



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

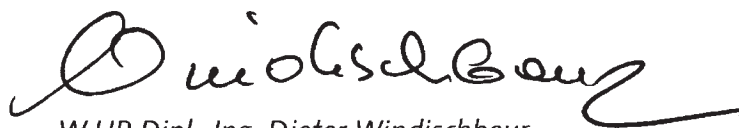
Vorwort

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 Windischbaur
Abteilungsleiter Wasserbau,
Amt der OÖ Landesregierung*

Inhalt

6	Anlaß und Zielsetzung	
6	Untersuchungsgebiet und Datengrundlage	
7	Entwicklung des hydrogeologischen Modells	
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	Thermalwasser-Strömungsmodell	
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	Zusammenfassung und Ausblick	
17	Glossar	
21	Anlagenverzeichnis	

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 m³/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.

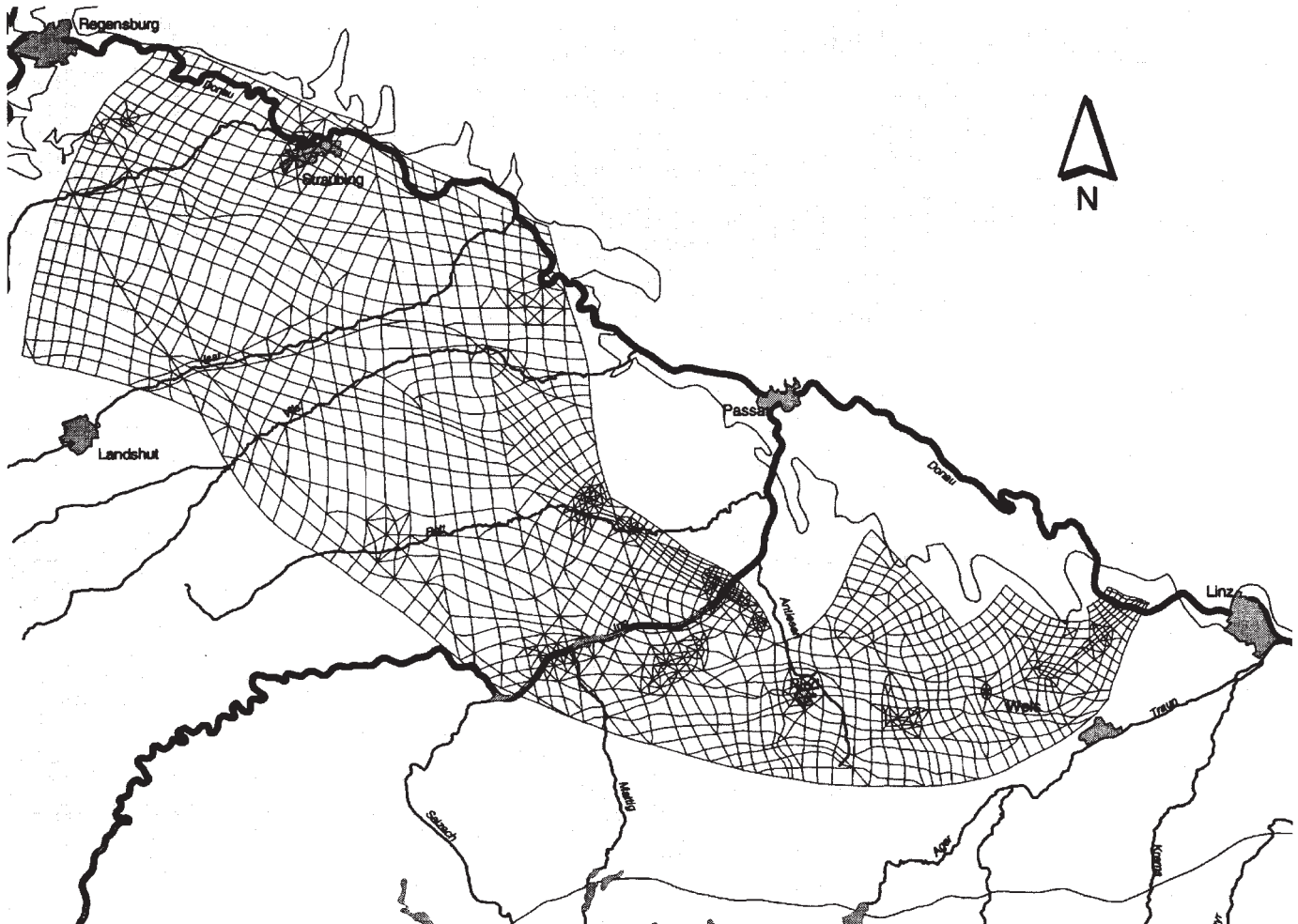
Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

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.

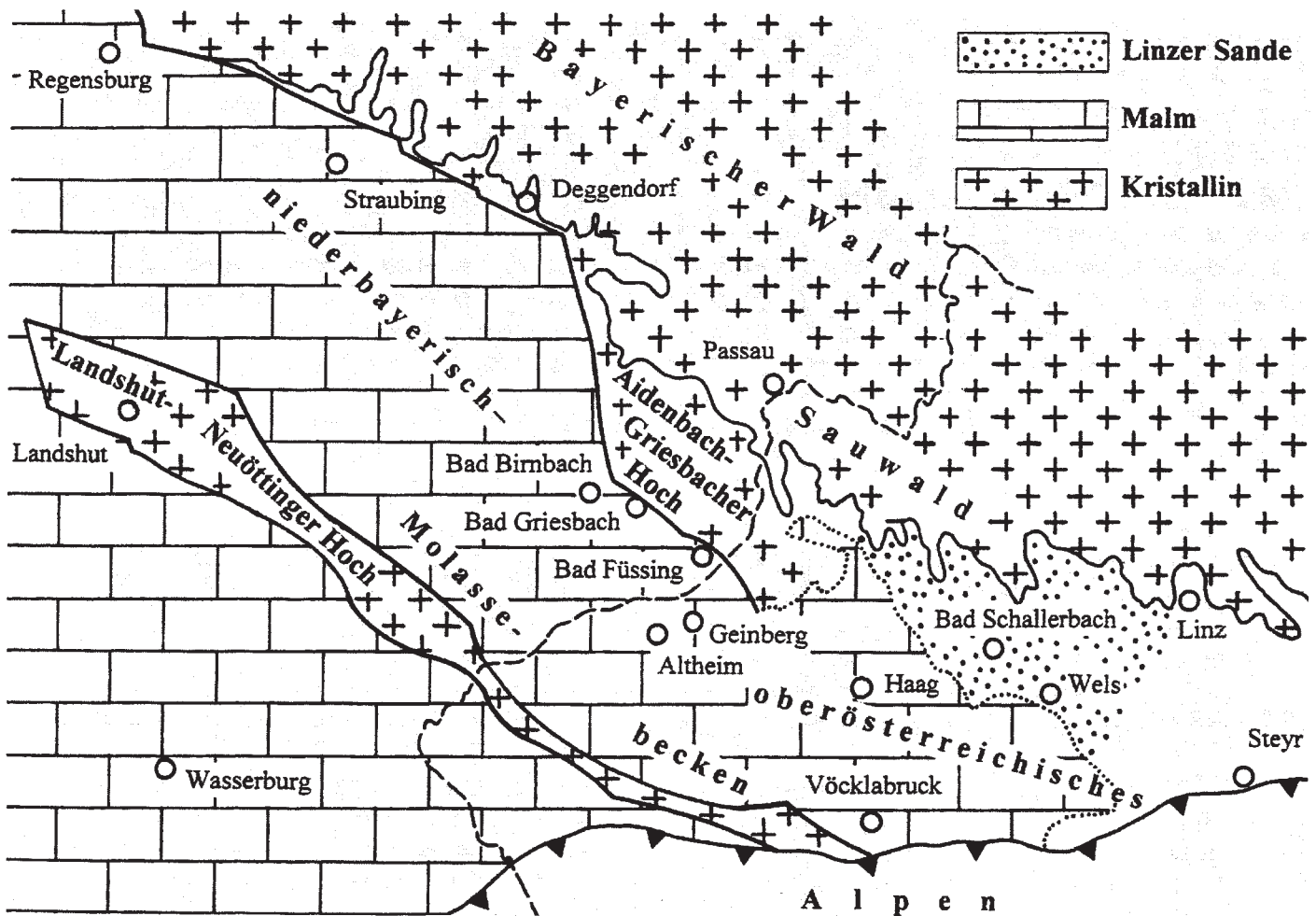
Durch Aufbereitung der vorhandenen Daten wurde ein hydrogeologisches Modell für das Untersuchungsgebiet erarbeitet. Mit Hilfe des Modells konnten die Grenzen des Thermalwasser-Bilanzgebietes im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken festgelegt werden (Abb. 1).

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.

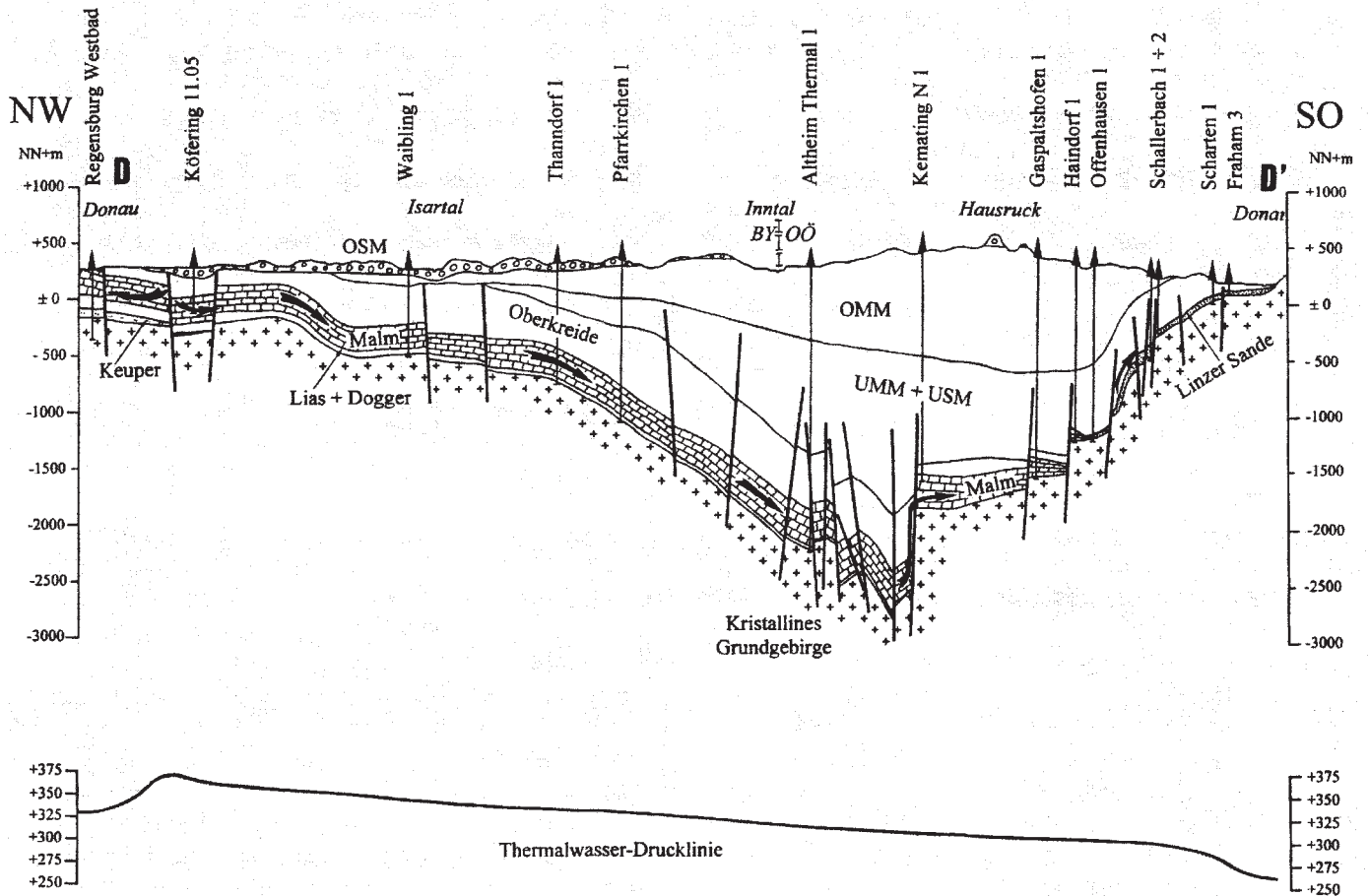
Ab dem Cenoman (Oberkreide, Beginn vor ca. 95 Millionen Jahren) begann sich der Malm abzusenken. Ein Meer überflutete das Gebiet von Süden und überdeckte es mit neuen Meeresedimenten. Nach erneutem Trockenfallen wiederholte sich dieser Vorgang im späten Alttertiär mehrfach (vor ca. 35 Millionen Jahren). 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 3×10^{-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 6×10^{-5} bis 2×10^{-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°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°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:

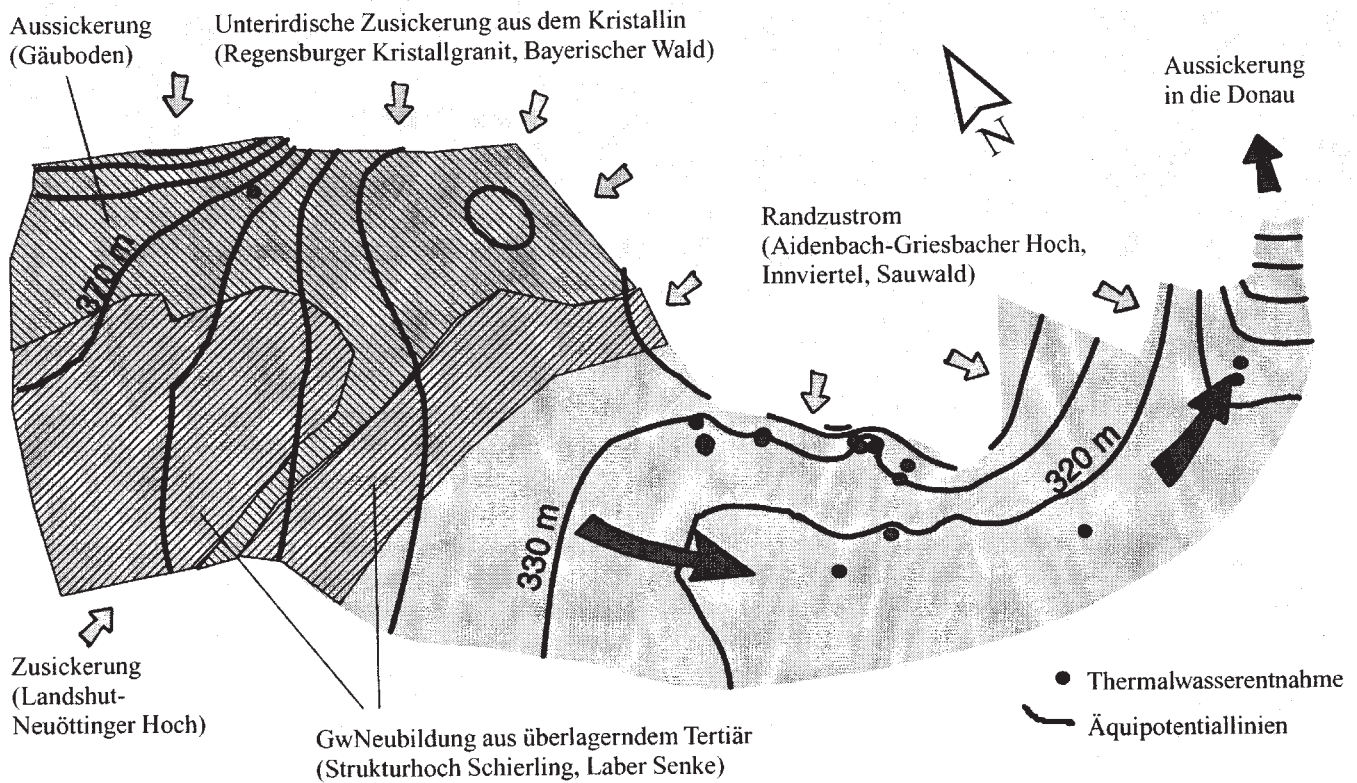
- die Zuflüsse aus der vertikalen Grundwasserneubildung
- die Zuflüsse aus seitlichen Randzuströmen
- die Abflüsse aus einer vertikalen Aussickerung
- die Brunnenentnahmen
- der Ausstrom in den Vorfluter Donau

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 km² und einer Neubildungsrate von 3,6 l/s x km² 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 km² 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 km² 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 (\rightarrow 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 km² 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 km². In den weniger gut erkundeten Randbereichen vergrößern sich die Elementflächen bis auf maximal ca. 15 km².

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 km² 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 km². In den weniger gut erkundeten Randbereichen vergrößern sich die Elementflächen bis auf maximal ca. 15 km².

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 Randzufluss 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 Randzuflusses 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.

Speicherkoefizient

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

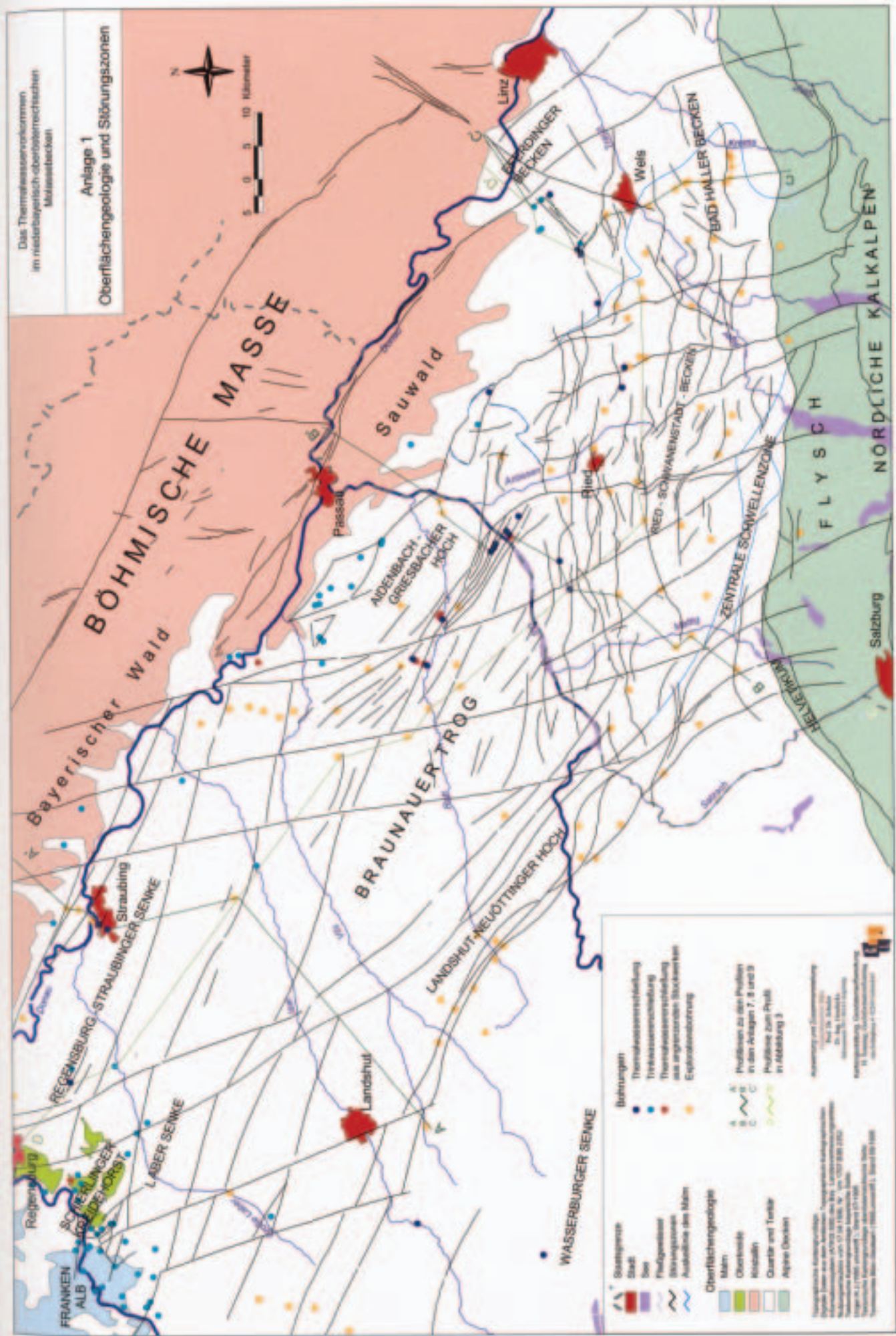
Prozeß der natürlichen chemischen Auflösung und Zersetzung an Festgesteinen wie z.B. Steinsalz, Gips, Kalk und Dolomit. Besondere Angriffsbereiche dieser Prozesse sind vorab entstandene Trennfugen, in denen die chemische Lösungskraft des Wassers wirkt und diese erweitert. Die dadurch erhöhte Wasserwegsamkeit 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



Städtegrenzen

- Stadt
- Seit
- Protektorat
- Störungszone
- Ausläufer des Massiv

Oberflächengeologie

- Malm
- Oberkreide
- Kreide
- Quartär und Tertiär
- Alpine Decken

Bohrungen

- Thermaleisenerkennung
- Tiefenwasserbohrung
- Thermaleisenerkennung als angrenzenden Stockwerken
- Erkennungsbohrung

Profile

- Profile zu den Profilen in den Anlagen 1, 2 und 3
- Profile zum Profil in Abbildung 1

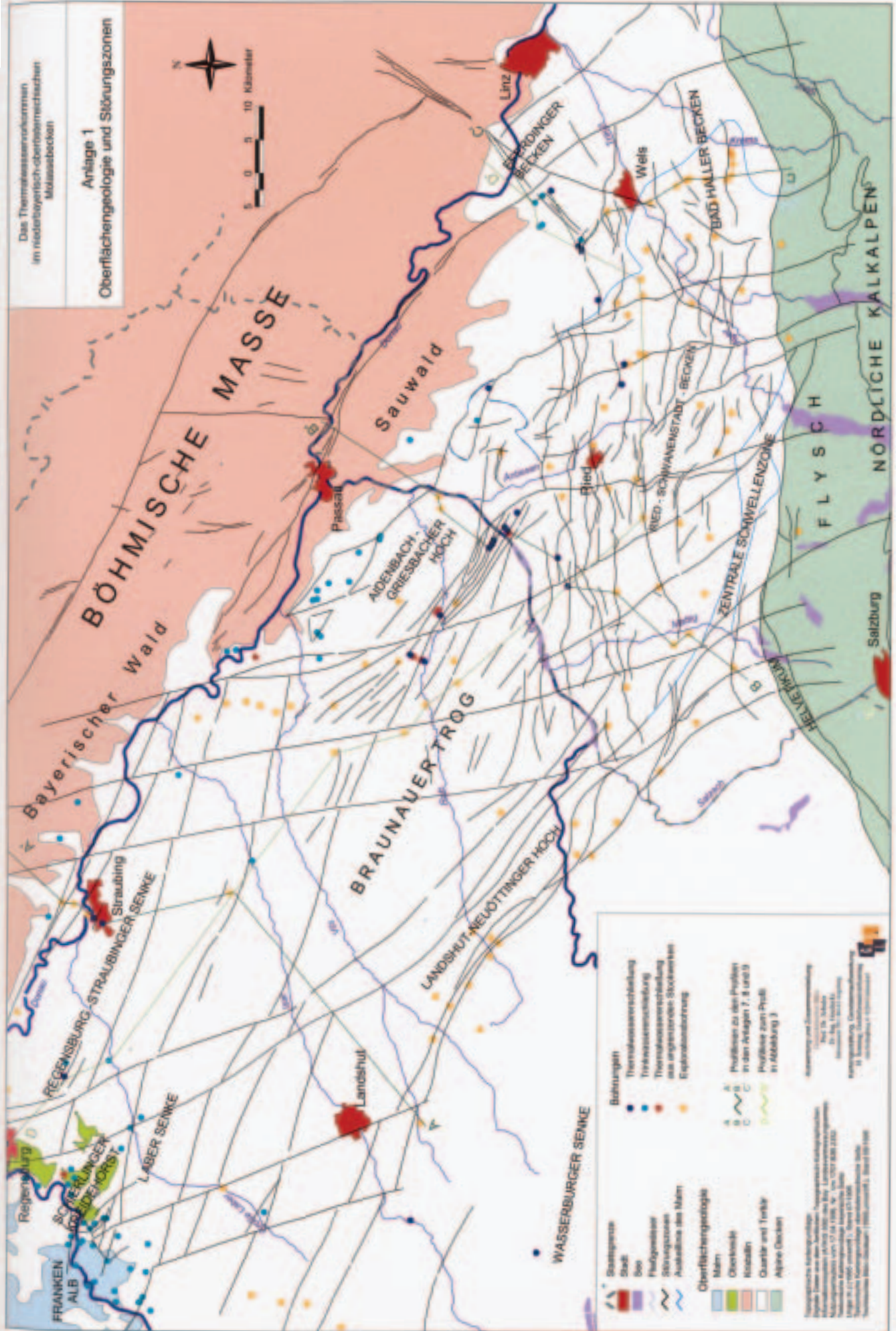
Abkürzungen und Erklärungen

Reg. Nr. 1/1988
Dr. Ing. Hans-Joachim
Geologische Karte des Landes Bayern
1:500 000
© 1988
Verlag Dr. Geographischer
Verlag Dr. Geographischer
Verlag Dr. Geographischer

Das Thermaleiservorkommen
im neotertiären oberbayerischen
Molassebecken

Anlage 1

Oberflächengeologie und Störungszonen



Städtegrenze

- Stadt
- Bau
- Flughafen
- Stationszone
- Ausdehnung des Märs

Oberflächengeologie

- Malm
- Obertertiär
- Kasseler
- Quarze und Tonsteine
- Alpine Decken

Bohrungen

- Thermaleiservorkommen
- Thermaleiservorkommen
- Thermaleiservorkommen
- Explorationsbohrung

Profile

- Profile zu den Punkten A, B, C in den Anlagen 7, 8 und 9
- Profile zum Profil in Abbildung 3

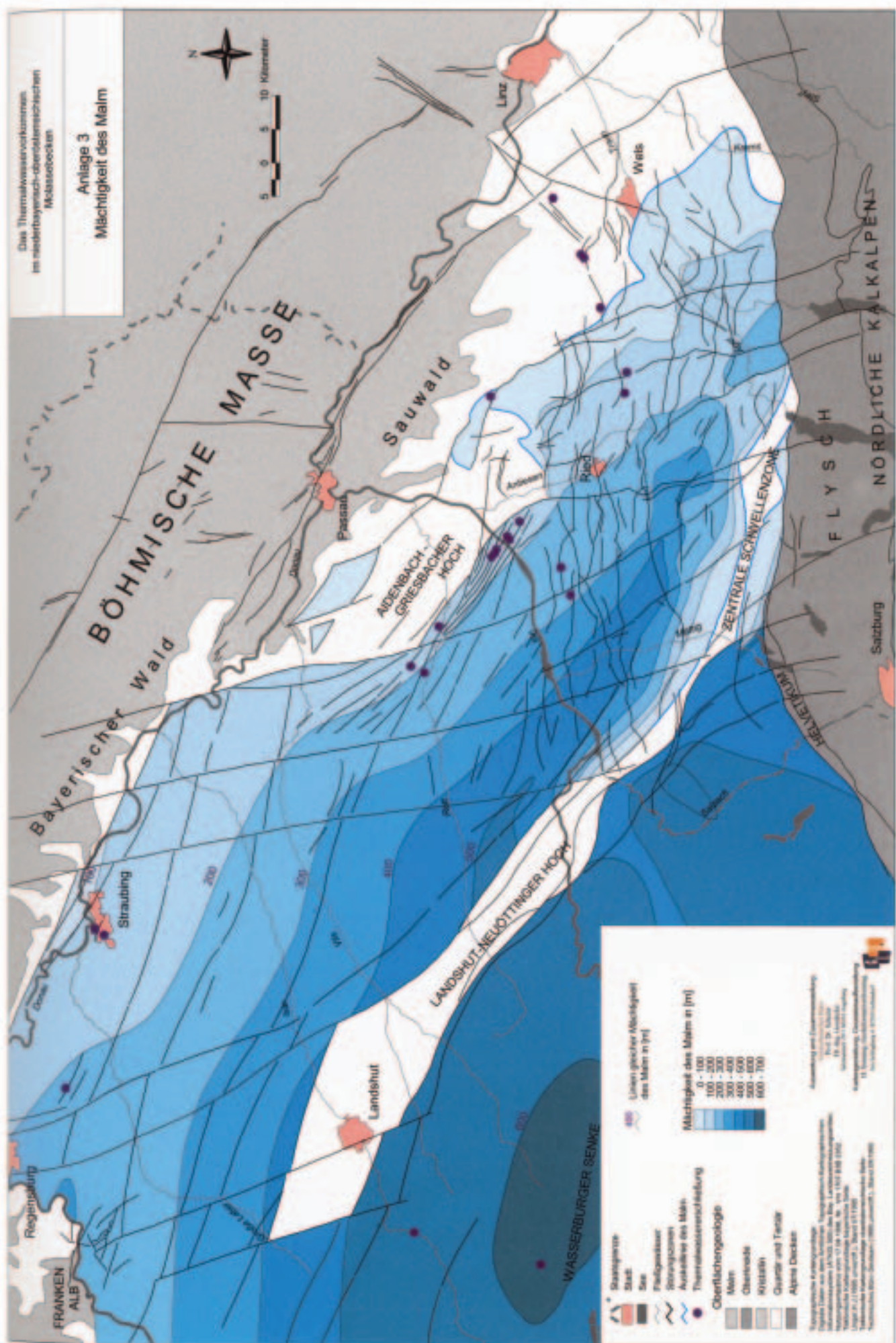
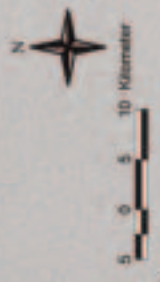
Abkürzungen und Symbole

Verlag

Geographisches Institut
Münchener Universität
Munich, Germany
Tel. +49 89 2180-1000
Fax +49 89 2180-2100
E-Mail: geogr@uni-muenchen.de
www.geogr.uni-muenchen.de

Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberrheinischen
Molassebecken

Anlage 3
Mächtigkeit des Malm



Legende

- Staatsgrenze
- Stadt
- See
- Fließgewässer
- Stützpunkt
- Ausläufer des Malm
- Thermalwasserverteilung
- Oberflächengeologie
- Malm
- Obernaußfeld
- Kriesseth
- Gams- und Tauerl
- 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

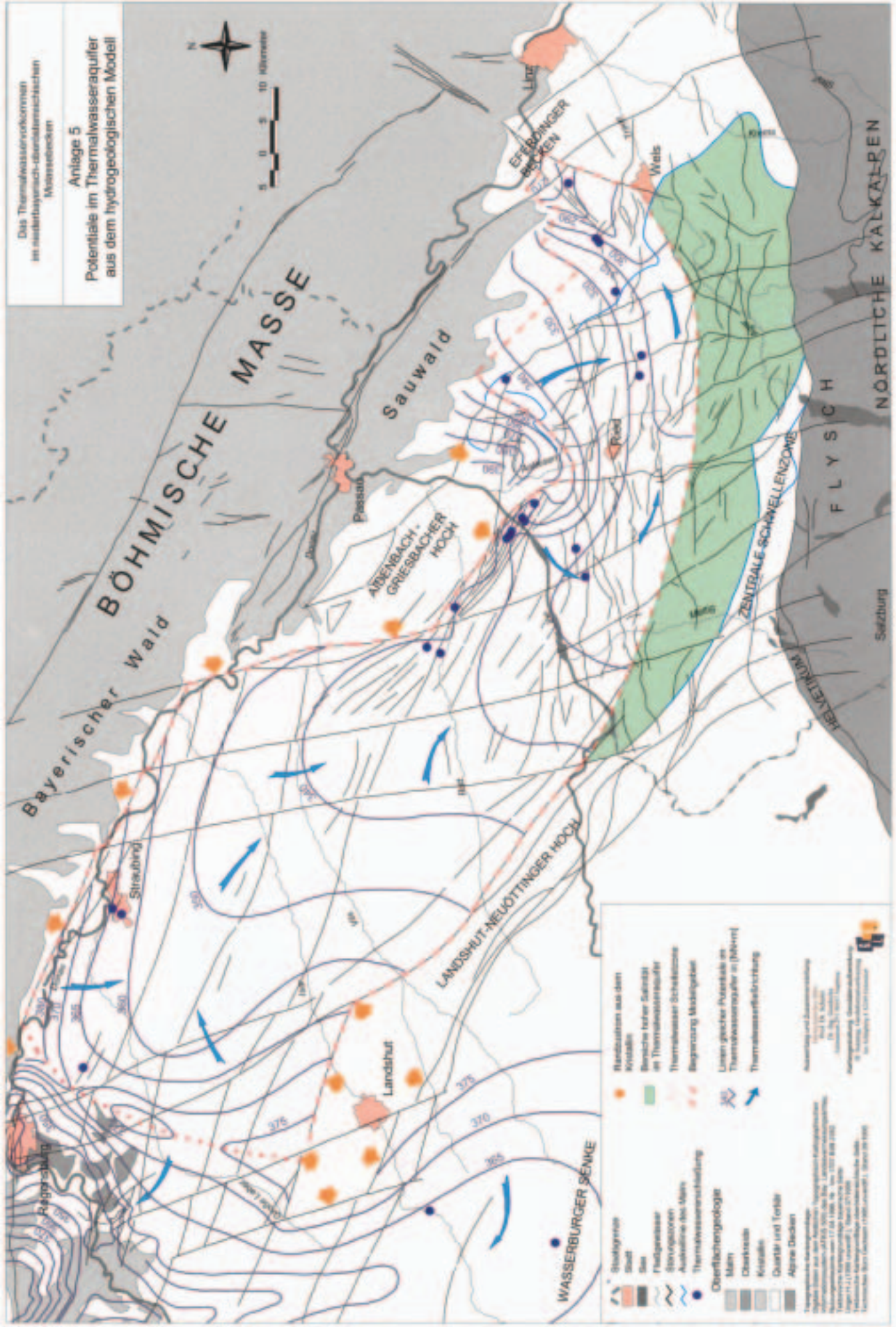
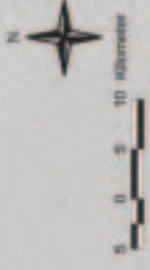
Geographische Erdbezeichnung:
 Östliche Grenze des Malm, Übergangsbereich Karpatenzone
 (Landschaftswahl 19/2003, 2003) im Regio des Landesniederbayerische
 Molassebecken (LMB) (LMB, Nr. 10, 10/19, 10/20, 10/21, 10/22)
 (LMB, Nr. 10/19, 10/20, 10/21, 10/22, 10/23, 10/24, 10/25, 10/26, 10/27, 10/28, 10/29, 10/30, 10/31, 10/32, 10/33, 10/34, 10/35, 10/36, 10/37, 10/38, 10/39, 10/40, 10/41, 10/42, 10/43, 10/44, 10/45, 10/46, 10/47, 10/48, 10/49, 10/50, 10/51, 10/52, 10/53, 10/54, 10/55, 10/56, 10/57, 10/58, 10/59, 10/60, 10/61, 10/62, 10/63, 10/64, 10/65, 10/66, 10/67, 10/68, 10/69, 10/70, 10/71, 10/72, 10/73, 10/74, 10/75, 10/76, 10/77, 10/78, 10/79, 10/80, 10/81, 10/82, 10/83, 10/84, 10/85, 10/86, 10/87, 10/88, 10/89, 10/90, 10/91, 10/92, 10/93, 10/94, 10/95, 10/96, 10/97, 10/98, 10/99, 10/100)

Entwickelt von: Institut für Geologie und Paläontologie
 Universität Wien
 Prof. Dr. G. Zisch
 Dr. phil. G. Zisch
 Dr. phil. G. Zisch
 Dr. phil. G. Zisch
 Dr. phil. G. Zisch

Geologische Karte: 1:50,000
 Blatt 10/19, 10/20, 10/21, 10/22, 10/23, 10/24, 10/25, 10/26, 10/27, 10/28, 10/29, 10/30, 10/31, 10/32, 10/33, 10/34, 10/35, 10/36, 10/37, 10/38, 10/39, 10/40, 10/41, 10/42, 10/43, 10/44, 10/45, 10/46, 10/47, 10/48, 10/49, 10/50, 10/51, 10/52, 10/53, 10/54, 10/55, 10/56, 10/57, 10/58, 10/59, 10/60, 10/61, 10/62, 10/63, 10/64, 10/65, 10/66, 10/67, 10/68, 10/69, 10/70, 10/71, 10/72, 10/73, 10/74, 10/75, 10/76, 10/77, 10/78, 10/79, 10/80, 10/81, 10/82, 10/83, 10/84, 10/85, 10/86, 10/87, 10/88, 10/89, 10/90, 10/91, 10/92, 10/93, 10/94, 10/95, 10/96, 10/97, 10/98, 10/99, 10/100

Das Thermalwasserorkommen
im nordbayrisch-dänischen
Moosstecken

Anlage 5
Potentiale im Thermalwasseraquifer
aus dem hydrogeologischen Modell



Legend

- Handzonationen aus dem Kriostal
- Bereiche tatarer Sencken im Thermalwasserlauf
- Thermalwasser-Schnecken
- Begrenzung Muschelgebirge
- Linien gleicher Potentiale im Thermalwasserlager im (Jährt)
- Thermalwassererfrischung

Geology

- Malm
- Oberflächengeologie
- Quartär und Tertiär
- Kreide
- Abgabe Decken

Topographic

- Stadt
- Ort
- Fließgewässer
- Störungszone
- Aufwände des Malm
- Thermalwasserversickerung

Annotations and sources

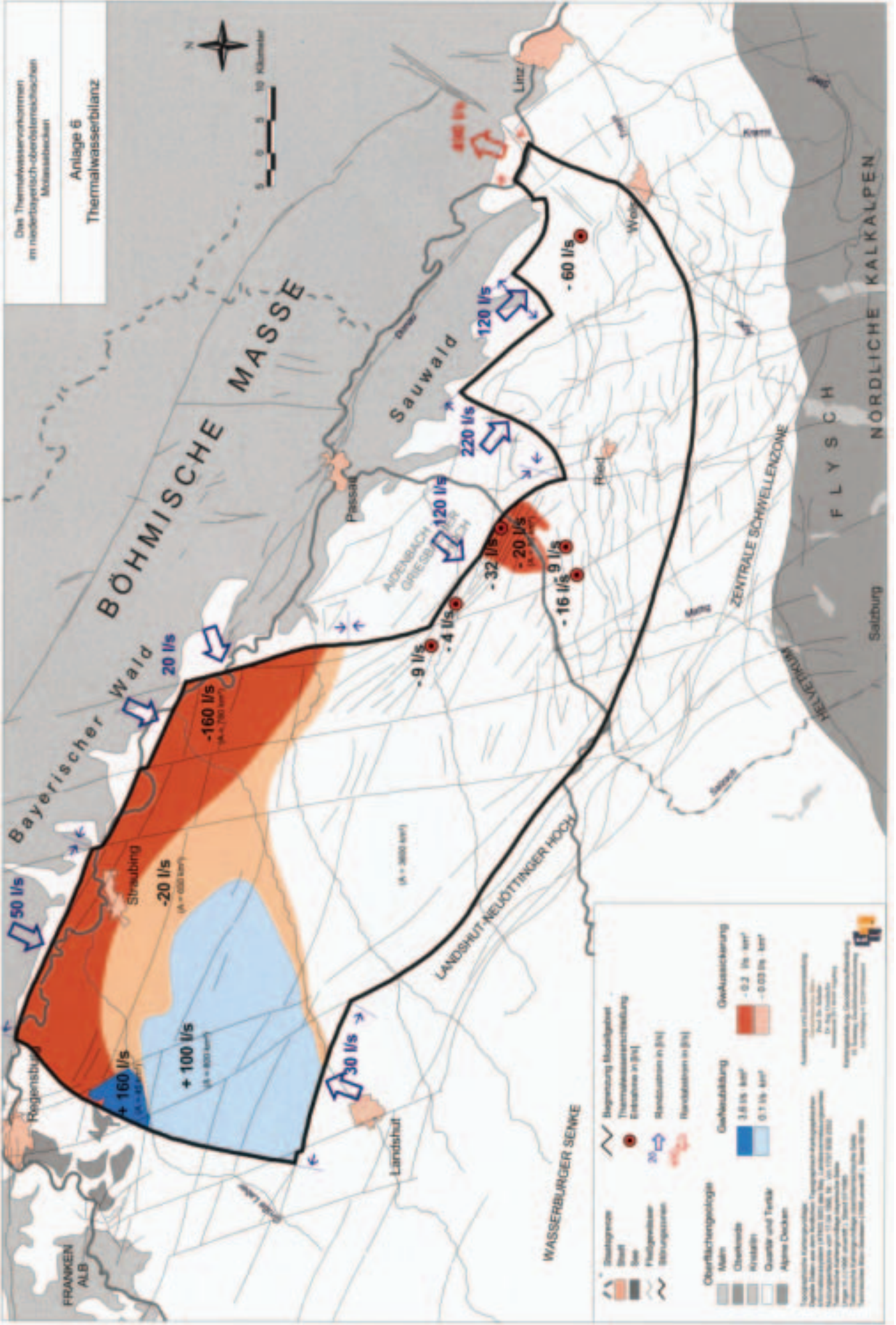
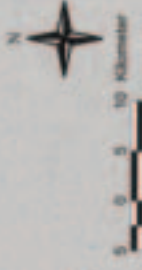
Geologisches Institut
der Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Hydrogeologie
Prof. Dr. G. G. G. G.
Erlangen, 1997

Verwendete Kartenwerke:
1:50,000 (1:100,000)
1:25,000 (1:50,000)

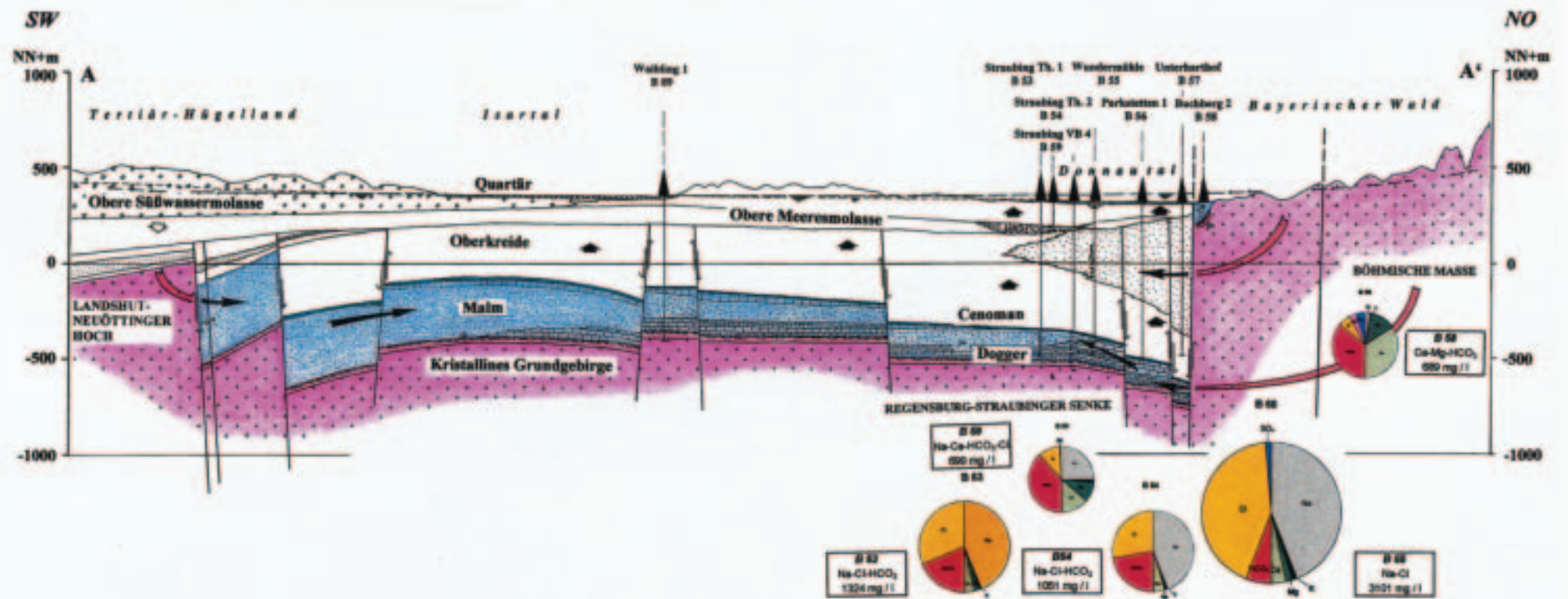
Geologisches Institut
der Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Hydrogeologie
Prof. Dr. G. G. G. G.
Erlangen, 1997

Das Thermalwasservorkommen
im nordoststeirisch-oberrheinischen
Massivsteckfeld

Anlage 6
Thermalwasserbilanz



	<ul style="list-style-type: none"> Steingrenze Stoff See Fließgewässer Störungslinien 	<ul style="list-style-type: none"> begrenzung Modellgebiet Thermalwassererschließung Einkathese in [N] Rückströmen in [N] Rückströmen in [S]
Oberflächengeologie	<ul style="list-style-type: none"> Malm Oberkreide Mittlere Kreide Quarzit und Tonsteine Alpine Decken 	<ul style="list-style-type: none"> Gewässerbildung Gewässerung
<p>Spezielle Kartographie: Topographische Kartographie Digitaler Höhenwert (DHW) des ÖNB, Landesvermessungsamt Hydrographische Karte (HK) des ÖNB, Landesvermessungsamt Österreichische Karte (ÖK) des ÖNB, Landesvermessungsamt Geologische Karte (GK) des ÖNB, Landesvermessungsamt Geologische Karte (GK) des ÖNB, Landesvermessungsamt Geologische Karte (GK) des ÖNB, Landesvermessungsamt</p>		

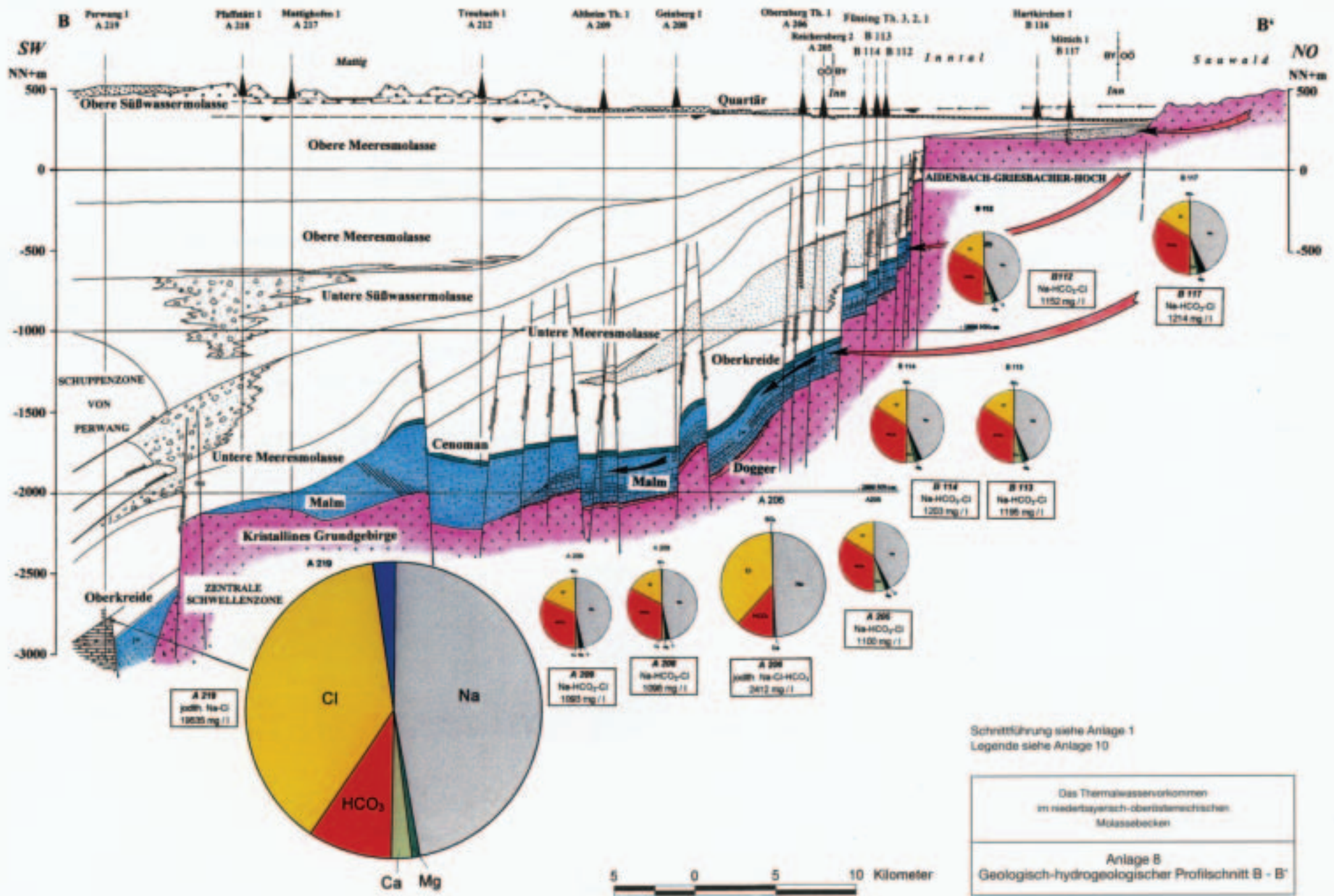


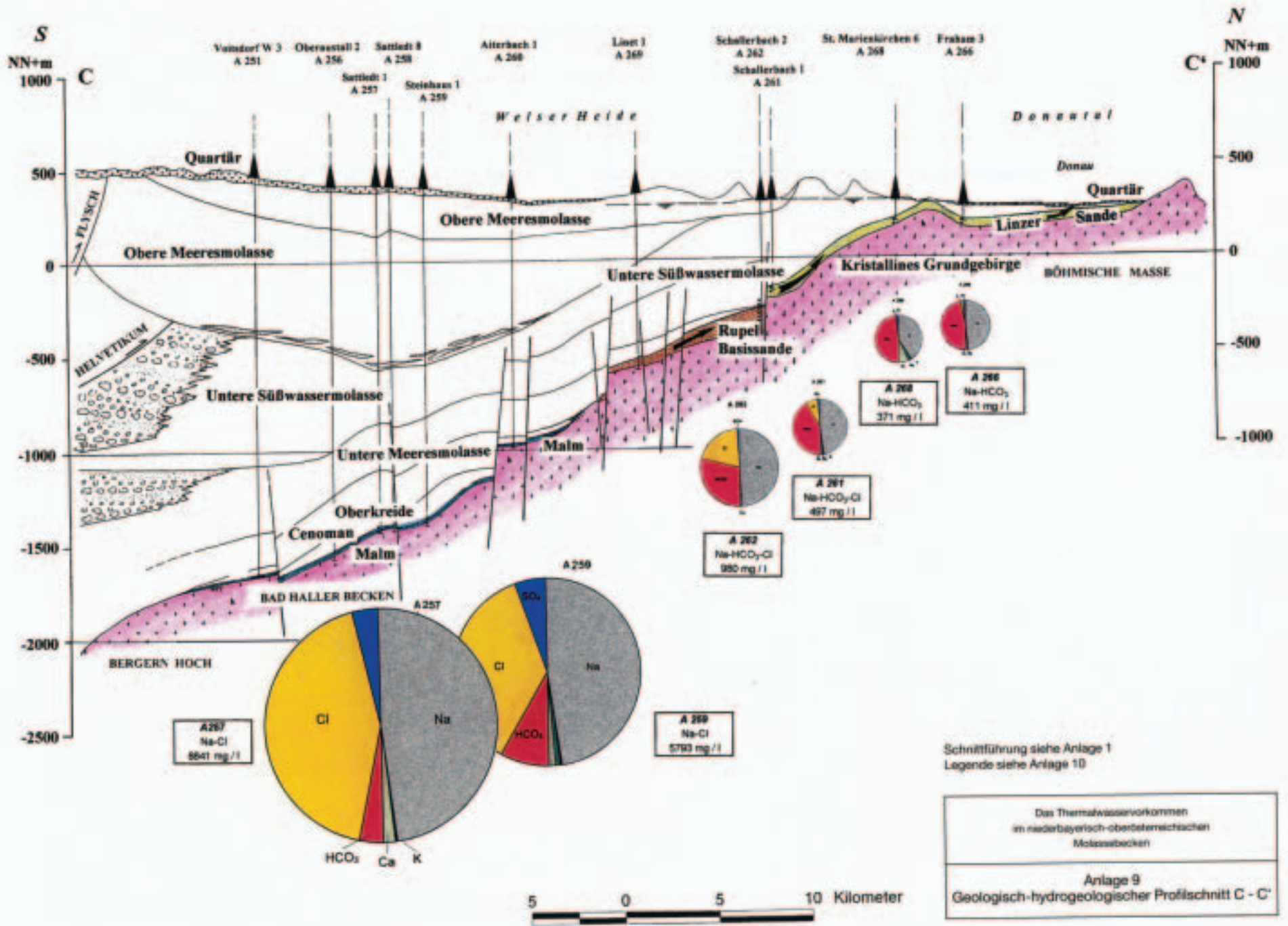
Schnittführung siehe Anlage 1
 Legende siehe Anlage 10

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

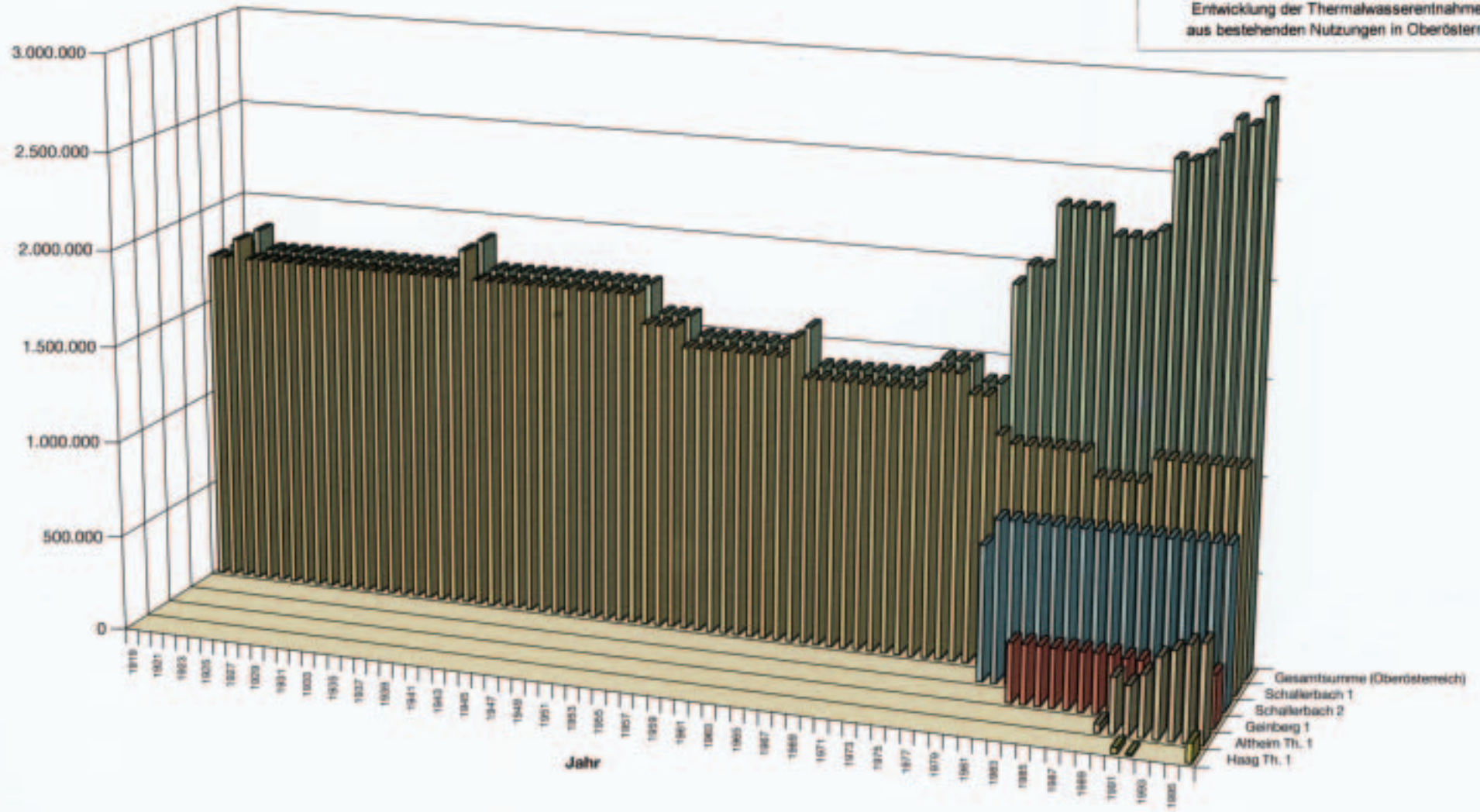
- Na
- K
- Mg
- Ca
- HCO₃
- Cl
- NO₃
- SO₄

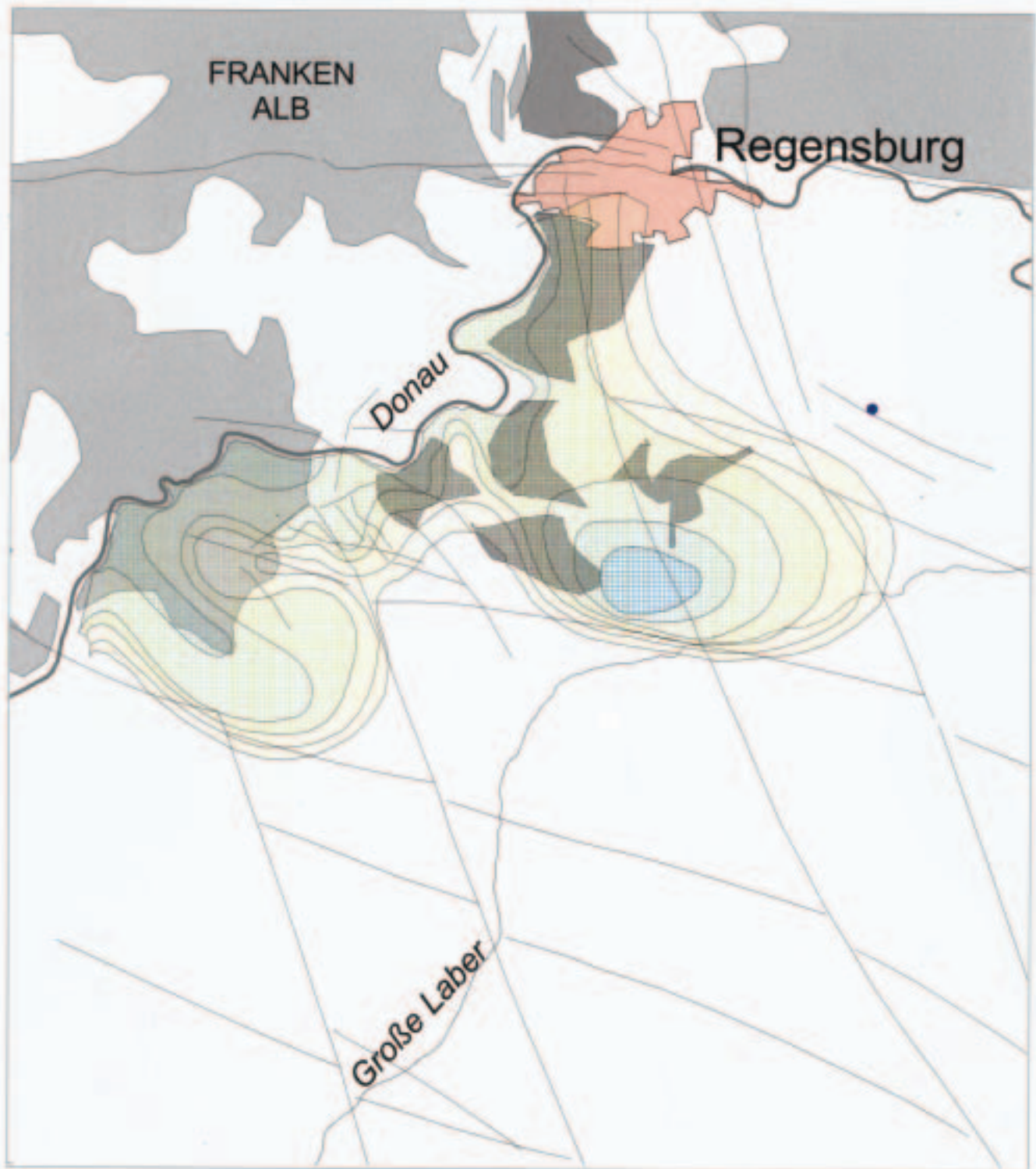
Zugehöriger Beprobungshorizont in einer Bohrung

Entnahme (m³/a)

Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken

Anlage 11
Entwicklung der Thermalwasserentnahmen
aus bestehenden Nutzungen in Oberösterreich





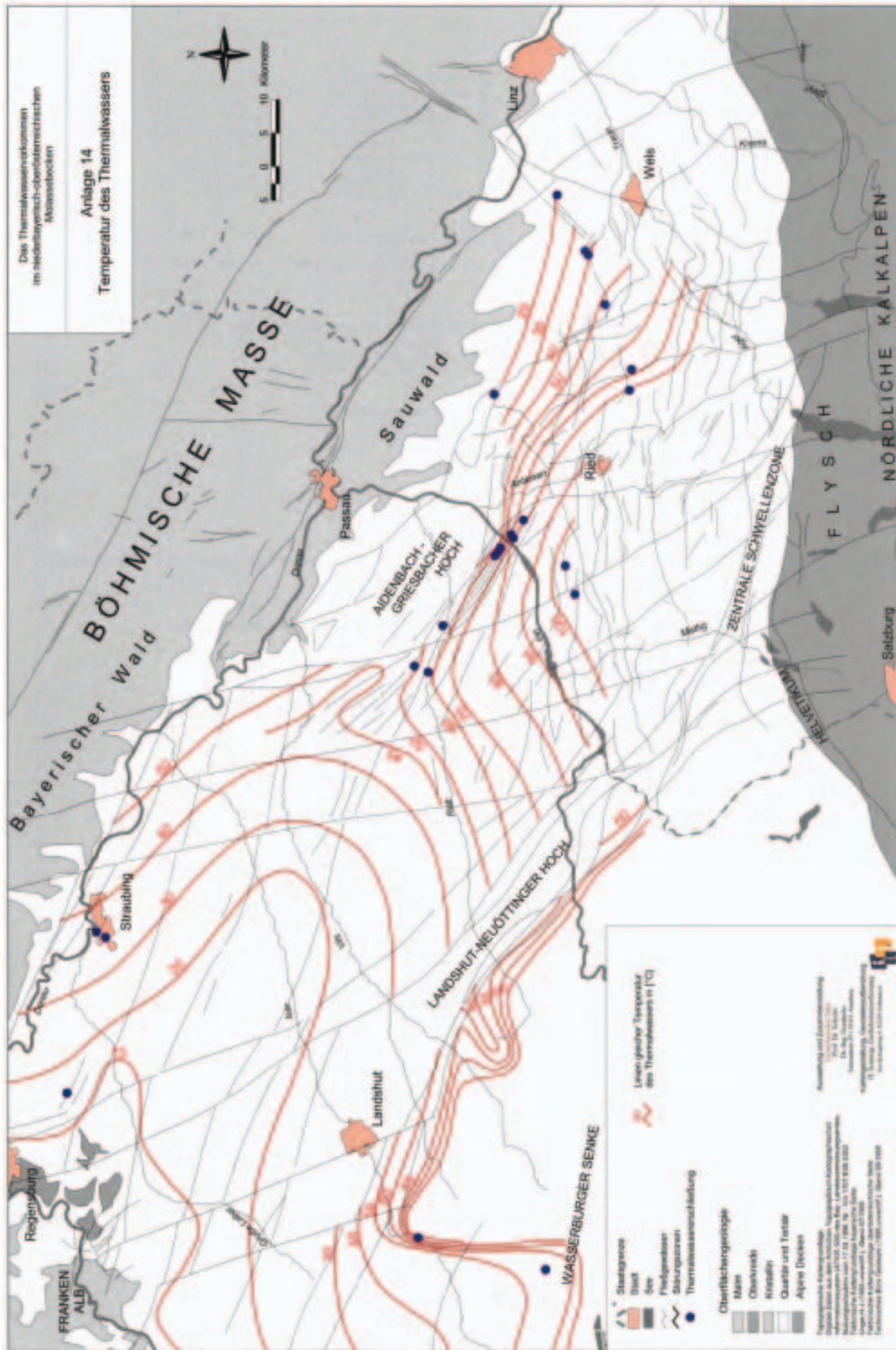
<ul style="list-style-type: none"> Stadt Fließgewässer Störungszonen Thermalwassererschließung <p>Oberflächengeologie</p> <ul style="list-style-type: none"> Kristallin Malm Oberkreide 	<p>Tritiumgehalte im Thermalwasser in [TU]</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 - 10 10 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 > 50
--	---

Auswertung und Zusammenstellung
 von Prof. Dr. habil. Dr.-Ing. Grottel
 im Auftrag des BGR
 BGR, Geotechnisches Institut
 Am Schloßberg 4, 30854 Hannover



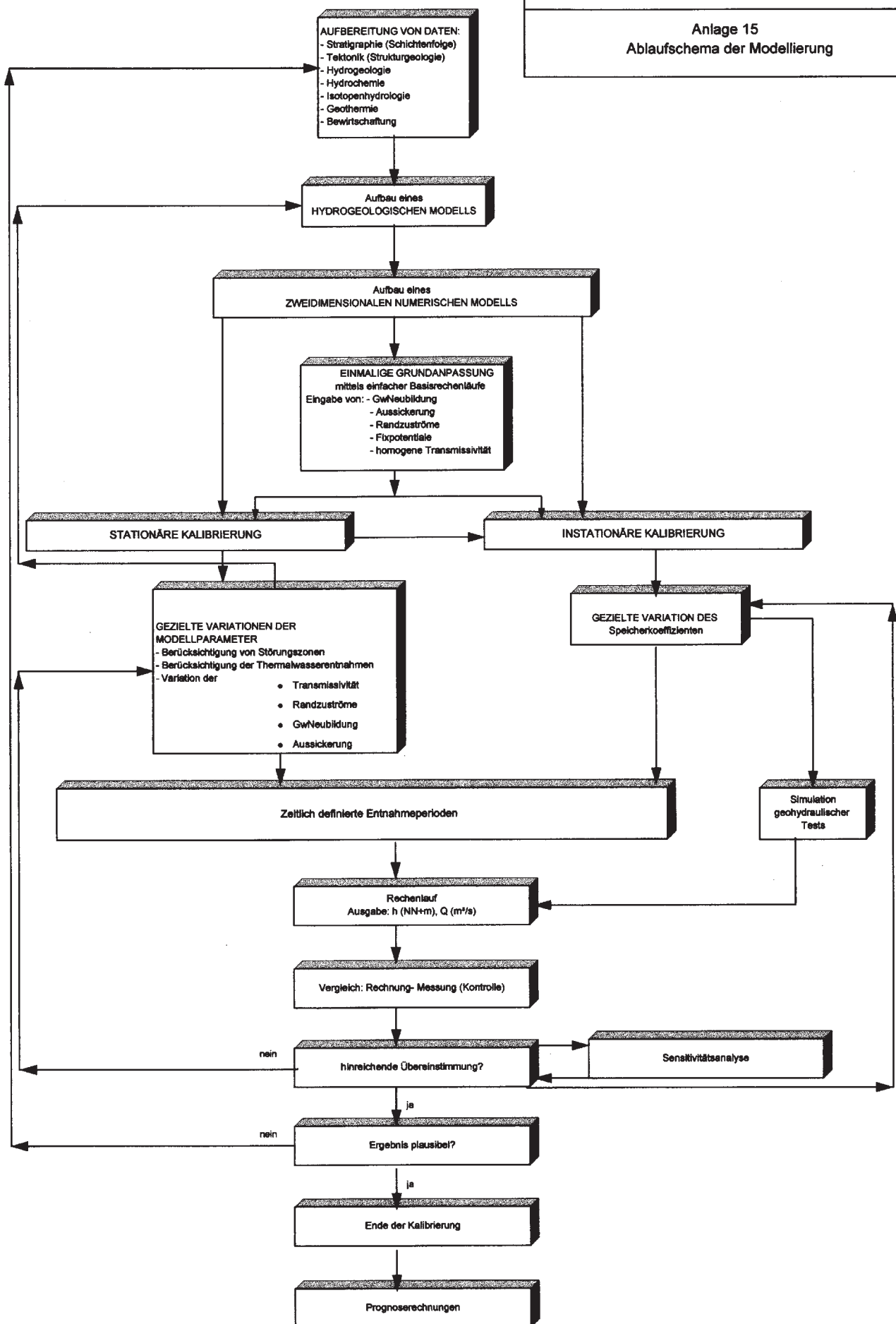
Das Thermalwasservorkommen
 im niederbayerisch-oberösterreichischen
 Molassebecken

Anlage 13
 Tritiumgehalte im Kreidehorst
 von Schierling



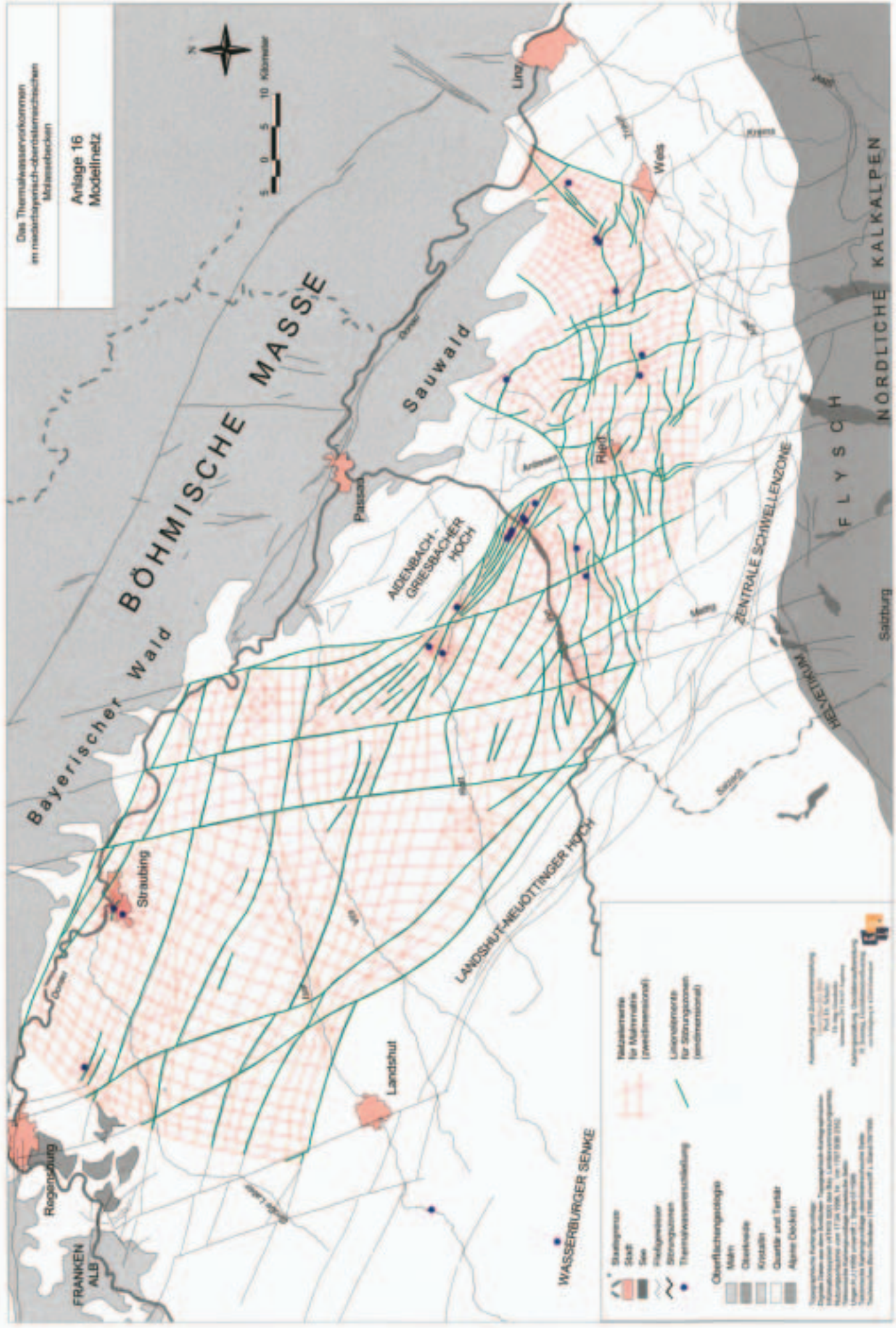
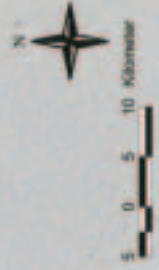
**Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken**

**Anlage 15
Ablaufschema der Modellierung**



Das Thermalkasserverkommen
im nordbayrisch-oberostalbischen
Molassebecken

Anlage 16
Modellnetz



WASSERBURGER SENKE

- Stützpunkt
- Stadt
- See
- flußgewässer
- Binnengewässer
- Thermalkasserverkennung

Oberflächengeologie

- Malm
- Oberrhodie
- Kristallin
- Quarzit und Tertiär
- Alpine Decken

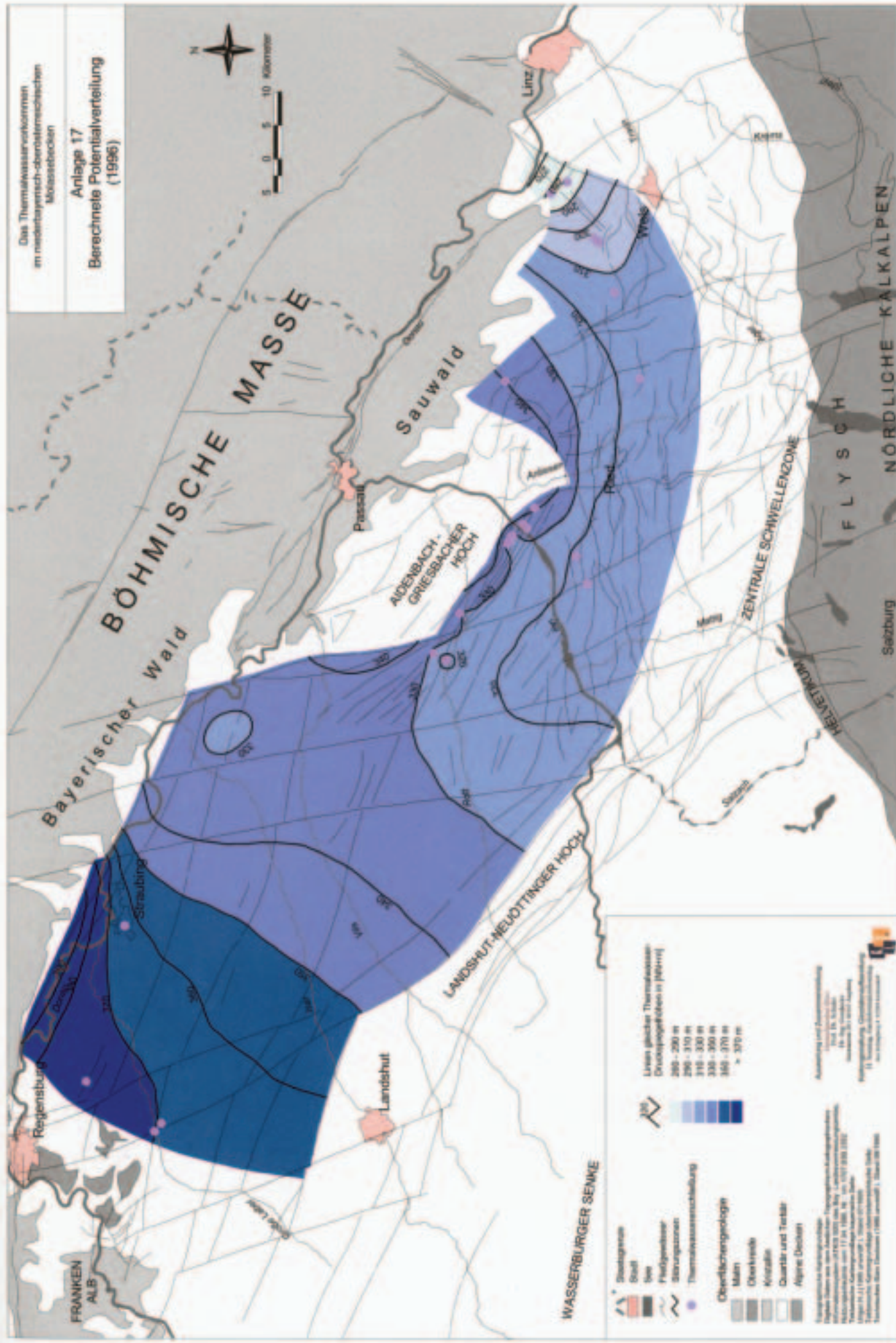
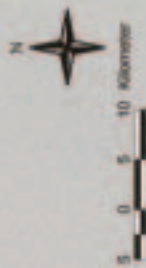
Netzwerke

- Netzwerke für Mehrmetre (zweidimensional)
- Netzwerke für Stützpunkte (eindimensional)

Veröffentlichung
 Diese Karte ist ein Auszug aus dem "Geographisch-kartographischen Informationsdienst (GIS) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt" (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014).
 München, 2014. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000.
 München, 2014. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000.
 München, 2014. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000. 1:500 000.

Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberrheinischen
Molassebecken

Anlage 17
Berechnete Potentialverteilung
(1996)



WASSERBURGER SENKE

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

Oberflächengeologie

- Malm
- Oberkreide
- Kreide
- Quarzit und Tertiär
- Alpine Decken

Linien gleicher Thermalwasser-Druckpotentiale in [Meter]

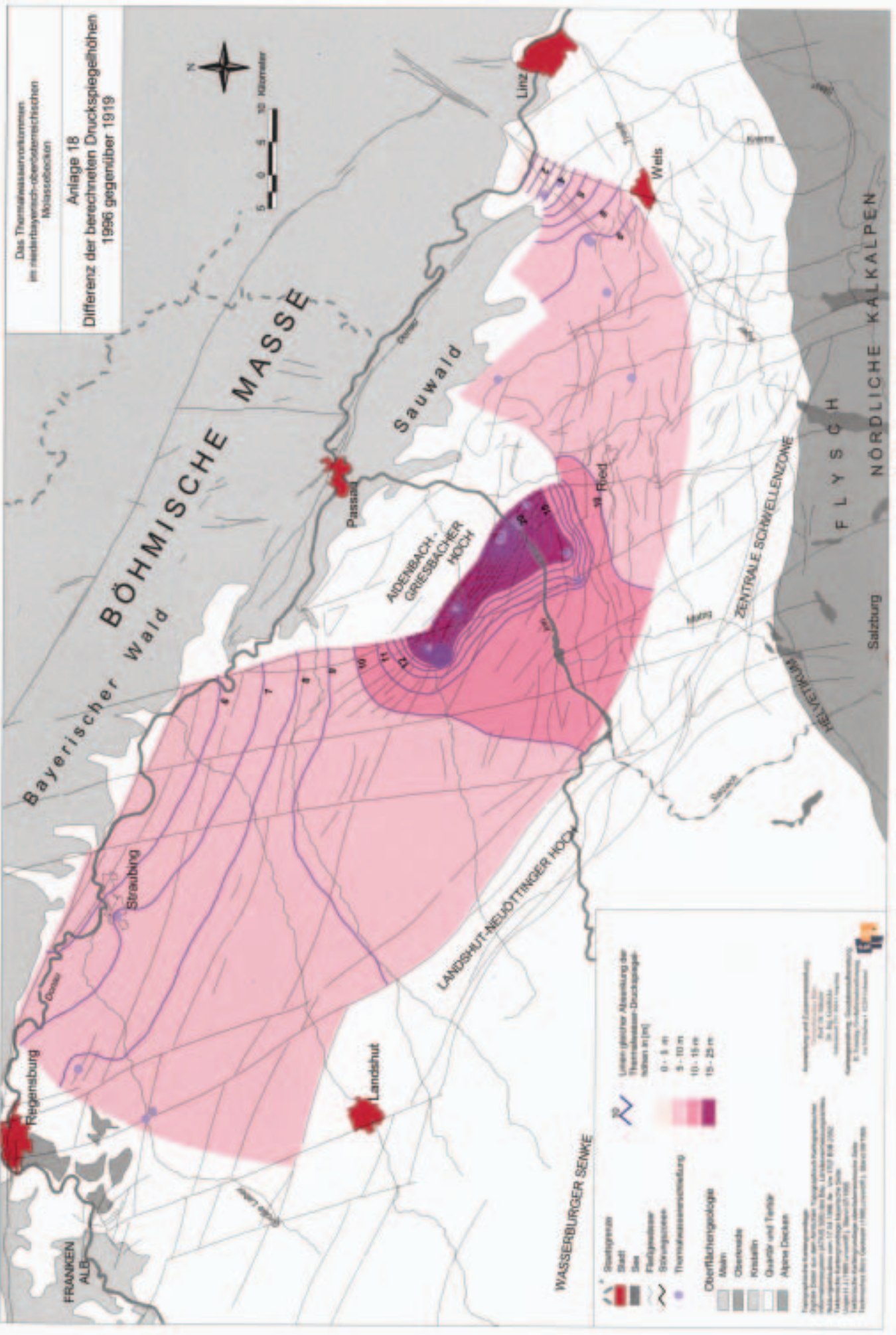
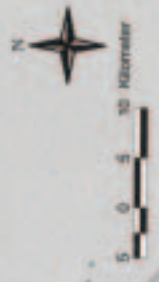
- 260 - 290 m
- 290 - 310 m
- 310 - 330 m
- 330 - 350 m
- 350 - 370 m
- > 370 m

Abkürzungen und Auswertungen:
 * nach Dr. G. Kersch
 * nach Dr. G. Kersch
 * nach Dr. G. Kersch
 * nach Dr. G. Kersch
 * nach Dr. G. Kersch

Verantwortung und Auswertung:
 Auftraggeber: Oberbayerische Wasser- und Energieversorgung
 11 Ludwig-Maximilians-Universität München
 Institut für Hydrogeologie und Geochemie
 Prof. Dr. G. Kersch
 Dr. G. Kersch
 Dr. G. Kersch
 Dr. G. Kersch

Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberbayerischen
Molassebecken

Anlage 18
Differenz der berechneten Druckpiegehöhen
1996 gegenüber 1919



WASSERBURGER SENKE

- Stadtgrenze
- Stadt
- See
- Fließgewässer
- Straßengraben
- Thermalwasservorkommen

Oberflächengeologie

- Moos
- Oberrhoda
- Kristallin
- Gneise und Tonsteine
- Alpine Decken

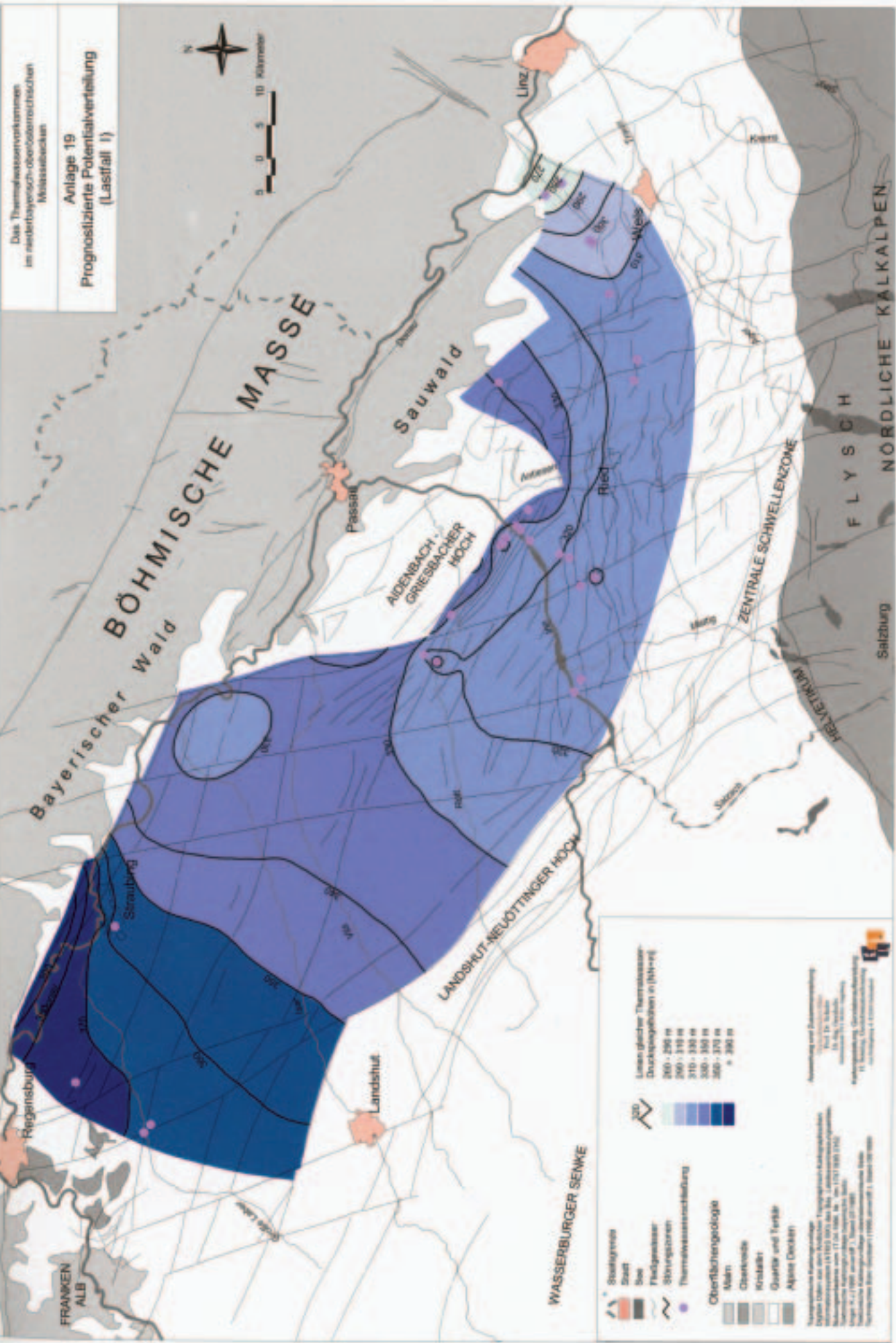
Linien gleicher Ableitung der Thermalwasser-Druckpiegehöhen in [m]

- 0 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 15 m
- 15 - 25 m

Thermische Energieerzeugung

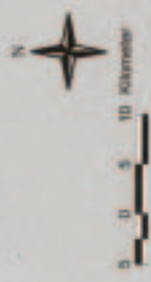
Thermalwasservorkommen
Anlage 18: Molasse
Anlage 19: Oberbayern
Anlage 20: Niederbayern
Anlage 21: Oberpfalz
Anlage 22: Schwaben
Anlage 23: Bayern

Thermalwasservorkommen
Anlage 18: Molasse
Anlage 19: Oberbayern
Anlage 20: Niederbayern
Anlage 21: Oberpfalz
Anlage 22: Schwaben
Anlage 23: Bayern



Das Thermoisovorkommen
im nordbayrisch-oberösterreichischen
Mittelsiebengebiet

Anlage 19
Prognostizierte Pollenverteilung
(Lastfall 1)



Geographische Kennzeichen

- Staatsgrenzen
- Staat
- See
- Flussgebiete
- Stützpunkte
- Thermoisovorkommen

Oberflächengeologie

- Malm
- Oberkreide
- Kristallin
- Quarste und Tonste
- Alpine Decken

Lineare glacialer Thermoisovorkommen
Druckeigenschaften in (hPa²)

200 - 250 m
250 - 310 m
310 - 350 m
350 - 390 m
390 - 470 m
> 490 m

Thermoisovorkommen

Abgrenzung und Zusammenfassung

Das 19. bis 21. Jahrhundert
wurde durch
die geographische Lage
des Gebietes
ausgeprägt.
Die geographische Lage
des Gebietes
wurde durch
die geographische Lage
des Gebietes
ausgeprägt.

Thermoisovorkommen
Dipl.-Ing. Dr. rer. oec. Friedrich Eggenschlager, Landshut
München, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141
München, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141
Eggenschlager, Friedrich, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141
München, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141

Geographische Kennzeichen
Landshut, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141
München, 11.01.2008, 14h. Tel. 089 310 3141

NÖRDLICHE KALKALPEN
FLYSCH

BÖHMISCHE MASSE
Bayerischer Wald

Sauwald

AIDENBACH-GRIESBACHER HOCH

LANDSHUT-NEULÖTTINGER HOCH

WASSERBURGER SENKE

ZENTRALE SCHWELLENZONE

HELVETIKUM

Salzburg

Regensburg

Landshut

Passau

Linz

Landshut

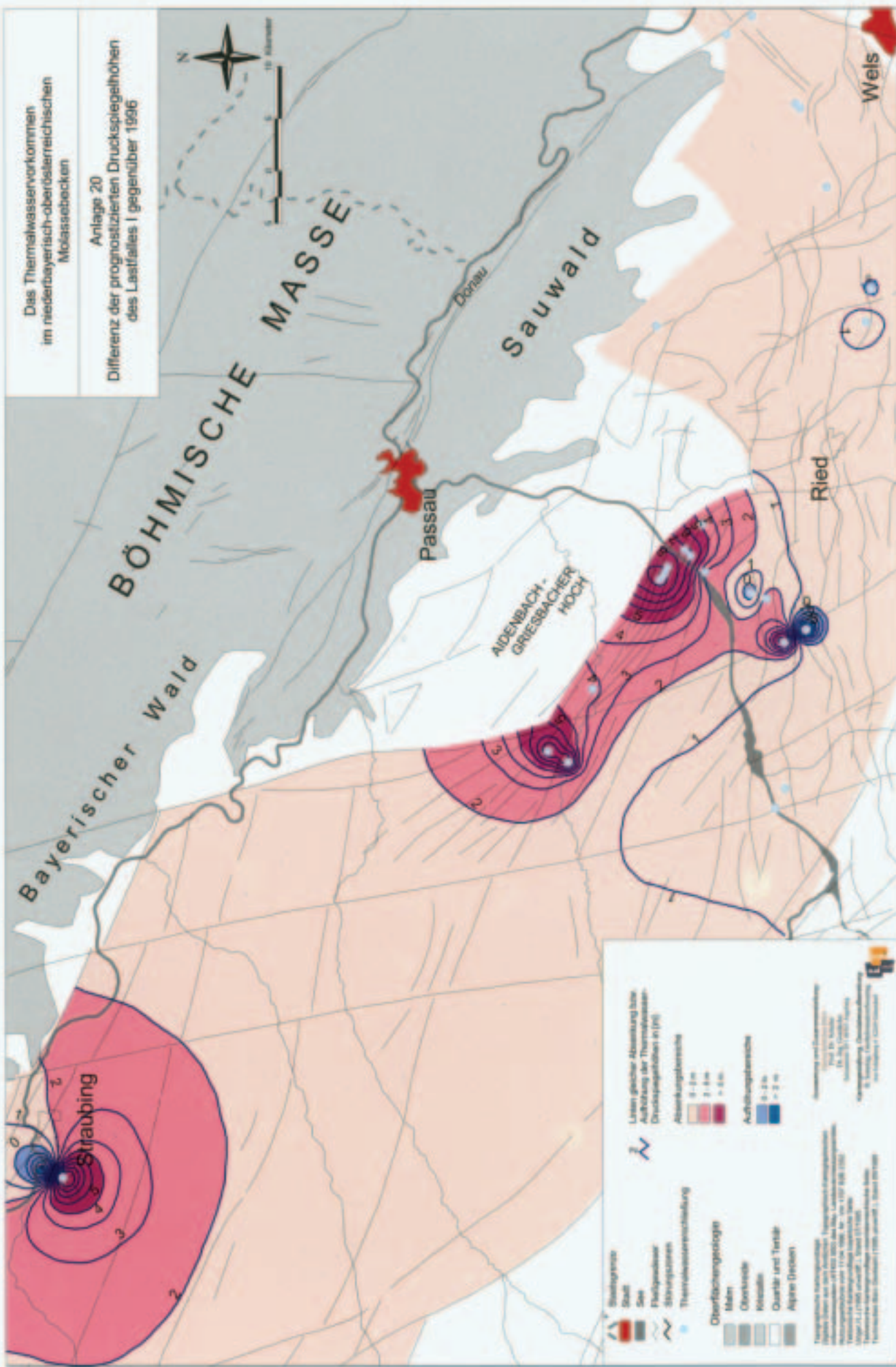
Passau

Linz

Das Thermalwasservorkommen
im niederbayerisch-oberrheinischen
Molassebecken

Anlage 20

Differenz der prognostizierten Druckpiegelhöhen
des Lastfall 1 gegenüber 1996



Thermalwasservorkommen
Projekt: Differenz der prognostizierten Druckpiegelhöhen
des Lastfall 1 gegenüber 1996
Vorbereitung: 2012 bis 2014
Träger: Bayerische Geologische Landesbehörde
München
Geologische Landesbehörde
München
München, 12.06.2014
Geologische Landesbehörde
München
München, 12.06.2014
Geologische Landesbehörde
München
München, 12.06.2014
Geologische Landesbehörde
München
München, 12.06.2014

Wels

Ried

Passau

AIDENBACH-
GRESBACHER
HOCH

Sauwald

Donau

BÖHMISCHE
MASSE

Bayerischer Wald

Straubing