



*Das Lebensmittel*



# THERMALWASSERVORKOMMEN IM NIEDERBAYERISCH-OBERÖSTERREICHISCHEN MOLASSEBECKEN





*Das Lebensministerium*



**LAND  
OBERÖSTERREICH**

# W A S S E R W I R T S C H A F T S K A T A S T E R

## **THERMALWASSERVORKOMMEN IM NIEDERBAYERISCH-OBERÖSTERREICHISCHEN MOLASSEBECKEN**

**Hydrogeologisches Modell und Thermalwasser-Strömungsmodell**

**Kurzbericht**

im Auftrag

des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,  
des Landes Oberösterreich  
und des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft

Herausgegeben vom  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,  
Wasserwirtschaftskataster  
und Land Oberösterreich,  
Abteilung Wasserbau

Wien, November 1999

**Auftraggeber des**

**Kurzberichtes:**

- Republik Österreich vertreten durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Sektion IV – Wasserwirtschaft und Wasserbau, Stubenring 1, 1012 Wien
- Land Oberösterreich vertreten durch das Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abt. Wasserbau, Kärntnerstraße 12, 4021 Linz
- Freistaat Bayern vertreten durch das Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München

**Auftragnehmer:**

Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler / Dr. –Ing. Gödecke,  
Salzmannstraße 29/1, D-86163 Augsburg

**Projektleitung:**

Dr. B. Huber

**Projektbegleitung:**

durch die Mitarbeiter der ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“  
gemäß Regensburger Vertrag

**Österr. Seite:**

Dipl.-Ing. Dr. O. Vollhofer, Dipl.-Ing. M. Samek,  
Dipl.-Ing. Dr. F. Überwimmer, Dipl.-Ing. A. Nadlinger

**Deutsche Seite:**

Dipl.-Ing. K. Roth, Dipl.-Geol. Dr. J.-P. Wrobel, Dipl.-Geol. W. Büttner,  
Dipl.-Geol. Dr. H. Frisch, Dipl.-Ing. W. Veit

**Gestaltung:**

Büro Jorge Schmidt, München

**Druck des Textteils:**

S. Melzer Kopie GesmbH., Wien

**Druck des**

**Anlagenteils:**

Rehbrand, Rehms & Brandl Medientechnik, München

---

**Impressum:**

**Medieninhaber:**

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien
- Land Oberösterreich, Klosterstraße 7, 4020 Linz

**Herausgeber:**

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, Marxergasse 2, 1030 Wien
- Land Oberösterreich, Abt. Wasserbau, Kärntnerstraße 12, 4021 Linz

**Hinweis:**

Erscheint beim Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft als Mutationsauflage

## Vorwort

---

*Das niederbayerisch – oberösterreichische Molassebecken verfügt über ein bedeutendes Thermalwasservorkommen im Malmkarst, das in beiden Ländern die wirtschaftliche Basis für eine vielfache balneologische wie geothermische Nutzung darstellt. Die nachhaltige Nutzung dieser Tiefenwässer stellt die Verwaltung sowie die Fachdisziplin vor besondere Aufgaben und Herausforderungen.*

*Im Rahmen der „Ständigen Gewässerkommission“ nach dem Regensburger Vertrag wurde diese Problematik aufgegriffen und 1992 eine ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ gegründet. Die Expertengruppe selbst sollte die Beauftragung eines mathematischen Modelles zur Bilanzierung des Tiefenwasservorkommens einschließlich einer laufenden fachlichen Betreuung wie Projektbegleitung und -kontrolle sicherstellen.*

*Mit dem nunmehr vorliegenden Modell, das vom Geotechnischen Büro Prof. Dr. Schuler/Dr. Ing. Gödecke, Augsburg erstellt wurde, steht den Interessenten, Nutzern sowie Fachverwaltungen und Behörden ein Instrumentarium für die Beurteilung der Verträglichkeit der Nutzung der Tiefenwässer zur Verfügung, das eine möglichst langfristige Nutzung und bestmögliche Schonung sicherstellen soll.*

*An dieser Stelle darf der ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ für ihre fachliche Betreuung und Projektbegleitung und dem Büro Prof. Dr. Schuler/Dr. Ing. Gödecke, Augsburg für die Modellerstellung selbst bestens gedankt werden. Möge das Modell zum Wohle der Wasserwirtschaft dieses besonderen Raumes genutzt werden und die damit angestrebte nachhaltige Nutzung der Tiefenwässer absichern.*

Wien, im September 1999



SC Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Stalzer  
Leiter der Sektion Wasserwirtschaft und Wasserbau  
im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft

## Vorwort

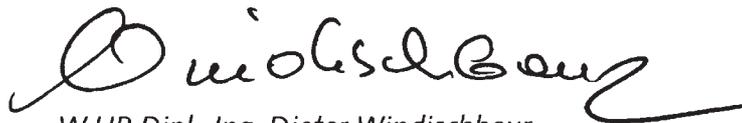
---

*In nur wenigen Regionen Europas kommt Thermalwasser vor; Oberösterreich gehört dazu. Das Thermalwasservorkommen wird im oberösterreichischen Kurort Bad Schallerbach seit 1922 zum Heil- und Badebetrieb genutzt. Weitere Thermenzentren bestehen in Geinberg und Gallsbach. Das bis zu 105°C heiße Thermalwasser wird auch zur Heizung der Ortschaften Altheim, Geinberg, Haag/H., Obernberg und zukünftig voraussichtlich auch Braunau und St. Martin/I. herangezogen, eine Erdwärmennutzung, die durch Reinjektion kein Thermalwasser verbraucht und jährlich tausende Tonnen fossile Brennstoffe einspart.*

*Im Gegensatz zu den vielen Nutzungsmöglichkeiten ist im niederbayerisch – oberösterreichischen Molassebecken nur wenig Thermalwasser vorhanden. Eine grenzüberschreitende Abstimmung zum sparsamen und vorsichtigen Umgang mit dieser Ressource ist notwendig. Das gemeinsam von Bayern und Österreich ausgearbeitete Thermalwassermmodell bietet eine hervorragende Basis für Planungen und Entscheidungen. Wenden wir es an!*

*Der besondere Dank gilt der ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ für die wegweisende gemeinsame Arbeit sowie dem Geotechnischen Büro Prof. Dr. Schuler/Dr.-Ing. Gödecke und dem Bearbeiter Dr. Huber für die beispielgebende Erstellung des hydrogeologischen Modells und des Thermalwasserströmungsmodells.*

*Linz, im September 1999*



*W.HR Dipl.-Ing. Dieter Windischbauer  
Abteilungsleiter Wasserbau,  
Amt der OÖ Landesregierung*

# Inhalt

---

6	<b>Anlaß und Zielsetzung</b>
6	<b>Untersuchungsgebiet und Datengrundlage</b>
7	<b>Entwicklung des hydrogeologischen Modells</b>
7	Geologie und Strukturgeologie (Tektonik)
8	Hydrogeologie
10	Hydrochemie und Isotopenhydrologie
10	Geothermie
11	Strömungsverhältnisse im Thermalwasseraquifer
11	Thermalwasser-Bilanzierung
12	Ergebnisse des hydrogeologischen Modells
13	<b>Thermalwasser-Strömungsmodell</b>
13	Struktur des Modells
13	Modellanpassung (Kalibrierung)
14	Sensitivitätsanalyse
14	Derzeitige Strömungsverhältnisse
15	Prognoseberechnungen (Lastfälle)
15	Modellgenauigkeit und Anwendungsbereich
15	Ergebnisse des Thermalwasser-Strömungsmodells
16	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>
17	<b>Glossar</b>
21	<b>Anlagenverzeichnis</b>

---

## Anlaß und Zielsetzung

---

Das Thermalwasser im Tiefen Malmkarst des südbayerischen und oberösterreichischen Molassebeckens wird insbesondere in Niederbayern und im oberösterreichischen Innviertel balneologisch als Heilwasser und zu Badezwecken sowie geothermisch zur Energiegewinnung genutzt. Die Thermalwassernutzung hat sich in den letzten Jahrzehnten im niederbayerischen Bäderdreieck Bad Füssing – Bad Griesbach – Bad Birnbach sowie im benachbarten Innviertel in Bad Schallerbach, Altheim und Geinberg zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor entwickelt.

Die intensive Nutzung in den letzten Jahrzehnten führte in Bereichen des Thermalwasservorkommens zu beachtlichen Druckabsenkungen. Um die bestehenden Nutzungen abzusichern und in einem wasserwirtschaftlich vertretbarem Ausmaß auch zukünftig Nutzungen zu ermöglichen, sind Bewirtschaftungsmaßnahmen erforderlich. Hierbei müssen die Mengen-, Druck- und Qualitätsverhältnisse erhalten bleiben.

In den Jahren 1984 bis 1989 wurde ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken“ durchgeführt. Das damalige Deutsche Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) hat das Projekt gefördert. Bei der Untersuchung zeigte sich, daß der Thermalwasserdurchsatz im Malmkarst des gesamten süddeutschen Molassebeckens mit etwa 1,5 m<sup>3</sup>/s sehr gering ist. Diese Tatsache sowie langjährig beobachtete Druckabsenkungen an den vorhandenen Thermalwasserbrunnen waren Anlaß für die „Ständige Gewässerkommission nach dem → *Regensburger Vertrag*“ eine detaillierte Untersuchung anzuregen. Sie beauftragte im April 1992 die ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“, ein Grundwassermodell zur Bilanzierung der Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken in Auftrag zu geben und fachlich zu begleiten.

Mit dem Tiefengrundwassermodell sollte für Bayern und Oberösterreich ein gemeinsames Instrument zur Planung und Beurteilung zukünftiger wasserwirtschaftlich relevanter Fragen geschaffen werden. Das Modell steht beiden Seiten zur Verfügung. Es erlaubt Prognosen zur Bewirtschaftung des Tiefengrundwassers sowie Aussagen zu bestehenden Thermalwassernutzungen unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Nutzung des begrenzten Thermalwasservorkommens.

Das Geotechnische Büro Prof. Dr. Schuler/Dr. Ing. Gödecke, Augsburg, hat unter fachlicher und organisatorischer Betreuung durch die ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ ein → *hydrogeologisches Modell* entwickelt. Darauf aufbauend wurde ein → *numerisches Strömungsmodell* des Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken erstellt. Die Arbeiten erstreckten sich über den Zeitraum 1995 bis 1998.

## Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

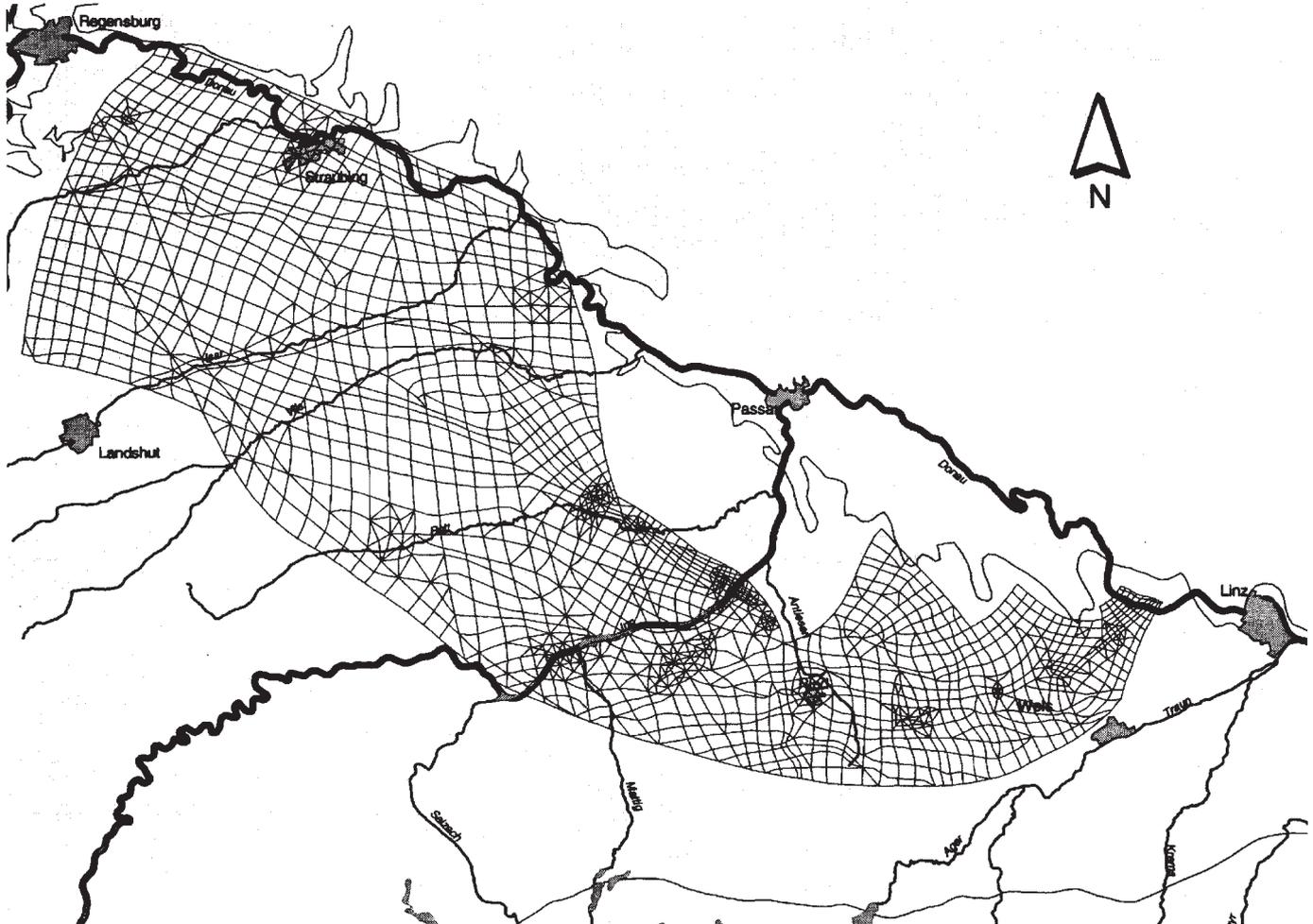
---

Das Untersuchungsgebiet ist in Abb. 1 dargestellt. Es wurde anhand hydrogeologischer Kriterien und wasserwirtschaftlicher Gesichtspunkte abgegrenzt und erstreckt sich von Regensburg im Norden bis nach Linz im Südosten.

Folgende Unterlagen standen zur Verfügung:

- Eine von der ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ durchgeführte Bestandsaufnahme vorhandener Thermalwasseraufschlüsse.
- Schlußbericht zum Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Forschung und Technologie: „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken“, 1991.
- 170 Fachpublikationen zur Geologie und zur Hydrogeologie des Molassebeckens sowie einschlägige topographische, geologische und hydrogeologische Kartenwerke.
- Zahlreiche unveröffentlichte Fachgutachten, Bohrberichte und Karten.
- Daten von insgesamt 205 Tiefbohrungen.

Abb. 1: Bilanzgebiet



## Entwicklung des hydrogeologischen Modells

Ziel des hydrogeologischen Modells war es, geologische, tektonische, hydrogeologische, hydrochemische, isotopehydrologische, geothermische und wasserwirtschaftliche Fakten und ihre Wirkungszusammenhänge so zu beschreiben und zu schematisieren, daß sie durch ein numerisches Grundwasser-Strömungsmodell erfaßt und verarbeitet werden konnten.

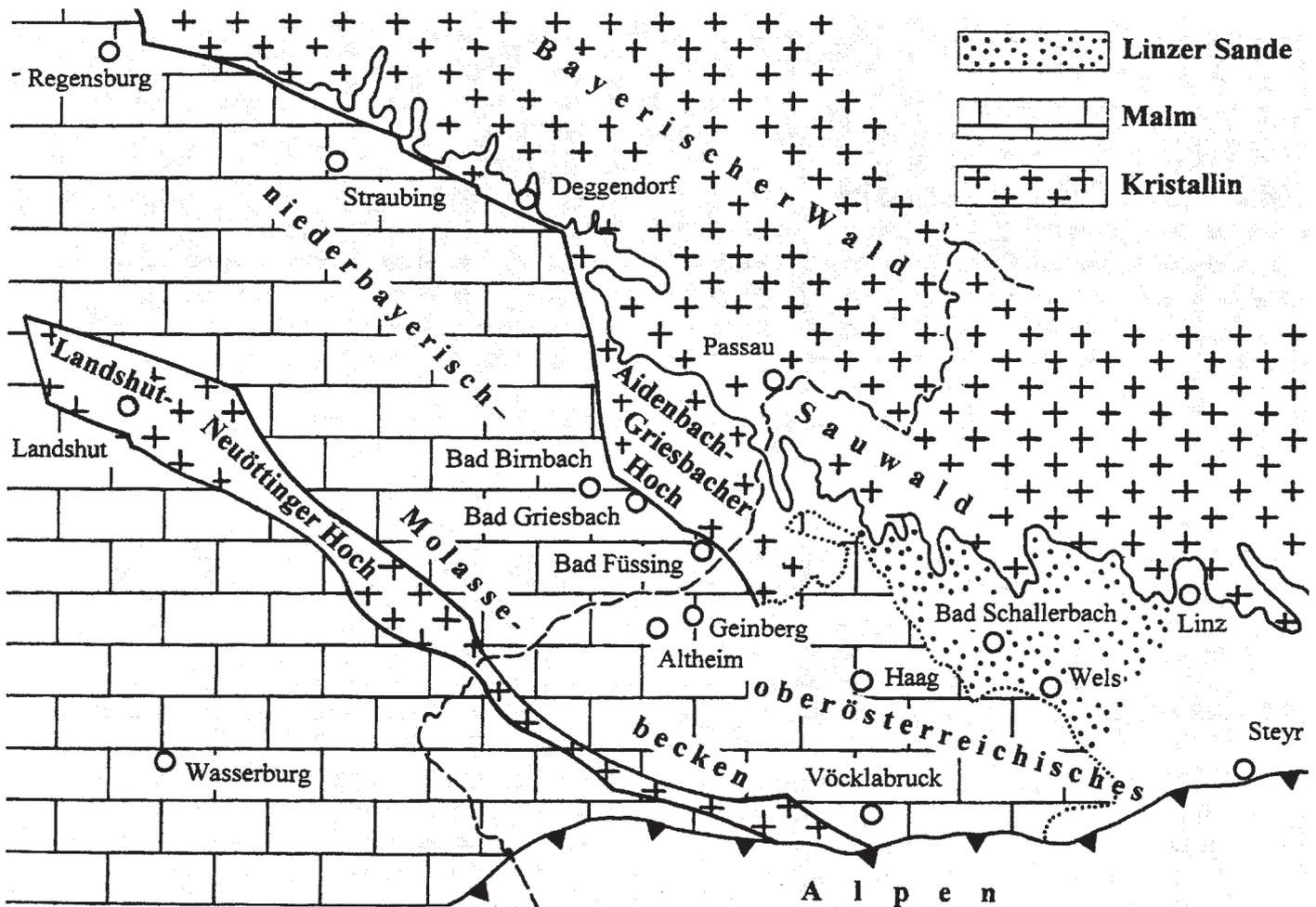
Durch Aufbereitung der vorhandenen Daten wurde ein hydrogeologisches Modell für das Untersuchungsgebiet erarbeitet. Mit Hilfe des Modells konnten die Grenzen des Thermalwasser-Bilanzgebietes im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken festgelegt werden (Abb. 1).

Durch einen Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Bearbeitungsschritte mit den Ergebnissen des Thermalwasser-Strömungsmodells wurden die getroffenen Annahmen laufend überprüft. Dieser iterative Prozeß führte zur Entwicklung des gültigen hydrogeologischen Modells.

## Geologie und Strukturgeologie (→ Tektonik)

Der Malm des niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebeckens entstand erdgeschichtlich in der Zeit vor ca. 160 Millionen bis 140 Millionen Jahren – also im Oberjura. In diesem Zeitraum erstreckte sich ein ausgedehntes Meer über den gesamten süddeutschen und österreichischen Raum. Das Projektgebiet wurde lange Zeit von einem flachen Schelfmeer überflutet. Hier lagerten sich bis zu 600 m mächtige, helle Kalke und → Mergel ab, wie sie heute noch in der Frankenalb nördlich der Donau zu sehen sind. Diese Ablagerungen des Malmmeeres erfolgten als ausgedehnte Schwammriffe und als gebankter Kalk – der insbesondere durch die starke Erwärmung des Meeres ausfiel und mit abgestorbenen Organismen angereichert ist. Zugleich wurde in Wannenbereichen überwiegend schlammiges und mergeliges Material abgelagert.

Abb. 2: Geologischer Überblick ohne kreidezeitliche und tertiäre Deckschichten



Zu Beginn der Unterkreide vor ca. 140 Millionen Jahren zog sich das Meer nach Süden zurück. Etwa 45 Millionen Jahre lang wurde die Juratafel bei trocken-subtropischem Klima erodiert und verkarstete. In dem so entstandenen Malmkarst bewegt sich heute das Thermalwasser.

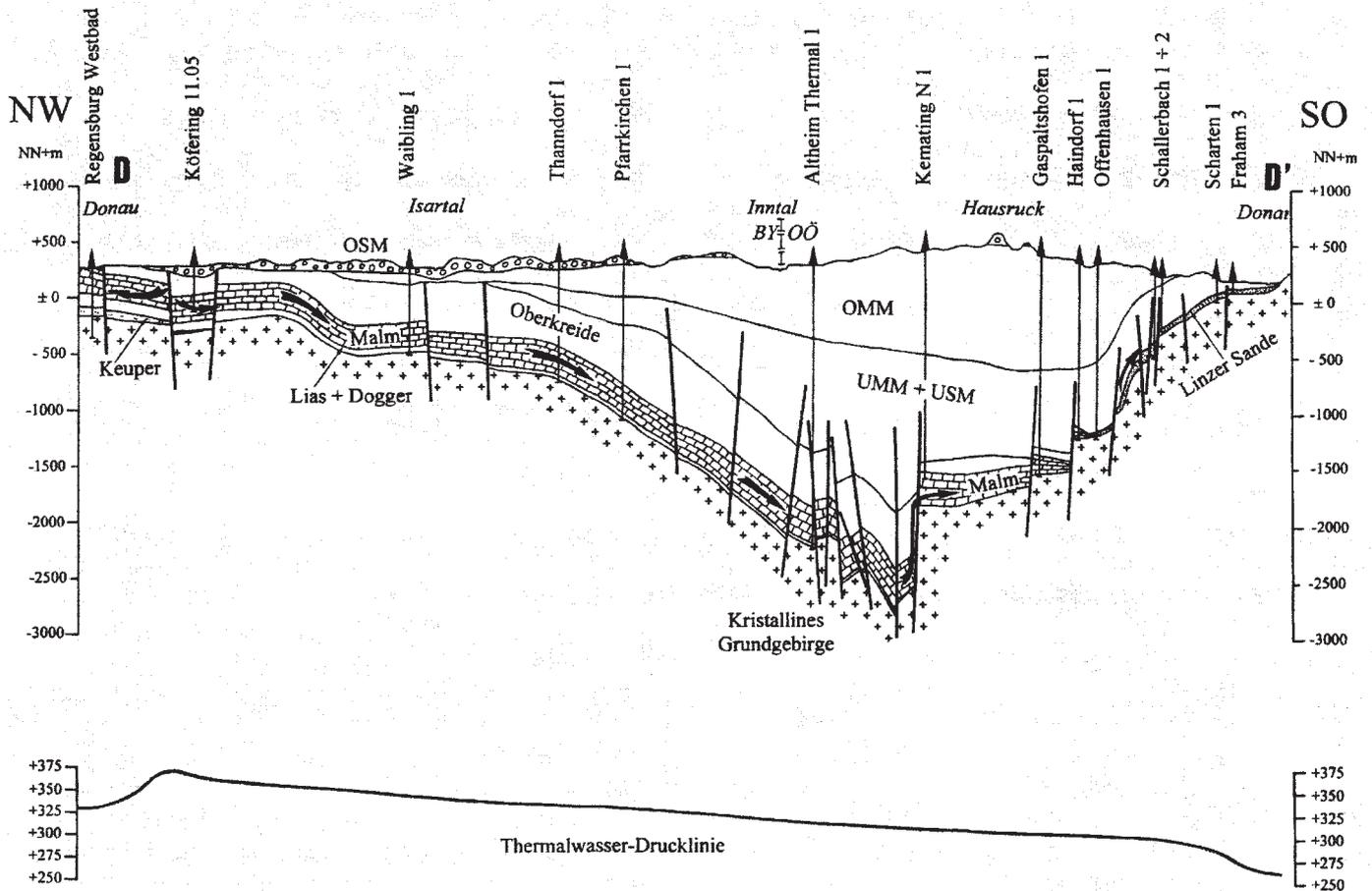
Ab dem Cenoman (Oberkreide, Beginn vor ca. 95 Millionen Jahren) begann sich der Malm abzusenken. Ein Meer überflutete das Gebiet von Süden und überdeckte es mit neuen Meeresedimenten. Nach erneutem Trockenfallen wiederholte sich dieser Vorgang im späten Alttertiär mehrfach (vor ca. 35 Millionen Jahren). Das Ergebnis ist ein bis zu 3000 m mächtiges Sedimentpaket aus Kiesen, Sanden und Tonen, die von den Flüssen antransportiert wurden. Das Material stammt aus dem sich heraushebenden Alpenkörper und aus dem Bereich des Bayerischen Waldes. Durch die Erdkrustenbewegungen im Rahmen der Entstehung der Alpen wurde die im Vorland gelegene Malmtafel in einzelne tektonische Bruchschollen zerlegt.

Dabei entstanden an den Rändern des Molassebeckens über weite Strecken markante Störungszonen wie z. B. der Donaurandbruch mit einer Vertikalaufschubung von bis zu 1500 m. Das Thermalwasser findet neben den verkarsteten Bereichen vor allem an solchen Bruch- und → Störungszonen seine bevorzugten Fließwege im Untergrund. Die tektonischen Brüche sind in den Anlagen 7, 8 und 9 in ihrer räumlichen Aufteilung in Profilschnitten dargestellt.

### Hydrogeologie

Das Thermalwasser bewegt sich im Malm überwiegend entlang von Störungszonen und in Klüften, die durch karbonatlösende Verkarstungsprozesse erweitert wurden. Nur die oberen, intensiv verkarsteten Abschnitte des Malm sind am Aufbau des Thermalwasseraquifers beteiligt (Anlage 3). Dieser grundwasserleitende Teil des → Aquifers lässt sich durch die „Nettomächtigkeit“ ausdrücken. Die räumliche Verteilung der zwischen 40 und 240 m schwankenden Nettomächtigkeiten ist in Anlage 4 dargestellt. Die größte Mächtigkeit ist am Rand des Landshut-Neuöttinger Hochs zu finden.

Abb. 3: Geologischer Längsschnitt, stark überhöht, Profillinie siehe Anlage 1



An den verkarsteten Malm sind über weite Flächen die etwa 10 bis 40 m mächtigen klüftig-porösen Cenoman-Sandsteine der Oberkreide, die ihn überlagern, hydraulisch gekoppelt. Im Südosten des Bilanzgebietes dünnt der Malm aus. In der Fortsetzung bilden die Basissande des Alttertiärs und die Linzer Sande den Thermalwasseraquifer.

Die Sohle des Aquifers wird im westlichen Teilbecken vom mergeligen, nicht verkarsteten, tieferen Malm gebildet. In Oberösterreich lagert der Malm direkt dem Kristallin des Grundgebirges auf (Profilschnitte in Abb. 3 und in den Anlagen 7, 8 und 9).

Die Malmablagerungen des niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebeckens können bezüglich ihres Bildungsraumes und ihrer Gesteinscharakteristik in zwei Faziestypen untergliedert werden:

Die Schicht- oder Bank-Fazies parallel des Donaurandbruchs und des Aidenbach-Griesbacher Hochs besteht aus gebankten Kalksteinen, Plattenkalken und eingeschalteten mergeligen Lagen. Die geschichteten Kalke – vor allem wenn sie, wie die tieferen Malmabschnitte einen höheren Mergelanteil haben – reagieren nur sehr schwach auf die beschleunigende Karbonatlösung durch kohlenstoffreiches Grundwasser und sind somit wenig verkarstungsanfällig.

Die Riff- oder Massen-Fazies im südwestlichen Projektgebiet ist in allen Malmstufen ungebankt und baut sich aus abgestorbenen Rifforganismen auf. Sie ist im allgemeinen als verkarstungsfreudig einzustufen.

Das hydraulische Vermögen eines Aquifers, Grundwasser zu leiten, wird als  $\rightarrow$  Durchlässigkeit bezeichnet. Wesentlichen Einfluß auf die regional wirksame Aquiferdurchlässigkeit haben die Aquifermächtigkeit, die Ausbildung des vertikalen Schichtprofils, die horizontale Verbreitung der Gesteinsausbildung (Faziestypen) sowie die Verkarstungstiefe in den Malmgesteinen.

Multipliziert man die Durchlässigkeit mit der Aquifermächtigkeit, so erhält man die  $\rightarrow$  *Transmissivität*. Je höher die Transmissivität eines Aquifers ist, desto flacher ist das Grundwassergefälle ausgebildet. Das Spektrum der Transmissivitäten im Malm reicht von  $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  in der Bank-Fazies am Donaurandbruch bis  $4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  in der mächtigen Riff-Fazies nördlich des Landshut-Neuöttinger Hochs. Die hochporösen Linzer Sande im Ausstrom-Gebiet des Eferdinger Beckens sind durch Transmissivitäten im Bereich von  $1$  bis  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  charakterisiert. Die großen Störungszonen mit ihrer intensiven Verkarstung wurden im Strömungsmodell mit einer 100-fach höheren Durchlässigkeit als im Nebengestein berücksichtigt und zwar mit einer Transmissivität von  $3 \times 10^{-2}$  bis  $4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ . Dabei wurden die Störungszonen im Modell mit einer Breite von einem Meter angesetzt.

Ein Aquifer kann Wasser nicht nur leiten sondern auch speichern. Das Speichervermögen wird ausgedrückt durch den Begriff des  $\rightarrow$  *Speicherkoefizienten*, dessen Kenntnis für viele Fragen der zeitabhängigen Karstwasserströmung und des Karstwasserhaushalts von Bedeutung ist. In Abhängigkeit von der Aquifermächtigkeit und der  $\rightarrow$  *Gesteinsfazies* wurden im Untersuchungsgebiet Speicherkoefizienten von  $6 \times 10^{-5}$  bis  $2 \times 10^{-4}$  berücksichtigt.

## Hydrochemie und Isotopenhydrologie

---

Grundwasser löst im Aquifer Stoffe, transportiert diesen Lösungsinhalt und scheidet ihn zum Teil wieder aus. Aus der Kenntnis solcher Vorgänge und der jeweiligen Wasserbeschaffenheit sind Aussagen über die Herkunft und Bewegung des Grundwassers möglich.

Die isotopische Zusammensetzung läßt auch Rückschlüsse auf das Grundwasseralter zu. Die geringmächtigen Deckschichten am Nordwestrand des Untersuchungsgebietes ermöglichen eine flächendeckende intensive  $\rightarrow$  *Grundwasserneubildung* aus den Niederschlägen, was sich in jungen Grundwässern mit hohem Anteil an Tritium aus den Atombombenversuchen der 50er Jahre äußert (Anlage 13). Sie enthalten bei geringer Gesamtmineralisation vor allem Calcium, Magnesium und Kohlensäure.

Lösungsvorgänge im Aquifer und Ionenaustauschvorgänge an Tonmineralien führen mit zunehmender Tiefe und Aufenthaltsdauer des Grundwassers zu einer hydrochemischen Entwicklung in Richtung alter Tiefengrundwässer. Diese besitzen einen höheren Lösungsinhalt, sind reicher an Natrium und Chlorid und ärmer an Kohlensäure. Der Chemismus des Thermalwassers ändert sich somit vom Beckennordrand zum Beckeninneren hin sehr deutlich.

Die erbohrten Thermalwässer entlang des Donaurandbruches, im niederbayerischen Bäderdreieck sowie im Thermalwasserabstrombereich des oberösterreichischen Molassebeckens sind im wesentlichen sehr alte, hochmineralisierte Ionenaustauschwässer und gehören dem Natrium-Kohlensäure-Chlorid-Typ an.

Oberflächennahes Grundwasser im Kristallin des Bayerischen Waldes hat eine geringe Gesamtmineralisation. Durch eine sehr langsame Tiefensickerung erhöht sich der Lösungsinhalt bei gleichzeitiger Änderung der hydrochemischen Zusammensetzung. Ein Vergleich mit Kristallin-Tiefengrundwässern belegt die Herkunft der Thermalwässer bereichsweise aus einem seitlichen Zustrom vom Bayerischen Wald (Anlagen 7 und 8).

Die Tiefengrundwässer in den Tertiär-Basissanden, die sich bei zunehmendem Grundwasseralter beckenwärts hydrochemisch verändern, lassen auf eine intensive Grundwasserneubildung am Südrand des Sauwaldes schließen. Im Eferdinger Becken westlich von Linz steigen Tiefengrundwässer pleistozänen Alters in den Linzer Sanden auf und belegen hier – durch ihren Chemismus – das Ausströmungsgebiet des Thermalwasseraquifers. Beim Aufstieg des Thermalwassers kommt es zu einer Vermischung mit jüngeren, autochthonen Grundwässern, was zu einer allmählichen Abnahme der Gesamtmineralisation in Richtung Donau führt.

Am südlichen Rand des Bilanzgebietes führt der Malm in seinem strukturtiefsten Teil hochmineralisierte kochsalzhaltige Tiefenwässer mit Gesamtmineralisationen zwischen 5.000 und 22.000 mg/l. Aus der hohen Mineralisation ist abzuleiten, daß diese Tiefengrundwässer stagnieren und nicht am natürlichen Fließgeschehen teilnehmen.

Tertiärgrundwässer im niederbayerischen Gäuboden sind den Malmgrundwässern des nördlichen Beckenrandes sehr ähnlich und führen in Verbindung mit den tektonischen, faziellen und hydrogeologischen Gegebenheiten zur Vorstellung einer flächigen vertikalen  $\rightarrow$  *Aussickerung* von Thermalwasser nach oben (Anlagen 5 und 7).

## Geothermie

---

Die Temperatur im Untergrund hängt im wesentlichen von der Stärke des Wärmestromes aus dem Erdinneren, von der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine und von der Bewegung des Tiefengrundwassers ab.

In der Regel ist pro 100 Meter Tiefenzunahme mit einer mittleren Temperaturerhöhung von rd.  $3^\circ\text{C}$  zu rechnen. Im Bereich Altheim beträgt die spezifische Temperaturzunahme sogar ca.  $4,5^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ .

Während die Thermalwassertemperatur nördlich des Landshut-Neuöttinger Hochs nach Südosten über die Isar hinaus nur unwesentlich auf  $20^\circ\text{C}$  zunimmt, stellt sich südöstlich der Vils, bedingt durch die strukturelle Tiefenlage des Aquifers, eine konstante Temperaturzunahme ein. Die Thermalwassertemperaturen im niederbayerischen Bäderdreieck liegen zwischen

50 und 65°C und steigen bis auf maximal 105°C in den Thermen Altheim und Geinberg an. Im Aufstiegsbereich des Thermalwasseraquifers zur Donau bei Linz nehmen die Temperaturen kontinuierlich ab. Sie erreichen in Bad Schallerbach noch 38°C und im Eferdinger Becken maximal 21°C (Anlage 14).

Die in Bezug auf die geringe Tiefenlage hohen Thermalwassertemperaturen im Raum Schallerbach – Wallern – St. Marienkirchen weisen auf einen strömungsbedingten Wärmetransport aus dem Beckeninneren hin. Sie kennzeichnen diese Region auch in geothermischer Hinsicht als Aufstiegszone des Tiefengrundwassers.

Die relativ niedrigen Thermalwassertemperaturen südlich des Sauwaldes sind neben dem Mineralisierungsgrad und den Druckverhältnissen ein wesentlicher Hinweis auf absteigende kalte → *Infiltrationswässer*.

### Strömungsverhältnisse im Thermalwasseraquifer

---

Die Analyse der vorhandenen Daten ergab, daß das Thermalwasservorkommen Zonen unterschiedlicher Temperatur und Mineralisation aufweist. Da Temperaturen und Mineralisationsgrade die als → *Kopfdruck* gemessenen Drücke beeinflussen, mußte die Datenbasis zunächst vereinheitlicht werden. Alle Kopfdruckmessungen mußten auf ein isothermes Modellwasser (10°C) einheitlichen Lösungsinhaltes (500 mg/l) korrigiert werden. Die gemessenen Druckspiegelhöhen wiesen zudem je nach Art der Messung – an der Basis oder am Kopf der Bohrung – Differenzen in der Größenordnung von 0,1 bar bis 1 bar auf, was im Verhältnis der Teufen der Bohrungen eher als gering einzustufen ist. Dem hydrogeologischen Modell wurden jene Druckspiegelhöhen zugrundegelegt, welche im Hinblick auf das Strömungssystem am plausibelsten waren.

Die Strömungsverhältnisse im Thermalwasseraquifer wurden aus allen in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Vorstellungen zur Geologie, Strukturgeologie, Hydrogeologie, Hydrochemie, Isotopenhydrologie und Geothermie abgeleitet. Die bisherigen Vorstellungen über die Thermalwasserströmung im Untersuchungsgebiet mußten durch zahlreiche neu gewonnene Erkenntnisse revidiert werden. Zu den aktuellen Ergebnissen zählen: die ausgedehntere Erstreckung kristalliner Hochstrukturen im Beckenuntergrund, zahlreiche Messungen in Thermalwasser-Neuerschließungen, wesentlich höhere Druckpotentiale im Raum Straubing und die beschriebene Potentialkorrektur.

Der Thermalwasseraquifer des niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebeckens wird durch die Kristallinbarriere des Landshut-Neuöttinger Hochs und der Zentralen Schwellenzone vollständig vom zentralen Süddeutschen Molassebeckens getrennt (Anlage 5). Seitlicher Thermalwasserzustrom vor allem aus dem Bayerischen Wald und eine intensive Grundwasserneubildung im Bereich des Kreidehorstes von Schierling bewirken

eine Anhebung des Thermalwasserspiegels entlang einer bogenförmig verlaufenden Scheitelzone zwischen Landshut und dem Bayerischen Wald. Von der Scheitelzone ausgehend fließt das Thermalwasser mit flachem Druckgefälle von Nordwest nach Südost zur Donau bei Linz ab.

Das Tiefengrundwasser im Kristallin des Bayerischen Waldes steht unter hohem Druck und speist seitlich in den angrenzenden Thermalwasseraquifer ein (Anlagen 7 und 8). Die vergleichsweise hohen → *artesischen* Druckspiegel sowie die hydrochemische Charakteristik der Thermalwässer in Straubing und im niederbayerischen Bäderdreieck belegen einen Randzustrom aus dem Kristallin des Bayerischen Waldes. Südlich des Sauwaldes findet ein randlicher Zustrom in Basissanden des Tertiärs statt (Anlage 5).

Eine Begrenzung der Thermalwasserströmung ist im Süden des Bilanzgebietes durch die hochmineralisierten und stagnierenden Tiefenwässer gegeben (Anlage 5).

Der Ausstrom von Thermalwasser in den Vorfluter Donau westlich von Linz erfolgt über Störungszonen und die sandigen Basisserien des Tertiärs, insbesondere über die Linzer Sande.

### Thermalwasser-Bilanzierung

---

Die Thermalwasser-Bilanzierung (→ *Bilanzierung*) erfaßt alle quantitativ bedeutsamen Volumenströme im Bilanzgebiet. Im vorliegenden Fall wurden als Bilanzglieder berücksichtigt:

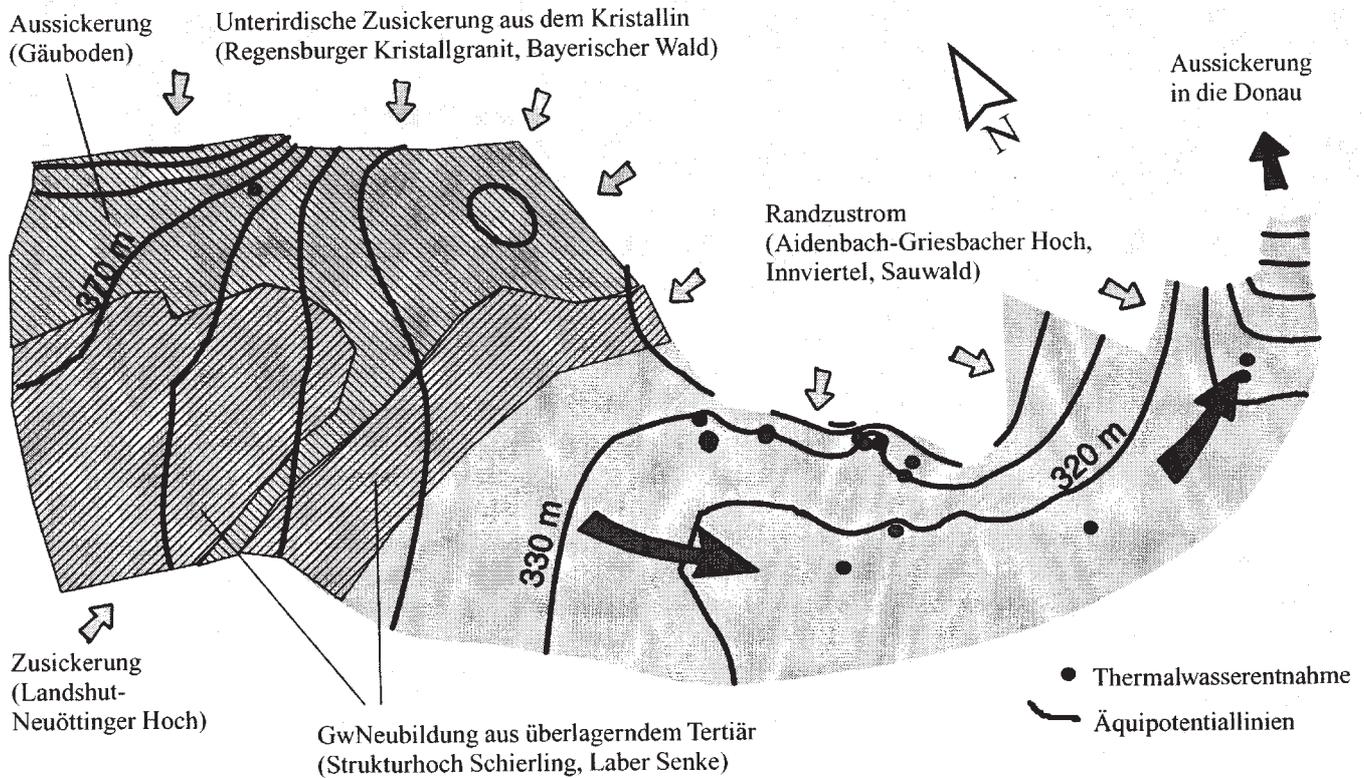
- die Zuflüsse aus der vertikalen Grundwasserneubildung
- die Zuflüsse aus seitlichen Randzuströmen
- die Abflüsse aus einer vertikalen Aussickerung
- die Brunnenentnahmen
- der Ausstrom in den Vorfluter Donau

Die Bilanzglieder sind im Überblick in Abb. 4 und im Detail in Anlage 6 dargestellt. Bei den angegebenen Zu- und Abflüssen handelt es sich um langjährige Mittelwerte.

Bei einer Gesamtfläche von 45 km<sup>2</sup> und einer Neubildungsrate von 3,6 l/s x km<sup>2</sup> ist im Kreidehorst von Schierling mit einer vertikalen Grundwasserneubildung von ca. 160 l/s zu rechnen.

Dem Bereich zwischen dem Landshut-Neuöttinger Hoch, dem Isartal, dem Gäuboden sowie dem Kreidehorst von Schierling konnte aufgrund seiner vergleichsweise geringmächtigen Deckschichten eine vertikale Grundwasserneubildung von ca. 100 l/s zugeordnet werden.

Abb. 4: Grundwasserbilanz für das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken



Der Randzustrom aus dem Bayerischen Wald zwischen Regensburg und Bad Füssing wurde mit insgesamt 190 bis 200 l/s bestimmt. Weitere 20 bis 30 l/s strömen von Süden aus dem Landshut-Neuöttinger Hoch zu. Im oberösterreichischen Innviertel fließt dem Thermalwasseraquifer aus dem Sauwald schließlich noch ein Randzustrom in der Größenordnung von insgesamt 330 bis 340 l/s zu.

Im niederbayerischen Gäuboden, im Isartal, im Rottal sowie im unteren Inntal besteht zwischen dem Thermalwasseraquifer und oberflächennahen Grundwasserstockwerken ein vertikal nach oben gerichtetes Druckgefälle. Über weite Bereiche steht der Thermalwasseraquifer sogar unter artesischem Druck. Bei einer Gesamtfläche von ca. 1400 km<sup>2</sup> wurde für das Isar- und Donautal eine vertikale Aussickerung von 180 l/s berechnet. Im Bereich des Rottales und des Inntales sickern auf einem Areal von etwa 80 km<sup>2</sup> ca. 20 l/s aus.

Bei derzeitiger Nutzung (Stand 1996) werden im zentralen Projektgebiet im niederbayerischen Bäderdreieck und im Raum Altheim-Reichersberg („Zentralbereich“) ca. 70 l/s Thermalwasser entnommen. Die aktuelle Nutzung an den Thermen im oberösterreichischen Bad Schallerbach liegt bei 60 l/s aus Tertiär-Basissanden. Der Thermalwasserausstrom in die Donau im Eferdinger Becken wurde mit 490 l/s bilanziert.

Mit 280 bis 290 l/s ist aber das im „Zentralbereich“ zur Verfügung stehende Thermalwasserdargebot (→ Dargebot) wesentlich geringer. Bei derzeitigen Entnahmen von ca. 70 l/s beträgt der Thermalwasser-Erschließungsgrad in diesem Bereich 25 % und ist damit bereits als sehr hoch einzustufen.

Ein erheblicher Teil (330 bis 340 l/s) des bilanzierten Thermalwassers strömt dem Thermalwasseraquifer erst im Innviertel aus dem Sauwald und damit unterstromig der Erschließungen im Zentralbereich zu. Dieser Bilanzanteil steht damit erst Thermen östlich von Ried zur Verfügung.

### Ergebnisse des hydrogeologischen Modells

Die wesentlichen Ergebnisse des hydrogeologischen Modells sind:

- Die generelle Fließrichtung des Thermalwassers erfolgt von Nordwest nach Südost. Die früher angenommene Strömungsrichtung in Niederbayern war in umgekehrter Richtung orientiert.
- Die nordwestliche Begrenzung des Bilanzgebietes liegt an der Großen Laber.
- Die östliche Begrenzung des Bilanzgebietes befindet sich westlich von Linz mit Ausstrom aus dem Thermalwasseraquifer über die Linzer Sande in die Donau als Vorfluter.
- Im Süden wird das Bilanzgebiet von hochmineralisierten und hochsalinaren Tiefengrundwässern begrenzt, die am Fließgeschehen unbeteiligt sind.

- Die wesentliche Regeneration des thermalen Tiefengrundwassers erfolgt südwestlich von Straubing über tertiäre und kreidezeitliche Deckschichten, zwischen Regensburg und Bad Füssing über seitlichen Zustrom aus dem Kristallin des Bayerischen Waldes und aus dem Sauwald über tertiäre Sande.
- Im Gäuboden und im Rottal findet eine natürliche flächenhafte Aussickerung von Tiefengrundwasser in höher gelegene Grundwasserleiter statt.
- Die Mächtigkeit des Thermalwasseraquifers schwankt zwischen 40 und 240 m.
- Der Thermalwasserausstrom in die Donau beträgt bei derzeitiger Nutzung von rund 130 l/s noch ca. 490 l/s. Dieser wird allerdings wesentlich durch den Zustrom aus dem Sauwald bestimmt. Im Bereich der niederbayerisch-innviertler Thermen beträgt der Thermalwasserdurchsatz nur etwa 220 l/s.

## Thermalwasser-Strömungsmodell

Aufbauend auf dem hydrogeologischen Modell wurde ein → *mathematisches Strömungsmodell* entwickelt. Dieses Modell soll die natürlichen Strömungsverhältnisse nachbilden, das Verständnis über das Tiefengrundwassersystem weiterentwickeln, eine Überprüfung des hydrogeologischen Modells auf Plausibilität erlauben und Prognosemöglichkeiten eröffnen. Folgende Fragen sollten im Detail geklärt werden:

- Wie wirken sich die bestehenden Entnahmen auf das Thermalwassersystem aus?
- Wie wirken sich zusätzliche Entnahmen auf das Thermalwassersystem aus?
- Wie wirken sich zusätzliche Entnahmen auf die bereits bewilligten Thermalwasserentnahmen aus?
- In welchem Ausmaß beeinflussen sich die derzeit bestehenden Thermalwasserentnahmen gegenseitig?
- Welche Bewirtschaftungs-, Nutzungs- und Schutzstrategien sind zweckmäßig und zielführend?
- Welche Aussagegenauigkeit kann mit dem Thermalwasser-Strömungsmodell erzielt werden? Für welche Bereiche sind die Aussagen repräsentativ?

Um die Grundwasserströmung in dem durch Verwerfungen und Karstschläuche äußerst heterogenen Malmkarstaquifer mathematisch zu beschreiben, wurde ein sehr anpassungsfähiges zweidimensionales → *Finite-Elemente-Rechenmodell* ausgewählt. Verwendet wurde ein Programm, das im Rahmen des vom damaligen deutschen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Entwicklungsvorhabens „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt im Malmkarst des süddeutschen Molassebeckens“ von Prof. Dr. L. Kiraly, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, entwickelt wurde. Das Programm stellt die Kombination eines

Kontinuumsansatzes mit einem diskontinuierlichen Modell dar. Es ist in der Lage, den Einfluß regionaler Störungszonen und Karstschläuche erhöhter Durchlässigkeit auf das Fließgeschehen zu simulieren. Der große Vorteil dieses Programmes liegt darin, daß neben Regionen unterschiedlicher Transmissivitäten, diversen Grundwasserneubildungs- und Aussickerungsarealen sowie Randzustrombereichen die bekannten tektonischen Strukturen (Störungen) in Form von Linienelementen in das Strömungsmodell eingebracht werden können.

### Struktur des Modells

Das Modellgebiet weist eine Fläche von 5 900 km<sup>2</sup> auf. Die Längserstreckung beträgt ca. 155 km, die Breite schwankt zwischen 30 km und 55 km. Das Modellnetz verfügt über 3190 Elemente und 5989 Knotenpunkte (Anlage 16).

Um die Druckabsenkung bzw. Druckerhöhung in den bestehenden Thermen im Modellgebiet möglichst genau simulieren zu können, wurde das Elementnetz in deren Umfeld verdichtet. Im zentralen Bereich, wo eine größere Anzahl von Bohrungen vorliegt, konnte ein engmaschiges Netz gewählt werden. Die Größe der Netzelemente beträgt dort minimal ca. 0,04 km<sup>2</sup>. In den weniger gut erkundeten Randbereichen vergrößern sich die Elementflächen bis auf maximal ca. 15 km<sup>2</sup>.

Die in Anlage 1 dargestellten Störungszonen mit ausgeprägter Verkarstung und erhöhter Gebirgsdurchlässigkeit wurden als eindimensionale Linienelemente mit erhöhter Transmissivität in das Modell übernommen (Anlage 16). Daneben waren die Donau, der Inn, die Grundwasserneubildungs- und Aussickerungszonen, die Grundwasserscheitelzone im Norden sowie die Lage der Brunnenstandorte für die Festlegung der Elementgrenzen bestimmend.

Als → *Randbedingungen* wurden im Strömungsmodell die im hydrogeologischen Modell erarbeiteten Bilanzglieder angesetzt.

### Modellanpassung (→ *Kalibrierung*)

Bei der Modellkalibrierung werden die Modellparameter – in einem durch Erkundungen und das hydrogeologische Modell vorgegebenen Rahmen – solange variiert, bis eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Spiegellagen und/oder Druckhöhen in den einzelnen Meßpunkten erzielt werden kann.

- Die wesentliche Regeneration des thermalen Tiefengrundwassers erfolgt südwestlich von Straubing über tertiäre und kreidezeitliche Deckschichten, zwischen Regensburg und Bad Füssing über seitlichen Zustrom aus dem Kristallin des Bayerischen Waldes und aus dem Sauwald über tertiäre Sande.
- Im Gäuboden und im Rottal findet eine natürliche flächenhafte Aussickerung von Tiefengrundwasser in höher gelegene Grundwasserleiter statt.
- Die Mächtigkeit des Thermalwasseraquifers schwankt zwischen 40 und 240 m.
- Der Thermalwasserausstrom in die Donau beträgt bei derzeitiger Nutzung von rund 130 l/s noch ca. 490 l/s. Dieser wird allerdings wesentlich durch den Zustrom aus dem Sauwald bestimmt. Im Bereich der niederbayerisch-innviertler Thermen beträgt der Thermalwasserdurchsatz nur etwa 220 l/s.

## Thermalwasser-Strömungsmodell

Aufbauend auf dem hydrogeologischen Modell wurde ein → *mathematisches Strömungsmodell* entwickelt. Dieses Modell soll die natürlichen Strömungsverhältnisse nachbilden, das Verständnis über das Tiefengrundwassersystem weiterentwickeln, eine Überprüfung des hydrogeologischen Modells auf Plausibilität erlauben und Prognosemöglichkeiten eröffnen. Folgende Fragen sollten im Detail geklärt werden:

- Wie wirken sich die bestehenden Entnahmen auf das Thermalwassersystem aus?
- Wie wirken sich zusätzliche Entnahmen auf das Thermalwassersystem aus?
- Wie wirken sich zusätzliche Entnahmen auf die bereits bewilligten Thermalwasserentnahmen aus?
- In welchem Ausmaß beeinflussen sich die derzeit bestehenden Thermalwasserentnahmen gegenseitig?
- Welche Bewirtschaftungs-, Nutzungs- und Schutzstrategien sind zweckmäßig und zielführend?
- Welche Aussagegenauigkeit kann mit dem Thermalwasser-Strömungsmodell erzielt werden? Für welche Bereiche sind die Aussagen repräsentativ?

Um die Grundwasserströmung in dem durch Verwerfungen und Karstschläuche äußerst heterogenen Malmkarstaquifer mathematisch zu beschreiben, wurde ein sehr anpassungsfähiges zweidimensionales → *Finite-Elemente-Rechenmodell* ausgewählt. Verwendet wurde ein Programm, das im Rahmen des vom damaligen deutschen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Entwicklungsvorhabens „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt im Malmkarst des süddeutschen Molassebeckens“ von Prof. Dr. L. Kiraly, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, entwickelt wurde. Das Programm stellt die Kombination eines

Kontinuumsansatzes mit einem diskontinuierlichen Modell dar. Es ist in der Lage, den Einfluß regionaler Störungszonen und Karstschläuche erhöhter Durchlässigkeit auf das Fließgeschehen zu simulieren. Der große Vorteil dieses Programmes liegt darin, daß neben Regionen unterschiedlicher Transmissivitäten, diversen Grundwasserneubildungs- und Aussickerungsarealen sowie Randzustrombereichen die bekannten tektonischen Strukturen (Störungen) in Form von Linienelementen in das Strömungsmodell eingebracht werden können.

### Struktur des Modells

Das Modellgebiet weist eine Fläche von 5 900 km<sup>2</sup> auf. Die Längserstreckung beträgt ca. 155 km, die Breite schwankt zwischen 30 km und 55 km. Das Modellnetz verfügt über 3190 Elemente und 5989 Knotenpunkte (Anlage 16).

Um die Druckabsenkung bzw. Druckerhöhung in den bestehenden Thermen im Modellgebiet möglichst genau simulieren zu können, wurde das Elementnetz in deren Umfeld verdichtet. Im zentralen Bereich, wo eine größere Anzahl von Bohrungen vorliegt, konnte ein engmaschiges Netz gewählt werden. Die Größe der Netzelemente beträgt dort minimal ca. 0,04 km<sup>2</sup>. In den weniger gut erkundeten Randbereichen vergrößern sich die Elementflächen bis auf maximal ca. 15 km<sup>2</sup>.

Die in Anlage 1 dargestellten Störungszonen mit ausgeprägter Verkarstung und erhöhter Gebirgsdurchlässigkeit wurden als eindimensionale Linienelemente mit erhöhter Transmissivität in das Modell übernommen (Anlage 16). Daneben waren die Donau, der Inn, die Grundwasserneubildungs- und Aussickerungszonen, die Grundwasserscheitelzone im Norden sowie die Lage der Brunnenstandorte für die Festlegung der Elementgrenzen bestimmend.

Als → *Randbedingungen* wurden im Strömungsmodell die im hydrogeologischen Modell erarbeiteten Bilanzglieder angesetzt.

### Modellanpassung (→ *Kalibrierung*)

Bei der Modellkalibrierung werden die Modellparameter – in einem durch Erkundungen und das hydrogeologische Modell vorgegebenen Rahmen – solange variiert, bis eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Spiegellagen und/oder Druckhöhen in den einzelnen Meßpunkten erzielt werden kann.

Grundlage der Kalibrierung waren die im hydrogeologischen Modell erarbeiteten hydraulischen Parameter, Potentialhöhen, Strömungsvorstellungen und Bilanzglieder. Hydrogeologisches Modell und numerisches Strömungsmodell wurden in einem iterativen Ablauf einander angepaßt und zunehmend verfeinert (Anlage 15).

Das Thermalwasser-Strömungsmodell wurde sowohl → *stationär* als auch → *instationär* kalibriert.

Die in den Anlagen 11 und 12 dargestellten Thermalwasserentnahmen lassen sich in einen Zustand vor Inbetriebnahme der Therme Schallerbach (vor 1919) und in fünf weitere definierte Zeiträume späterer Jahre unterteilen. Die Einteilung der Zeiträume orientierte sich an den Zeitpunkten der Inbetriebnahme der einzelnen Thermen und an signifikanten Entnahmeänderungen. Die Kalibrierung des stationären Strömungsmodells erfolgte anhand gemessener Daten in diesen sechs Entnahmezeiträumen.

Für die Kalibrierung des instationären Strömungsmodells waren Speicherkoeffizienten zu berücksichtigen sowie eine zeitliche Diskretisierung des Entnahmezeitraumes vorzunehmen. Die Simulation umfaßte die Absenkungen der Thermalwasserdrücke im gesamten Modellgebiet für den Zeitraum 1919 bis 1996 und das zeitliche Entnahme-/Absenkungsverhalten bei den Reinjektions- und Pumpversuchen in Straubing, Obernberg und Altheim.

Das instationäre Modell erlaubt Aussagen über Änderungen von Druckspiegelhöhen und somit Auswirkungen auf bestehende Nutzungen infolge kurzfristiger geohydraulischer Tests (Dauer im Wochen- und Monatsbereich).

### Sensitivitätsanalyse

---

Mit der Sensitivitätsanalyse sollen die Auswirkungen von Änderungen einzelner Modellparameter auf das Berechnungsergebnis untersucht werden. Hierbei werden die betreffenden Parameter gezielt innerhalb hydrogeologisch-geohydraulisch möglicher Grenzen variiert. Im Einzelfall ist zu entscheiden, ob eventuell ergänzende Erkundungsmaßnahmen und damit eine Nachkalibrierung des Modells erforderlich sind.

Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen bestätigten, daß mit den Modellparametern, die der Kalibrierung zugrunde gelegt wurden, die natürlichen Gegebenheiten in hinreichendem

Ausmaß nachgebildet werden können. Die Verteilung der Transmissivitäten, des Transmissivitätskontrastes zwischen tektonischen Blöcken und Störungszonen, der Randbedingungen (Randzuflüsse, flächenhafte Grundwasserneubildung und Aussickerung) und des Speicherkoeffizienten stellen beim derzeitigen Kenntnisstand die bestmöglich erreichbare Parameterkombination dar.

### Derzeitige Strömungsverhältnisse

---

Die balneologischen und geothermischen Nutzungen beeinflussen die Strömungsverhältnisse. Mit dem instationären Strömungsmodell läßt sich der derzeit vorhandene Strömungszustand berechnen. Dabei wurden alle Entnahmen im Zeitraum von 1919 (Beginn der Thermalwassernutzung) bis 1996 berücksichtigt. In Anlage 17 sind die Druckpotentiale in Form von Isohypsen sowie die Lage der heute vorhandenen Thermen dargestellt. Zu erkennen ist ein steiles Druckgefälle nördlich der Straubinger Thermen, das durch den Randzustrom aus dem Bayerischen Wald verursacht ist. Im Bereich des Strukturhochs von Schierling bewirkt die intensive Grundwasserneubildung aus Niederschlägen eine Potentialkulmination. Im Raum Plattling-Moos führt die vertikale Thermalwasseraussickerung zu einer markanten Potentialdepression. Ein steiles Druckgefälle ergibt sich aufgrund geringer Transmissivitäten und starken Randzustroms südlich des Aidenbach-Griesbacher Hochs. Eine Zone erhöhter Transmissivität mit flachem Potentialgefälle tritt östlich des Inns auf, eine Zone mit Potentialversteilung kennzeichnet den Ausstrombereich der Linzer Sande zur Donau hin. Im niederbayerischen Bäderdreieck und an den innviertler Thermen rufen die Entnahmen ausgeprägte → *Absenkungstrichter* hervor.

Eine anschauliche Darstellung der Auswirkung von zusätzlichen Entnahmen auf das nähere Umfeld und das Gesamtsystem sind Differenzenpläne. Die Isolinien stellen die Bereiche gleicher Absenkung gegenüber einem definierten Vergleichszustand dar. Der Differenzenplan in Anlage 18 zeigt den Einfluß der bisherigen Entnahmen auf die Druckverhältnisse im Thermalwasseraquifer. In diesem war der Druckspiegel bis Ende 1996 – gegenüber dem unbeeinflussten Ausgangszustand vor 1919 – in weiten Teilen um 6 bis 11 m abgesunken. Im Bereich der niederbayerischen und innviertler Thermen bildete sich eine ausgedehnte Absenkungszone mit einer Druckabsenkung in Bad Füssing von bis zu 30 m aus.

Die aktuelle Druckabsenkung und die örtlich veränderte Thermalwasserströmung ist als eine bereits deutliche Einflußnahme auf die natürlichen Verhältnisse zu werten. Bei einem Ausstrom in die Donau von rund 490 l/s und einer derzeitigen Gesamtentnahme von 129 l/s werden 21% des Thermalwasserdargebotes aus den bestehenden Thermen gefördert.

## Prognoseberechnungen (Lastfälle)

---

Anhand unterschiedlicher Entnahmeszenarien (Lastfälle), wurden die Auswirkungen von zusätzlichen Entnahmen und Reinjektionen auf die Thermalwasserverhältnisse prognostiziert. Diese Lastfälle beinhalteten unter anderem:

- verschiedene Entnahmekonstellationen bei den bestehenden Thermen
- geothermische Nutzungen mit und ohne Reinjektion
- zusätzliche Thermalwasserentnahmen

Mit dem Lastfall I wurden die Auswirkungen bestehender und bekannter geplanter Entnahmen mit Reinjektion des ausschließlich geothermisch genutzten Anteils auf die Thermalwasserverhältnisse prognostiziert. Die Ergebnisse sind in Anlage 19 dargestellt. Die der Berechnung zugrunde gelegten Entnahmen wurden gegenüber den aktuellen stark erhöht, jedoch durch eine hohe Reinjektionsrate an einzelnen Thermen weitgehend kompensiert. Trotz der hohen Reinjektionsrate ergibt sich langfristig im weitaus größten Teil des Modellgebietes eine zusätzliche flächenhafte Druckabsenkung. Im Bereich größerer Entnahmen ist dabei mit erheblichen Absenkungen zu rechnen. Als Anlage 20 ist ein Differenzenplan beigefügt, der die Auswirkungen des Lastfalles I gegenüber den derzeitigen Verhältnissen darstellt. Die Ergebnisse zeigten, daß die dem Lastfall I zugrunde liegende Gesamtentnahme – sowohl im Hinblick auf das Thermalwasserdargebot, als auch auf die notwendig zu erhaltenden Druckverhältnisse – noch als realisierbar eingeschätzt werden kann.

Im Lastfall II wurden aufbauend auf Lastfall I weitere Thermalwassernutzungen mit Reinjektion des ausschließlich geothermisch genutzten Anteils simuliert. Der Nutzungsgrad erhöhte sich deutlich. Die Ergebnisse zeigten, daß zusätzliche Entnahmen im Zentralbereich erhebliche Absenkungen des Druckniveaus bewirken. Es wurde deutlich, daß die dem Lastfall II zugrunde liegende Gesamtentnahme damit den aus wasserwirtschaftlicher Sicht noch vertretbaren Rahmen überschreitet.

Im Lastfall III wurden die Auswirkungen auf das Thermalwasservorkommen unter Ansatz der Entnahmekonfiguration aus Lastfall II bei Verzicht auf die Reinjektion simuliert. Der Vergleich von Lastfall III mit Lastfall II ergab für dieses Szenarium einen gravierenden Druckabfall des Thermalwasserspiegels.

Im Lastfall IV wurden zur weiteren Erkundung der Leistungsfähigkeit des Thermalwasservorkommens Nutzungsverhältnisse simuliert, die zwischen den Annahmen von Lastfall I und Lastfall II lagen.

## Modellgenauigkeit und Anwendungsbereich

---

Die Größe des Projektgebietes und die örtlich sehr unterschiedliche Dichte der vorhandenen Meßdaten erfordert eine differenzierte Betrachtung des Modellgebietes. Die Aussagegenauigkeit des Strömungsmodells und der Prognosen sind in den gut beobachteten Bereichen und den weniger gut beobachteten Bereichen unterschiedlich.

Gut beobachtete Bereiche des Modellgebietes:

Das sind die Bereiche des niederbayerischen Bäderdreiecks, der innviertler Thermen, der Raum Straubing-Schierling und der Raum Haag, Gallsbach und Schallerbach. Hier liegt eine vergleichsweise hohe Datendichte vor.

Die mit dem Modell erzielbare Genauigkeit liegt bezogen auf die Absoluthöhen der Druckspiegel im Meterbereich, bezogen auf die Relativhöhen der Druckspiegel im Dezimeterbereich.

Weniger gut beobachtete Bereiche des Modellgebietes:

Da in diesen Bereichen nur wenige Daten vorliegen, ist die Modellgenauigkeit hier wesentlich geringer als in den gut beobachteten.

## Ergebnisse des Thermalwasser-Strömungsmodells

---

Wesentliche Ergebnisse des Grundwassermodells sind:

- Eine Übernutzung des Thermalwasservorkommens liegt derzeit noch nicht vor. Weitere Entnahmen für balneologische Zwecke sind nur noch in geringem Umfang möglich.
- Durch weitreichende Druckspiegelabsenkungen infolge Übernutzung besteht die Gefahr einer Mobilisierung hochsalinärer Tiefenwässer.
- Um einer weiteren Druckabsenkung entgegenzuwirken, ist die Reinjektion von ausschließlich geothermisch genutztem Tiefenwasser unbedingt erforderlich.
- Mit dem Thermalwasser-Strömungsmodell sind die Auswirkungen bestehender und geplanter Nutzungen auf die Thermalwasserverhältnisse prognostizierbar.
- Es ist erforderlich, das Thermalwasser-Strömungsmodell auf der Basis neu gewonnener Kenntnisse und des zu aktualisierenden hydrogeologischen Modells in regelmäßigen Abständen fortzuschreiben.

## Zusammenfassung und Ausblick

---

Das Thermalwasser-Strömungsmodell wurde in deutsch-österreichischer Zusammenarbeit erstellt. Es beschreibt die Thermalwasserströmung und die Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. Das Thermalwasservorkommen reicht von Regensburg in Bayern bis Linz in Oberösterreich und speist die Thermen und Badeanlagen von Straubing, Bad Füssing, Bad Birnbach, Bad Griesbach, Geinberg, Gallsbach und Bad Schallerbach. Die Orte Straubing, Obernberg, Geinberg, Altheim und Haag und zukünftig Simbach und Braunau werden mit dem bis zu 105 °C heißen Thermalwassers beheizt. Im zentralen, grenznahen Raum ist das Thermalwasservorkommen somit zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor geworden.

Um die bestehenden Nutzungen abzusichern und in einem wasserwirtschaftlich vertretbaren Ausmaß auch zukünftig Nutzungen zu ermöglichen, sind Bewirtschaftungsmaßnahmen erforderlich. Das Thermalwasser kann nur dann weiterhin wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden, wenn der natürlich vorhandene artesische Druckspiegel erhalten bleibt. Es wird davon ausgegangen, daß die Erhaltung eines derartigen Druckzustandes vor allem im Interesse der Thermalwassernutzer gelegen ist, da dadurch hohe Pumpkosten und mögliche Schadstoffeinträge ins Thermalwasser vermieden werden können. Nur durch eine sparsame Verwendung des Thermalwassers ist auch dessen zukünftige Nutzung sichergestellt. Die durchgeführten Berechnungen haben ergeben, daß sich die Thermalwasserverhältnisse bei Nichtbeachtung der genannten Grundsätze entscheidend verschlechtern würden und zukünftige Nutzungen dadurch in Frage gestellt wären. Von Bayern und Österreich entwickelte und gemeinsam getragene Schutz- und Nutzungsstrategien sind daher erforderlich. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die vollständige Reinjektion geothermisch genutzter Wässer gelegt werden.

Mit dem nunmehr erstellten Tiefengrundwassermodell zur Bilanzierung des Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken können wasserrechtliche Anträge zur Nutzung des Tiefengrundwassers auf einer zwischen den beiden Staaten abgestimmten Fachgrundlage beurteilt werden. Das Modell ermöglicht eine hinreichend genaue Bestimmung des zur Verfügung stehenden Thermalwasserdargebotes und die Quantifizierung der Auswirkungen - von bestehenden bzw. geplanten Nutzungen - auf das gesamte Thermalwasservorkommen und insbesondere auf benachbarte Thermalwassernutzungen.

Um die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit von Prognosen ständig zu verbessern, ist es erforderlich, das Thermalwasser-Strömungsmodell in regelmäßigen Abständen zu überarbeiten. Dabei sollen die in der Zwischenzeit gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt werden. Um dies sicherzustellen ist es notwendig, daß die Datenerhebung künftig nach einheitlichen Kriterien erfolgt und ein entsprechender Datenaustausch gewährleistet ist.

Insgesamt hat sich gezeigt, daß sich die gemeinsamen Anstrengungen auf deutscher und österreichischer Seite gelohnt haben, um ein gemeinsames Grundwassermodell zu erstellen. Es ist aber nicht nur im gemeinsamen Interesse der Genehmigungsbehörden diesseits und jenseits des Inn das Tiefengrundwassersystem genauer beurteilen zu können. Auch die Thermenbetreiber in den Bädern und Kurorten sowie die Nutzer der geothermischen Energie müssen ein gesteigertes Interesse haben, ihre Ressource Thermalwasser genau kennen beziehungsweise einschätzen zu lernen und sie sorgsam und sparsam zu verwenden. Eine nachhaltige Nutzung des Thermalwasservorkommens macht eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Behörden und den Nutzungsinteressenten notwendig. Nur wenn die genannten Grundsätze beachtet werden, ist es möglich, die Nutzung des Thermalwasservorkommens durch nachfolgende Generationen weiterhin zu gewährleisten.

## Glossar

---

### Absenkungstrichter

Trichterförmige Eintiefung in der Grundwasseroberfläche, die sich bei einer Grundwasserentnahme um den Brunnen herum ausbildet. Bei gespanntem Grundwasser spricht man von der → *Grundwasserdruckfläche* anstelle der → *Grundwasseroberfläche*; dem Absenkungstrichter entspricht hier die Druckdepression.

### Aquifer (Grundwasserleiter)

Gesteinskörper aus Locker- oder Festgestein mit einem bestimmten Hohlraumanteil. Durch die im Gestein vorhandenen Hohlräume (Poren, Klüfte, Trennfugen, Karsthohlräume etc.) kann Grundwasser fließen. Abhängig von der Ausbildung dieser Hohlräume unterscheidet man Poren-, Kluff- und Karstgrundwasserleiter (→ *Trennfläche*, → *Verkarstung*).

### Artesisch gespanntes Grundwasser

Grundwasser, dessen → *Grundwasserdruckfläche* in dem betrachteten Bereich oberhalb der Erdoberfläche liegt. Ein Brunnen in einem artesisch gespannten Grundwasserleiter liefert frei auslaufendes Grundwasser.

### Aussickerung

Grundwasserstrom, der aus dem betrachteten Grundwasserkörper durch die Grundwassersohle, bei gespanntem Grundwasserleiter auch durch dessen Grundwasseroberfläche in andere Grundwasserleiter oder in ein Oberflächengewässer austritt.

### Basisdruck

Der Basisdruck ist der an der Bohrlochsohle gemessene Wasserdruck und entspricht dem im Grundwasserleiter an dieser Stelle tatsächlich herrschenden Druck.

### Bilanzierung (Wasserbilanz)

Volumenmäßige Erfassung aller am Grundwassergeschehen im Untersuchungsgebiet während einer Betrachtungszeitspanne beteiligten Bilanzgrößen. Die Bilanz von Wassermengen kann im Grundwassermodell für beliebige räumliche Regionen und zeitliche Abschnitte ausgewiesen werden. Die Summe der positiven, dem betrachteten Bilanzgebiet zuströmenden Bilanzposten und der negativen, aus dem Bilanzgebiet ausströmenden Posten ist Null, soweit es zu keiner Speicherauffüllung oder -entleerung kommt.

### Dargebot (Grundwasserdargebot)

Grundwassermenge, die in einem abgegrenzten Grundwasservorkommen zur Verfügung steht. Sie ergibt sich als Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz (→ *Bilanzierung*), z.B. durch Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Zusickerung von Wasser aus Oberflächengewässern. Durch technische Mittel kann unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte ein Teil des Grundwasserdargebotes für die Wasserversorgung erschlossen werden. Das letztlich nutzbare Dargebot ist in der Regel kleiner als das technisch gewinnbare Dargebot, da eine nachhaltige Nutzung von Grundwasservorkommen nur unter Einhaltung bestimmter Vorgaben möglich ist.

### Durchlässigkeit

Sie ist die Eigenschaft eines Gesteins, für Wasser durchströmbar zu sein. Je nach Ausbildung des Gesteins wird unterschieden zwischen Porendurchlässigkeit und Trennfugendurchlässigkeit. Das Maß für die Durchlässigkeit ist der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert). Dieser hängt von den Eigenschaften des Grundwasserleiters (Poren, Klüfte, Karsthohlräume) ab sowie von den physikalischen Eigenschaften des Wassers (z.B. Temperatur und Dichte).

### Finite-Elemente-Methode

Ein numerisches Verfahren zur mathematischen Lösung der die Grundwasserströmung beschreibenden Gleichungen. Dabei wird der betrachtete Grundwasserleiter in beliebig geformte Elemente unterteilt (räumliche Diskretisierung). Durch eine Mengenbilanzierung für jedes Element und unter Anwendung des Fließgesetzes kann ein System gekoppelter Gleichungen aufgestellt werden. Dieses Gleichungssystem kann durch die Vorgabe von Rand- und Anfangsbedingungen numerisch gelöst und die Grundwasserpotentiale an den Elementknoten berechnet werden.

### Freies (ungespanntes) Grundwasser

Grundwasser, dessen → *Grundwasseroberfläche* und → *Grundwasserdruckfläche* in dem betrachteten Bereich identisch sind. Die freie Grundwasseroberfläche ist dadurch gekennzeichnet, daß an ihr atmosphärischer Druck herrscht.

### Gespanntes Grundwasser

Grundwasser, dessen → *Grundwasserdruckfläche* über der → *Grundwasseroberfläche* liegt.

### Gesteinsfazies (Fazies)

Gesamtheit der lithologischen und fossilinhaltlichen Merkmale eines Ablagerungsgesteins (Sedimentgestein). Die physisch-geographischen und geologischen Verhältnisse des Abtragungs- und Ablagerungsraumes während der Entstehungszeit bestimmen dabei verschiedenartige Ausbildungsformen, die sich vielfach durch unterschiedlich hohe Durchlässigkeiten unterscheiden.

### Grundwasserdruckfläche

Fläche, gebildet aus den Standrohrspiegelhöhen einer → *Grundwasseroberfläche*. Die Standrohrspiegelhöhen für die Grundwasserdruckfläche ergeben sich aus der geodätischen Höhe (NN+m bzw. m.ü.A.) der Grundwasseroberfläche und der an dieser Oberfläche herrschenden (hydrostatischen) Druckhöhe. Bei einem → *freien (ungespannten) Grundwasserleiter* herrscht an der Grundwasseroberfläche atmosphärischer Druck.

### Grundwassermodell

Methode zur Erfassung, Darstellung und Behandlung von → *Grundwasserströmungsproblemen*. Der Begriff Grundwassermodell beinhaltet hier sowohl die Erarbeitung eines → *hydrogeologischen Modells* als auch dessen Umsetzung und Kalibrierung zu einem → *mathematischen Modell*.

### Grundwasserneubildung

Zufluß von Wasser zum Grundwasser. Dieser Zufluß kann sich zusammensetzen aus der Grundwasserneubildung durch Niederschlag, aus der Zusickerung aus Oberflächengewässern sowie aus der Zusickerung aus angrenzenden Grundwasserstockwerken. Abhängig vom hydrogeologischen Aufbau gelangt meist nur ein geringer Teil in tieferliegende Grundwasserhorizonte.

### Grundwasseroberfläche

Obere Grenzfläche des Grundwassers in einem → *Aquifer*. Die untere Grenzfläche wird als Grundwassersohle bezeichnet.

### Hydrogeologisches Modell

Realistische und ortsspezifische Darstellung von in der Regel komplexen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten in so abstrahierter Form, daß alle wesentlichen Faktoren berücksichtigt bleiben und diese in einem Strömungs- oder Transportmodell numerisch bewältigt werden können.

### Infiltration

Zufluß von oberirdischem Wasser in einen Grundwasserkörper. Wichtige Formen sind die Infiltration aus Niederschlag sowie die Zusickerung von Sickerwasser aus Oberflächengewässern.

### Instationäres Strömungsmodell

Simulation einer zeitlichen Entwicklung der Grundwasserströmung unterteilt in einzelne Zeitschritte. Neben der zeitlichen Änderung der Grundwasserdruckfläche im Grundwassersystem wird auch deren Einfluß auf die Wasserspeicherung bzw. Entleerung mitberücksichtigt.

### Kalibrierung (Modellanpassung)

Phase der Modellbearbeitung, bei der die Parameterwerte in einem numerischen Modell so angepaßt werden, daß sich eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechneten Werten ergibt. Hierbei dürfen die Änderungen an den Parameterwerten nur innerhalb plausibler Grenzen vorgenommen werden.

### Kopfdruck

Der Kopfdruck wird bei Bohrungen, die einen artesisch gespannten Aquifer erschließen, am Bohrlochkopf gemessen. Er entspricht dem um das Gewicht der Wassersäule im Bohrloch verminderten → *Basisdruck*.

### Mathematisches Modell

Mathematische Beschreibung der physikalischen Vorgänge einer Grundwasserströmung. Zur Lösung der verwendeten Gleichungen müssen die Anfangs- und Randbedingungen sowie die Systemeigenschaften des Grundwasserleiters bekannt sein. Man unterscheidet → *numerische Modelle* und *analytische Modelle*, die jedoch aufgrund ihrer vereinfachenden Annahmen für komplexere Strömungsprobleme nicht eingesetzt werden können.

### Mergel

Sedimentgestein mit bestimmtem Mischungsverhältnis von Kalk und Ton. Die Verkarstungsfreudigkeit und somit die Durchlässigkeit nehmen mit abnehmendem Tongehalt zu.

### Numerisches Strömungsmodell

In einem numerischen Strömungsmodell wird das Untersuchungsgebiet in eine Vielzahl kleiner Teilelemente zerlegt, die untereinander verbunden sind. Für jedes dieser Elemente werden die Strömungsgleichungen aufgestellt und miteinander verknüpft. Dabei wird vorausgesetzt, daß in jedem Element die Summe der Zu- und Abflüsse ausgeglichen ist. Zur Aufstellung des Gleichungssystems stehen verschiedene Verfahren wie z.B. die → *Finite-Elemente-Methode* zur Verfügung. Durch die feine Diskretisierung können Randbedingungen und Systemeigenschaften des Untersuchungsraumes sehr detailliert berücksichtigt werden.

### Randbedingungen

Randbedingungen beschreiben die Wechselwirkung zwischen betrachtetem Untersuchungsbereich und den angrenzenden Gebieten (z.B. Zu-/Abstrombereiche, Entnahmepunkte, undurchlässige Begrenzungen). Im Modell werden sie in Form diskreter Werte für die Randelemente bzw. innere Elemente vorgegeben. Bei instationären Modellrechnungen können diese Werte für die einzelnen Zeitabschnitte unterschiedlich sein.

### Regensburger Vertrag

Staatsvertrag vom 01.12.1987 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Europäischen Gemeinschaft einerseits und der Republik Österreich andererseits über die wasserwirtschaftliche Zusammenarbeit im Einzugsgebiet der Donau.

Organe des Regensburger Vertrages sind:

- Ständige Gewässerkommission (8 Delegierte aus Deutschland und der EG; 6 Delegierte aus Österreich). Die Kommission hat zwei Sachverständigen-Arbeitsgruppen eingesetzt:
  - Sachverständigen-Arbeitsgruppe „Gewässerschutz“
  - Sachverständigen-Arbeitsgruppe „Wassermengenwirtschaft, Wasserbau“. Auf Vorschlag dieser Sachverständigen-Arbeitsgruppe wurde die
  - ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ mit der fachlichen und organisatorischen Betreuung eines Modells zur Beschreibung und Bilanzierung des gemeinsamen Thermalwasservorkommens im Raum Niederbayern / Oberösterreich beauftragt.

### Speicherkoeffizient

Maß für das Speichervermögen eines Gesteins. Der Parameter gibt an, welches Wasservolumen von einem Grundwasserleiter bei Änderung der Druckhöhe um eine Einheit aus einem Einheitsvolumen zusätzlich abgegeben bzw. gespeichert wird.

### Stationäres Strömungsmodell

Simulation einer Grundwasserströmung unter langfristig konstanten Randbedingungen. Es wird ein Gleichgewichtszustand betrachtet, bei dem keine Speicheränderung erfolgt.

### Störung

Trennfuge im Gebirge, an der eine Verstellung angrenzender Schollen infolge von Bewegungen in der Erdkruste stattgefunden hat.

### Strömungsmodelle

Strömungsmodelle beschreiben die Wasserbewegung im Boden und werden zur Simulation komplexer Grundwasserströmungsvorgänge herangezogen. Beispiele für ihren Einsatz sind die Interpretation beobachteter Grundwasserhöhen, die Ermittlung von Grundwasserbilanzen und -fließrichtungen, die Vorhersage von Grundwasserabsenkungen und -aufhöhungen infolge von Entnahmeänderungen, die Ermittlung von Einzugsgebieten und Schutzgebieten für Trinkwasserfassungen sowie von Stoffausbreitungen im Untergrund (Transportmodelle).

### Tektonik

Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungen und Kräften, die diesen Bau erzeugt haben. Die Kenntnis der tektonischen Verhältnisse in einem Karst- und Kluftgrundwasserleiter ist neben anderen Datenerhebungen Voraussetzung für eine realistische Einschätzung der Fließvorgänge in derartigen Grundwasservorkommen.

### Transmissivität

Die Transmissivität ergibt sich als Produkt des Durchlässigkeitsbeiwertes mit der Grundwassermächtigkeit (Differenz der geodätischen Höhen von Grundwasseroberfläche und Grundwassersohle).

### Trennfläche

Trennflächen unterbrechen die Kontinuität eines Felskörpers. Der Begriff Trennfläche ist der Oberbegriff für Kluft-, Störungs-, Schieferungs- und Schichtfläche. Infolge von Dehnungsvorgängen in der Erdkruste können sich in Festgesteinskörpern Trennflächen zu Trennfugen erweitern. Solange sie nicht durch Fremdmaterial verfüllt bzw. infolge von Kristallisationsvorgängen verheilt sind, stellen sie bevorzugte Wasserleitbahnen dar. Aquifere in derartigen Festgesteinskörpern werden als Kluftgrundwasserleiter bezeichnet.

### Verkarstung

Prozeß der natürlichen chemischen Auflösung und Zersetzung an Festgesteinen wie z.B. Steinsalz, Gips, Kalk und Dolomit. Besondere Angriffsbereiche dieser Prozesse sind vorab entstandene Trennfugen, in denen die chemische Lösungskraft des Wassers wirkt und diese erweitert. Die dadurch erhöhte Wasserwegsamkeit kann wiederum eine Steigerung der mechanischen Abtragungskraft des durchströmenden Wassers und somit eine Beschleunigung der Verkarstung bewirken. Derartige Aquifere werden als Karstgrundwasserleiter bezeichnet.

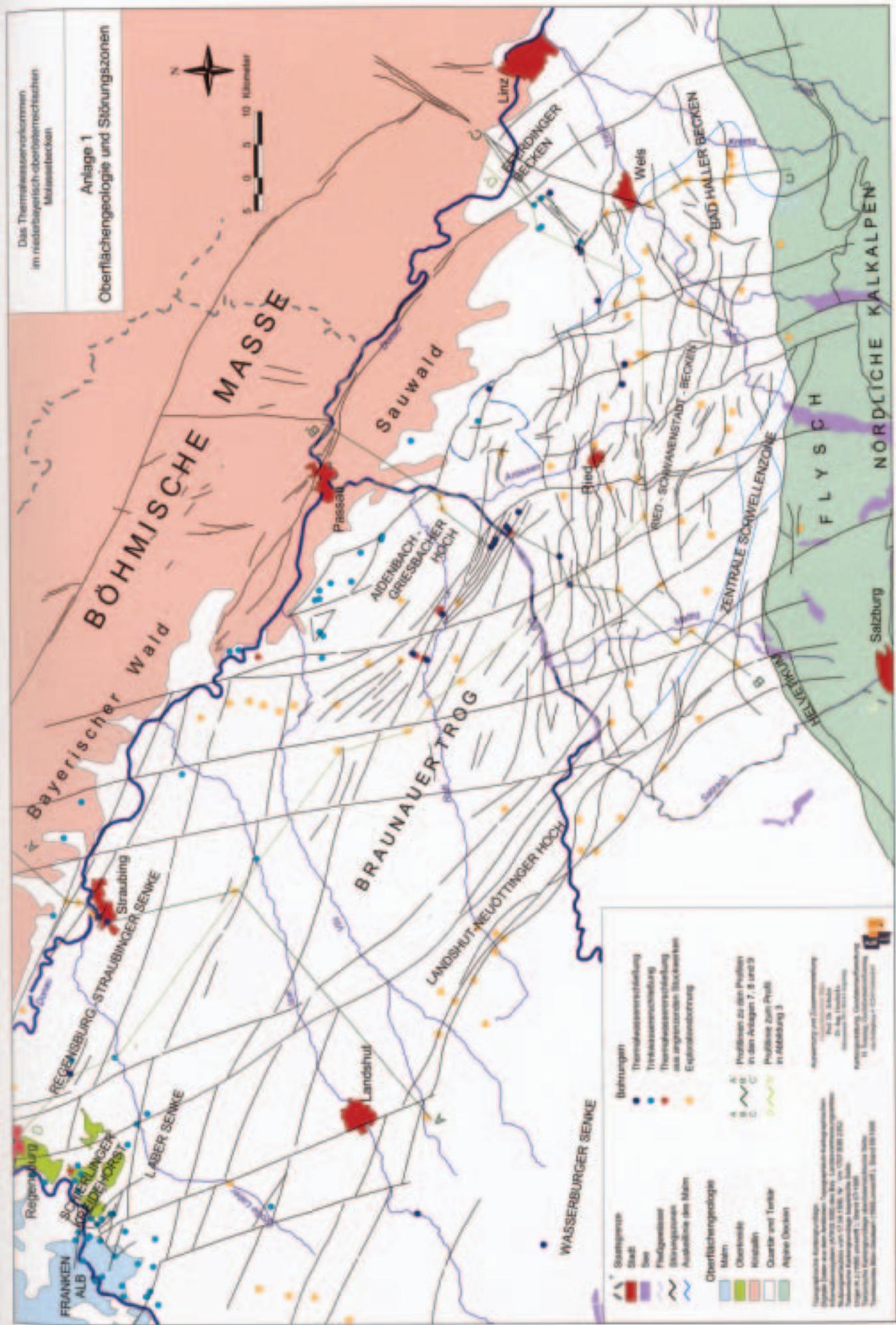
# Anlagenverzeichnis

---

- Anlage 1 **Oberflächengeologie und Störungszonen**
- Anlage 2 **Struktur der Malmoberfläche**
- Anlage 3 **Mächtigkeit des Malm**
- Anlage 4 **Nettomächtigkeit des Thermalwasseraquifers**
- Anlage 5 **Potentiale im Thermalwasseraquifer aus dem hydrogeologischen Modell**
- Anlage 6 **Thermalwasserbilanz**
- Anlage 7 **Geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt A – A'**
- Anlage 8 **Geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt B – B'**
- Anlage 9 **Geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt C – C'**
- Anlage 10 **Legende zu den geologisch-hydrogeologischen Profilschnitten**
- Anlage 11 **Entwicklung der Thermalwasserentnahmen aus bestehenden Nutzungen in Oberösterreich**
- Anlage 12 **Entwicklung der Thermalwasserentnahmen aus bestehenden Nutzungen in Bayern**
- Anlage 13 **Tritiumgehalte im Kreidehorst von Schierling**
- Anlage 14 **Temperatur des Thermalwassers**
- Anlage 15 **Ablaufschema der Modellierung**
- Anlage 16 **Modellnetz**
- Anlage 17 **Berechnete Potentialverteilung (1996)**
- Anlage 18 **Differenz der berechneten Druckspiegelhöhen 1996 gegenüber 1919**
- Anlage 19 **Prognostizierte Potentialverteilung (Lastfall I)**
- Anlage 20 **Differenz der prognostizierten Druckspiegelhöhen des Lastfalles I gegenüber 1996**

Das Thermaleisenerkennen  
im niederbayerisch-oberrheinischen  
Mittelsiebengebiet

Anlage 1  
Oberflächengeologie und Störungszone



**Legende**

**Städtegrenzen:**  
 Stadt (Red dot)  
 Ort (Blue dot)

**Störungszone:**  
 Störungszone (Thick black line)  
 Auslösung des Massiv (Thin black line)

**Oberflächengeologie:**  
 Malm (Light blue)  
 Oberkreide (Light green)  
 Kreide (Green)  
 Quarz und Tuffe (Yellow)  
 Alpine Decken (Dark green)

**Bohrungen:**  
 Thermaleisenerkennung (Blue dot)  
 Tinkalwassererkennung (Red dot)  
 Thermaleisenerkennung als angrenzenden Stockwerken (Orange dot)  
 Erdölbohrung (Yellow dot)

**Profile:**  
 Profile zu den Profilen in den Anlagen 1, 2 und 3 (A, B, C)  
 Profile zum Profil in Abbildung 1 (D)

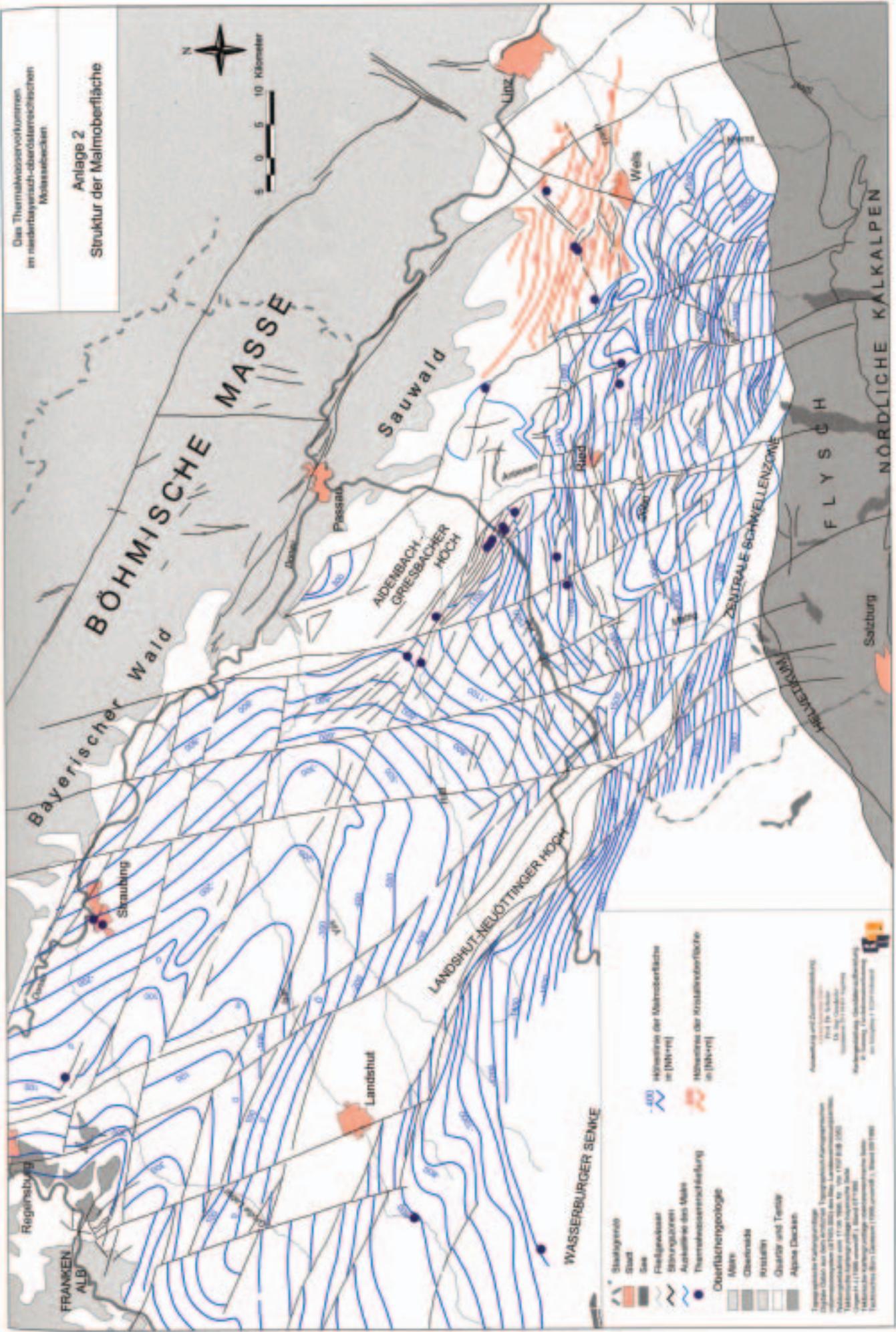
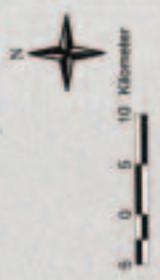
**Abmessung und Einheiten:**  
 Maßstab 1:50.000  
 Datum: DTM 50  
 Projektion: UTM  
 Datum: 1956  
 Datum: 1956  
 Datum: 1956

**Verantwortung:**  
 Auftraggeber: Bayerische Staatsregierung, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie  
 Auftraggeber: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie



Das Thermalkonzervatorium  
im niederbayerisch-oberrheinischen  
Molassebecken

Anlage 2  
Struktur der Malmoberfläche



**WASSERBURGER SENKE**

- Staatsgrenze
- Stadt
- See
- Fließgewässer
- Stromschnellen
- Ausläufer des Malm
- Thermalkonzentrierung

**Oberflächengeologie**

- Malm
- Oberrheinisches Molassebecken
- Kristallin
- Quarzit und Tertiär
- Alpine Decken

**400** Höhenlinie der Malmoberfläche in [N-N-vf]

**1000** Höhenlinie der Kristalloberfläche in [N-N-vf]

**Quelle:** Geologische Karte von Bayern, Blatt 1:100 000, München, 1988. Geologische Karte von Bayern, Blatt 1:100 000, München, 1988. Geologische Karte von Bayern, Blatt 1:100 000, München, 1988. Geologische Karte von Bayern, Blatt 1:100 000, München, 1988.

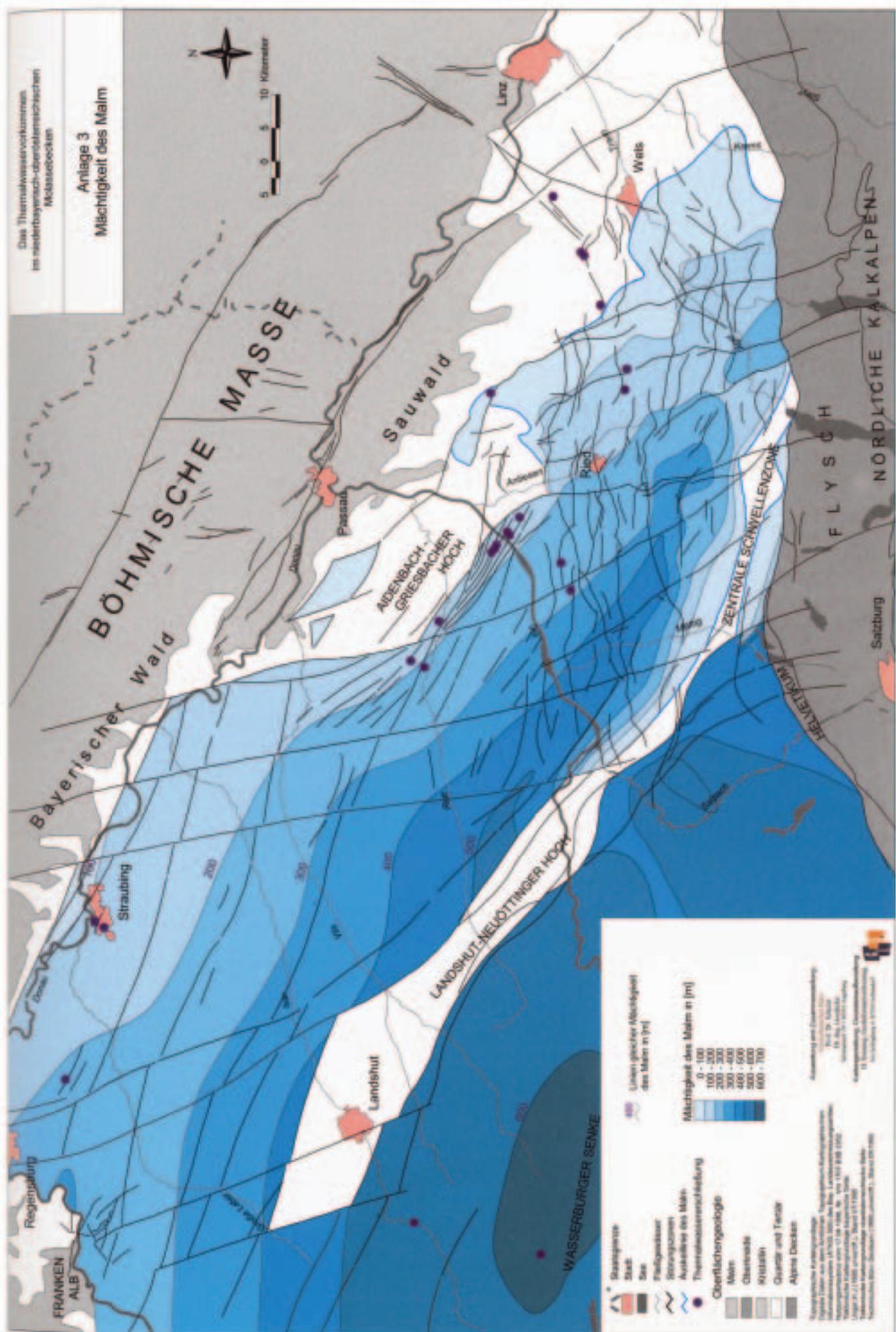
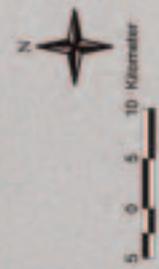
**Verantwortlich für die Kartographie:** Geographisches Institut der Universität München, München, 1988.

**Verantwortlich für die Druckerei:** Geographisches Institut der Universität München, München, 1988.

BÖHMISCHE MASSE  
Bayerischer Wald  
SAUWALD  
FRANKENALB  
LANDSHUT-NELOTTINGER HOCH  
AIDENBACH-OPRESBACHER HOCH  
ZENTRALE SCHWELLENZONE  
FLYSCH  
NÖRDLICHE KALKALPEN  
Regensburg  
Straubing  
Landshut  
Passau  
Linz  
Weils  
Amberg  
Ried  
Wasserburger Senke  
Salzburg

Das Thermalwasservorkommen  
im niederbayerisch-oberrheinischen  
Molassebecken

Anlage 3  
Mächtigkeit des Malm



**Legende**

- Staatsgrenze
- Staat
- See
- Flußgewässer
- Stromgewässer
- Ausläufer des Malm
- Thermalwasservorkommen
- Oberflächengeologie
- Malm
- Obermolasse
- Kristallin
- Granit und Tertiär
- Alpine Decken

**Linien gleicher Mächtigkeit des Malm in (m)**

**Mächtigkeit des Malm in (m)**

0 - 100
100 - 200
200 - 300
300 - 400
400 - 500
500 - 600
600 - 700

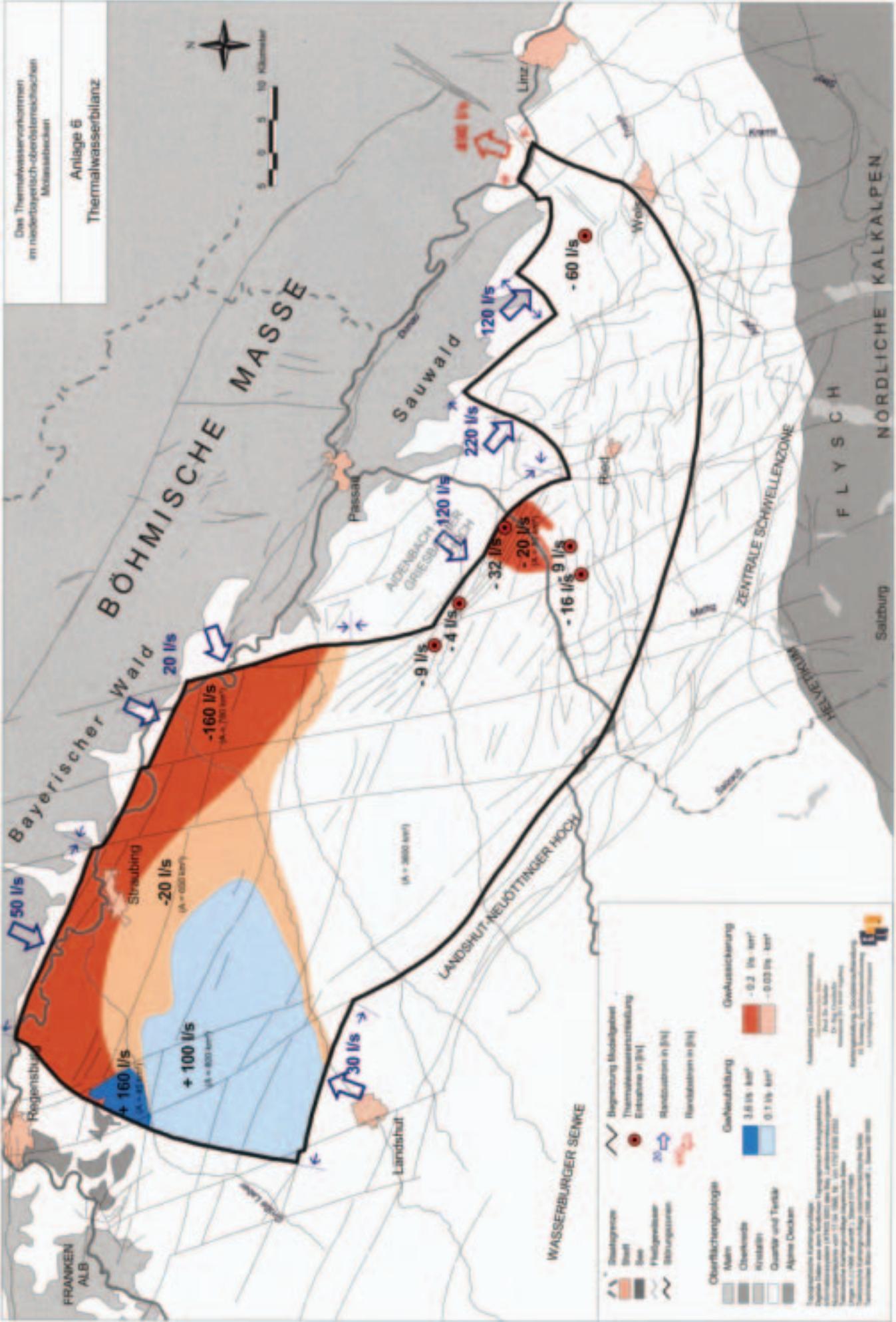
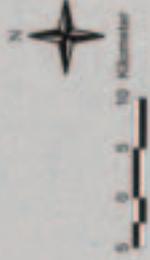
**Geographische Erdbelegungsstelle:**  
Digitale Daten von dem Landesamt für Geoinformation und Landvermessung  
Landesinformationssystem (LIS) des Landes Bayern, Landesinformationssystem  
Niederbayerisches Molassebecken (1:100 000, Nr. 100 100 100 100)  
Lageplan (1:100 000) vom 1. März 1998, Nr. 100 100 100 100  
Niederbayerisches Molassebecken (1:100 000, Nr. 100 100 100 100)  
Niederbayerisches Molassebecken (1:100 000, Nr. 100 100 100 100)

**Auswertung und Zusammenfassung:**  
Prof. Dr. G. G. G.  
Prof. Dr. G. G. G.  
Prof. Dr. G. G. G.  
Prof. Dr. G. G. G.



Das Thermalwasservorkommen  
im nordöstlich-oberbayerischen  
Münsterbucht

Anlage 6  
Thermalwasserbilanz



**Geographische Grenzlinie**

- Thermalwassergrenze
- Einströme in [N]
- Auströme in [N]
- Fließrichtung in [N]
- Fließrichtung in [S]

**Oberflächengeologie**

- Malm
- Oberkreide
- Mittlere Kreide
- Quarzit und Tonsteine
- Alpine Decken

**Gewässer**

- Gewässer
- Gewässer
- Gewässer

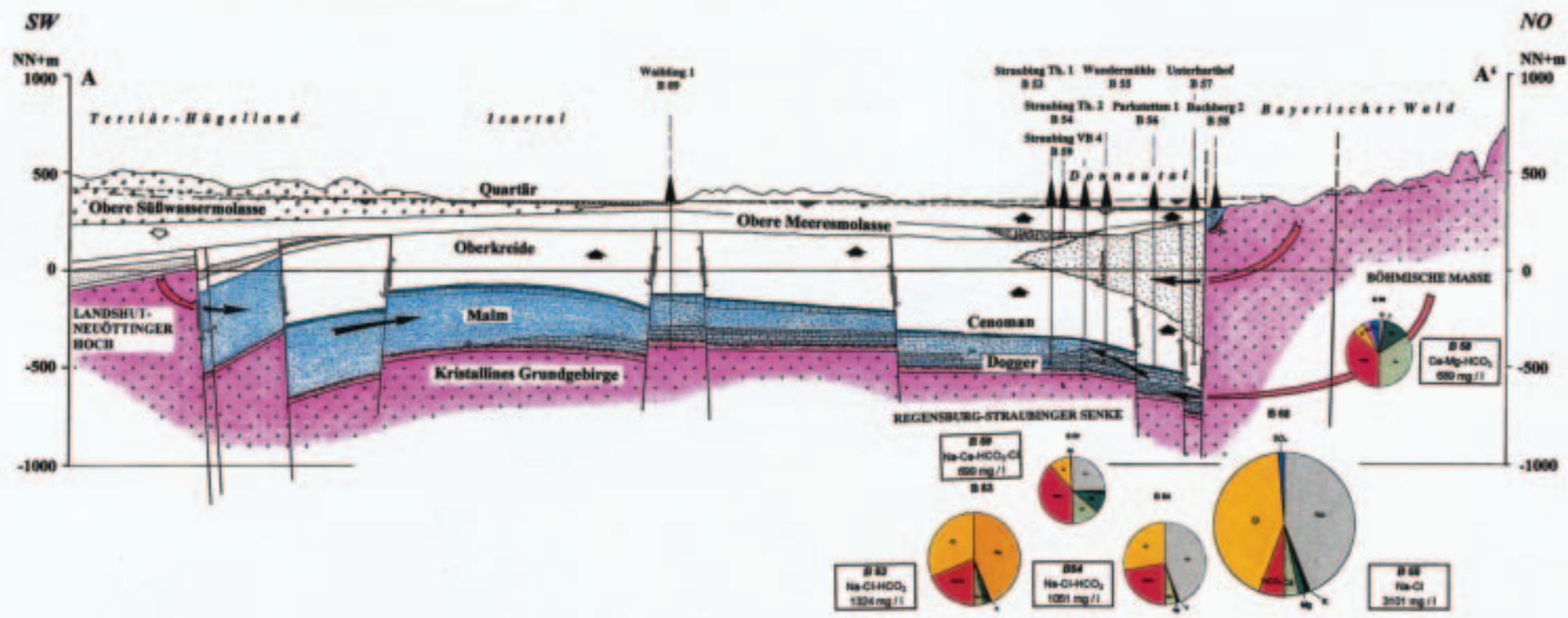
**Gewässerbilanz**

- Gewässerbilanz
- Gewässerbilanz
- Gewässerbilanz

**Spezialkarte**

Quelle: Daten aus dem Auswertungsprogramm "Thermalwasserbilanz" (TWS) des BGR, Landeshydrographisches Institut, München, 1998. BGR, Nr. 1107 (1998) 2002. <http://www.bgr.de>

Verarbeitet von: BGR, 1998, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025

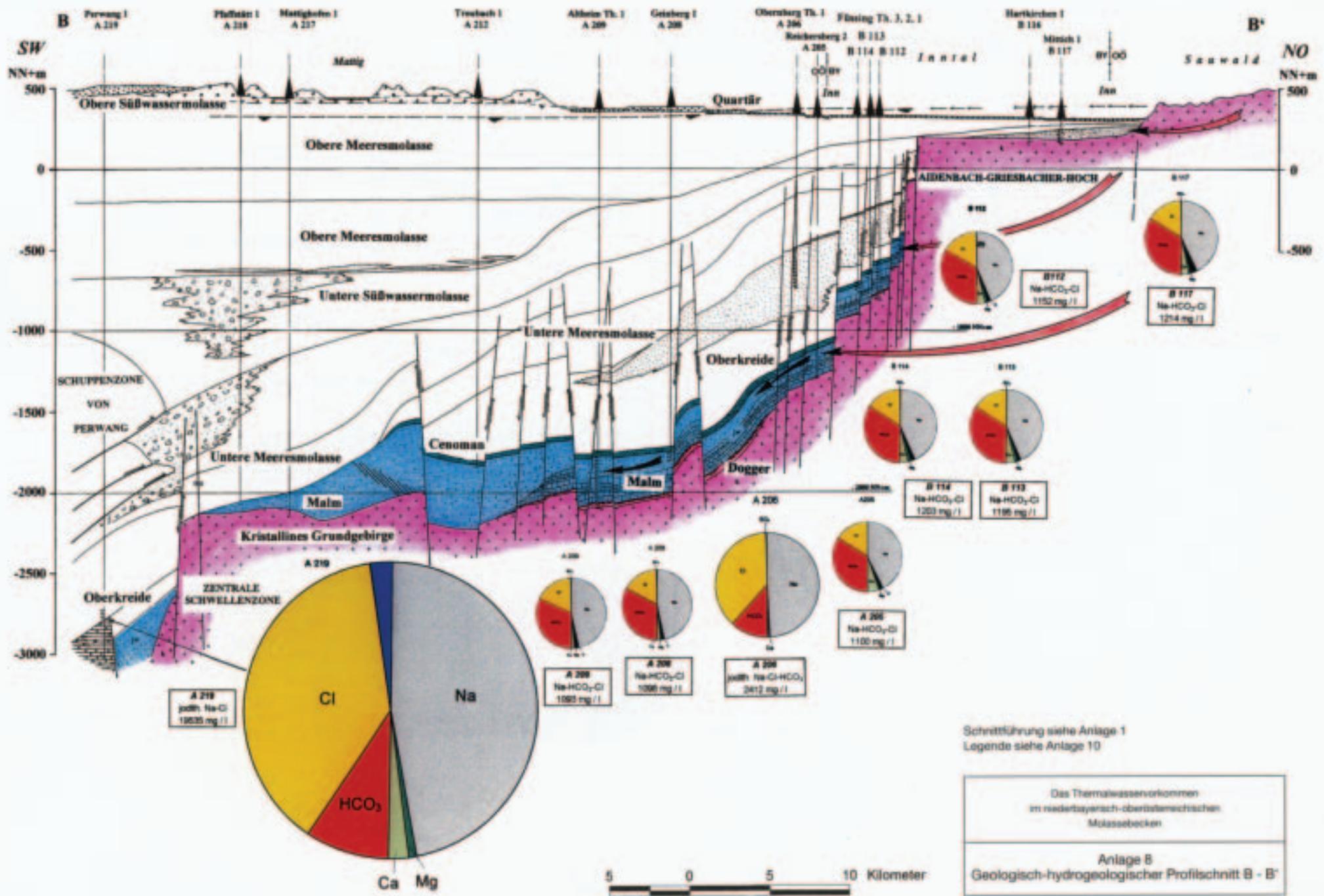


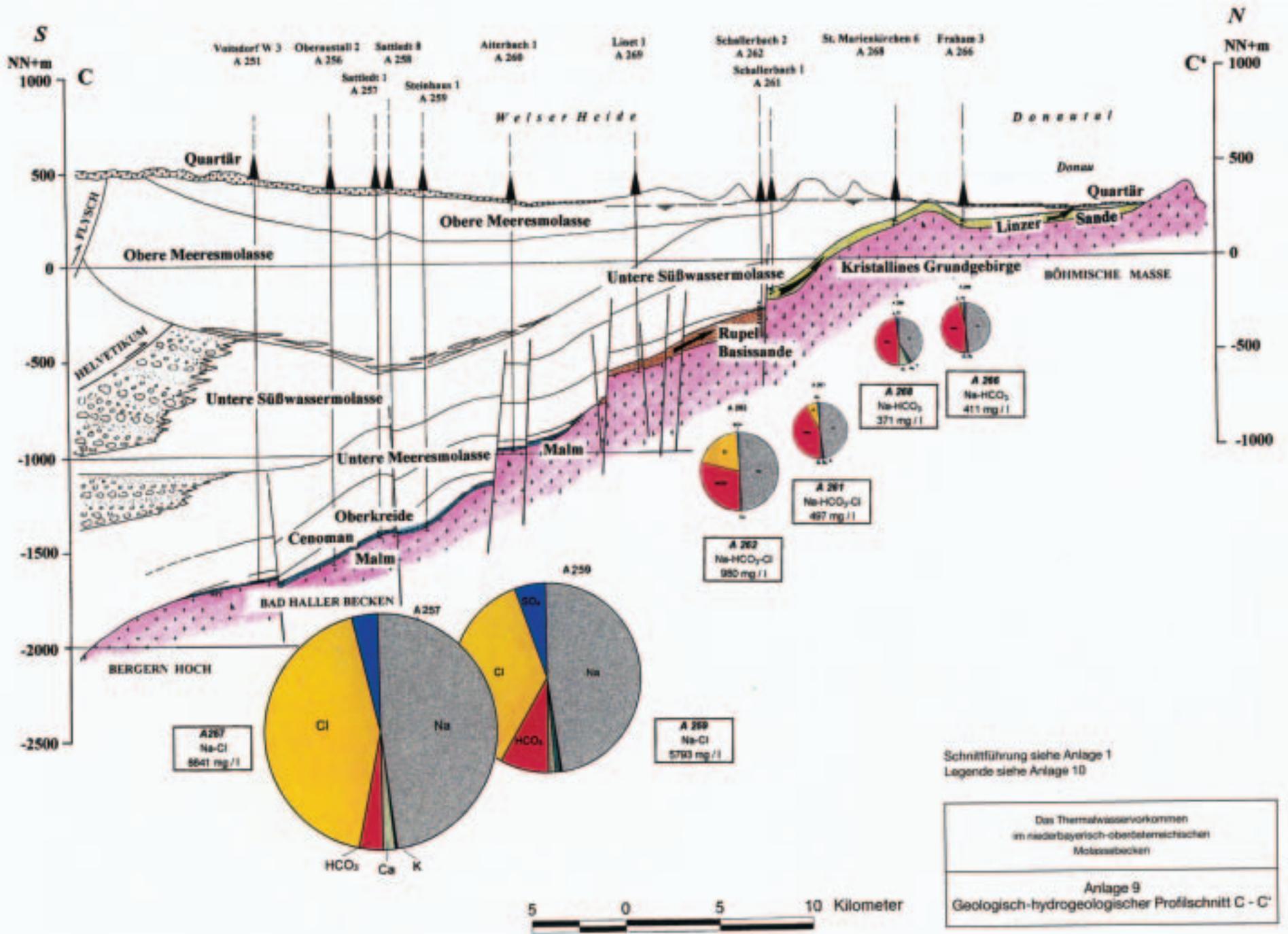
Schnittführung siehe Anlage 1  
 Legende siehe Anlage 10

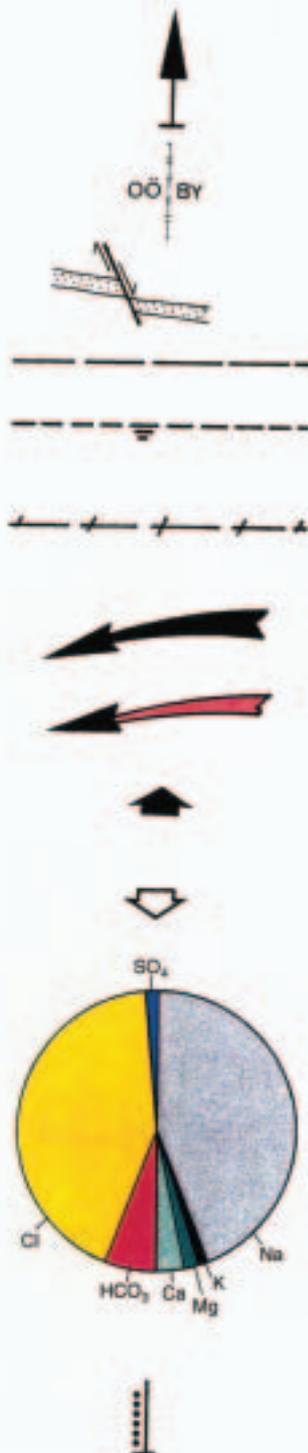
Das Thermalwassenvorkommen  
 im niederbayerisch-oberbayerischen  
 Molassebecken.

Anlage 7  
 Geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt A - A'









Bohrung

Endteufe

Staatsgrenze

Störung

Korrigierter Druckspiegel des Thermalwassers

Freier und gespannter Wasserspiegel oberflächennaher Grundwasserleiter

Potentieller Druckspiegel des Tiefengrundwassers im Kristallin

Fließrichtung des Thermalwassers

Randzuströme aus dem Kristallin des Bayerischen Waldes und des Landshut-Neuöttinger Hochs

Thermalwasser-Neubildung durch Leakage

Thermalwasser-Aussickerung durch Leakage

Hauptionen- Anteile im Thermalwasser;  
der Kreisradius ist proportional dem  
Lösungsinhalt

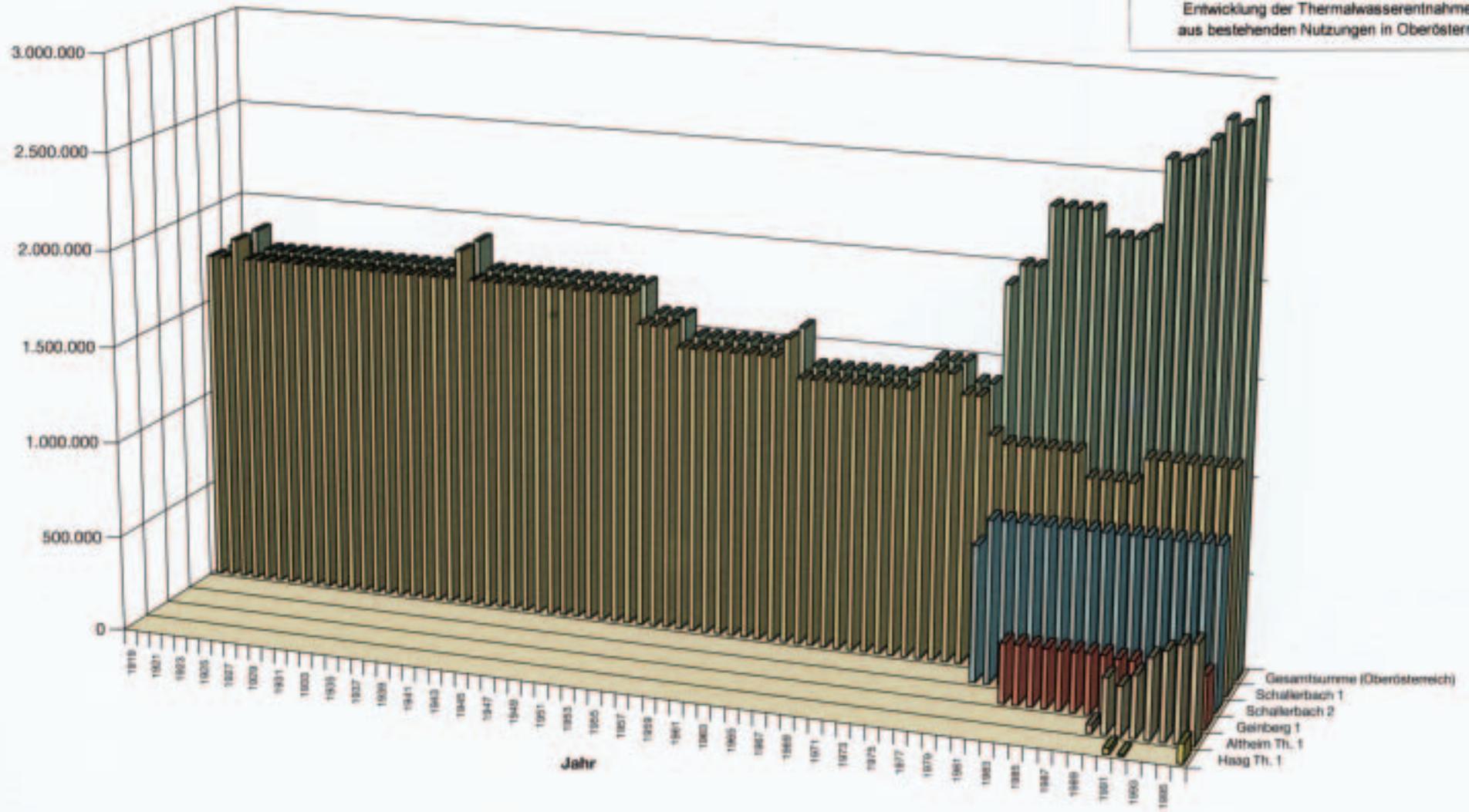
- Na
- K
- Mg
- Ca
- HCO<sub>3</sub>
- Cl
- NO<sub>3</sub>
- SO<sub>4</sub>

Zugehöriger Beprobungshorizont in einer Bohrung

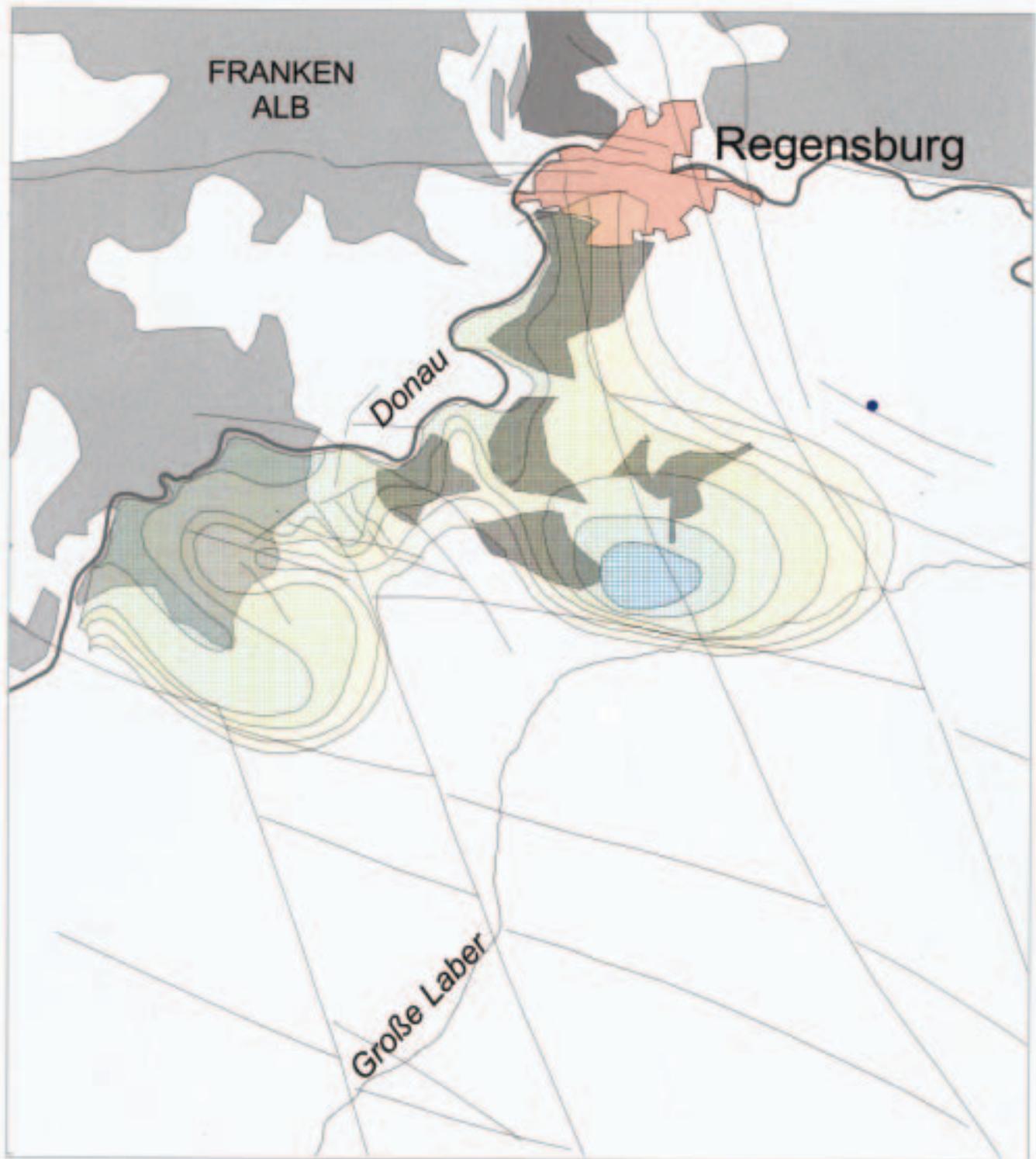
Entnahme (m³/a)

Das Thermalwasservorkommen  
im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken

Anlage 11  
Entwicklung der Thermalwasserentnahmen  
aus bestehenden Nutzungen in Oberösterreich







Stadt	<b>Tritiumgehalte im Thermalwasser in [TU]</b> 
Fließgewässer	
Störungszonen	
Thermalwassererschließung	
<b>Oberflächengeologie</b>	
Kristallin	
Malm	
Oberkreide	

Auswertung und Zusammenstellung  
 von Prof. Dr. habil. Dr.-Ing. Grottel  
 im Auftrag des BGR  
 BGR, Geotechnisches Institut  
 Am Schloßberg 4, 10275 Berlin



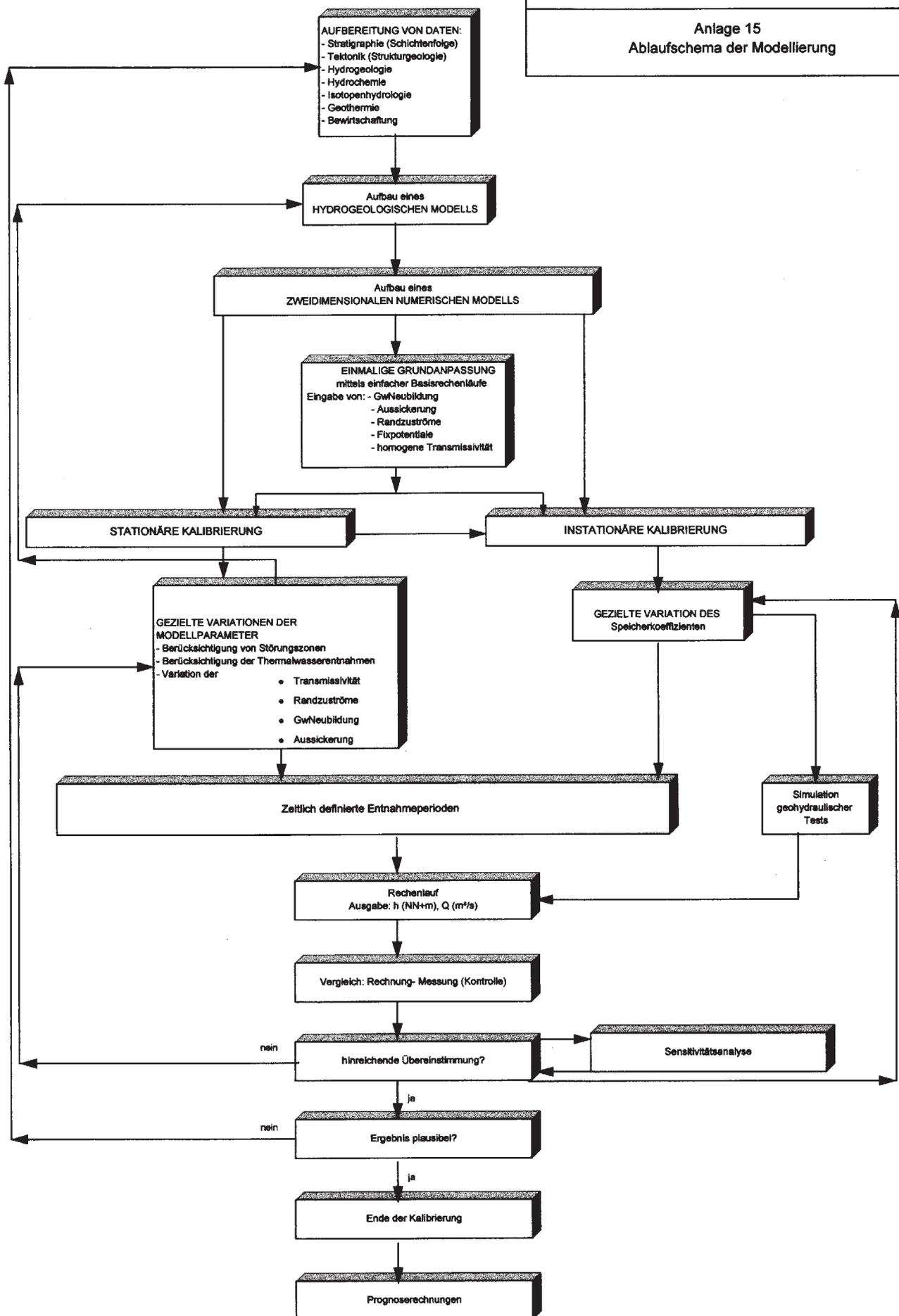
Das Thermalwasservorkommen  
 im niederbayerisch-oberösterreichischen  
 Molassebecken  
  
**Anlage 13**  
**Tritiumgehalte im Kreidehorst  
 von Schierling**



**Das Thermalwasservorkommen  
im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken**

---

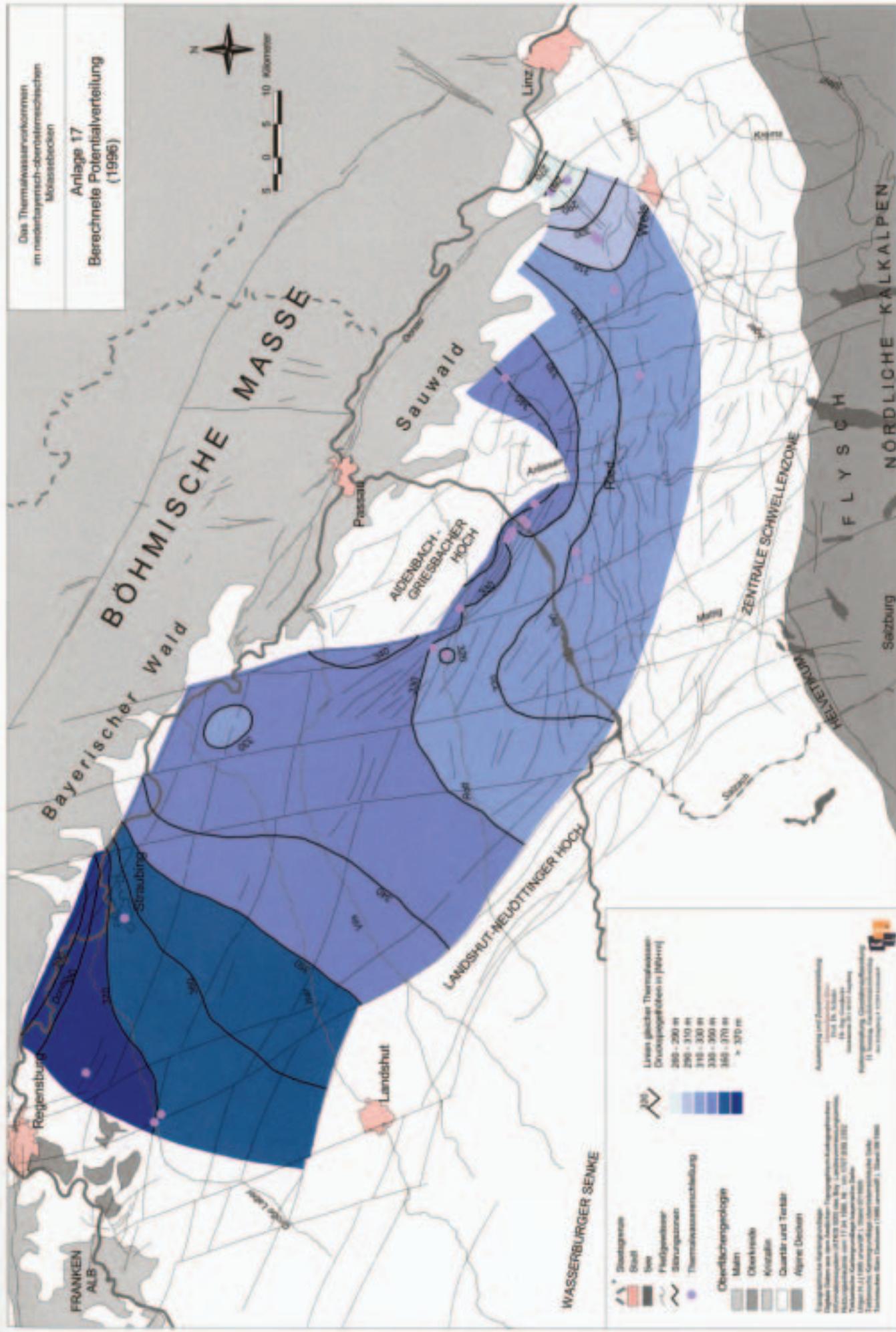
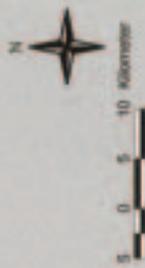
**Anlage 15  
Ablaufschema der Modellierung**





Das Thermalwasservorkommen  
im niederbayerisch-oberrheinischen  
Molassebecken

Anlage 17  
Berechnete Potentialverteilung  
(1996)



**WASSERBURGER SENKE**

- Stadtgrenze
- Stadt
- See
- Hilfsgrenze
- Störungszonen
- Thermalwasserschubung

**Oberflächengeologie**

- Malm
- Oberkreide
- Kreide
- Quarter und Tertiär
- Äolische Decken

**Linien gleicher Thermalwasser-Druckpotentiale in (mN/m²)**

- 260 - 290 m
- 290 - 310 m
- 310 - 330 m
- 330 - 350 m
- 350 - 370 m
- > 370 m

**Geographische Fachzeitschriften**

Regelheft des Bayerischen Hydrographischen Anstaltsvereins  
 Mitteilungsblatt des Bayerischen Hydrographischen Anstaltsvereins  
 Hydrographische Anstalt des Bayerischen Hydrographischen Anstaltsvereins  
 Hydrographische Anstalt des Bayerischen Hydrographischen Anstaltsvereins  
 Hydrographische Anstalt des Bayerischen Hydrographischen Anstaltsvereins

**Anmerkungen und Zusatzenotizen**

Stand 15. Oktober 1996  
 Stand 15. Oktober 1996  
 Stand 15. Oktober 1996  
 Stand 15. Oktober 1996

**Verantwortung, Qualitätssicherung**

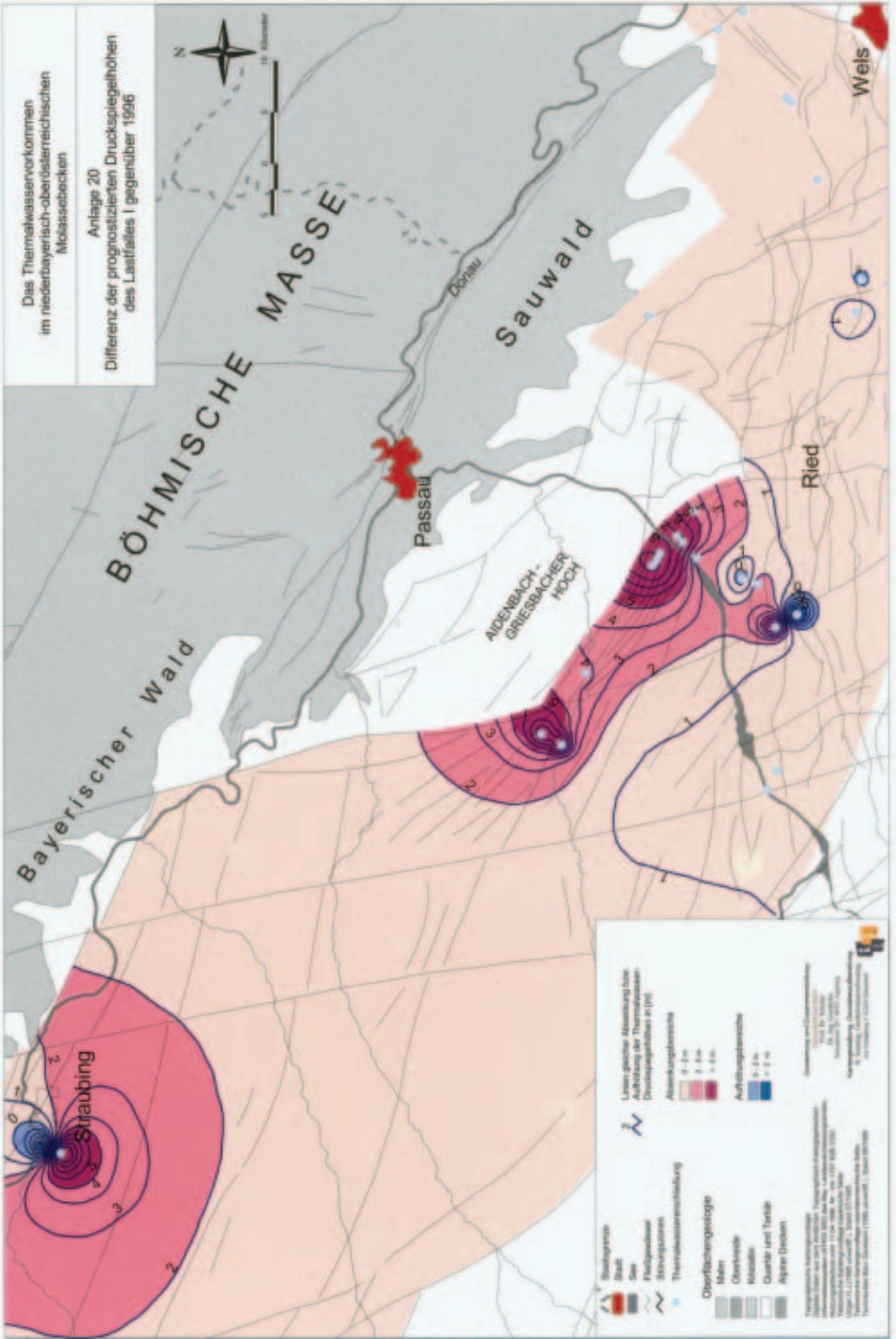
11. Oktober 1996  
 11. Oktober 1996  
 11. Oktober 1996  
 11. Oktober 1996





Das Thermalwasservorkommen  
im niederbayerisch-oberrheinischen  
Molassebecken

Anlage 20  
Differenz der prognostizierten Druckspiegelhöhen  
des Lastfalles I gegenüber 1996



**Stadtgrenze**

**Stadt**

**See**

**Fließgewässer**

**Stromschnellen**

**Thermalwasserverschattung**

**Oberflächengeologie**

Malm

Obertertiär

Känozoän

Quarter und Tertiär

Alpine Decken

**Linien gleicher Absonderung bzw. Aufhöhung der Thermalwasser-Druckspiegelhöhen in (m)**

**Absonderungsbereiche**

0 - 2 m

2 - 4 m

4 - 6 m

**Aufhöhungsbereiche**

0 - 2 m

2 - 4 m

**Absonderung und Grundwasserhöhe**

1996 bis 2000

2001 bis 2005

2006 bis 2010

2011 bis 2015

2016 bis 2020

2021 bis 2025

2026 bis 2030

2031 bis 2035

2036 bis 2040

2041 bis 2045

2046 bis 2050

2051 bis 2055

2056 bis 2060

2061 bis 2065

2066 bis 2070

2071 bis 2075

2076 bis 2080

2081 bis 2085

2086 bis 2090

2091 bis 2095

2096 bis 2100

2101 bis 2105

2106 bis 2110

2111 bis 2115

2116 bis 2120

2121 bis 2125

2126 bis 2130

2131 bis 2135

2136 bis 2140

2141 bis 2145

2146 bis 2150

2151 bis 2155

2156 bis 2160

2161 bis 2165

2166 bis 2170

2171 bis 2175

2176 bis 2180

2181 bis 2185

2186 bis 2190

2191 bis 2195

2196 bis 2200

2201 bis 2205

2206 bis 2210

2211 bis 2215

2216 bis 2220

2221 bis 2225

2226 bis 2230

2231 bis 2235

2236 bis 2240

2241 bis 2245

2246 bis 2250

2251 bis 2255

2256 bis 2260

2261 bis 2265

2266 bis 2270

2271 bis 2275

2276 bis 2280

2281 bis 2285

2286 bis 2290

2291 bis 2295

2296 bis 2300

2301 bis 2305

2306 bis 2310

2311 bis 2315

2316 bis 2320

2321 bis 2325

2326 bis 2330

2331 bis 2335

2336 bis 2340

2341 bis 2345

2346 bis 2350

2351 bis 2355

2356 bis 2360

2361 bis 2365

2366 bis 2370

2371 bis 2375

2376 bis 2380

2381 bis 2385

2386 bis 2390

2391 bis 2395

2396 bis 2400

2401 bis 2405

2406 bis 2410

2411 bis 2415

2416 bis 2420

2421 bis 2425

2426 bis 2430

2431 bis 2435

2436 bis 2440

2441 bis 2445

2446 bis 2450

2451 bis 2455

2456 bis 2460

2461 bis 2465

2466 bis 2470

2471 bis 2475

2476 bis 2480

2481 bis 2485

2486 bis 2490

2491 bis 2495

2496 bis 2500

2501 bis 2505

2506 bis 2510

2511 bis 2515

2516 bis 2520

2521 bis 2525

2526 bis 2530

2531 bis 2535

2536 bis 2540

2541 bis 2545

2546 bis 2550

2551 bis 2555

2556 bis 2560

2561 bis 2565

2566 bis 2570

2571 bis 2575

2576 bis 2580

2581 bis 2585

2586 bis 2590

2591 bis 2595

2596 bis 2600

2601 bis 2605

2606 bis 2610

2611 bis 2615

2616 bis 2620

2621 bis 2625

2626 bis 2630

2631 bis 2635

2636 bis 2640

2641 bis 2645

2646 bis 2650

2651 bis 2655

2656 bis 2660

2661 bis 2665

2666 bis 2670

2671 bis 2675

2676 bis 2680

2681 bis 2685

2686 bis 2690

2691 bis 2695

2696 bis 2700

2701 bis 2705

2706 bis 2710

2711 bis 2715

2716 bis 2720

2721 bis 2725

2726 bis 2730

2731 bis 2735

2736 bis 2740

2741 bis 2745

2746 bis 2750

2751 bis 2755

2756 bis 2760

2761 bis 2765

2766 bis 2770

2771 bis 2775

2776 bis 2780

2781 bis 2785

2786 bis 2790

2791 bis 2795

2796 bis 2800

2801 bis 2805

2806 bis 2810

2811 bis 2815

2816 bis 2820

2821 bis 2825

2826 bis 2830

2831 bis 2835

2836 bis 2840

2841 bis 2845

2846 bis 2850

2851 bis 2855

2856 bis 2860

2861 bis 2865

2866 bis 2870

2871 bis 2875

2876 bis 2880

2881 bis 2885

2886 bis 2890

2891 bis 2895

2896 bis 2900

2901 bis 2905

2906 bis 2910

2911 bis 2915

2916 bis 2920

2921 bis 2925

2926 bis 2930

2931 bis 2935

2936 bis 2940

2941 bis 2945

2946 bis 2950

2951 bis 2955

2956 bis 2960

2961 bis 2965

2966 bis 2970

2971 bis 2975

2976 bis 2980

2981 bis 2985

2986 bis 2990

2991 bis 2995

2996 bis 3000

3001 bis 3005

3006 bis 3010

3011 bis 3015

3016 bis 3020

3021 bis 3025

3026 bis 3030

3031 bis 3035

3036 bis 3040

3041 bis 3045

3046 bis 3050

3051 bis 3055

3056 bis 3060

3061 bis 3065

3066 bis 3070

3071 bis 3075

3076 bis 3080

3081 bis 3085

3086 bis 3090

3091 bis 3095

3096 bis 3100

3101 bis 3105

3106 bis 3110

3111 bis 3115

3116 bis 3120

3121 bis 3125

3126 bis 3130

3131 bis 3135

3136 bis 3140

3141 bis 3145

3146 bis 3150

3151 bis 3155

3156 bis 3160

3161 bis 3165

3166 bis 3170

3171 bis 3175

3176 bis 3180

3181 bis 3185

3186 bis 3190

3191 bis 3195

3196 bis 3200

3201 bis 3205

3206 bis 3210

3211 bis 3215

3216 bis 3220

3221 bis 3225

3226 bis 3230

3231 bis 3235

3236 bis 3240

3241 bis 3245

3246 bis 3250

3251 bis 3255

3256 bis 3260

3261 bis 3265

3266 bis 3270

3271 bis 3275

3276 bis 3280

3281 bis 3285

3286 bis 3290

3291 bis 3295

3296 bis 3300

3301 bis 3305

3306 bis 3310

3311 bis 3315

3316 bis 3320

3321 bis 3325

3326 bis 3330

3331 bis 3335

3336 bis 3340

3341 bis 3345

3346 bis 3350

3351 bis 3355

3356 bis 3360

3361 bis 3365

3366 bis 3370

3371 bis 3375

3376 bis 3380

3381 bis 3385

3386 bis 3390

3391 bis 3395

3396 bis 3400

3401 bis 3405

3406 bis 3410

3411 bis 3415

3416 bis 3420

3421 bis 3425

3426 bis 3430

3431 bis 3435

3436 bis 3440

3441 bis 3445

3446 bis 3450

3451 bis 3455

3456 bis 3460

3461 bis 3465

3466 bis 3470

3471 bis 3475

3476 bis 3480

3481 bis 3485

3486 bis 3490

3491 bis 3495

3496 bis 3500

3501 bis 3505

3506 bis 3510

3511 bis 3515

3516 bis 3520

3521 bis 3525

3526 bis 3530

3531 bis 3535

3536 bis 3540

3541 bis 3545

3546 bis 3550

3551 bis 3555

3556 bis 3560

3561 bis 3565

3566 bis 3570

3571 bis 3575

3576 bis 3580

3581 bis 3585

3586 bis 3590

3591 bis 3595

3596 bis 3600

3601 bis 3605

3606 bis 3610

3611 bis 3615

3616 bis 3620

3621 bis 3625

3626 bis 3630

3631 bis 3635

3636 bis 3640

3641 bis 3645

3646 bis 3650

3651 bis 3655

3656 bis 3660

3661 bis 3665

3666 bis 3670

3671 bis 3675

3676 bis 3680

3681 bis 3685

3686 bis 3690

3691 bis 3695

3696 bis 3700

3701 bis 3705

3706 bis 3710

3711 bis 3715

3716 bis 3720

3721 bis 3725

3726 bis 3730

3731 bis 3735

3736 bis 3740

3741 bis 3745

3746 bis 3750

3751 bis 3755

3756 bis 3760

3761 bis 3765

3766 bis 3770

3771 bis 3775

3776 bis 3780

3781 bis 3785

3786 bis 3790

3791 bis 3795

3796 bis 3800

3801 bis 3805

3806 bis 3810

3811 bis 3815

3816 bis 3820

3821 bis 3825

3826 bis 3830

3831 bis 3835

3836 bis 3840

3841 bis 3845

3846 bis 3850

3851 bis 3855

3856 bis 3860

3861 bis 3865

3866 bis 3870

3871 bis 3875

3876 bis 3880

3881 bis 3885

3886 bis 3890

3891 bis 3895

3896 bis 3900

3901 bis 3905

3906 bis 3910

3911 bis 3915

3916 bis 3920

3921 bis 3925

3926 bis 3930

3931 bis 3935

3936 bis 3940

3941 bis 3945

3946 bis 3950

3951 bis 3955

3956 bis 3960

3961 bis 3965

3966 bis 3970

3971 bis 3975

3976 bis 3980

3981 bis 3985

3986 bis 3990

3991 bis 3995

3996 bis 4000

4001 bis 4005

4006 bis 4010

4011 bis 4015

4016 bis 4020

4021 bis 4025

4026 bis 4030

4031 bis 4035

4036 bis 4040

4041 bis 4045

4046 bis 4050

4051 bis 4055

4056 bis 4060

4061 bis 4065

4066 bis 4070

4071 bis 4075

4076 bis 4080

4081 bis 4085

4086 bis 4090

4091 bis 4095

4096 bis 4100

4101 bis 4105

4106 bis 4110

4111 bis 4115

4116 bis 4120

4121 bis 4125

4126 bis 4130

4131 bis 4135

4136 bis 4140

4141 bis 4145

4146 bis 4150

4151 bis 4155

4156 bis 4160

4161 bis 4165

4166 bis 4170

4171 bis 4175

4176 bis 4180

4181 bis 4185

4186 bis 4190

4191 bis 4195

4196 bis 4200

4201 bis 4205

4206 bis 4210

4211 bis 4215

4216 bis 4220

4221 bis 4225

4226 bis 4230

4231 bis 4235

4236 bis 4240

4241 bis 4245

4246 bis 4250

4251 bis 4255

4256 bis 4260

4261 bis 4265

4266 bis 4270

4271 bis 4275

4276 bis 4280

4281 bis 4285

4286 bis 4290

4291 bis 4295

4296 bis 4300

4301 bis 4305

4306 bis 4310

4311 bis 4315

4316 bis 4320

4321 bis 4325

4326 bis 4330

4331 bis 4335

4336 bis 4340

4341 bis 4345

4346 bis 4350

4351 bis 4355

4356 bis 4360

4361 bis 4365

4366 bis 4370

4371 bis 4375

4376 bis 4380

4381 bis 4385

4386 bis 4390

4391 bis 4395

4396 bis 4400

4401 bis 4405

4406 bis 4410

4411 bis 4415

4416 bis 4420

4421 bis 4425

4426 bis 4430

4431 bis 4435

4436 bis 4440

4441 bis 4445

4446 bis 4450

4451 bis 4455

4456 bis 4460

4461 bis 4465

4466 bis 4470

4471 bis 4475

4476 bis 4480

4481 bis 4485

4486 bis 4490

4491 bis 4495

4496 bis 4500

4501 bis 4505

4506 bis 4510

4511 bis 4515

4516 bis 4520

4521 bis 4525

4526 bis 4530

4531 bis 4535

4536 bis 4540

4541 bis 4545

4546 bis 4550

4551 bis 4555

4556 bis 4560

4561 bis 4565

4566 bis 4570

4571 bis 4575

4576 bis 4580

4581 bis 4585

4586 bis 4590

4591 bis 4595

4596 bis 4600

4601 bis 4605

4606 bis 4610

4611 bis 4615

4616 bis 4620

4621 bis 4625

4626 bis 4630

4631 bis 4635

4636 bis 4640

4641 bis 4645

4646 bis 4650

4651 bis 4655

4656 bis 4660

4661 bis 4665

4666 bis 4670

4671 bis 4675

4676 bis 4680

4681 bis 4685

4686 bis 4690

4691 bis 4695

4696 bis 4700

4701 bis 4705

4706 bis 4710

4711 bis 4715

4716 bis 4720

4721 bis 4725

4726 bis 4730

4731 bis 4735

4736 bis 4740

4741 bis 4745

4746 bis 4750

4751 bis 4755

4756 bis 4760

4761 bis 4765

4766 bis 4770

4771 bis 4775

4776 bis 4780

4781 bis 4785

4786 bis 4790

4791 bis 4795

4796 bis 4800

4801 bis 4805

4806 bis 4810

4811 bis 4815

4816 bis 4820

4821 bis 4825

4826 bis 4830

4831 bis 4835

4836 bis 4840

4841 bis 4845

4846 bis 4850

4851 bis 4855

4856 bis 4860

4861 bis 4865

4866 bis 4870

4871 bis 4875

4876 bis 4880

4881 bis 4885

4886 bis 4890

4891 bis 4895

4896 bis 4900

4901 bis 4905

4906 bis 4910

4911 bis 4915

4916 bis 4920

4921 bis 4925

4926 bis 4930

4931 bis 4935

4936 bis 4940

4941 bis 4945

4946 bis 4950

4951 bis 4955

4956 bis 4960

4961 bis 4965

4966 bis 4970

4971 bis 4975

4976 bis 4980

4981 bis 4985

4986 bis 4990

4991 bis 4995

4996 bis 5000

5001 bis 5005

5006 bis 5010

5011 bis 5015

5016 bis 5020

5021 bis 5025

5026 bis 5030

5031 bis 5035

5036 bis 5040

5041 bis 5045

5046 bis 5050

5051 bis 5055

5056 bis 5060

5061 bis 5065

5066 bis 5070

5071 bis 5075

5076 bis 5080

5081 bis 5085

5086 bis 5090

5091 bis 5095

5096 bis 5100

5101 bis 5105

5106 bis 5110

5111 bis 5115

5116 bis 5120

5121 bis 5125

5126 bis 5130

5131 bis 5135

5136 bis 5140

5141 bis 5145

5146 bis 5150

5151 bis 5155

5156 bis 5160

5161 bis 5165

5166 bis 5170

5171 bis 5175

5176 bis 5180

5181 bis 5185

5186 bis 5190

5191 bis 5195

5196 bis 5200

5201 bis 5205

5206 bis 5210

5211 bis 5215

5216 bis 5220

5221 bis 5225

5226 bis 5230

5231 bis 5235

5236 bis 5240

5241 bis 5245

5246 bis 5250

5251 bis 5255

5256 bis 5260

5261 bis 5265

5266 bis 5270

5271 bis 5275

5276 bis 5280

5281 bis 5285

5286 bis 5290

5291 bis 5295

5296 bis 5300

5301 bis 5305

5306 bis 5310

5311 bis 5315

5316 bis 5320

5321 bis 5325

5326 bis 5330

5331 bis 5335

5336 bis 5340

5341 bis 5345

5346 bis 5350

5351 bis 5355

5356 bis 5360

5361 bis 5365

5366 bis 5370

5371 bis 5375

5376 bis 5380

5381 bis 5385

5386 bis 5390

5391 bis 5395

5396 bis 5400

5401 bis 5405

5406 bis 5410

5411 bis 5415

5416 bis 5420

5421 bis 5425

5426 bis 5430

5431 bis 5435

5436 bis 5440

5441 bis 5445

5446 bis 5450

5451 bis 5455

5456 bis 5460

5461 bis 5465

5466 bis 5470

5471 bis 5475

5476 bis 5480

5481 bis 5485

5486 bis 5490

5491 bis 5495

5496 bis 5500

5501 bis 5505

5506 bis 5510

5511 bis 5515

5516 bis 5520

5521 bis 5525

5526 bis 5530

5531 bis 5535

5536 bis 5540

5541 bis 5545

5546 bis 5550

5551 bis 5555

5556 bis 5560

5561 bis 5565

5566 bis 5570

5571 bis 5575

5576 bis 5580

5581 bis 5585

5586 bis 5590

5591 bis 5595

5596 bis 5600

5601 bis 5605

5606 bis 5610

5611 bis 5615

5616 bis 5620

5621 bis 5625

5626 bis 5630

5631 bis 5635

5636 bis 5640

5