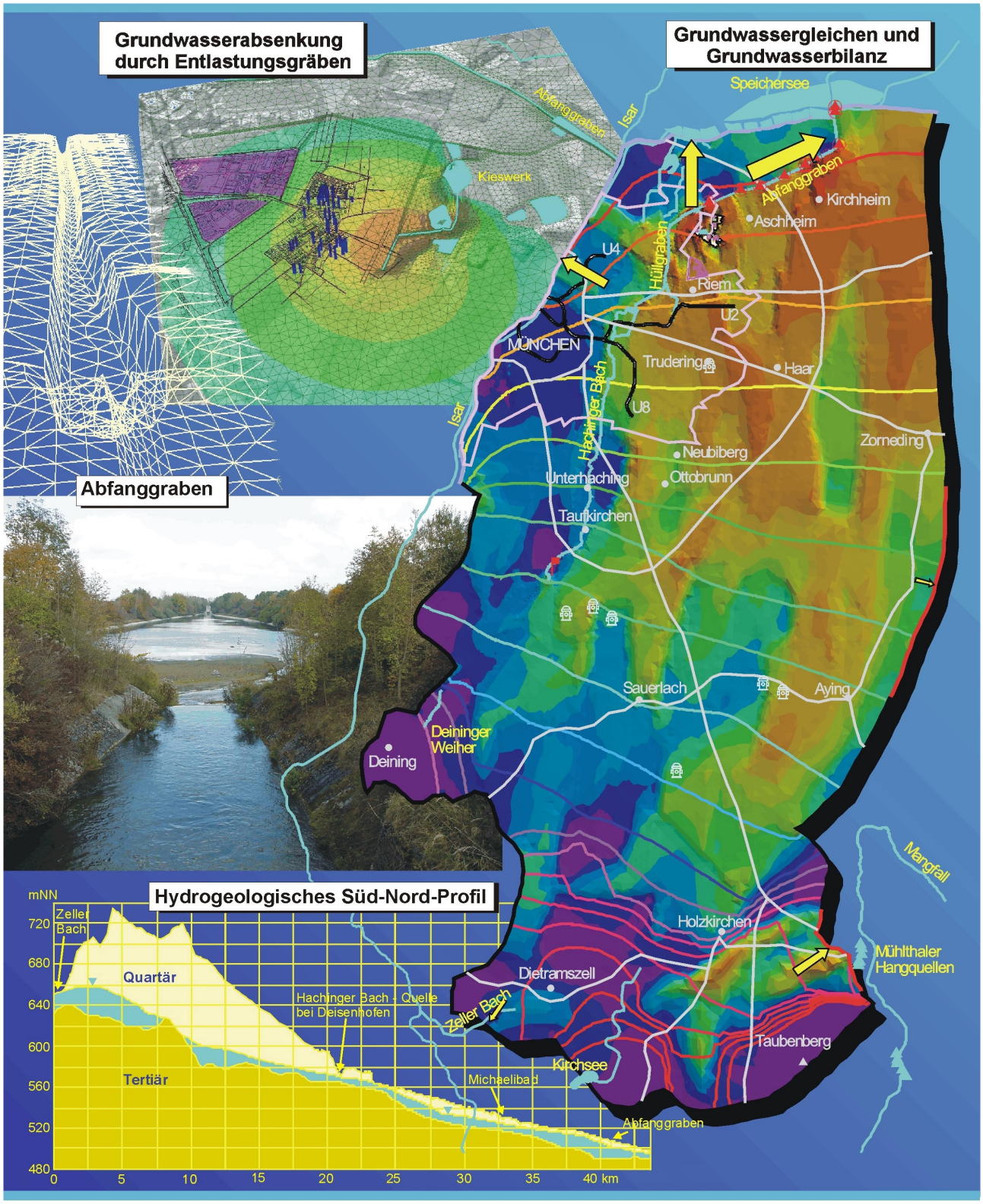
# Grundwassermodell
# Östliche Münchner Schotterebene

**von:** Dr. - Ing. Chr. Kölling, ISAR CONSULT GmbH
Dipl. - Geol. Chr. Tomsu, ISAR CONSULT GmbH

**erschienen in:** Umweltreport der Stadt München S. 59 - 66
(ungekürzte Fassung); München, Juni 2003

ISAR CONSULT
Ingenieurbüro für
Wasserwirtschaft GmbH
http://www.isar-consult.de




ISAR CONSULT Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft GmbH • Bürgermeister - Graf - Ring 10 • D - 82538 Geretsried
http://www.isar-consult.de • eMail: info@isar-consult.de • Fax: +49-(0)8171 - 17805 • Tel: +49-(0)8171 - 17830

## 1. Aufgabenstellung

Die Landeshauptstadt München grenzt im Nordosten an die Gemeinde Aschheim, die sich unmittelbar westlich von Kirchheim befindet. Im südlichen Gemeindebereich von Aschheim befindet sich nordöstlich von München - Riem die Ortschaft Dornach. Hier traten in den letzten Jahren vor allem im Winter und im Frühjahr stark erhöhte Grundwasserstände auf, die wiederholt lang anhaltende Kellervernässungen und inakzeptable Vernässungsschäden verursachten (vergl. Abb. 1).

*Abb. 1 Vernässungsschäden in Dornach infolge erhöhter Grundwasserstände*

Als mögliche Ursachen wurden die erhöhten Winterniederschläge der vergangenen Jahre, aber auch Verfüllungen benachbarter Kiesgruben, große Tiefbaumaßnahmen mit mehrstöckigen Tiefgaragen und aufwändigen Bauwasserhaltungen im benachbarten Gewerbepark, Nutzungsänderungen des unmittelbar südlich gelegenen ehemaligen Flughafens München - Riem und andere Ursachen vermutet. Um die Einflüsse dieser möglichen Ursachen auf die erhöhten Grundwasserstände quantifizieren und effektive Grundwasserabsenkungsmaßnahmen planen zu können, wurde die ISAR CONSULT GmbH von der Gemeinde Aschheim mit der Erstellung eines prognosefähigen Mathematischen Grundwassermodells beauftragt.

Von diesem Grundwassermodell werden genaue und räumlich detaillierte Prognosen darüber erwartet, welche Grundwasserabsenkungen infolge alternativer Grundwasserabsenkungsmaßnahmen im Bereich derjenigen Keller erzielt werden können, die von den erhöhten Grundwasserständen besonders stark betroffen sind. Außerdem werden räumlich detaillierte Prognosen der zugehörigen Drainwassermengen erwartet, um die Sohlhöhen und Querschnitte der erforderlichen Drainagerohre bzw. Gräben festlegen zu können.

## 2. Geologie

Dornach liegt im Nordostteil der Münchner Schotterebene, die einen großräumig zusammen hängenden hoch durchlässigen Quartäraquifer bildet. Daher wurde das Modellgebiet des Grundwassermodells gemäß Abb. 2 weit nach Süden bis in die würmzeitlichen Jungmoränen ausgedehnt, die die Schotterebene im Süden kranzförmig abschließen. Der die südöstliche Modellgrenze bildende ca. 900 mNN hohe Taubenberg ist eine lokale Tertiäraufragung, in dessen Bereich die für die Münchner Schotterebene typi-

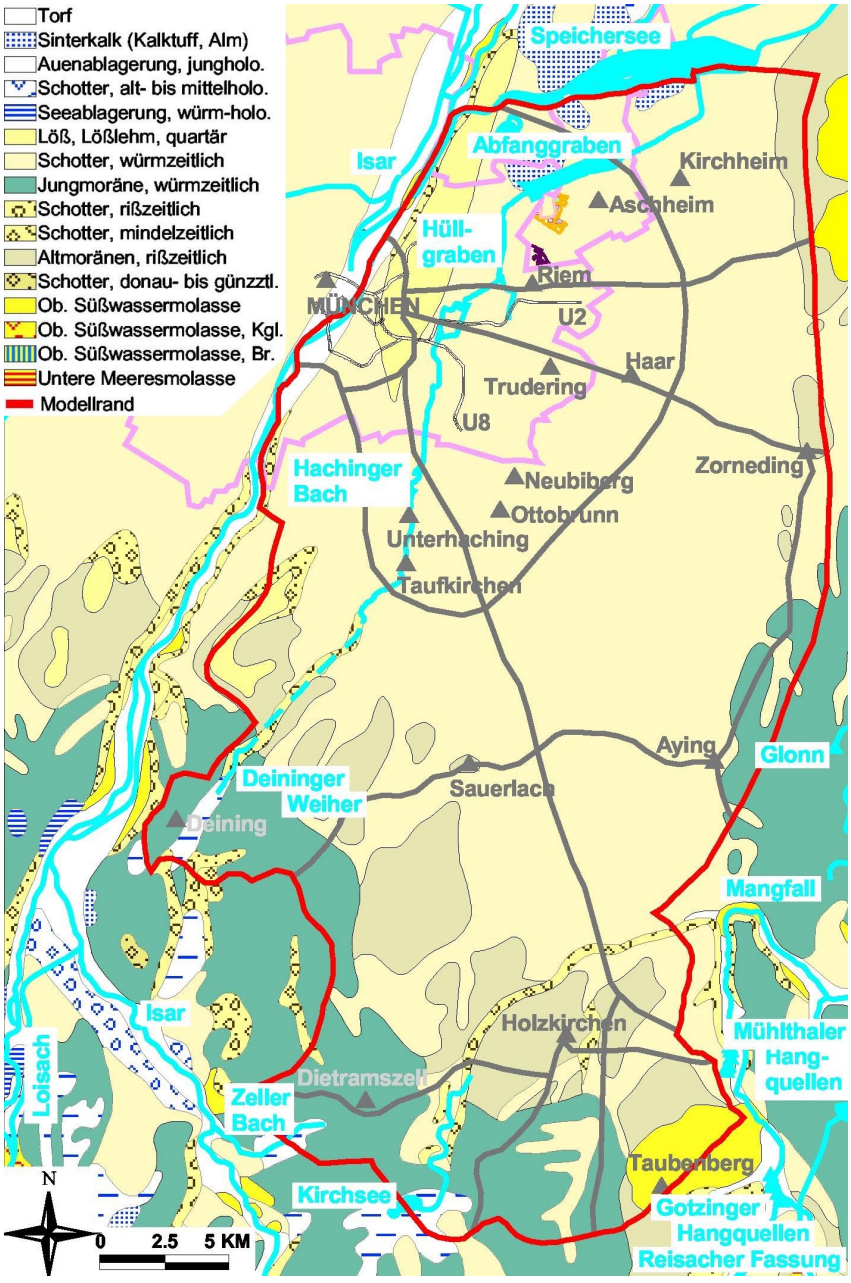



*Abb. 2 Modellgebiet mit geologischen Strukturen und Oberflächengewässern*

schen Quartärablagerungen fehlen. Im Norden reicht das Modellgebiet bis an den Südrand des Speichersees, in dessen Bereich sehr geringe Grundwasserflurabstände herrschen.

Das in Abb. 3 dargestellte 42,8 km lange Süd - Nord - Profil verdeutlicht die hydrogeologischen Verhältnisse der östlichen Münchner Schotterebene. Die mit etwa 3 ‰ von Süd nach Nord einfallende Oberfläche des Tertiärs bildet die nahezu undurchlässige Basis des hangenden hoch durchlässigen Quartärgrundwasserleiters.

In diesem Profilschnitt werden die maximalen Geländehöhen im südlichen Moränengürtel erreicht. Mit ca. 735 mNN überragt das Gelände die Tertiäroberfläche hier um mehr als 100 m, so dass im Bereich Sauerlach - Holzkirchen Quartärmächtigkeiten von 100 m überschritten werden, die jedoch wegen der großen Grundwasserflurabstände von ca. 40 bis 80 m nur zum kleinen Teil vom Grundwasser durchströmt werden. Da das Gelände vor allem im Süden steiler geneigt ist als die Tertiäroberfläche, vermindern sich die Quartärmächtigkeiten keilförmig von Süd nach Nord. So werden sowohl nordwestlich von Aschheim als auch im Münchner Stadtgebiet entlang des nördlichen Isarhochufers Quartärmächtigkeiten von 5 m bereichsweise unterschritten.

## 3. Hydrogeologie

Durch die von Süd nach Nord und Nordwest abnehmenden Aquifermächtigkeiten reduziert sich die hydraulische Leistungsfähigkeit des quartären Grundwasserleiters in gleicher Richtung. Dagegen nehmen die je Breiteneinheit des Aquifers abzuführenden spezifischen Grundwasserdurchflüsse $q = v_f * h$ [l / (s * km)], die aus dem Produkt aus Fließgeschwindigkeit $v_f$ und Grundwassermächtigkeit h resultieren, wegen der flächenhaften Grundwasserneubildung $q_G$ in gleicher Richtung zu. In der südlichen Münchner Schotterebene reichen daher relativ kleine Grundwassermächtigkeiten aus, um die vergleichsweise geringen spezifischen Grundwasserdurchflüsse q entsprechend dem vorherrschenden Gefälle nach Norden abzuführen. Aus diesem Grund werden in der südlichen Münchner Schotterebene Grundwasserflurabstände von 50 m teilweise wesentlich überschritten, so dass hier aufgrund der hohen hydraulischen Durchlässigkeiten des Aquifers keine vorflutwirksamen Oberflächengewässer existieren können.

Aufgrund des fehlenden Oberflächenabflusses versickert die aus der Differenz von Niederschlag und Verdunstung resultierende Abflussspende hier vollständig als Grundwasserneubildung und strömt im quartären Grundwasserleiter nach Norden ab. Nur in den südlich angrenzenden Moränengebieten existieren wegen der geringeren hydraulischen Durchlässigkeiten einige Oberflächengewässer wie z. B. der nur zeitweise Wasser führende Teufelsgraben, der Kirchsee, der Zeller Bach und der Deininger Weiher, dessen Abfluss nach einer kurzen Fließstrecke von wenigen 100 m vollständig versickert.

Dagegen sind der nördliche Modellrand, die östlich des nördlichen Isarhochufers gelegenen Münchner Stadtteile und der Bereich Deisenhofen - Oberhaching - Taufkirchen durch stark verminderte Quartärmächtigkeiten und daraus resultierend durch erheblich reduzierte und bereichsweise sogar fehlende Quartärgrundwassermächtigkeiten h gekennzeichnet. Daher reicht die hydraulische Leistungsfähigkeit des Quartär hier zeitweise oder dauerhaft nicht aus, um die von Süden zu-

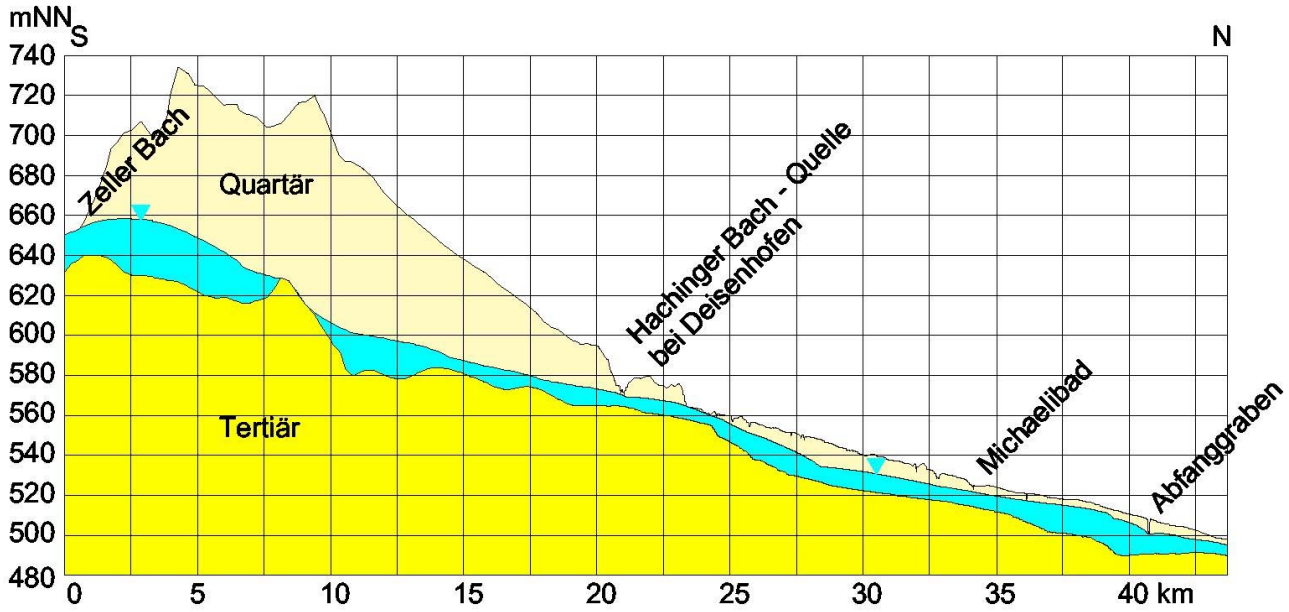



*Abb. 3 Hydrogeologisches Süd - Nord - Profil*

strömenden großen Grundwasserzuflüsse im Grundwasserleiter nach Norden bzw. Nordwesten abzuführen. Folglich tritt hier zeitlich variierend Grundwasser in die vorhandenen Oberflächengewässer aus, in denen derjenige Teil der großen südlichen Grundwasserzuflüsse abfließt, der im Quartäraquifer aufgrund seiner begrenzten hydraulischen Leistungsfähigkeit zeitweise oder dauerhaft nicht abfließen kann.

Ein Teil dieses Oberflächenabflusses fließt im Hachinger Bach ab, der in Deisenhofen entspringt und auf der folgenden ca. 4 km langen Fließstrecke von Deisenhofen über Oberhaching und Potzham nach Taufkirchen starke Grundwasserzuflüsse aufweist, die durch die hier erheblich verminderten Quärtärmächtigkeiten verursacht werden. Etwa bis in Höhe des Michaelibades verläuft der Hachinger Bach überwiegend in nördlicher Richtung und damit in Richtung der Hauptgrundwasserströmung. Unterstrom des Michaelibades ist der Hachinger Bach verrohrt und verläuft bis München - Riem vorwiegend in nordöstlicher Richtung. Vor allem in diesem etwa senkrecht zur Grundwasserfließrichtung verlaufenden Bachabschnitt treten bereichsweise starke Grundwasserzutritte zum Hachinger Bach auf.

Grundwasservorfluter ist auch der Truderinger Hüllgraben, der nördlich der A94 in den Hachinger Bach mündet, der unterstrom dieser Einmündung als Hüllgraben bezeichnet wird. Nördlich von Dornach mündet der Hüllgraben an dem in Abb. 4 gut erkennbaren Absturz in den von 1920 bis 1929 künstlich errichteten Abfanggraben, der nördlich von Aschheim und Kirchheim quer zur Grundwasserströmungsrichtung verläuft und den wichtigsten Grundwasservorfluter der gesamten Münchner Schotterebene darstellt.

*Abb. 4 Blick von der Abflussmessstelle im Hüllgraben in Richtung Abfanggraben*

Der entlang des nordöstlichen Isarhochufers verlaufende Tertiärrücken schränkt die Grundwasservorflut zur Isar stark ein. Dies bewirkt unmittelbar östlich in den Geländesenken von München - Johanneskirchen und östlich von Unterföhring Grundwasseraufstau, sehr geringe Grundwasserflurabstände und Grundwasseraustritte in die Gleißach und den Erlbach, die diese Niederungen teilweise entwässern.

Neben dem Hachinger Bach, dem Hüllgraben, dem Truderinger Hüllgraben, dem Abfanggraben, der Gleißach und dem Erlbach existieren im inneren Aquiferbereich der Östlichen Münchner Schotterebene keine weiteren Grundwasservorfluter. Die südwestlich von Dietramszell gelegenen Moränen werden teilweise über den Zeller Bach entwässert, der südöstlich von Geretsried in die Isar mündet.

Entlang des nordwestlichen Modellrandes ist die teilweise ins Tertiär eingeschnittene Isar für den Quartäraquifer begrenzt vorflutwirksam. Außerdem sind im Südosten die Mangfall und im Osten die unmittelbar östlich der Münchner Schotterebene entspringenden sehr ergiebigen Glonnquellen vorflutwirksam, die zu einem erheblichen Teil durch Grundwasserzuflüsse aus der östlichen Münchner Schotterebene gespeist werden. Die im Mangfalltal existierenden ergiebigen Mühlthaler und Gotzinger Hangquellen und die Reisacher Fassungen werden von den Stadtwerken München zur Trinkwassergewinnung genutzt. Teile dieser Grundwassergewinnungsgebiete befinden sich im Bereich des Taubenberges und damit im südöstlichen Randbereich des Grundwassermodells.

## 4. Modellansatz, Modellgebiet und Randbedingungen

Die Grundwasserströmungsverhältnisse wurden mit Hilfe eines horizontal - ebenen 2D - Finite - Element - Modells simuliert. Die Abb. 5 zeigt das entlang der vorflutrelevanten Oberflächengewässer und der Münchner U - Bahnen sowie in Dornach stark verfeinerte Finite - Element - Netz, das 31892 Knoten und 63191 Dreieckselemente umfasst. Die aus zahlreichen Bohrungen und

früheren hydrogeologischen Untersuchungen verfügbaren punktuellen Kenntnisse über die Niveaus der Tertiäroberfläche wurden mit Hilfe geostatistischer Verfahren flächendeckend regionalisiert, so dass allen Knoten des Finite - Element - Netzes die Niveaus der Aquiferbasis zugewiesen werden konnten. Die Geländehöhen wurden in analoger Weise flächendeckend erfasst.

Der Nordwestrand des 803 km$^2$ großen Modellgebietes folgt im Münchner Stadtgebiet der Isar. Deren bekannte Wasserspiegel wurden entlang dieses Modellrandes als Potentialrandbedingungen vorgegeben, so dass mit Hilfe des Grundwassermodells der zugehörige Grundwasserrandabstrom in die Isar berechnet wird. Analog wurden entlang des Nordrandes die bekannten Grundwasserstände vorgegeben und die zugehörigen Grundwasserrandabflüsse simuliert. Die Grundwasserrandabströme ins Glonn- und Mangfalltal wurden als lokale Durchflussrandbedingungen vorgegeben.

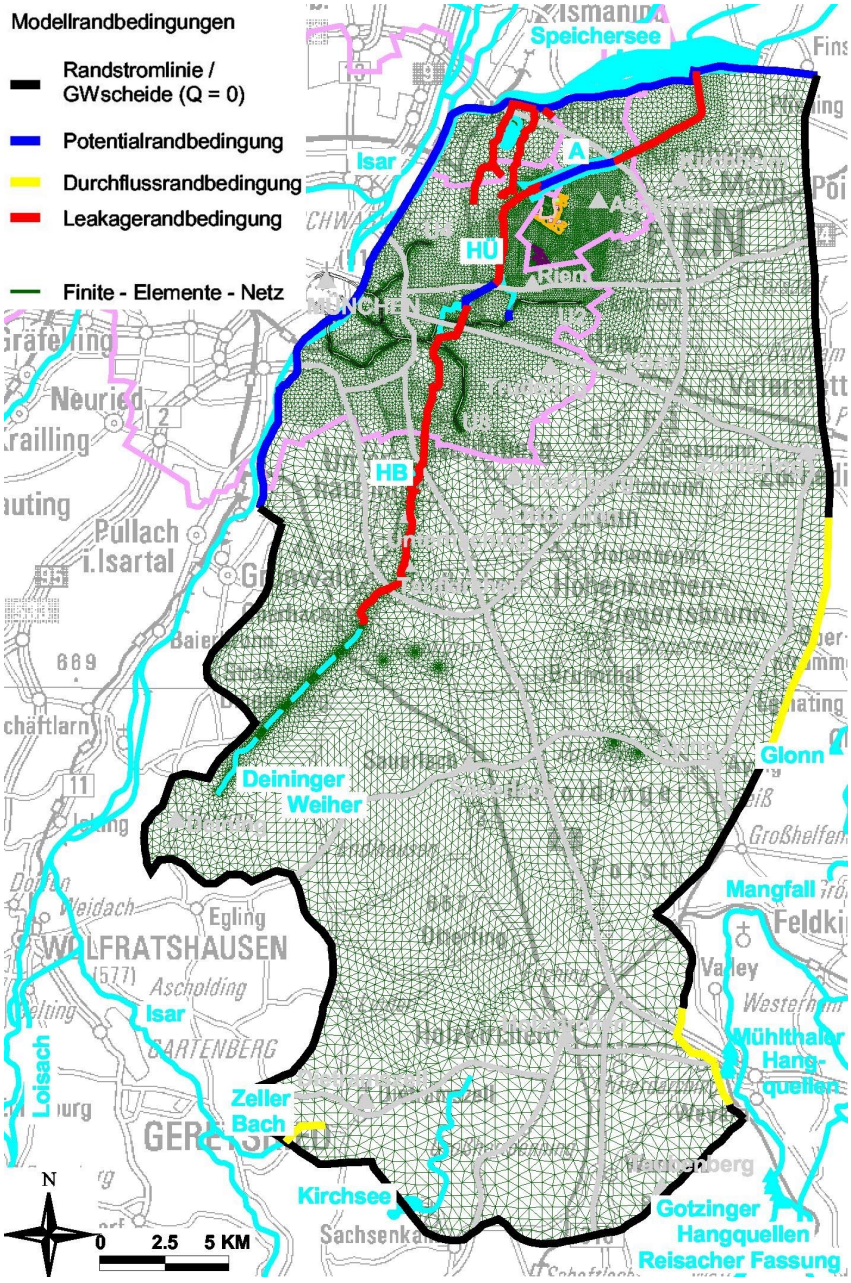



*Abb. 5 Modellgebiet mit Finite - Element - Netz und Modellrandbedingungen*

Gemäß Abb. 5 wurden alle anderen Modellaußenränder als undurchlässig vorgegeben, weil sie im Südwesten und Süden entlang der Linie Grünwald - Deining - Peretshofen - Zeller Bach - Kirchsee - Taubenberg lokalen Grundwasserscheiden und im Osten bekannten großräumigen Grundwasserrandstromlinien folgen, über die kein Grundwasseraustausch mit angrenzenden Grundwassereinzugsgebieten erfolgt. Das weit über den lokalen Bereich von Dornach ausgedehnte 803 km$^2$ große Modellgebiet des Grundwassermodells Östliche Münchner Schotterebene bietet somit den Vorteil einfach und zuverlässig definierbarer Modellrandbedingungen.

Zusätzlich wurde entsprechend Abb. 5 der Grundwasseraustausch mit folgenden innerhalb des Modellgebiets existierenden vorflutrelevanten Oberflächengewässern detailliert simuliert:

- Hachinger Bach,
- Hüllgraben,
- Truderinger Hüllgraben,
- Abfanggraben,
- Gleißach
- Erlbach und
- Zeller Bach

Die örtlichen Grundwasseraustritte in den im südlichen Moränengebiet verlaufenden Zeller Bach wurden mit Hilfe lokaler Durchflussrandbedingungen erfasst. Alle anderen Gewässer befinden sich in den hoch durchlässigen nördlichen und nordwestlichen Bereichen der Münchner Schotterebene. Ihre hydraulischen Wirkungen wurden durch Vorgabe ihrer in Fließrichtung abnehmenden Wasserspiegel als Potential- bzw. überwiegend als Leakagerandbedingungen erfasst. Die Leakagekoeffizienten der einzelnen Gewässerabschnitte wurden im Rahmen der Modellkalibrierung entsprechend Kap. 6 bestimmt.

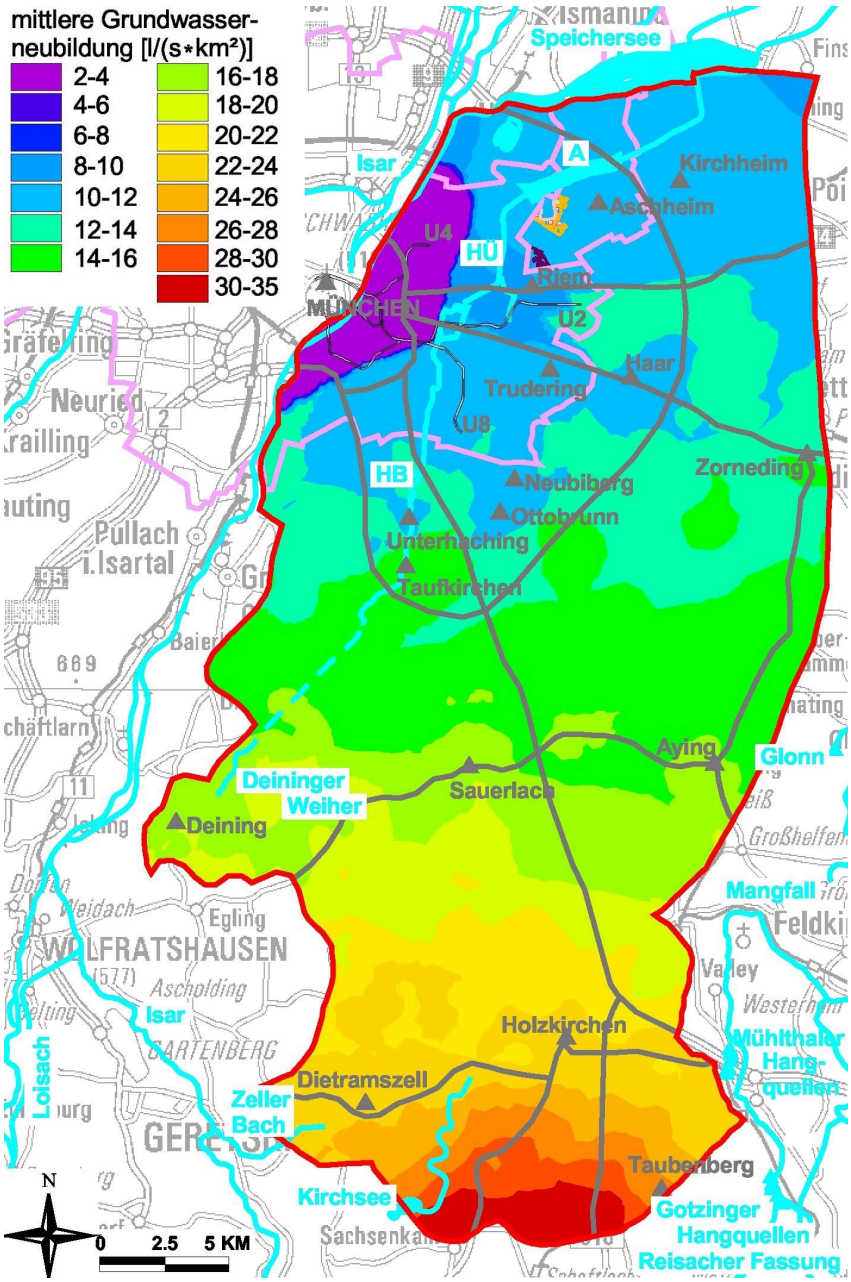



*Abb. 6 langjährige Grundwasserbeubildung $q_G$ [l / (s * km²)]*

## 5. Grundwasserneubildung

Da entlang des 181 km langen Modellaußenrandes kein Grundwasserzustrom auftritt und da im Modellgebiet keine Oberflächengewässer mit außerhalb des Modellgebiets liegenden oberstromigen Teileinzugsgebieten existieren, resultiert das gesamte Grundwasserdargebot des Modellgebietes zu 100 % aus flächenhafter Grundwasserneubildung. Ihre zuverlässige Erfassung ist somit für alle Modellprognosen von zentraler Bedeutung.

Die langjährig verfügbaren Abflusshöhen $q_A$ resultieren gemäß Wasserhaushaltsgleichung aus den Differenzen der langjährigen Jahresmittelwerte der Niederschlagshöhen $q_N$ und der Verdunstungshöhen $q_V$.

Die langjährigen Jahresmittelwerte der Verdunstungshöhen $q_V$ hängen vor allem von der Landnutzung ab. Sie schwanken nur geringfügig und können außerhalb der städtischen Bebauung für das gesamte Modellgebiet durch relativ konstante Werte von ca. $15 \le q_V \le 18$ l / (s * km²) abgeschätzt werden.

Im Gegensatz zu den Verdunstungshöhen $q_V$ nehmen die langjährigen Mittelwerte der Niederschlagshöhen $q_N$ aufgrund des Alpennordstaus sehr stark von Nord nach Süd zu. So stehen den mittleren Niederschlagshöhen von $q_N$= 25 l / (s * km²), die für den Speichersee charakteristisch sind, doppelt so große Mittelwerte der Niederschlagshöhen $q_N$ gegenüber, die am Modellsüdrand erreicht werden.

Daraus resultieren langjährige Jahresmittelwerte der Abflusshöhen $q_A$, die von Nord nach Süd sehr stark zunehmen und innerhalb des Modellgebietes im Bereich von $10 \le q_A \le 35$ l / (s * km²) schwanken. Ca. 42 % des Modellgebietes ist bewaldet. Für diese Waldgebiete wurden im Grundwassermodell leicht erhöhte Verdunstungs- und damit etwas verminderte Abflusshöhen berücksichtigt.

Wegen der großen hydraulischen Durchlässigkeiten und der weitgehend fehlenden Deckschichten tritt im Bereich der Münchner Schotterebene in der Regel kein Oberflächenabfluss auf ($q_{AO}$ = 0), so dass die langjährigen Mittelwerte der Abflusshöhen $q_A$ und der Grundwasserneubildungshöhen $q_G$ in den weitaus größten Bereichen des Modellgebiets identisch sind ($q_G = q_A$). Lediglich in einigen dicht besiedelten Münchner Stadtteilen und im Bereich der parallel zum nördlichen Isarhochufer vorhandenen Lößlehmdeckschichten wurden lokal variierende Oberflächenabflussanteile und damit entsprechend verminderte Grundwasserneubildungsraten $q_G$ angesetzt.

Die auf diese Weise ermittelte Verteilung der langjährigen Jahresmittelwerte der Grundwasserneubildungshöhen $q_G$ zeigt die Abb. 6 für das gesamte Modellgebiet. Mit $3 \le q_G \le 35$ l / (s * km²)

schwankt $q_G$ innerhalb des Modellgebietes in weiten Grenzen.

Insbesondere ist die flächenhafte Grundwasserneubildung in einigen südlichen Modellbereichen mehr als zehnmal so groß wie im Bereich des nördlichen Isarhochufers.

Auch aus diesem Grund wurde das Modellgebiet des Grundwassermodells bis in die südlichen würmzeitlichen Moränen ausgedehnt, denn gemäß Abb. 6 erfolgt in der südlichen Modellhälfte der überwiegende Teil der Grundwasserneubildung, der jedoch erst im 30 km nördlich gelegenen Großraum München zu vielfältigen Nutzungskonflikten führt, weil von Süd nach Nord

- die je Breiteneinheit abzuführenden spezifischen Grundwasserdurchflüsse q zunehmen,
- die Aquifermächtigkeiten und Grundwasserflurabstände entsprechend Abb. 3 stark abnehmen,
- die Gefahr von Vernässungsschäden infolge hoher Grundwasserstände daher zunimmt
- und die durch Baumaßnahmen, Kiesabbau und zahlreiche andere Maßnahmen verursachten Eingriffe in das oberflächennahe Grundwasserregime stark zunehmen.

## 6. Modellkalibrierung

Basierend auf dem in Abb. 5 dargestellten Finite - Element - Netz werden die bekannten physikalischen Gesetze der Grundwasserströmung (Fließgesetz und Wasserbilanz) im numerischen Grundwassermodell in hoher räumlicher Auflösung simuliert. Die Berechnungsergebnisse zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

- **physikalische Konsistenz**

Mit Hilfe des Grundwassermodells werden für vorgegebene Randbedingungen (vergl. Kap. 4) und Grundwasserneubildungen (vergl. Kap. 5) flächendeckend physikalisch konsistente Grundwasserströmungsverhältnisse simuliert. Sie entsprechen also an jedem Ort den zugrunde liegenden physikalischen Gesetzen. Das bedeutet zum Beispiel, dass das Grundwasser nicht nur in der Natur, sondern auch im Computermodell stets in Richtung des steilsten Grundwassergefälles fließt und dass die Grundwasserfließgeschwindigkeit mit zunehmendem Gefälle und mit zunehmender Untergrunddurchlässigkeit zunimmt.

- **quantifizierbare Kausalverknüpfungen zwischen Ursache und Wirkung**

Im numerischen Grundwassermodell werden die maßgebenden physikalischen Gesetze durch zugehörige

- Systemparameter (z. B. hydraulische Durchlässigkeiten),
- Belastungen (vor allem die Verteilung der Grundwasserneubildungsraten)
- und Randbedingungen (z. B. Wasserstände und Abflüsse vorflutrelevanter Oberflächengewässer)

ortsabhängig beschrieben. Ein Teil dieser Systemparameter, Belastungen und Randbedingungen ist relativ genau bekannt und daher leicht vorzugeben. Dies gilt zum Beispiel für die Geländehöhen und die Wasserstände der vorflutrelevanten Oberflächengewässer. Dagegen liegen für andere Eingabedaten zunächst nur Schätz- oder Erfahrungswerte vor. Dies gilt typischerweise für die die örtlichen Untergrundverhältnisse beschreibenden Systemparameter.

Die Kenntnisse über diese anfänglich nur grob abschätzbaren Systemparameter werden jedoch wesentlich verbessert, weil mit Hilfe des Computermodells Ursache und Wirkung quantifizierbar miteinander verknüpft werden. Zum Beispiel können für vorgegebene Grundwasserneubildungen und Randbedingungen (z. B. Isarwasserstände) flächendeckend Grundwasserstände simuliert werden, die den vorgegebenen Untergrundverhältnissen entsprechen. Mit Hilfe des Grundwassermodells können somit den zunächst geschätzten **Systemparametern** (z. B. den nur näherungsweise bekannten hydraulischen Durchlässigkeiten) **Systemreaktionen** (z. B. Grundwasserstände und Abflüsse im Hachinger Bach, im Hüllgraben und im Abfanggraben) zugeordnet werden, die zu den vorgegebenen Systemparametern „passen“, also physikalisch konsistent sind.

Daraus ergibt sich der entscheidende Vorteil, dass die mit Hilfe des Grundwassermodells **simulierten Systemreaktionen mit gemessenen Systemreaktionen** des realen Grundwasserleiters verglichen werden können. Hierzu standen für das Modellgebiet langjährige Grundwasserstandsmessdaten von 88 Grundwassermessstellen und detaillierte Ganglinien der gemessenen Hüllgrabenabflüsse für die in Abb. 4 erkennbare Durchflussmessstelle zur Verfügung. Darüber hinaus lagen für verschiedene Querschnitte des Hachinger Baches, des Hüllgraben, des Truderinger Hüllgraben und des Abfanggraben 29 zusätzliche Abflussmessungen vor. Ergänzend wurden Literaturauswertungen, eigene Ortsbesichtigungen und zahlreiche Zusatzinformationen Dritter genutzt, um einen umfassenden Überblick über die Grundwasseraustritte in die vorflutrelevanten Oberflächengewässer zu gewinnen.

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden die maßgebenden Systemparameter des Grundwassermodells (vor allem die Vertei-

lungen der hydraulischen Durchlässigkeiten und Leakagekoeffizienten) iterativ so bestimmt, dass die mit Hilfe des Computermodells simulierten Systemreaktionen (vor allem die Grundwasserstände und die Grundwasseraustritte in die vorflutrelevanten Oberflächengewässer) mit den aus den genannten Messungen bekannten Systemreaktionen des tatsächlichen Grundwasserleiters weitgehend übereinstimmen. Die überwiegend unveränderlichen Systemparameter des Grundwassermodells werden im Rahmen der Modellkalibrierung also so bestimmt, dass das Computermodell auf vorgegebene Belastungen und Randbedingungen ganz ähnlich reagiert wie der tatsächliche Aquifer.

## 7. Grundwassergleichen, Randabflüsse und spezifische Durchflüsse

Die Abb. 7 zeigt den mit Hilfe des kalibrierten Grundwassermodells berechneten Grundwassergleichenplan. Dieser gibt die mittleren Grundwasserstände der östlichen Münchner Schotterebene in guter Näherung wieder, weil die für alle Positionen der 88 verfügbaren Grundwassermessstellen resultierenden Differenzen der simulierten und gemessenen Grundwasserstände im Mittel 0,01 und im Maximum nur 0,38 m betragen. Auch die simulierten Grundwasseraustritte in die vorflutrelevanten Oberflächengewässer werden durch die verfügbaren Abflussmessungen bestätigt.

Gemäß Abb. 2 umfassen die südrandnahen Moränen und die Tertiäraufragungen des Taubenberges nur ca. 24 % der Modellfläche, aber auf dieser kleinen Fläche fällt aufgrund des Alpennordstaus ca 32 % des gesamten Grundwasserdargebots an. Daher dürfen diese randnahen Moränen- und Tertiärgebiete in der Grundwasserbilanz der Östlichen Münchner Schotterebene keinesfalls vernachlässigt werden.

Die Entwässerung des 803 km$^2$ großen Modellgebiets wird durch die in Abb. 7 dargestellten gelben Pfeile symbolisiert, deren Flächen proportional zu den Randabflüssen sind, die sie repräsentieren. Hiernach wird die östliche Münchner Schotterebene vor allem über das System Hachinger Bach - Hüllgraben - Abfanggraben entwässert, wobei die Vorflutwirkung des Abfanggrabens dominiert. Außerdem existieren entlang des nördlichen Isarabschnitts und des nördlichen Modellrandes bedeutende Grundwasserabströme. Mehr als 80 % des gesamten Grundwasserdargebots verlässt das Modellgebiet als äußerer oder innerer Randabstrom nördlich der Linie München - Haidhausen, München - Riem, Kirchheim, Landsham, Pliening, obwohl in diesem Teilgebiet nur ca. 6 % des gesamten Grundwasserdargebots gebildet wird.

Dies unterstreicht die Zweiteilung des Modellgebietes. Ein großer Teil des Grundwasserdargebots wird im südlichen Moränengebiet gebildet, aber der Hauptgrundwasserabstrom erfolgt über das Drainagesystem Hachinger Bach

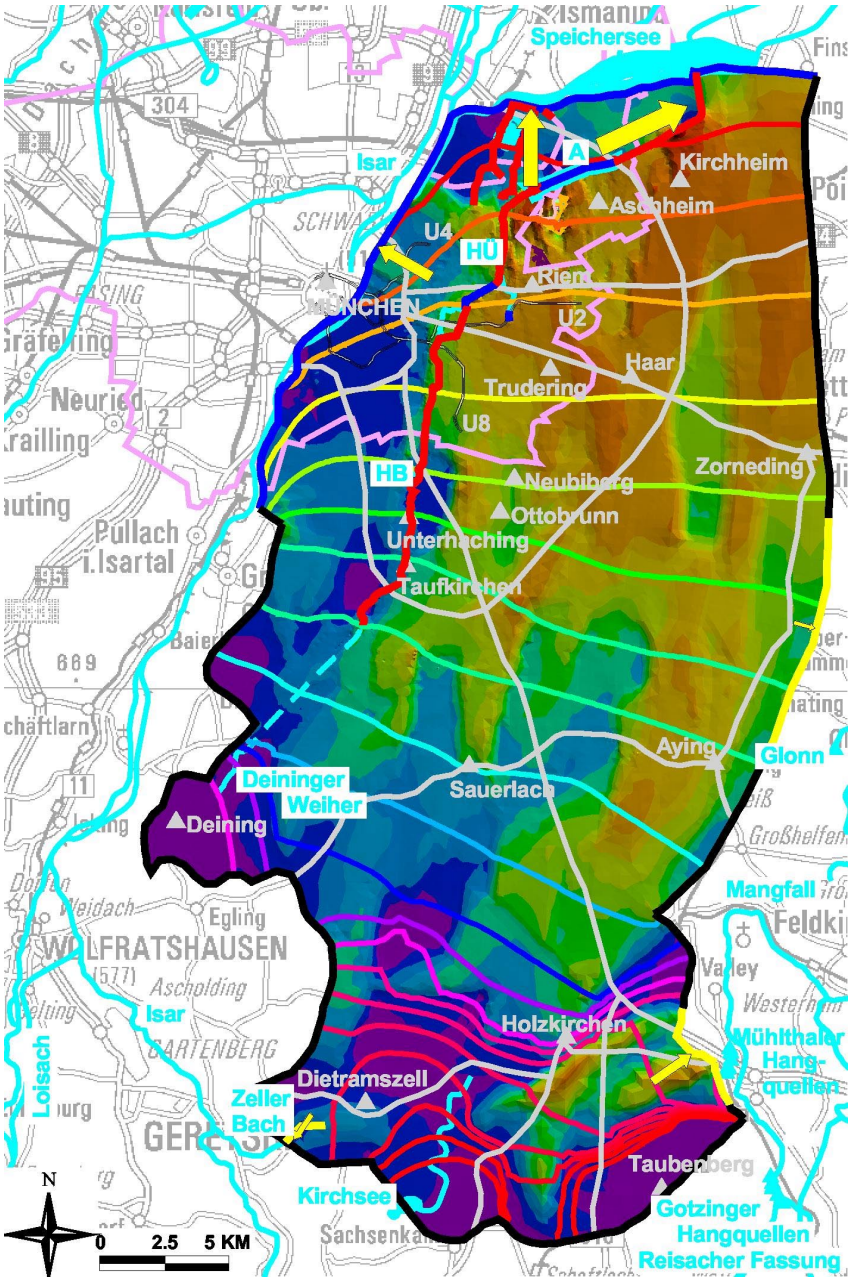



*Abb. 7 Mittelwerte der Grundwasserstände h, der spezifischen Durchflüsse q und der Randabflüsse $Q_R$*

- Hüllgraben - Abfanggraben und die nordwestlichen und nördlichen Modellaußenränder.

Die lokal stark variierenden Grundwasserumsätze der Münchner Schotterebene zeigt der in Abb. 7 zusätzlich dargestellte Isoflächenplan der spezifischen Durchflüsse. Diese repräsentieren die je Breiteneinheit des Aquifers abgeführte Grundwassermenge. Die von Süd nach Nord stark zunehmenden spezifischen Durchflüsse sind in Abb. 7 ebenso deutlich erkennbar wie die dominierende Vorflutwirkung des Drainagesystems Hachinger Bach - Hüllgraben - Abfanggraben. Die größten spezifischen Durchflüsse der gesamten Münchner Schotterebene werden unmittelbar südöstlich des Abfanggrabens entlang der Linie Dornach - Aschheim - Kirchheim - Landsham - Pliening erreicht. Hier treten lokal besonders große spezifische Durchflüsse und daraus resultierende Grundwasserstandsaufhöhungen auf, wenn die ehemalige hydraulische Leistungsfähigkeit des Aquifers durch Kiesgrubenverfüllungen mit Materialien verminderter hydraulischer Durchlässigkeit reduziert wurde.

Das kalibrierte Grundwassermodell liefert für das gesamte Modellgebiet zahlreiche weitere Ergebnisse, die das Grundwasserregime der östlichen Münchner Schotterebene charakterisieren. Dazu gehören beispielsweise flächendeckende Verteilungen der hydraulischen Durchlässigkeiten und Transmissivitäten, detaillierte Informationen zu den Leakagekoeffizienten, flächendeckende Angaben zu den Grundwassermächtigkeiten und -flurabständen, detaillierte Angaben zu den Größen und Richtungen der Grundwasserströmungs- und -abstandsgeschwindigkeiten. Darauf basierend sind für die gesamte östliche Münchner Schotterebene Detailangaben zu den Fließwegen und Fließzeiten des Grundwassers und damit beispielsweise zu den Einzugsgebieten und Schutzzonen einzelner Brunnen sowie zur zeit- und ortsabhängigen Ausbreitung von Schadstofffahnen unmittelbar verfügbar.

## 8. Prognosen

Neben der Analyse, Dokumentation und Bilanzierung des bestehenden Grundwasserregimes besteht die wesentliche Aufgabe des kalibrierten Grundwassermodells in der Erstellung genauer und detaillierter flächendeckender Prognosen der infolge veränderter Belastungen und / oder veränderter Randbedingungen zu erwartenden Systemreaktionen des Grundwasserleiters. Diese Prognosen sind möglich, weil sich die Untergrundverhältnisse und damit die durch Modellkalibrierung ermittelten Systemparameter in der Regel nicht ändern und weil das Grundwassermodell aus den in Kap. 6 erläuterten Gründen auch für veränderte Belastungen und Randbedingungen stets konsistente Lösungen liefert, die sowohl zu diesen veränderten Belastungen und Randbedingungen als auch zu den in der Regel unveränderlichen Systemparametern "passen".

Daher bietet ein prognosefähiges Grundwassermodell flexible Möglichkeiten, um die maßgebenden Ursachen der erhöhten Grundwasserstände zu bestimmen und effektive Abhilfemaßnahmen zu planen. Hierzu wurden zunächst die Grundwasserstandsänderungen flächendeckend simuliert, die u. a. aufgrund folgender Belastungs-, Systemparameter- und Randbedingungsänderungen zu erwarten sind:

- um 20 % erhöhte Grundwasserneubildungsraten (zur Erfassung der Nassjahre 1999 bis 2002),
- im Dornacher Grundwasserabstrombereich betriebenes Kieswerk,
- geplante Kieswerkserweiterungen,

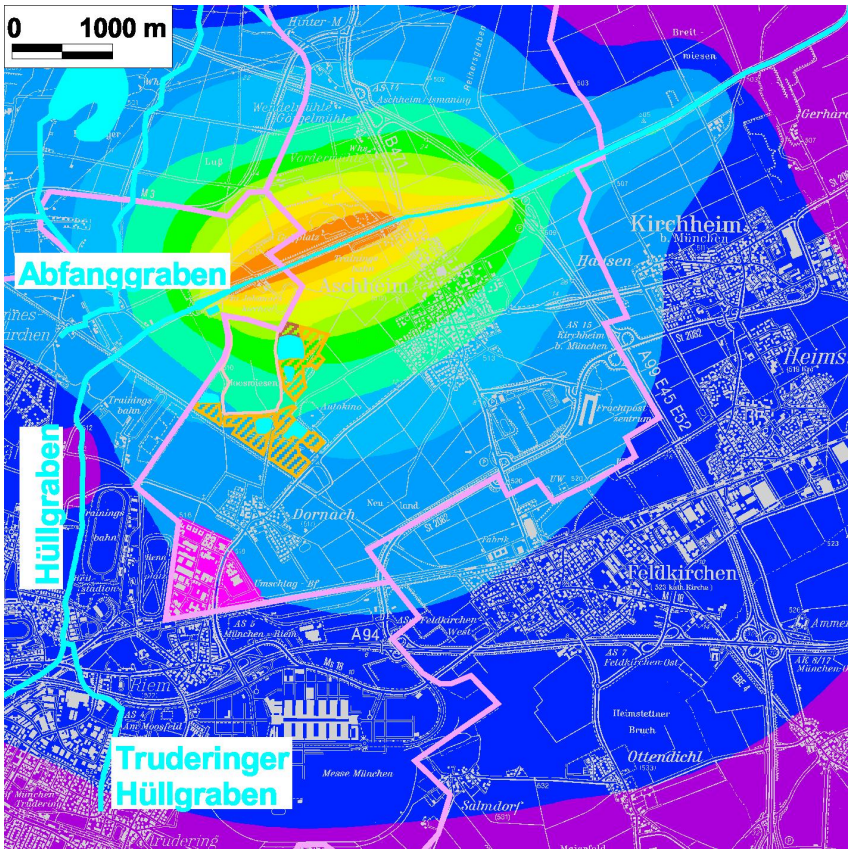



*Abb. 8 Grundwasserabsenkungen infolge vorgegebener Wasserspiegelabsenkungen im Abfanggraben*

- bestehende Tiefgründungen des Dornacher Gewerbeparks,
- geplanter Gewerbeparkausbau,
- kombinierter temporärer Betrieb eines Entnahme- und eines unterstromigen Schluckbrunnens in München - Riem,
- Teilversickerung des Hachinger Bach,
- Reduzierung der Grundwasserentnahmen der Stadtwerke München
- und Wasserstandsabsenkungen im Oberlauf des Abfanggrabens.

Die Abb. 8 zeigt exemplarisch den durch Wasserstandsabsenkungen im Oberlauf des Abfanggrabens in den Bereichen Kirchheim, Aschheim, Dornach und München - Riem verursachten Grundwasserabsenktrichter.

Analoge Differenzenpläne wurden auch für alle anderen untersuchten Lastfälle erstellt. Der abschließende Vergleich der simulierten Grundwasserabsenktrichter erlaubte klare Rückschlüsse auf die maßgebenden Ursachen der Dornacher Grundwasserstandsaufhöhungen.

Aufbauend auf dieser Ursachenanalyse wurde mit Hilfe des kalibrierten Grundwassermodells systematisch überprüft, welche Maßnahmen am effektivsten sind, um die Scheitelgrundwasserstände in Dornach so weit abzusenken, dass zukünftig Kellervernässungen entsprechend Abb. 1 auch in Nassjahren vermieden werden. Hierzu wurden die durch alternative Kombinationen von Grabeneintiefungen und Drainagerohren erzielbaren Grundwasserabsenkungen simuliert und miteinander verglichen.

Die Abb. 9 zeigt exemplarisch die durch Vertiefung eines verlandeten Grabens in Dornach erzielbaren Grundwasserabsenkungen. Analoge Absenktrichter und die zugehörigen Drainwassermengen wurden für verschiedene Trassen- und Sohltiefenvarianten der Gräben und Verrohrungen simuliert. Die diesen Alternativmaßnahmen entsprechenden Grundwasserstände wurden in den in Abb. 10 dargestellten Profilschnitt durch Dornach eingetragen.

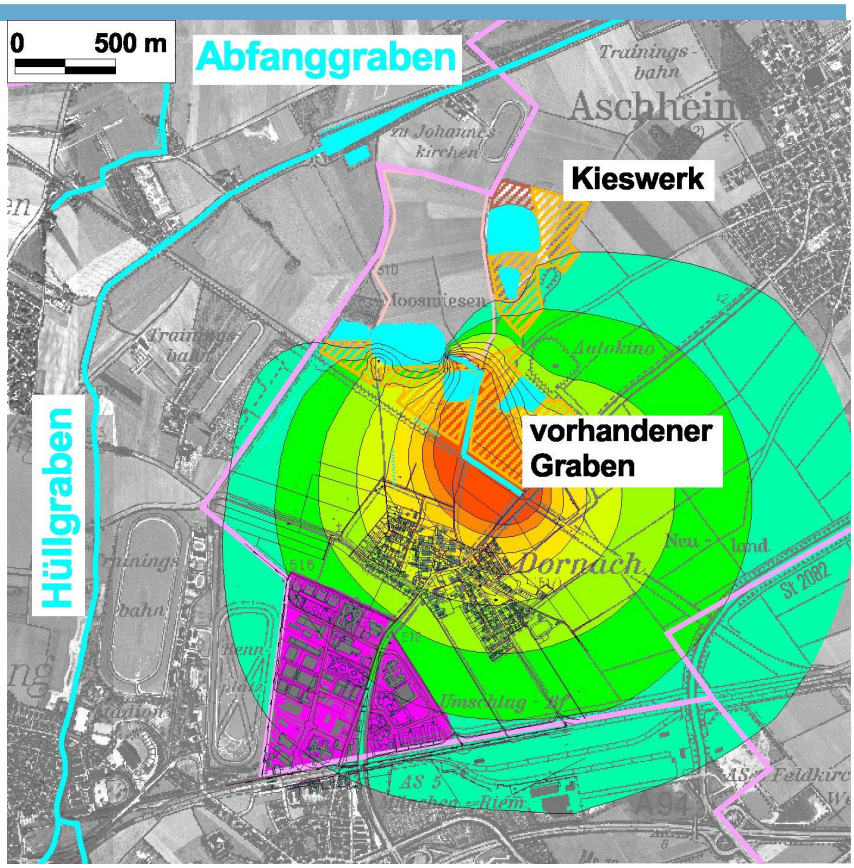



*Abb. 9 durch Eintiefung eines verlandeten Grabens erzielbare Grundwasserabsenkung in Dornach*

In diesen Profilschnitt wurden zusätzlich die von Grundwasservernässungen betroffenen Dornacher Gebäude mit ihren Kellerniveaus eingetragen, so dass aus diesem Profilschnitt unmittelbar ersichtlich ist, welche der alternativen Grundwasserabsenkungsmaßnahmen am effektivsten sind, um vorgegebene Grundwasserabsenkungsziele zu erreichen. Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, dass Sohleintiefungen vorhandener Gräben ausreichen, um in Dornach künftig auch in Nassjahren Kellervernässungen entsprechend Abb. 1 zu vermeiden.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Um für den Bereich von Dornach die maßgebenden Ursachen der durch erhöhte Grundwasserstände bewirkten Vernässungsschäden ermitteln und hydraulisch wirksame Abhilfemaßnahmen konzipieren und optimieren zu können, wurde ein prognosefähiges Grundwassermodell erstellt. Da sich Dornach in dem großräumig zusammen hängenden sehr ergiebigen und hoch durchlässigen Porengrundwasserleiter der östlichen Münchner Schotterebene befindet, wurde das Modellgebiet dieses Grundwassermodells entsprechend Abb. 2 und 5 so groß gewählt, dass an seinen Grenzen klare und einfach definierbare Modellrandbedingungen definiert werden können, die Voraussetzung für eine zuverlässige Modellkalibrierung und damit für sichere Prognosen des Grundwassermodells sind. Deshalb und aufgrund der gemäß Abb. 6 von Nord nach Süd stark zunehmenden Grundwasserneubildungen

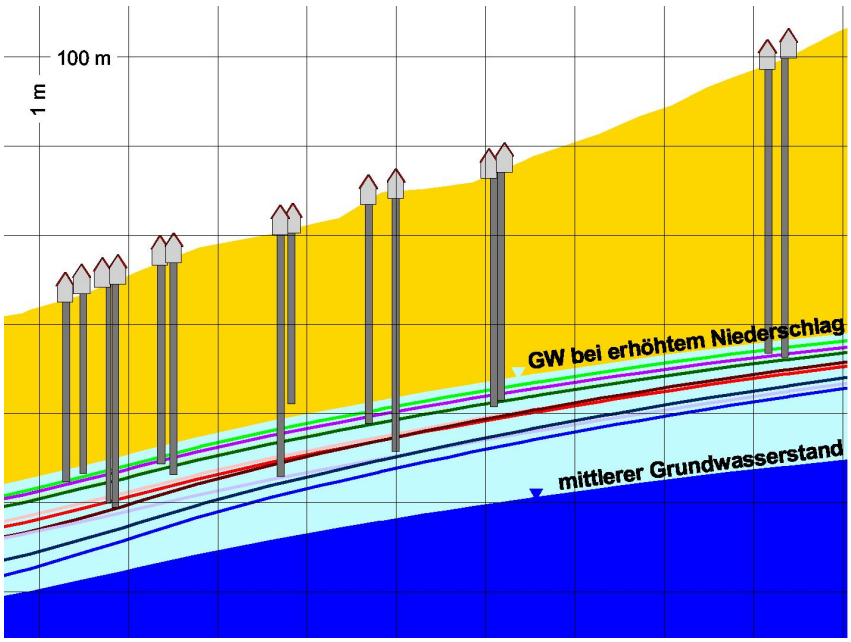



*Abb. 10 Vergleich der hydraulischen Wirksamkeit alternativer Grundwasserabsenkungsmaßnahmen*

weist das Modellgebiet des Grundwassermodells Östliche Münchner Schotterebene eine Fläche von 803 km$^2$, eine Süd - Nord - Ausdehnung von ca. 45 km und eine West - Ost - Erstreckung von bis zu 25 km auf.

Die durch langjährige Grundwasserstands- und umfangreiche Abflussmessungen abgesicherte Modellkalibrierung basiert entsprechend Kap. 5 auf den langjährigen Jahresmittelwerten der Niederschläge $q_N$ und der Verdunstung $q_V$. Die lokalen Verteilungen von $q_N$ und $q_V$ sind für den Großraum München wesentlich genauer bekannt als die zunächst nur grob abschätzbaren lokalen Verteilungen der hydraulischen Durchlässigkeiten $k_f$. Daher sind räumlich differenzierte Modellprognosen erzielbarer Grundwasserabsenkungen und der zugehörigen Drainwassermengen wesentlich zuverlässiger, wenn sie, wie im vorliegenden Fall, auf den auch in ihrer räumlichen Verteilung relativ gut bekannten Wasserhaushaltskomponenten $q_N$ und $q_V$ basieren, als wenn sie auf angenommenen lokalen Verteilungen der Aquiferdurchlässigkeiten $k_f$ basieren, für die keine vergleichbar genauen Grundlagendaten existieren. Deshalb können von dem hoch auflösenden und lokal stark verfeinerten großräumigen Grundwasserbilanzmodell Östliche Münchner Schotterebene genauere und differenziertere Prognosen erwartet werden als von kleinräumigen Lokalmodellen, die auf eine vollständige Grundwasserbilanz verzichten und stattdessen weitreichende aber relativ unsichere Annahmen über hydraulische Durchlässigkeiten und oberstromige Grundwasserzuflüsse erfordern.

Aufgrund der gewählten Modellrandbedingungen und der bereits vollständig abgeschlossenen Modellkalibrierung ist dieses Grundwassermodell nicht nur für den kleinen Bereich von Dornach, sondern **für den gesamten Modellbereich und damit für den gesamten Bereich der östlichen Münchner Schotterebene unmittelbar prognosefähig**. Es kann daher auch für alle anderen Bereiche des Modellgebiets kurzfristig und flexibel genutzt werden, um

- die Ursachen beobachteter Grundwasserstandsänderungen zu bestimmen,
- die hydrogeologischen Auswirkungen geplanter Maßnahmen zu prognostizieren
- und Maßnahmen so zu optimieren, dass angestrebte Veränderungen des Grundwasserregimes sicher, effektiv und ohne Schäden erreicht werden.

Das Grundwassermodell Östliche Münchner Schotterebene bietet somit für viele hydrogeologische Aufgabenstellungen Planungssicherheit, weil es bereits **vor der Ausführung von Maßnahmen** (z. B. Kiesabbau, Tunnelbau, Wasserhaltungen, Untergrundabdichtungen, Düker, Versickerungen, Brunnenentnahmen, Drainagen, Kanalabdichtungen) kurzfristig zuverlässige und detaillierte Prognosen darüber erlaubt, wie sich diese geplanten Maßnahmen **nach ihrer Ausführung** auf die bestehenden Grundwasserverhältnisse auswirken werden. Dadurch lassen sich Fehlplanungen und nachträgliche Reparaturen vermeiden und Zeit und Kosten einsparen.

Hinweis: Die in den Lageplänen angegebenen topographischen Informationen basieren auf der Übersichtskarte von Bayern 1:500000, Wiedergabe mit Genehmigung des Bayerischen Landesvermessungsamtes München, Nr. 1700/03.