFELD

Da im Marchfeld eine sehr große Datendichte und ein signifikanter Trend zum Temperaturanstieg vorliegen, wurde dieser GWK exemplarisch für eine Detailuntersuchung herangezogen. Es befinden sich insgesamt 94 Grundwassermessstellen im Marchfeld, von welchen 49 im Detail analysiert wurden (siehe Abbildung 2). Es wurden jene Stationen ausgewählt, die aufgrund der Auswahlkriterien in die Trenduntersuchungen des GWK mit aufgenommen werden konnten. Stationen mit Ausreißern wurden zusätzlich aussortiert und nicht in die Detailanalyse einbezogen.

***49 Messstellen  
wurden untersucht***

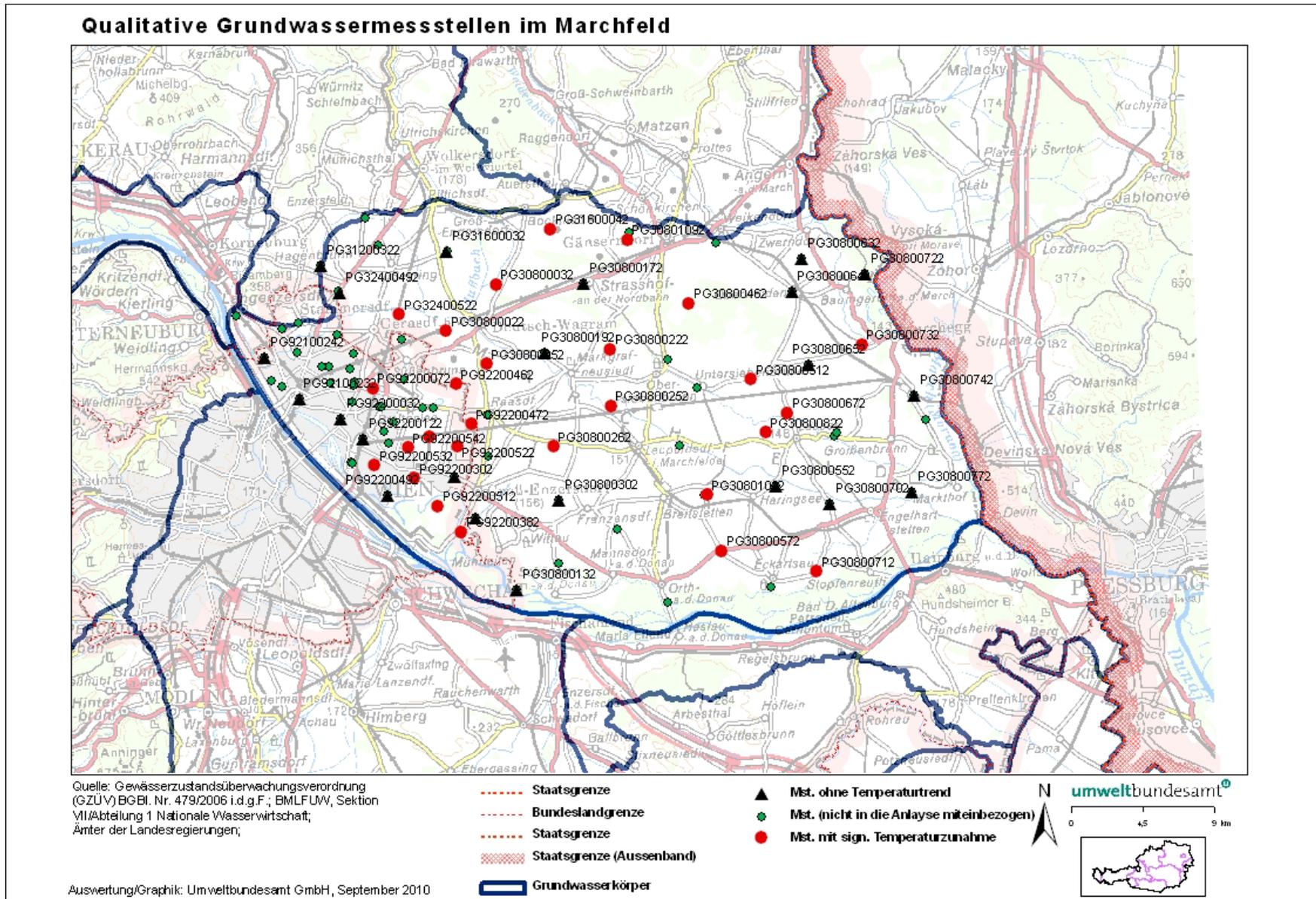


Abbildung 2: Qualitative Grundwassermessstellen im Marchfeld.

In Abbildung 3 werden die Ergebnisse aus der Statistiksoftware WATERSTAT für den GWK Marchfeld dargestellt. Die Grafik zeigt alle Messwerte der 49 Stationen, abgebildet auf einer Zeitachse. Es wurde ein signifikanter Trend festgestellt.

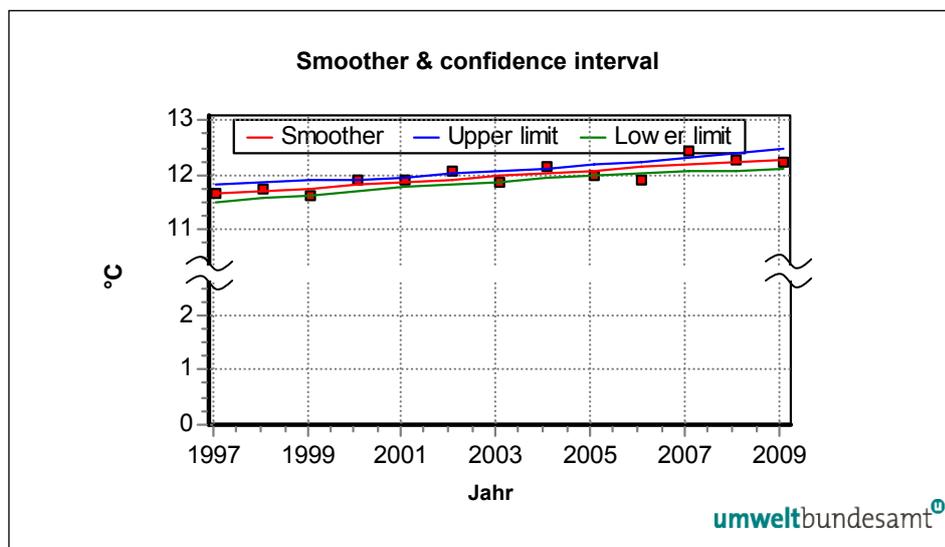
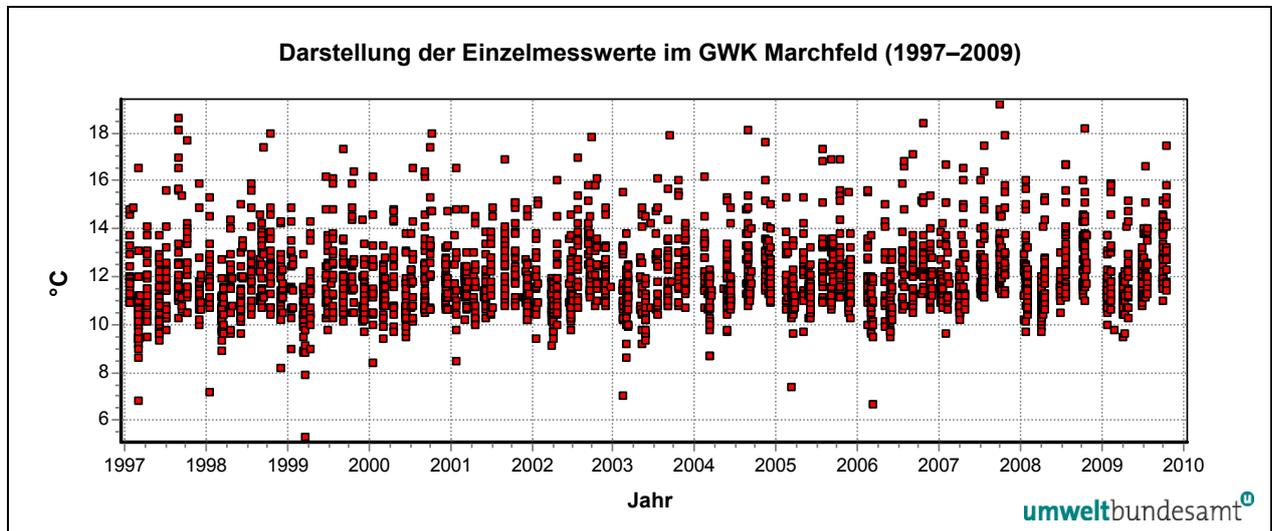


Abbildung 3: Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (jährliche Auflösung).  
Berechnungen: Umweltbundesamt.

Die Auswertungen wurden zusätzlich auch auf Basis halbjährlich und vierteljährlich aggregierter Daten durchgeführt. Die Anzahl der Stationen wird bei diesen Auswertungen auf jene reduziert, die jeweils im Bereich der zeitlichen Auflösung lückenlose Zeitreihen von 1997 bis 2009 aufweisen. Dadurch muss die Anzahl der Stationen, die auch bei höherer zeitlicher Auflösung allen Auswahlkriterien (siehe Kap. 2.1) entsprechen, nicht jener der jährlich aggregierten Datenauswertung entsprechen. Bei der halbjährlichen Auflösung konnten alle 49 Stationen mit einbezogen werden. Es konnte ein signifikant positiver Trend mit 5 % Temperaturanstieg festgestellt werden.

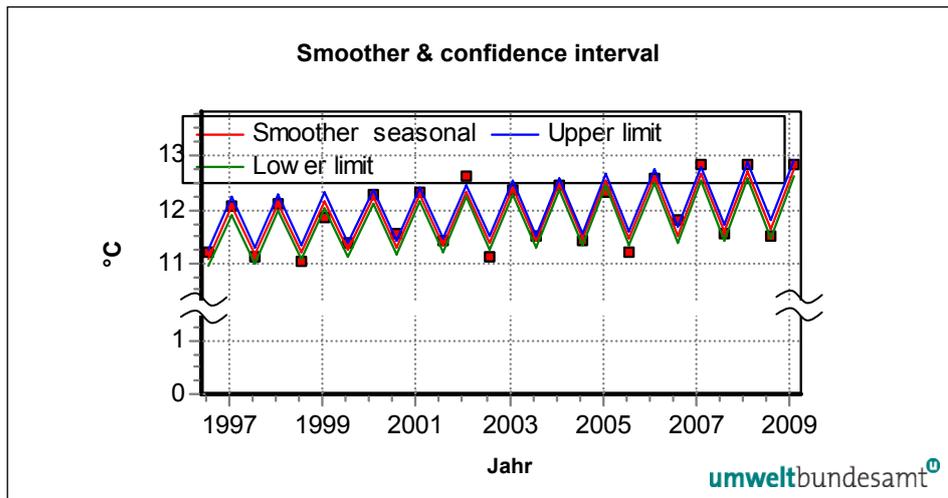


Abbildung 4: Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (halbjährliche Auflösung).

Das Ergebnis der Auswertung der halbjährlich aggregierten Daten liefert eine signifikante Saisonalität, was auch in der Grafik durch die jahreszeitlich unterschiedlich hohen Temperaturen ersichtlich ist.

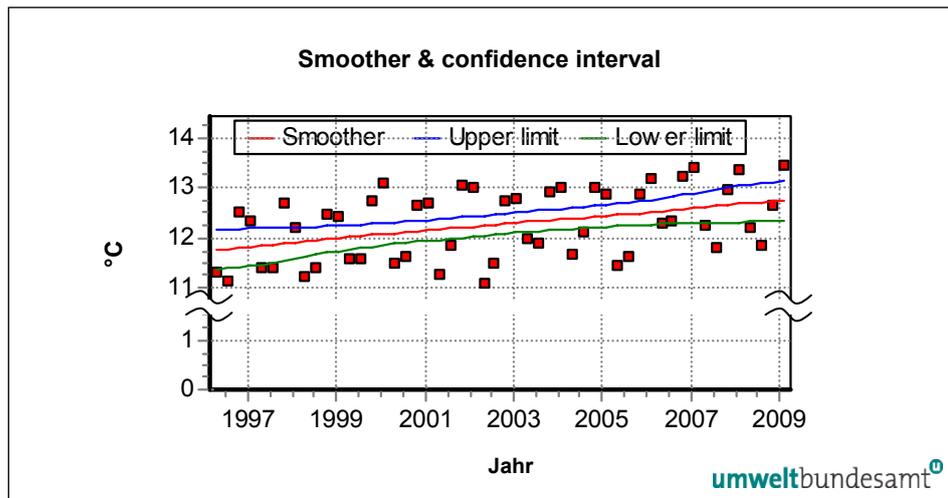


Abbildung 5: Ergebnisse des Trendtests aus WATERSTAT (vierteljährliche Auflösung).

Die Analyse bei vierteljährlicher Auflösung zeigt einen signifikanten Trend mit 8 % Temperaturanstieg. In diese Auswertung flossen die Daten aus 17 Messstellen ein.

**deutlicher Anstieg der Grundwassertemperatur**

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung, dass der Trend im Untersuchungsgebiet konsistent wiedergegeben wird. Sowohl bei der zeitlich geringsten, der jährlichen Auflösung mit der höchsten Anzahl an auswertbaren Messstellen, als auch bei zeitlich hoher (vierteljährlicher) Auflösung mit etwas weniger auswertbaren Messreihen zeigt sich der Trend zum Grundwassertemperaturanstieg im Marchfeld.

## 6.1 Einflussfaktoren und stationstypische Eigenschaften

Als nächster Schritt wurden im Marchfeld auf Ebene einzelner Messstellen mögliche Einflussfaktoren sowie stationstypische Eigenschaften untersucht, um potenzielle Zusammenhänge mit der Entwicklung der Grundwassertemperatur herstellen zu können. Hauptsächlich eingegrenzt durch die Verfügbarkeit von Daten wurden folgende Variablen für die Untersuchung herangezogen:

- Art der Probenahme,
- Art der Messstelle,
- Mächtigkeit der Wassersäule,
- Mittelwert Abstich,
- Rückhaltevermögen bzw. Durchlässigkeit,
- mittlere Grundwassertemperatur,
- mittlere Verweilzeiten des Grundwassers in Jahren,
- Messstelle von Siedlung beeinflusst (unter Berücksichtigung der Strömungsrichtung),
- Beeinflussung durch Oberflächengewässer im Umkreis von 500 m (unter Berücksichtigung der Strömungsrichtung) und
- Entfernung der Messstelle von der Entnahmestelle.

**berücksichtigte  
Charakteristika**

### 6.1.1 Charakteristika und deren mögliche Einflüsse auf die Grundwassertemperatur der ausgewählten Messstellen

Im Marchfeld finden sich bei den ausgewählten Messstellen zwei Arten von Probenahmen: die Entnahme mit einer mobilen Pumpe (34 Messstellen) und die Hahnentnahme (15 Messstellen). Es besteht die Möglichkeit, dass die Messung der Temperatur geringfügig durch die Probenahmeart beeinflusst werden kann.

**Art der Probenahme**

Zur selben Kategorie der stationstypischen Eigenschaften ist auch die Art der Messstelle zu zählen. Im Marchfeld sind fünf verschiedene Arten von Messstellen vorhanden. Die häufigsten sind die Sonde, der Bohrbrunnen und die Bohrsonde. Des Weiteren finden sich acht Schachtbrunnen und zwei Schlagbrunnen.

**Art der Messstelle**

Die Mächtigkeit der Wassersäule könnte ebenfalls ein temperaturbeeinflussendes Charakteristikum darstellen. Im Grundwasserkörper Marchfeld bewegt sich die Mächtigkeit der Wassersäule an den ausgewählten Messstellen zwischen ca. 0,8 m und knapp 21 m.

**Mächtigkeit der  
Wassersäule**

Die Temperatur im Grundwasser kann, je nachdem wie tief der Abstich ist, auch unterschiedlich stark über die Luft- und damit die Bodentemperatur beeinflusst werden. Daher wurde auch dieser Parameter in die Analyse mit einbezogen.

**Tiefe des Abstichs**

Des Weiteren wurde auch das Rückhaltevermögen gelöster Stoffe berücksichtigt. Dieser Einflussfaktor bezieht sich auf die Bodenbeschaffenheit und der damit einhergehenden Durchlässigkeit von Niederschlagswasser.

**Rückhaltevermögen  
gelöster Stoffe**

- mittlere Verweilzeit des Grundwassers** Untersuchungen (UMWELTBUNDESAMT 2008) ergaben, dass im Marchfeld mittlere Verweilzeiten des Grundwassers von wenigen Jahren bis hin zu über 50 Jahren vorzufinden sind. In Grundwasserkörpern mit sehr hohen Verweilzeiten ist davon auszugehen, dass sich verschiedene Einflussfaktoren erst zeitversetzt auswirken.
- Beeinflussung durch Siedlungsgebiete** An oberster Stelle der direkten anthropogen verursachten Grundwassertemperaturerhöhung steht die Beeinflussung durch Siedlungsgebiete, da hier wohl die stärksten Einflussfaktoren wirken. Der Besiedelungsgrad hat einen deutlichen Einfluss auf die Grundwassertemperatur. Beheizte Keller, das Abwasserkanalnetz, Einleitung von Kühlwasser oder auch die Flächenversiegelung wirken unmittelbar auf den Untergrund und das sich dort befindende Grundwasser (BLOBELT 1999).
- mittlere Grundwassertemperatur** Dort, wo das Grundwasser durch diese anthropogenen Einwirkungen beeinflusst wird, muss aber im Untersuchungszeitraum nicht unbedingt ein Trend festgestellt werden. Wenn z. B. wie im Großraum Wien die Einflussfaktoren schon seit mehreren Jahrzehnten gegeben sind, sind keine Trends mehr festzustellen. Die Grundwassertemperatur hat hier bereits höhere Werte angenommen als im unbeeinflussten Umland und verändert sich bei gleichbleibenden Verhältnissen kaum noch. In Wien lag die mittlere Grundwassertemperatur zwischen 1997 und 2009 bei 12,7°C, was um exakt 1°C höher ist als der Mittelwert aller anderen Messstellen im Marchfeld. Ein Zusammenhang zwischen der mittleren Grundwassertemperatur und dem Trendverhalten der Messreihe ist sehr wahrscheinlich.
- Einfluss von Oberflächengewässern** Die Tatsache, dass Oberflächengewässer wesentlich schneller auf veränderte Umgebungstemperaturen reagieren als das Grundwasser, lässt darauf schließen, dass der Wasseraustausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser die Temperatur im Grundwasser erheblich beeinflussen kann. Der Großteil der Messstellen im Marchfeld ist nicht direkt von Oberflächengewässern beeinflusst.

## 6.2 Luft- und Bodentemperaturentwicklung im Marchfeld

- HISTALP stellt Langzeit-Lufttemperaturmessreihen zur Verfügung** In Groß Enzersdorf im Marchfeld wird bereits seit 1936 die Lufttemperatur gemessen. Im Zuge des Projekts HISTALP (AUER et al. 2007) wurden die Daten der Messreihe homogenisiert und auf der Projekthomepage der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. In Abbildung 6 ist die Langzeitreihe der Jahresmittelwerte der Messstelle Groß Enzersdorf geglättet dargestellt. Die Temperatur stieg im abgebildeten Zeitraum (1937–2006) signifikant (Mann-Kendall Trendtest, 5 % Signifikanzniveau) an.

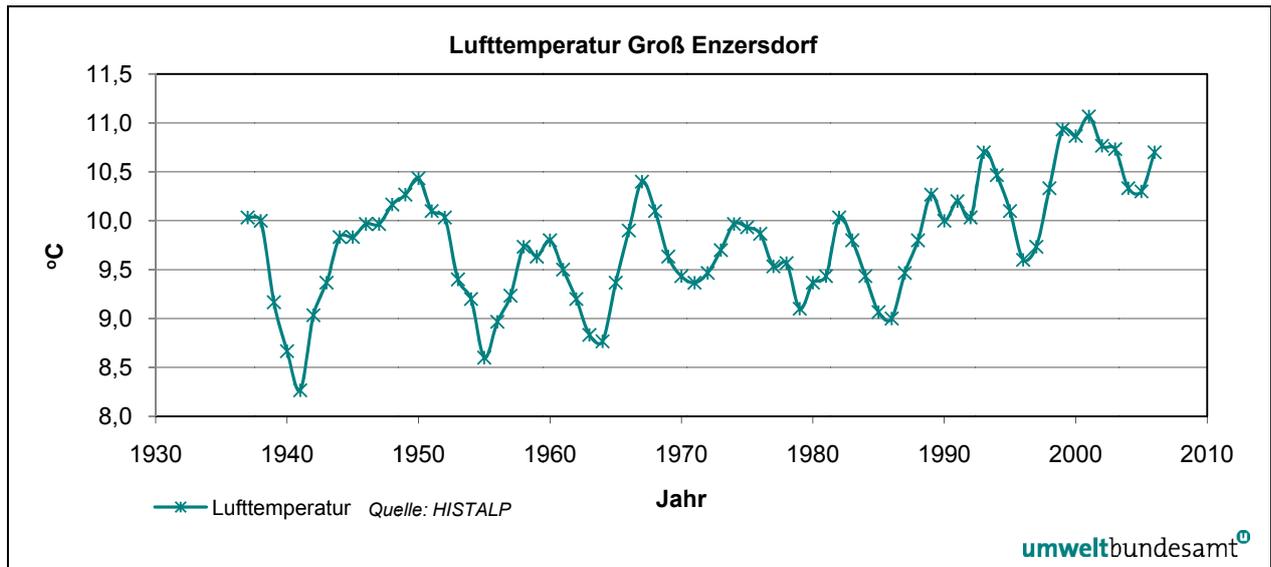


Abbildung 6: Langzeitmessreihe der Lufttemperatur in Groß Enzersdorf (geglättete Jahresmittel).  
Quelle: HISTALP, AUER et al. (2007).

In Abbildung 7 ist ein Teilausschnitt (1980–2006) der Messreihe der Lufttemperatur in Groß Enzersdorf (Quelle: AUER et al. 2007), eine Messreihe (1995–2008) der Bodentemperatur in 185 cm Tiefe (Quelle: Agrarmeteorologische Station der BOKU Wien, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft) und eine Messreihe (1992–2006) der Grundwassertemperatur (Quelle: eHyd, Hydrografischer Dienst Wien) abgebildet. Die Werte sind auf Monatsbasis gemittelt. Für die Trendberechnungen der Luft- und Bodentemperaturmessreihen wurden ebenfalls Monatsmittel herangezogen.

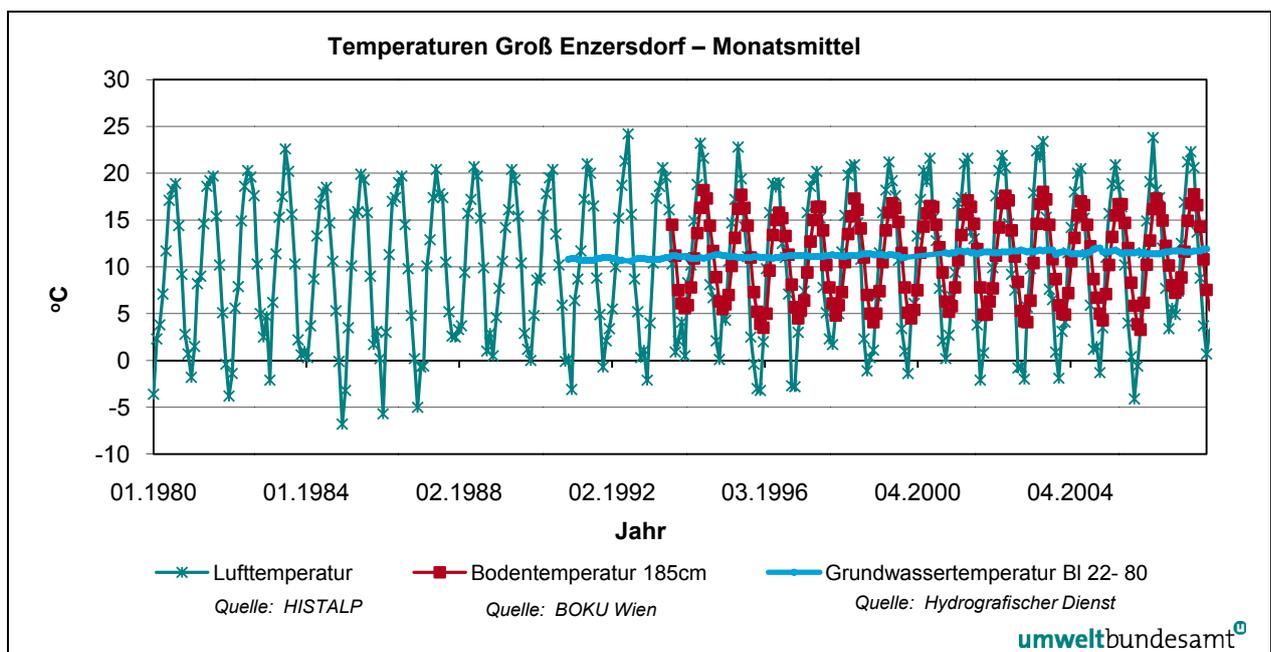


Abbildung 7: Luft-, Boden- und Grundwassertemperatur in Groß Enzersdorf (Monatsmittel).  
Quellen: HISTALP, AUER et al. (2007); Agrarmeteorologische Station der BOKU Wien, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft; eHyd, Hydrografischer Dienst.

Um die langjährige Charakteristik einer klimatologischen oder hydrologischen Messreihe sichtbar zu machen, wird ihr Verlauf üblicherweise geglättet (siehe Abbildung 6 und Abbildung 8). Mit dem Glättungsverfahren werden die starken Sprünge der Messwerte von Monat zu Monat oder von Jahr zu Jahr gedämpft, indem Mittelwerte über mehrere Jahre oder Jahrzehnte gebildet werden. Erst dadurch tritt das langfristige Verhalten in den Vordergrund (BADER & BANTLE 2004).

In Abbildung 8 wird zusätzlich zu den Luft-, Boden- und Grundwassermessreihen das Temperaturmittel aller in dieser Arbeit analysierten Grundwassermessstellen im Marchfeld abgebildet.

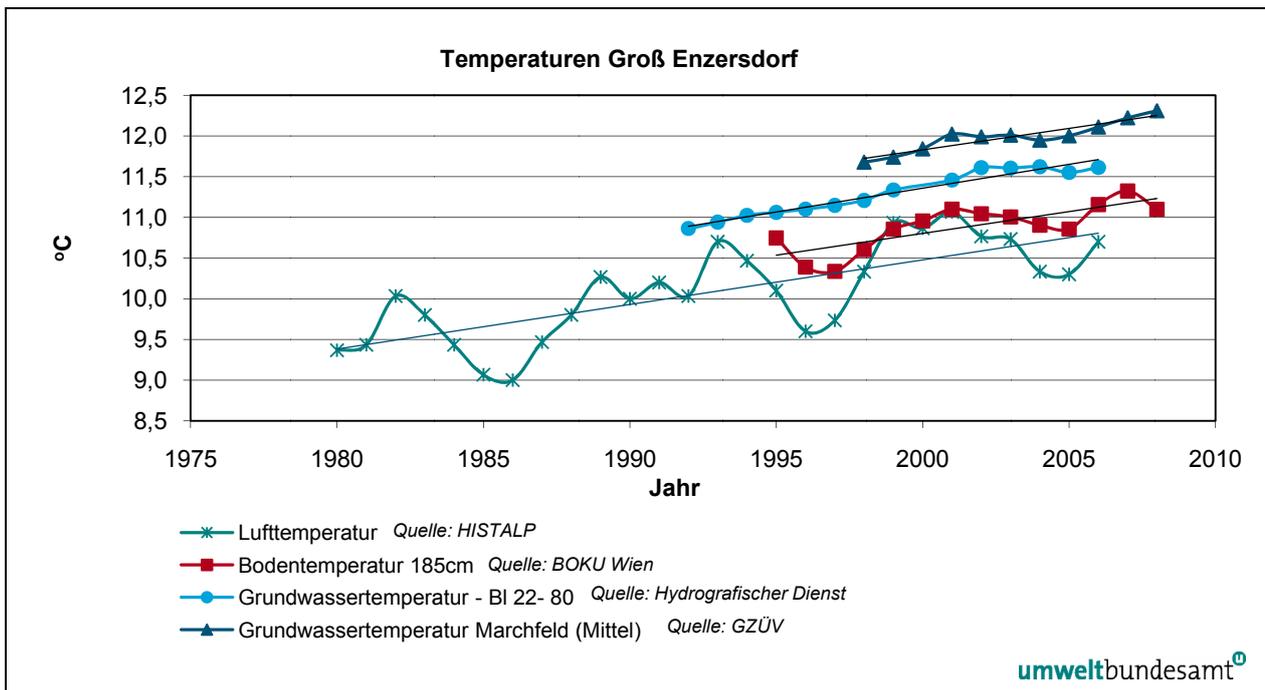


Abbildung 8: Luft-, Boden- und Grundwassertemperatur in Groß Enzersdorf und Grundwassertemperatur im Marchfeld (geglättete Jahresmittel).  
 Quellen: HISTALP, AUER et al. (2007); Agrarmeteorologische Station der BOKU Wien, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft; eHyd, Hydrografischer Dienst; Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV); BMLFUW, Sektion VII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

**Zusammenhang  
 Grundwasser-, Luft-  
 und Bodentempe-  
 ratur**

Es ist gut zu erkennen, dass die Bodentemperatur die Entwicklung der Lufttemperatur gedämpft wiedergibt. Die Messreihe unterliegt allerdings nicht denselben Schwankungen wie die Lufttemperatur. Starke Schwankungen werden trotzdem widerspiegelt. Sie zeigen sich abgeschwächt und mit größerer zeitlicher Verschiebung. Die Grundwassertemperaturen aller Messtellen im Marchfeld sind im Mittel wärmer als die Temperaturen an der Wiener Grundwassermessstelle BI 22-80 (Nähe Groß Enzersdorf). Der zeitliche Verlauf der Temperaturänderungen stimmt jedoch sehr gut überein.

## 7 FAZIT UND DISKUSSION

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von 1997–2009 ein signifikanter Grundwassertemperaturanstieg im Bereich von 0,7 °C (Bandbreite 0,4 °C bis 1,3 °C) in mehr als der Hälfte aller untersuchten Grundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern in Österreich stattgefunden hat. Aufgrund der Literaturrecherche wurden mehrere direkte, indirekte, anthropogene oder natürliche Einflussfaktoren auf die Temperatur des Grundwassers identifiziert. Beim Versuch mehr oder weniger starke Einflüsse gezielt herauszufiltern, konnte festgestellt werden, dass sich die verschiedenen Faktoren überlagern dürften und nicht differenzierbar sind.

Obwohl die stationstypischen Charakteristika und mitunter sehr kleinräumige Einflussfaktoren auf die Temperatur im Grundwasser wirken, können sie nicht von anderen sich überlagernden Faktoren getrennt werden. Es konnte eine sehr gute Korrelation mit der Entwicklung der Lufttemperatur festgestellt werden.

Ähnliche Beobachtungen in Bezug auf den Temperaturanstieg im Grundwasser wurden auch in anderen Arbeiten gemacht. Der signifikante Temperaturanstieg zeigte sich ebenfalls im Rahmen der Arbeiten zum Forschungsprojekt ALP-WATER-SCARCE (KRALIK & SCHATNER 2010) in ausgewählten Quellwässern in Kärnten und in der Steiermark. Die kürzlich erschienene Studie der ZAMG und der TU Wien, „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ (BMLFUW 2010), die von Bund und Ländern beauftragt wurde, bestätigt den hier festgestellten Trend ebenfalls.

Die Wassertemperatur ist ein Schlüsselparameter, der verschiedene physikalische, chemische und mikrobielle Vorgänge beeinflusst. Durch die gute Korrelation der Grundwassertemperatur mit der Lufttemperatur und dem in vielen Klimamodellen simulierten Lufttemperaturanstieg in den nächsten Jahrzehnten ist eine weitere Erhöhung der Grundwassertemperatur aus heutiger Sicht wahrscheinlich (siehe auch BMLFUW 2010).

Der Auswirkung dieser Entwicklung auf die Bewirtschaftung und Nutzung von Grundwasser, v. a. in Bezug auf Wärmeeinleitungen und allenfalls auf die Grundwasserqualität, sollte in Zukunft entsprechendes Augenmerk beigemessen werden.

**Temperaturanstieg  
im Bereich v. 0,7 °C**

**Lufttemperatur  
beeinflusst  
Grundwassertem-  
peratur**

**weiterer  
Temperaturanstieg  
ist absehbar**

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- AUER, I., BÖHM, R., JURKOVIC, A., LIPA, W., ORLIK, A., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., UNGERSBÖCK, M., MATULLA, C., BRIFFA, K., JONES, P.D., EFTHYMIADIS, D., BRUNETTI, M., NANNI, T., MAUGERI, M., MERCALLI, L., MESTRE, O., MOISSELIN, J.-M., BEGERT, M., MÜLLER-WESTERMEIER, G., KVETON, V., BOCHNICEK, O., STASTNY, P., LAPIN, M., SZALAI, S., SZENTIMREY, T., CEGNAR, T., DOLINAR, M., GAJIC-CAPKA, M., ZANINOVIC, K., MAJSTOROVIC, Z., NIEPLOVA, E., (2007): HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology* 27: 17–46.
- BADER, S. & BANTLE, H. (2004): Das Schweizer Klima im Trend – Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864–2001. *Meteoschweiz* (Hrsg.), Zürich.
- BAUER, M., EPPINGER, A., FRANSEN, W., HEINZ, M., KEIM, B., MAHLER, D., MILKOWSKI, N., PASLER, U., ROLLAND, K., SCHÖLCH-IGHODARO, R., STEIN, U., VÖRÖSHAZI, M., WINGERING, M., (2009): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen. Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), 1. Auflage, Reutlingen.
- BLOBELT, A. (1999): Geogene und anthropogene Temperaturveränderungen im oberflächennahen Grundwasser Berlins. Diplomarbeit, Institut für Angewandte Geowissenschaften II, Fachgebiet Angewandte Geophysik, Technische Universität Berlin.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Kurzfassung. Studie der ZAMG und der TU Wien im Auftrag von Bund und Ländern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Sektion Wasser (Hrsg).
- CATHOMEN, N. (2002): Wärmetransport im Grundwasser – Auswirkungen von Wärmepumpenanlagen auf die Grundwassertemperatur am Beispiel der Gemeinde Altach im Vorarlberger Rheintal. Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- D'ANS-LAX, E. (1967): Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band 1: Makroskopische chem.-physikal. Eigenschaften, Springer-Verlag, 3. Auflage.
- EC – European Commission (2001): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report No. 1: The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results.
- HYDROGRAFISCHER DIENST: <http://gis.lebensministerium.at/eHYD> (Zugriff am 10.2010).
- KRALIK, M. & SCHATNER, CH. (2010): Temperature and Isotope-Trends in Carinthian and Styrian Springs. Bericht aus: ETC – ALPINE SPACE Program – Applied Research project ALP-WATER-SCARCE: Hydro-chemical and isotope investigations in the pilot area Carinthia and Styria.
- UMWELTBUNDESAMT (2008): Kralik, M.; Humer, F.; Grath, J. & Loishandl-Weisz, H.: Pilotprojekt Grundwasseralter. Reports, Bd. REP-0220. Umweltbundesamt, Wien.

### Rechtsnormen und Leitlinien

- Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.
- BOKU Wien, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft: Agrarmeteorologische Station der BOKU Wien



**Umweltbundesamt GmbH**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

[office@umweltbundesamt.at](mailto:office@umweltbundesamt.at)

[www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)

Vor dem Hintergrund der Diskussion zu Auswirkungen des Klimawandels wurden die Daten zu Grundwassertemperaturen für den Zeitraum 1997 bis 2009 auf Veränderungen untersucht. Für die Trendermittlung wurden 71 der insgesamt 128 Grundwasserkörper analysiert. Es zeigte sich, dass ein signifikanter Temperaturanstieg von ca. 0,7 °C in mehr als der Hälfte der untersuchten Grundwasserkörper stattgefunden hat.

Die Ergebnisse korrelieren mit der Entwicklung der Lufttemperatur, weshalb in den nächsten Jahrzehnten mit steigenden Grundwassertemperaturen gerechnet werden muss. Es ist bekannt, dass auch kleinräumige Faktoren Einfluss auf die Entwicklung der Grundwassertemperatur haben. Ein direkter Zusammenhang konnte im Rahmen dieser Arbeit aber nicht festgestellt werden.