

## NEUE ENERGIEN 2020

### Publizierbarer Endbericht – INDEX

#### **Programmsteuerung:**

Klima- und Energiefonds

#### **Programmabwicklung:**

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

#### **Autoren**

Dipl.-Hydr. Karin Spiegelhalter, DI Rupert Ebenbichler, DI Dr. Ernst Fleischhacker, DI Dr. Robert Sitzenfrei, Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Rauch, Dipl.-Inform. Heiko Kinzel

### **1 Einleitung**

Im Zuge der ersten Energiekrise im Jahre 1973 begann man intensiv nach erneuerbaren Energiequellen zu forschen. Eine der Möglichkeiten, die Sonnenenergie zu nutzen, stellt der Einsatz von Wärmepumpen und Kühlanlagen dar. In der Folge der Energiekrise gab es eine massive Anwendung der Technologie und damit einhergehend zahlreiche Untersuchungen hinsichtlich technischer, ökologischer und rechtlicher Fragestellungen. Nach einem Einbruch in den 90ern des 20. Jahrhunderts (bedingt durch das Fallen der Energiepreise) ist seit einigen Jahren wieder ein Anstieg des Einsatzes derartiger Systeme zu beobachten.

Wärmepumpen stellen eine wichtige Technologie zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme dar. Dabei kann die Wärme dem Boden entweder über ein geschlossenes System (d.h. die Trägerflüssigkeit kommt nicht direkt mit dem Boden/Grundwasser in Berührung) oder über ein offenes System (d.h. Grundwasser wird dem Boden entnommen und die enthaltene Wärme wird genutzt) entzogen werden. Letztere Methode wird im Weiteren als Grundwasserwärmepumpe bezeichnet. Gleichermaßen kann das Boden/Wassersystem auch zur Kühlung verwendet werden. Es ist auch möglich, beide Betriebsarten zu kombinieren (im Winter heizen / im Sommer kühlen). Dieser nach Jahreszeiten wechselnde Betrieb (folgend alternierender Betrieb genannt) ist einer einseitigen Nutzung vorzuziehen, da diese Vorgangsweise zu einer ausgeglichenen Temperaturbilanz des Grundwasserkörpers führt. So lässt sich eine deutlich schonendere und gleichzeitig bessere Ausnutzung der Ressource Grundwasser erreichen.

Zu den zahlreichen sonstigen Nutzungen und Beanspruchungen des Grundwassers (z.B. als Trinkwasserressource) kommt daher eine weitere hinzu, nämlich die thermische. Dabei stellt die thermische Belastung durch die Rückeinleitung des energetisch genutzten Wassers ein besonderes Problem dar. Es stellt sich nicht nur die Frage, auf welche Art und Weise der Grundwasserkörper durch die Veränderung der Temperatur betroffen ist, sondern auch, welche ökologischen Auswirkungen derartige Temperaturanomalien auf das Gesamtsystem der Grund- und Trinkwasserbewirtschaftung haben.

Bisher wird für die Planung, wie auch für Genehmigungsverfahren, von einer nach analytischen Methoden berechneten stationären Temperaturfahne ausgegangen, die sich nach circa 10 Betriebsjahren im Boden einstellt. Der alternierende Betrieb einer Anlage ist bislang in keinem österreichischen Regelblatt berücksichtigt worden. So werden bisher als häufig zwei stationäre Zustände für beide Betriebsarten berechnet und aus diesen zwei Berechnungen wird auf die Auswirkungen des Projektes auf den Grundwasserkörper geschlossen.

Um die Auswirkungen dieser Eingriffe genauer untersuchen zu können, bieten sich computergestützte, numerische Simulationen der Ausbreitung von Temperaturanomalien an. Es existieren bereits sehr exakte Wärmetransportmodelle in kommerziellen Produkten. Mit ihnen können, wenn die benötigten Bodenparameter in ausreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung vorliegen, sehr gute Vorhersagen der Ausbreitung von Temperaturanomalien in eng begrenzten Gebieten getätigt werden. Zur Beurteilung, welchen Einfluss viele verschiedene Anlagen in einem großen Gebiet haben, sind sie aber - aufgrund der fehlenden verfügbaren Datengrundlagen in größeren Arealen - nicht geeignet. Für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung ist jedoch eine umfassende Beurteilung auf regionaler Ebene essentiell. Für diese, wie auch für die Berechnung der Auswirkungen von Anlagen mit alternierender Betriebsweise, existieren bislang keine geeigneten Werkzeuge. Bei den heutzutage angewandten Verfahren zur Erfassung des alternierenden Betriebs ist eine Berücksichtigung der Dynamik nicht möglich, obwohl Fachleute davon ausgehen, dass der alternierende Betrieb von Grundwasserwärmepumpen in Zukunft verstärkt eingesetzt werden wird.

Um den Einfluss verschiedener lokaler thermischer Grundwassernutzungen auf das Gesamtsystem untersuchen zu können, werden robuste Verfahren benötigt, welche auch bei geringer Datenauflösung Aussagen mit ausreichender Genauigkeit hinsichtlich der Ausbreitung der Temperaturveränderungen im Grundwasserkörper ermöglichen. Daher wurde 2006/07 vom Antragsteller und Projektpartner P1 für die Praxis das Grundwassertemperaturinformationssystem (GWTEMPIS) entwickelt. Der Schwerpunkt des vorliegenden Projektes GEOPOT liegt in einer Weiterentwicklung des Berechnungs- und Darstellungsmodelles GWTEMPIS. Damit leistet das Programm einen Beitrag zu den energiestrategischen, systembezogenen und technologiestrategischen Zielen des Programms Energie 2020 im Bereich der industriellen Forschung.

Das Berechnungs- und Darstellungsmodell GEOPOT zeichnet sich u.a. dadurch aus, dass es Grundwasseranomalien nicht nur in 2, sondern auch in 3 Dimensionen berechnen und darstellen kann. Hierfür wurde basierend auf einem 2-dimensionalen Modell zur Berechnung eines stationären Brunnenbetriebs ein 3-dimensionales Modell entwickelt. Zusätzlich wurde ein weiteres Modul, ein quasi 3D-Modell, zur Simulation eines instationären Brunnenbetriebs integriert. Eine Weiterentwicklung stellt auch die Berücksichtigung von Erdwärmesonden und deren 3-dimensionale Fahnen dar. Die Berechnungen in GEOPOT können für mehrere Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserkörper durchgeführt werden.

Zur Durchführung des Projektes wurden folgende Methoden angewandt: Das Modell basiert auf den Berechnungs- und Darstellungsmodellen EGON-GWXZ und GWTEMPIS. Zur Programmierung und Implementierung von GEOPOT in das GIS-System wurden die Programmiersprachen C++ und Python verwendet. Die Bedienung des Modells und die Darstellung der Ergebnisse erfolgen über das Geoinformationssystem ArcGIS 10.0. Bei durchgeführten Messkampagnen wurden Abstichmessungen mittels Kabellichtlot durchgeführt.

Das Projekt wurde in die folgenden 7 Arbeitspakete gegliedert:

- AP1: Projektleitung
- AP2: Detaillierte Spezifikation der Anforderungen an die Berechnungsmodelle
- AP3: Modellentwicklung
- AP4: GIS-Implementierung
- AP5: Regionale geothermische Potentialermittlung – Methodik
- AP6: Modellgebiet Innsbruck
- AP7: Verbreitung der Ergebnisse

## 2 Inhaltliche Darstellung

### 2.1 Anforderungen an die Berechnungsmodelle

Ziel des Projekts GEOPOT war es ein regionales Berechnungsmodell zu erstellen, welches eine Weiterentwicklung von GWTEMPIS darstellt. Hierzu wurden in einem ersten Schritt im Rahmen von Ausarbeitungen und Besprechungen die wünschenswerten sowie technisch möglichen und sinnvollen Anforderungen an die zu entwickelnde Berechnungsmodelle diskutiert und festgelegt. Es entstand ein Pflichtenheft, in welchem Zielbestimmungen in Form von Muss-, Soll-, Kann- und Abgrenzungskriterien festgehalten wurden. Auch wurde das Produkt näher spezifiziert.

### 2.2 Die entwickelten Modelle und ihre Integration ins GIS

Basierend auf dem Pflichtenheft wurden das Berechnungsmodell sowie die numerischen Algorithmen erarbeitet und in die Software GEOPOT implementiert. GEOPOT ist modular aufgebaut und in das GIS-System ARC Info eingebunden. Es wurden Modelle für die thermische Grundwassernutzung sowohl mittels **offener Systeme (Grundwasserbrunnen)**, als auch mittels **geschlossener Systeme (Erdwärmesonden)** erarbeitet.

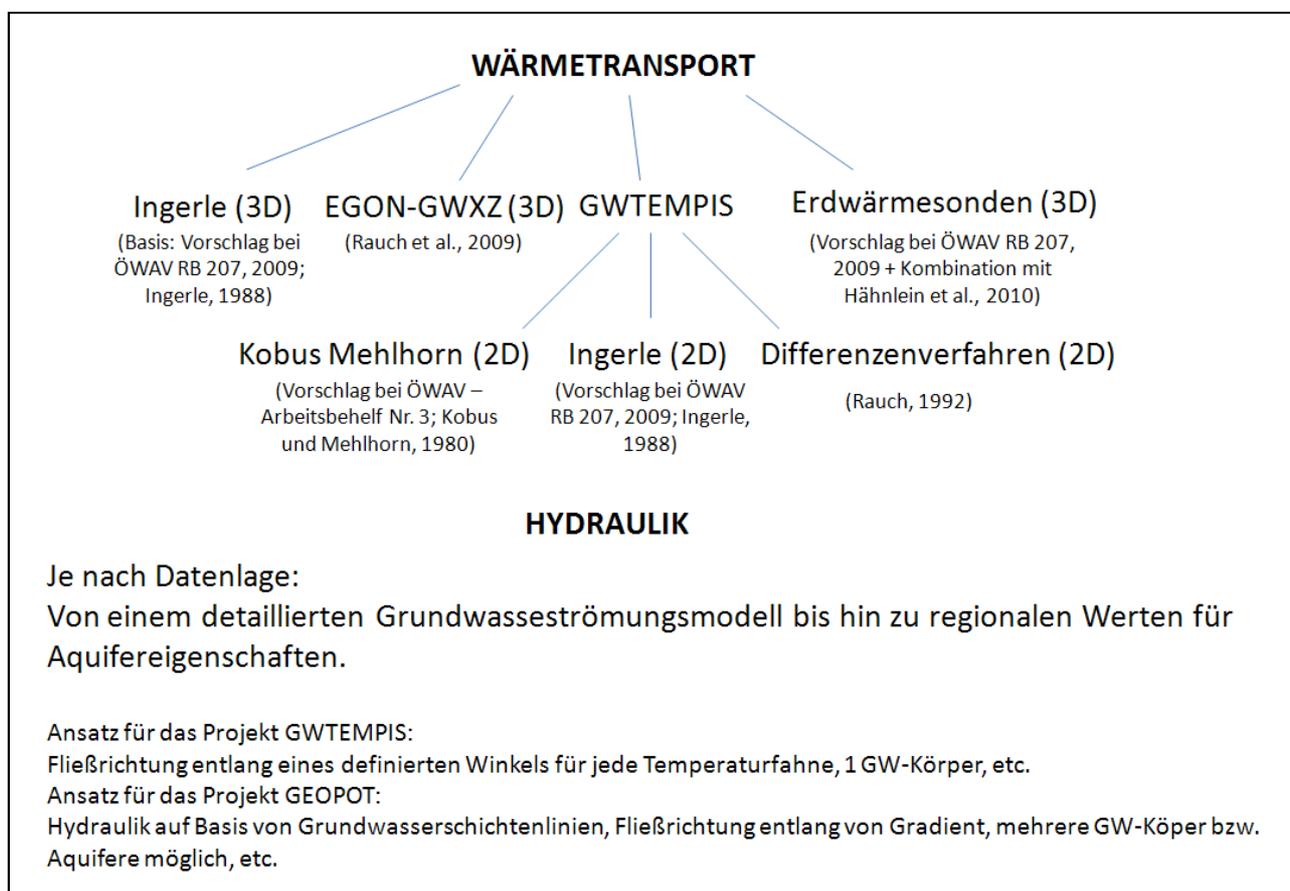
GEOPOT berechnet auf Grundlage der Inputdaten die Ausbreitung von Temperaturanomalien bzw. die effektive Temperatur des Grundwassers. In das Softwarewerkzeug GEOPOT wurden folgende Berechnungsmethoden implementiert:

Ingerle 3D: Basierend auf dem Ingerle-Verfahren (Ingerle, 1988, vorgeschlagener Berechnungsansatz nach ÖWAV-RB 207, 2009) werden für anzugebende Tiefen Temperaturanomalien berechnet. Dieses Berechnungsverfahren berücksichtigt ausschließlich stationäre Verhältnisse. Daher muss die tatsächliche Nutzung auf einen Jahresmittelwert umgerechnet werden. Insbesondere bei instationär sowie intermittierend betriebenen Anlage ist dieser Ansatz nicht zutreffend.

EGON-GWXZ: Im Zuge des Projektes GEOPOT wurde das quasi 3D-Modell EGON-GWXZ (Rauch et al., 2009) entwickelt, welches auch einen instationären Brunnenbetrieb berücksichtigen kann. Die Berechnung erfolgt in einem Vertikalschnitt entlang der Zentralstromlinie basierend auf einem Charakteristikenverfahren. Für die Berechnung der vertikalen Wärmeausbreitung wurde eine empirische Ausbreitungsformel (unter Einbezug des konvektiven Wärmetransportes, Wärmeleitung und Dispersion) entwickelt und implementiert. Dies ermöglicht eine quasi 3 dimensionale instationäre Beschreibung von Temperaturanomalien.

GWTEMPIS: 2D-Temperaturanomalien werden auf Basis des verbesserten GWTEMPIS-Programmes berechnet (Wasser- und Wärmetransport entlang des Gradienten der Grundwasserspiegelhöhen etc.) Es stehen wie beim ursprünglichen GWTEMPIS drei Berechnungsmethoden zur Auswahl: Die Berechnung nach Kobus Mehlhorn (1980), die nach dem Ingerle-Verfahren (Ingerle, 1988) und die nach dem 2D finiten Differenzenverfahren nach Rauch (1992).

Für die Berücksichtigung der thermischen Auswirkung von Erdwärmesonden wurde der vorgeschlagene Berechnungsansatz nach ÖWAV-RB 207 (2009) in GEOPOT implementiert. Da dieses Verfahren jedoch keine Grundwasserfließgeschwindigkeiten berücksichtigt, wurde dieser Berechnungsansatz kombiniert mit einer empirischen Beschreibung von Temperaturanomalien von Erdwärmesonden im Grundwasserstrom (Hähnlein et al., 2010).



**Abbildung 1:** Schema modularer Aufbau des Modells GEOPOT.

Für eine benutzerfreundliche Handhabung des Programms und zur Visualisierung der Ergebnisse wurden die Modelle in ein GIS implementiert. Während die Modelle selbst aufgrund der benötigten Geschwindigkeit in C++ geschrieben wurden, basieren die GIS-Funktionen sowie die Schnittstellen zwischen den Berechnungsmodellen und dem GIS auf Python.

## 2.3 Methodik für die Potentialanalyse

Aufbauend auf den entwickelten Modellen und ihrer Integration ins GIS wurde eine Methodik entwickelt, um letztlich eine regionale Potentialanalyse durchführen zu können. Sie besteht aus den drei Teilen Datenerhebung, Simulation und Potentialanalyse.

### Datenerhebung

Inputdaten für die Modelle sind die räumliche Abgrenzung von Grundwasserkörpern, Grundwasserschichtenlinien sowie Angaben zu Geothermieanlagen und zum Grundwasserkörper. Diese Daten müssen in einem ersten Schritt erhoben werden.

Mit der Definition von Grundwasserkörpern wird einerseits das Modellgebiet festgelegt, andererseits können mit der Definition von Grundwasserkörpern z.B. durch Flüsse abgetrennte Aquifere getrennt betrachtet werden. Auch ist die Berechnung von Temperaturanomalien für verschiedene Grundwasserstockwerke auf diese Weise möglich.

Um die Temperaturfahren entlang von Grundwasserfließwege darzustellen, ist die Angabe von Grundwasserschichtenlinien nötig. Es ist abzuklären, ob und in welcher Form für das Modellgebiet Grundwasserschichtenpläne vorliegen. Gegebenenfalls sind analog vorliegende Grundwasserschichtenlinien zu digitalisieren. Wenn diese jedoch nicht vorhanden sind oder unzureichend erscheinen (z.B. durch Unplausibilitäten), sind Messkampagnen zur Erstellung von Grundwasserschichtenlinien durchzuführen bzw. die Grundwasserschichtenpläne sind „ingenieurmäßig“ abzuschätzen. An möglichst vielen von Grundwasserbrunnen unbeeinflussten Stellen (z.B. Grundwassermessonden oder aufgelassene Brunnen) kann die Grundwasserspiegellage mit Hilfe eines Kabellichtlots bestimmt werden. Temperaturprofile zur späteren Validierung der Simulation und zur Erhebung des thermalen Ist-Zustand des Grundwasserkörpers sind ebenfalls aufzunehmen. Die Messkampagnen sollten möglichst über das Jahr verteilt liegen, um jahreszeitlich unterschiedliche Daten zu erhalten. Mit Hilfe der so gewonnenen Punktdaten können Grundwasserschichtenpläne interpoliert werden.

Den dritten Input stellen Informationen zu den bestehenden Grund- bzw. Erdwärmennutzungen sowie zum betrachteten Grundwasserkörper dar. Zur Grundwassernutzung werden folgende Daten benötigt: Mittlere Temperaturspreizung (Heiz-, Kühlbetrieb, intermittierender Betrieb), durchschnittlich eingeleitete Wassermenge, Verfilterungsstrecke der Brunnen sowie zur Simulation von instationären Brunnenbetriebszuständen auch monatliche Angaben zur Temperaturspreizung und der Grundwasserrückgabemenge. Die Berechnung der Erdwärmennutzung basiert hingegen auf Entnahmeleistungen und Sondenlängen. Zum Grundwasserkörper sind folgende Untergrundkennwerte anzugeben: Mächtigkeit des Aquifers, Überdeckung (Deckschicht), hydraulische Leitfähigkeit und Grundwasserspiegelgefälle. Für Parameter wie Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Porosität, etc. werden üblicherweise empfohlene Werte aus z.B. ÖWAV-RB 207 (2009) verwendet, bei detailliertem Wissen können diese aber auch angegeben werden. Zum Definieren von Temperaturanomalien wird zusätzlich die Temperatur des unbeeinflussten Grundwassers benötigt (aus GW-Messungen oder Abschätzung über die Oberflächentemperatur im Jahresmittel).

## **Simulation**

Nach erfolgreicher Datenerhebung kann die Simulation von Temperaturanomalien mit dem Programm GEOPOT erfolgen. Die Eingabe der benötigten Daten sowie die Darstellung der Ergebnisse erfolgt über ein ArcGIS-System. Anhand von gemessenen oder erhobenen Grundwassertemperaturdaten können die simulierten Temperaturanomalien anschließend validiert werden.

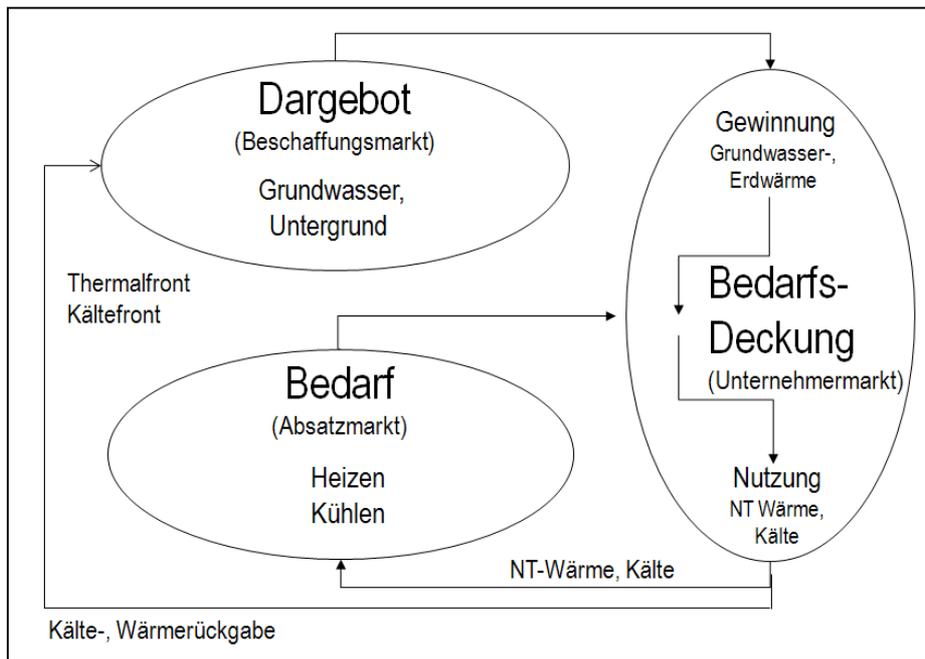
## **Potentialanalyse**

Im Rahmen des GEOPOT-Forschungsprojektes wurde eine Methodik entwickelt, welche die Grundlage zur Berechnung verschiedener Potentiale darstellt. Die Potentiale sollen mögliche geothermische Grundwassernutzungen aufzeigen und somit eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung unter Nutzung der erneuerbaren Energiequelle Geothermie vorantreiben, beziehungsweise deren Stellenwert in einer österreichischen Klimastrategie aufzeigen.

In einem ersten Schritt wird die Berechnung des maximalen Potentials eines Projektgebiets durchgeführt (Energiedargebot eines Grundwasserkörpers bzw. theoretisches Gesamtpotential). In einem zweiten Schritt kann ein Potential berechnet werden, welches die derzeitige Grundwassernutzung berücksichtigt (theoretisch nutzbares Potential). Ein möglichst realistisches Potential für zukünftige Grundwassernutzungsanlagen stellt das Potential dar, welches nicht nur die derzeitigen Grundwassernutzungen, sondern auch Bereiche, welche weniger zur geothermischen Grundwassernutzung geeignet sind, berücksichtigt (technisch nutzbares Potential).

Um die berechneten Potentiale bewerten zu können, werden sie dem Wärmebedarf im Modellgebiet gegenübergestellt. Der Wärmebedarf wird aufgegliedert in den Heizwärmebedarf und in den Wärmebedarf für Warmwasser. Er kann z.B. über die Regionalen Energiebilanzen der Statistik Austria bzw. den darauf basierenden bundesländerspezifischen Nutzenergieanalyse-Auswertungen für das Modellgebiet abgeschätzt werden.

Die Verknüpfung zwischen dem Wärmebedarf und dem Wärmedargebot (in Form der berechneten Potentiale) bildet die Bedarfsdeckung wie sie im Energieressourcenbewirtschaftungssystem nach Fleischhacker (1994) dargestellt ist (vgl. Abbildung 2). Es gilt zu ermitteln, zu welchem Anteil sich der Wärmebedarf mittels der berechneten Potentiale decken lässt.



**Abbildung 2:** Schema des Ressourcenbewirtschaftungssystems nach Fleischhacker (1994).

## 2.4 Fallbeispiel: Anwendung der Simulation und Methodik auf das Projektgebiet Innsbruck

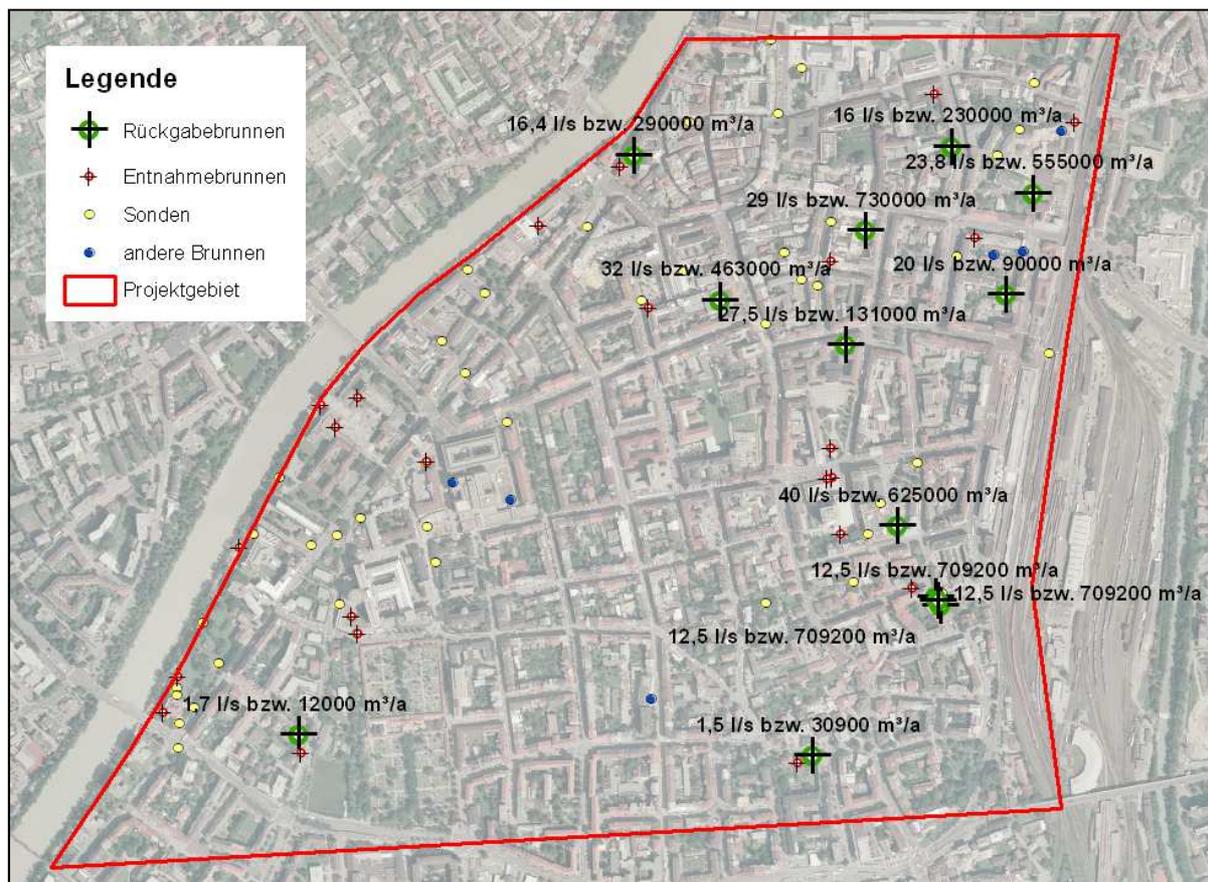
Die entwickelten Berechnungs- und Darstellungsmodelle sowie die Methodik zur Ermittlung verschiedener Potentiale wurden im Projektgebiet Innsbruck angewandt. Die Auswahl fiel auf dieses Projektgebiet, da der Grundwasserkörper in diesem Bereich bereits stark genutzt wird. Inwieweit Grundwasser hier ergänzend zur weiteren thermischen Nutzung verwendet werden kann, war eine der Hauptfragestellungen des Projektes.

### Datenerhebung

In einem ersten Schritt wurden Daten zu den 13 im Projektgebiet bestehenden Grundwassernutzungen erhoben. Es handelt sich bei den Anlagen um 2 Wärmepumpen, 5 Kühlanlagen und 6 kombinierte Anlagen. Erdwärmesonden befinden sich keine im Projektgebiet. Als Informationsquelle dienten der Bohrlochkataster sowie die Wasserwirtschaftsdatenbank des Landes Tirol. Ergänzend wurden eigene Wasserbücherhebungen durchgeführt.

Als zweiter Modellinput wurden Grundwasserschichtenpläne benötigt. Aufgrund von Unplausibilitäten in vorhandenen Grundwasserschichtenplänen sowie erforderlichen detaillierten Grundwassertemperaturdaten wurden nahezu monatlich Messkampagnen durchgeführt. Neben der Messung der Grundwasserspiegellage bzw. des Wasserstandes bei Oberflächengewässern mit Hilfe eines Kabellichtlots wurde auch an jeder Grundwassermessstelle die Grundwassertemperatur mit der Tiefe gemessen. Aus diesen Messdaten konnten durch Interpolationen Grundwasserschichtenlinien sowie Grundwassertemperaturkarten erstellt werden.

Als Grundwasserkörper wurde das gesamte Projektgebiet (vgl. Abbildung 3) definiert.

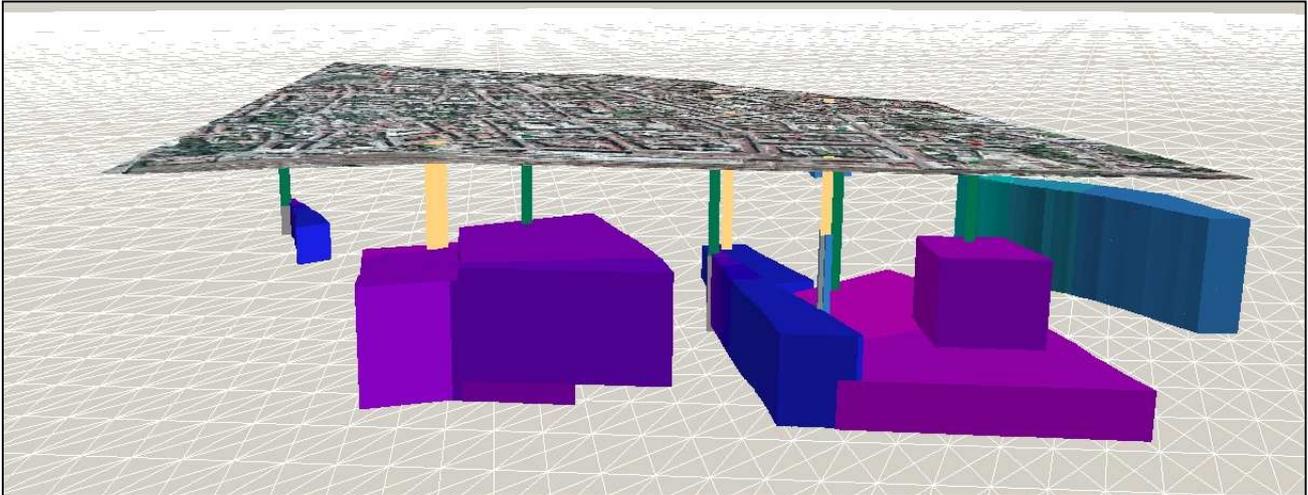


**Abbildung 3:** Projektgebiet mit Grundwassernutzungen. Darstellung der Konsenswassermengen der Rückgabeburinnen.

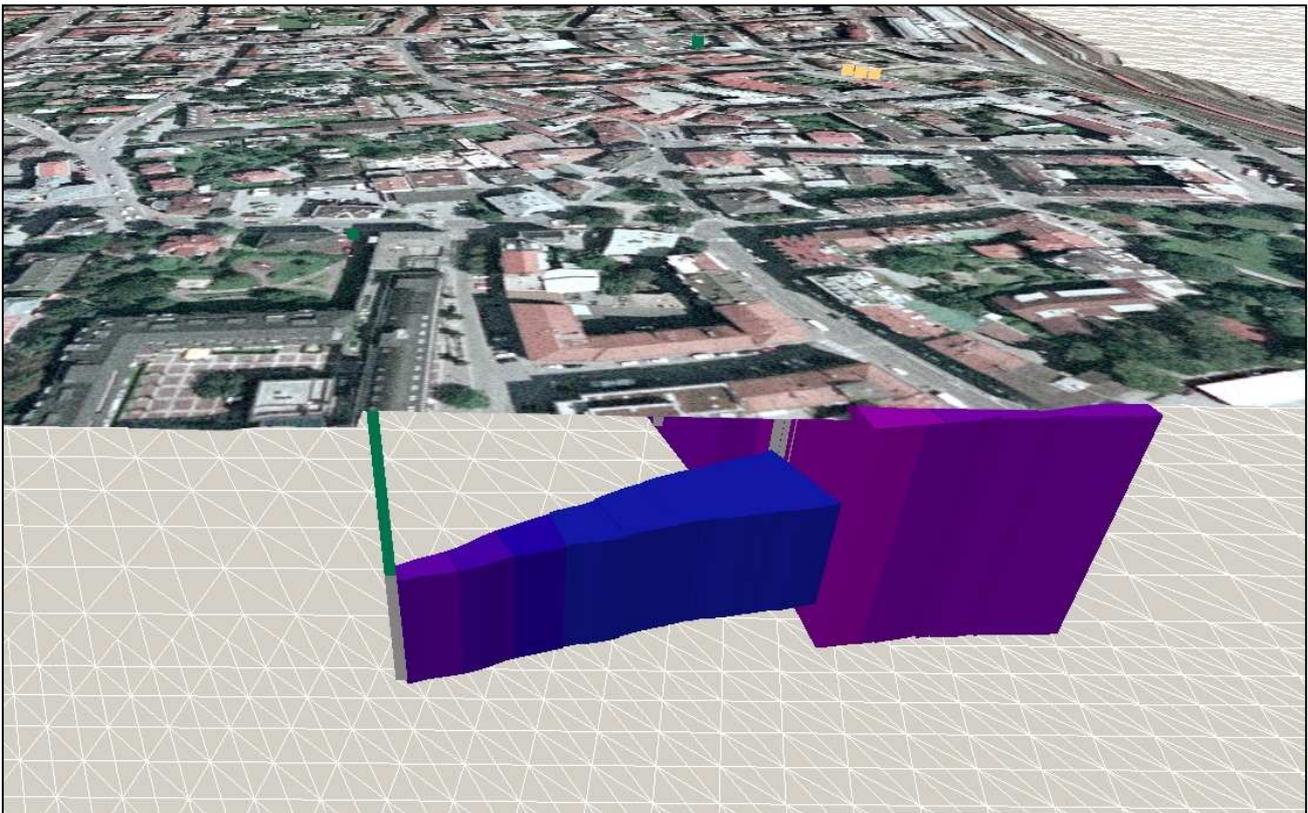
## Simulation

Als erster Schritt wurden auf Grundlage der vorhandenen Isohypsen-Daten und der Angaben zu den Grundwassernutzungen mit dem bestehenden Softwarewerkzeug GWTEMPIS Thermalfrontenpläne in 2D erstellt. Auf Basis der neu erhobenen Daten konnten anschließend die 3D-Simulationen von Temperaturanomalien mit GEOPOT durchgeführt werden. Die Implementierung der Modelle in ein Geoinformationssystem (GIS) ermöglichte die anschließende dreidimensionale Darstellung von Wärme- bzw. Kältefahnen: Bei den Wärmepumpen ist der Verlauf von sehr niedrigen Wassertemperaturen zu höheren, bei Kühlanlagen von höheren zu niedrigeren Temperaturen sichtbar (s. Abbildung 4 & Abbildung 5).

Um die simulierten Ergebnisse zu verifizieren, wurden die ermittelten Grundwassertemperaturen an Stellen verglichen, an welchen Werte während der Messkampagnen aufgenommen und Temperaturanomalien mit GEOPOT dargestellt wurden. Zusätzlich konnte durch die Verwendung von Betriebsdaten einer Grundwassernutzungsanlage die Güte des Modells sowie die Abhängigkeit der Modellierungsergebnisse von den Inputdaten aufgezeigt werden. Eine Sensitivitätsanalyse bestimmter Inputparameter zeigte, wie die Rückgabemenge, die Temperaturspreizung, die hydraulische Durchlässigkeit sowie das Grundwasserspiegelgefälle Einfluss auf die Länge und Breite der Temperaturfahnen nehmen.



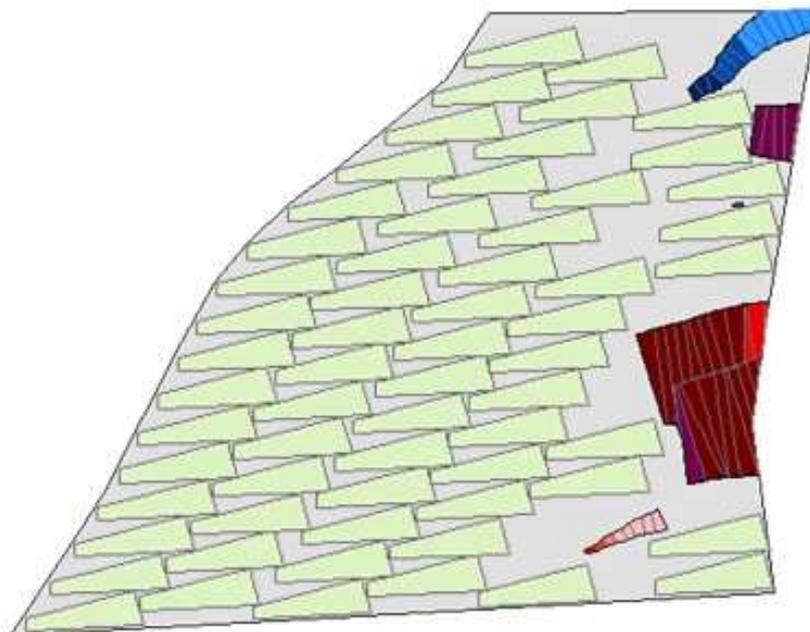
**Abbildung 4:** Beispiel für eine Anwendung von GEOPOT: Temperaturfahnen im Innenstadtbereich von Innsbruck. (hellviolett – warme Temperaturen, hellblau – kalte Temperaturen, Rückgabeburgen: grün: Kühlanlagen, rot: Wärmepumpen, gelb: kombinierte Anlagen graue Bereiche: Filterstrecken der Brunnenanlagen).



**Abbildung 5:** Beispiel für die Temperaturfahne einer Kühlanlage: Rückgabe von warmem Wasser, welches sich in Fließrichtung abkühlt.

## Potentialanalyse

Ausgehend von der im ÖWAV-Regelblatt 207 maximal zulässigen Spreizung am Ort der Einleitung von 6 K und einem mittleren Grundwasserstrom durch das Projektgebiet wurde ein maximales Wärmeenergiedargebot im Projektgebiet berechnet. Im Rahmen eines nachhaltigen Grundwasserressourcenmanagements wurde für die Berechnung des theoretischen Gesamtpotentials jedoch eine mittlere Grundwassertemperaturveränderung von 2,8 K angenommen. Durch die Berücksichtigung bestehender Grundwassernutzungen reduzierte sich das theoretische Gesamtpotential hin zum theoretisch nutzbaren Potential. Zur Berechnung des technisch nutzbaren Potentials wurden vier „Basis-Anomaliefahnen“ erzeugt, welche jeweils auf einer mittleren Temperaturveränderung des Grundwasserkörpers von 2,8 K und auf einer Rückgabemenge von 2 l/s (Typ A), 5 l/s (Typ B), 10 l/s (Typ C) bzw. 20 l/s (Typ D) beruhen. Diese potentiellen Grundwassernutzungsanlagen wurden möglichst oft in den noch nutzbaren Bereich des Grundwasserkörpers in verschiedenen Tiefen platziert - unter der Annahme einer bevorzugten Grundwasserfließrichtung im Modellgebiet (Bsp. s. Abbildung 6). Das technisch nutzbare Potential wurde über Flächenanteile der so platzierten Fahnen am Gesamtgebiet über die gesamte Tiefe und bezogen auf das theoretische Gesamtpotential berechnet.



**Abbildung 6:** Darstellung des technisch nutzbaren Potentials (Summe der grünen Fahnen), Typ B.

Den so berechneten Potentialen wurde ein geschätzter Gesamtwärmebedarf gegenübergestellt. Werte zu den einzelnen Potentialen, dem Gesamtwärmebedarf sowie der Bedarfsdeckung können nachfolgender Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 1:** Ergebnis der Potentialanalyse (Annahme: Nutzungsgrad der Anlagen: 75 %).

	Leistungs- potential [kW]	Betrieb [h/a]	Energie- potential [GWh/a]	Gesamtbedarf [GWh/a]	Bedarfsdeckung [%]
Energiedargebot	3.750	2500	9,4	191	4,9
Theoret. Gesamtpotential	1.748	2500	4,4	191	2,3
Theoretisch nutzbares Potential – GEOPOT	1.575	2500	3,9	191	2,1
Theoretisch nutzbares Potential - GWTEMPIS	1.320	2500	3,3	191	1,7
Praktisch nutzbares Potential – Typ A GEOPOT	959	2500	2,4	191	1,3
Praktisch nutzbares Potential – Typ B GEOPOT	959	2500	2,4	191	1,3
Praktisch nutzbares Potential – Typ C GEOPOT	844	2500	2,1	191	1,1
Praktisch nutzbares Potential – Typ D GEOPOT	590	2500	1,5	191	0,8

Diesen Werten ist eine derzeitige durchschnittliche Bedarfsdeckung am Gesamtwärmebedarf durch Wärmepumpen in Tirol von 1,2 % gegenüberzustellen. Rechnerisch ergibt sich – bezogen auf das Projektgebiet – eine aktuelle Bedarfsdeckung von 0,2 %. Die im Vergleich zum Durchschnitt Tirols geringe derzeitige Bedarfsdeckung durch Geothermieanlagen im Projektgebiet ergibt sich u.a. durch die hohe Besiedlungsdichte der Innenstadt Innsbrucks. Eine Steigerung der geothermischen Nutzung ist im Projektgebiet jedoch möglich, wie es die durchgeführte Potentialanalyse aufzeigt.

### 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Ergebnis des Projektes ist die Software GEOPOT sowie eine Methodik zur Ermittlung des regionalen, geothermischen Potentials. Die Software sowie die Methodik wurden erfolgreich getestet und auf das Pilotgebiet Innsbruck angewandt.

Mittels GEOPOT können die Auswirkungen von Grundwassernutzungen auf den Grundwasserkörper nicht nur zweidimensional, sondern auch in der dritten Dimension dargestellt werden, wodurch ein detailliertes Aufzeigen geeigneter Standorte für zukünftige Grundwassernutzungsanlagen möglich ist. Darüber hinaus werden neben Grundwasserwärmepumpen auch Erdwärmesonden in der Berechnung der Temperaturverhältnisse im Grundwasser berücksichtigt. Durch die Verbesserungen und Weiterentwicklung bestehender Modelle wurde nicht nur die Rechenzeit verringert und die Hydraulik optimiert, es können nun auch verschiedene Medien und Grundwasserstockwerke berücksichtigt werden.

Die wichtigsten Leistungsmerkmale der Software GEOPOT sind:

- Ermittlung und Darstellung der Auswirkungen von geothermischen Wärmenutzungen auf regionaler Ebene in der Praxis.
- Schaffung von Grundlagen für die Einreichung und behördliche Bewilligung solcher Anlagen.
- Ermittlung und Darstellung des nachhaltig nutzbaren geothermischen Potentials auf regionaler Ebene.

Das Programm ist für die Verwendung in Forschung und Praxis entwickelt worden und stellt ein innovatives Werkzeug für eine effiziente und nachhaltige thermische Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser dar. Es ist nicht nur für Forschungsgruppen und regionale Entwicklungsgruppen interessant, sondern kann auch von Genehmigungsbehörden direkt in Genehmigungsverfahren für geothermische Anlagen verwendet werden. Wenn in GEOPOT sämtliche bestehende Anlagen eingepflegt sind, können die Auswirkungen von zur Genehmigung vorgelegten Anlagen direkt berechnet und untersucht werden. Auch für Planungsbüros im Bereich Geothermie kann es sinnvoll sein, schon in der ersten Planungsphase die Realisierbarkeit von Anlagen untersuchen zu können.

## 4 Ausblick und Empfehlungen

Durch die Durchführung des Projektes GEOPOT wurden die Möglichkeiten zum Aufbau und zur Erweiterungen eines Modells zur Berechnung von Temperaturanomalien im regionalen Kontext ausgereizt. Mit GEOPOT wurde ein Modell entwickelt, welches entsprechend der Genauigkeit der vorliegenden Daten die Auswirkungen von Grundwassernutzungen in größeren Gebieten abschätzen kann.

Für folgende Gruppen könnte die Verwendung von GEOPOT interessant sein:

- **Für die wasserwirtschaftlichen Planungsorgane der Bundesländer:** Im Laufe des Projektes wurde ein Modell und eine Methodik entwickelt, welche Grundlagen für die behördliche Bewilligung neuer Anlagen schaffen kann. Wenn in GEOPOT sämtliche bestehende Anlagen eingepflegt sind, können die Auswirkungen von zur Genehmigung vorgelegten Anlagen direkt berechnet und untersucht werden.
- **Für Ingenieurbüros:** Mit dem entwickelten Modell und der dazugehörigen Methodik können Grundlagen für die Einreichung neuer Geothermieanlagen gelegt werden. Für Planungsbüros im Bereich Geothermie kann es sinnvoll sein, schon in der ersten Planungsphase die Realisierbarkeit von Anlagen untersuchen zu können.
- **Für große Gemeinden und Städte:** Grundwassernutzungspotentiale von Städten und großen Gemeinden können mit dem entwickelten Modell und der Methodik abgeschätzt werden.
- **Für angewandte Forschungseinrichtungen weltweit:** Die Projektergebnisse bilden eine strategische Komponente zur Grundwassernutzung. Weltweit können Forschungseinrichtungen die Projektergebnisse nutzen, um in ihrem Land/ihrer Region eine strategische Wärmenutzung voranzutreiben, wie sie bisher nur selten durchgeführt wurde.

## 5 Literaturverzeichnis

Fleischhacker, E. (1994): Methodischer Problemlösungsansatz für ein zukunftsorientiertes Wasserwirtschaftskonzept. In: Wasserwirtschaft, Vol. 84.

Haehnlein, S.; Bayer, P.; Blum, P. (2010): International legal status of the use of shallow geothermal energy. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 9, Pages 2611-2625.

Ingerle, K.(1988): Beitrag zur Berechnung der Abkühlung des Grundwasserkörpers durch Wärmepumpen. Österreichische Wasserwirtschaft Jg. 40 H. 11/12, 1988.

Kobus H.; Mehlhorn, H. (1980): Beeinflussung von Grundwassertemperaturen durch Wärmepumpen. In: GWF, Vol. 6.

ÖWAV-AB 3 (1986): Wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte für die Projektierung von Grundwasserwärmepumpenanlagen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

ÖWAV Regelblatt 207 (2009): Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds- Heizen und Kühlen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Rauch W. (1992): Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Universität Innsbruck. ISBN 3-900259-25-9, 1992.

Rauch, W.; Möderl, M.; Sitzenfrei, R. and Kinzel, H. (2009): Berechnung der Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser als Planungsinstrument für Wärmepumpenanlagen. In: Proceedings of the 9. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 27.-29. April 2009.