

# Hydrogeologische Modellierung des Rißtales bei Biberach (Oberschwaben)

von

**Dominik Ulmer, Markus Reinold,  
Klaus Bitzer, Günther Strayle,  
Freiburg i. Br.**

**Schlüsselwörter:** Hydrogeologie, Computergeologie, Simulation

## Zusammenfassung

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Rißtal bei Biberach wurden mit Hilfe eines Grundwasser-Simulationsmodells untersucht. Grundlage der Modellierung bildete eine umfassende Zusammenstellung und Auswertung von Geländedaten, aus der eine erste Abschätzung der hydraulischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet gewonnen wurde. Im Verlauf zahlreicher Simulationsexperimente konnte ein Datensatz erstellt werden, der die beobachteten hydrogeologischen Verhältnisse im Rißtal weitgehend annähert. Mit Hilfe des mathematischen Modells können erstmals detaillierte quantitative Aussagen über den Einfluß der Riß auf das Fließsystem im Aquifer und die Auswirkungen anthropogener Einflüsse getroffen werden. Zusätzlich lieferten die im Verlauf der Modellierung auftretenden Probleme und Fragestellungen neue Hinweise auf die Geologie des Untersuchungsgebietes.

## 1. Einleitung

In zunehmendem Maße werden computergestützte Simulationsmodelle für quantitative hydrogeologische Untersuchungen eingesetzt. Im Rahmen solcher Untersuchungen wird versucht, mathematische Modelle zu entwickeln, mit denen beobachtete Verhältnisse möglichst genau angenähert werden, um quantitative Aussagen beispielsweise über das zeitliche und räumliche Verhalten des

---

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Geol. DOMINIK ULMER, Dipl.-Geol. MARKUS REINOLD, DR. KLAUS BITZER, Geologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität, Albertstraße 23b, W-7800 Freiburg. Dr. GÜNTHER STRAYLE, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Albertstraße 5, W-7800 Freiburg.

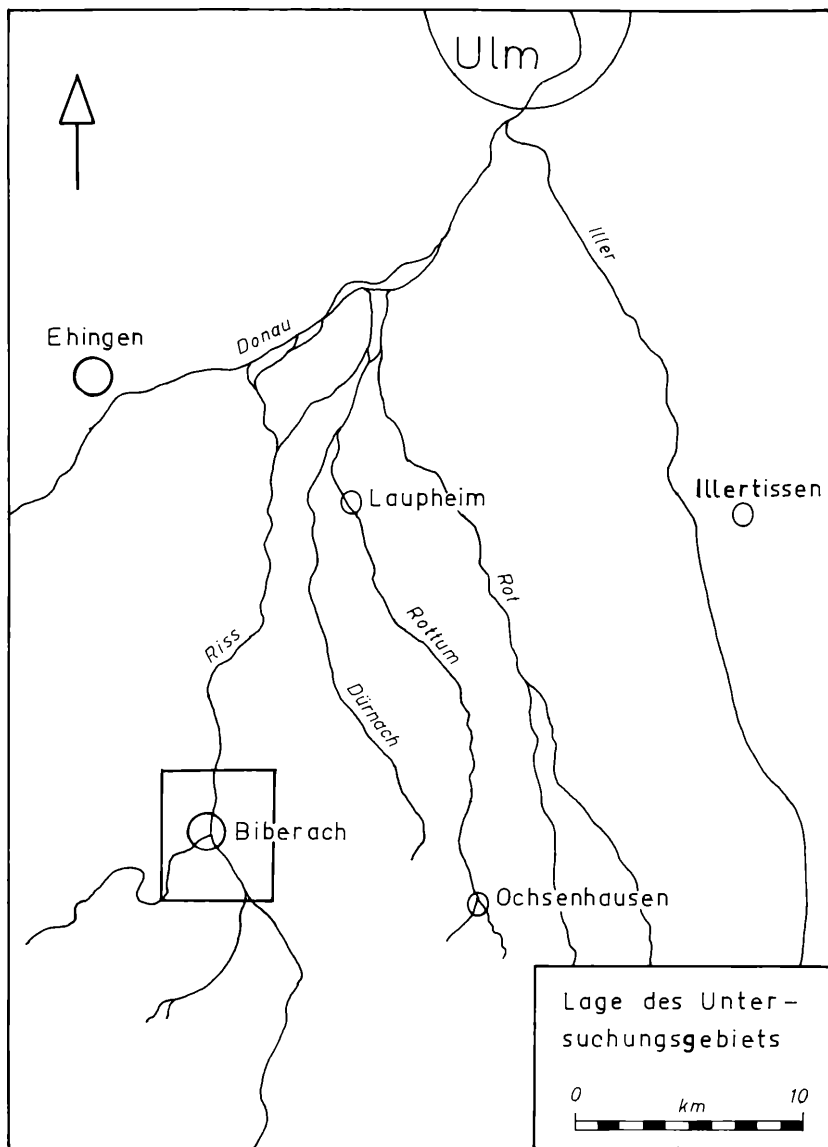


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets.

Grundwasserpotentials im Verlauf einer Grundwasserentnahme oder über den Verlauf einer Schadstoffausbreitung zu erhalten. Während häufig bei solchen Untersuchungen das Problem unzureichender Geländedaten auftritt und eine Beurteilung des mathematischen Modells daher nur eingeschränkt möglich ist, konnte bei dem in diesem Beitrag beschriebenen Grundwassermodell für den Bereich bei Biberach an der Riß auf eine umfangreiche Datenmenge zurückgegriffen werden. Das entwickelte mathematische Modell beschreibt die hydraulischen Verhältnisse des Aquifers und gibt Auskunft über den Einfluß der Riß auf das Grundwasserpotential. Die Abweichungen zwischen berechnetem und dem gemessenen Grundwasserpotential können geologisch interpretiert werden und liefern neue Hinweise auf die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet.

## 2. Geologie des Untersuchungsgebietes

Biberach an der Riß befindet sich im nördlichen Teil des Molassebeckens, dessen Schichtfolge hier mit ca. 2° nach Südosten einfällt. In der nahegelegenen Thermalwasserbohrung Jordanbad beträgt die Mächtigkeit des tertiären Anteils der Molasseabfolge ca. 810 m. Sie beginnt im Liegenden mit der ca. 170 m mächtigen Süßwasserkalkzone der Unteren Süßwassermolasse (USM), die von ca. 400 m mächtiger USM gefolgt wird. Die Obere Meeresmolasse (OMM) ist ca. 190 m mächtig und wird von wenigen Metern Albstein überdeckt. Es folgen ca. 60 m Obere Süßwassermolasse (OSM), die bei Jordanbad von 18 m Quartär überdeckt werden. Oberflächlich aufgeschlossen sind in der unmittelbaren Umgebung von Biberach lediglich OSM und Quartär. Diese beiden Schichtglieder stellen die für die Hydrogeologie des Gebietes entscheidenden Einheiten dar. Die Glimmersande, Mergel und Siltsteine der OSM wirken als Grundwasserstauer, während die quartären Ablagerungen, vorwiegend Kies und Sand, hohe Durchlässigkeiten aufweisen.

Die ältesten pleistozänen Ablagerungen stammen aus der Mindelzeit. Es handelt sich um Moränenmaterial, das nordöstlich von Mettenberg aufgeschlossen ist. Die übrige Bedeckung des Gebietes wird von Vorstoßschottern und Moränenmaterial der Rißeiszeit gebildet. Die auf dem Tiefenlinienplan der Aquiferbasis erkennbaren Rinnenstrukturen (Abb. 2) sind durch glaziale Erosionsvorgänge verursacht. Die Mittelbiberacher Rinne ist nach Schreiner (1985) rißeiszeitlich datiert, so daß ihre Mündungshöhe das Erosionsniveau während der Rißeiszeit markiert und eine zeitliche Einteilung der übrigen Rinnen ermöglicht. Sämtliche Rinnenstrukturen sind mit rißeiszeitlichem Material verfüllt, nur das Rißtal und das Wolfental weisen postwürmeiszeitliche Sedimente auf. Sie bestehen aus Kiesen, die im Bereich des Wolfentales einen erhöhten Sandgehalt aufweisen, im Rißtal dagegen nur gelegentlich geringmächtige Sandlinsen mit geringer lateraler Erstreckung zeigen.

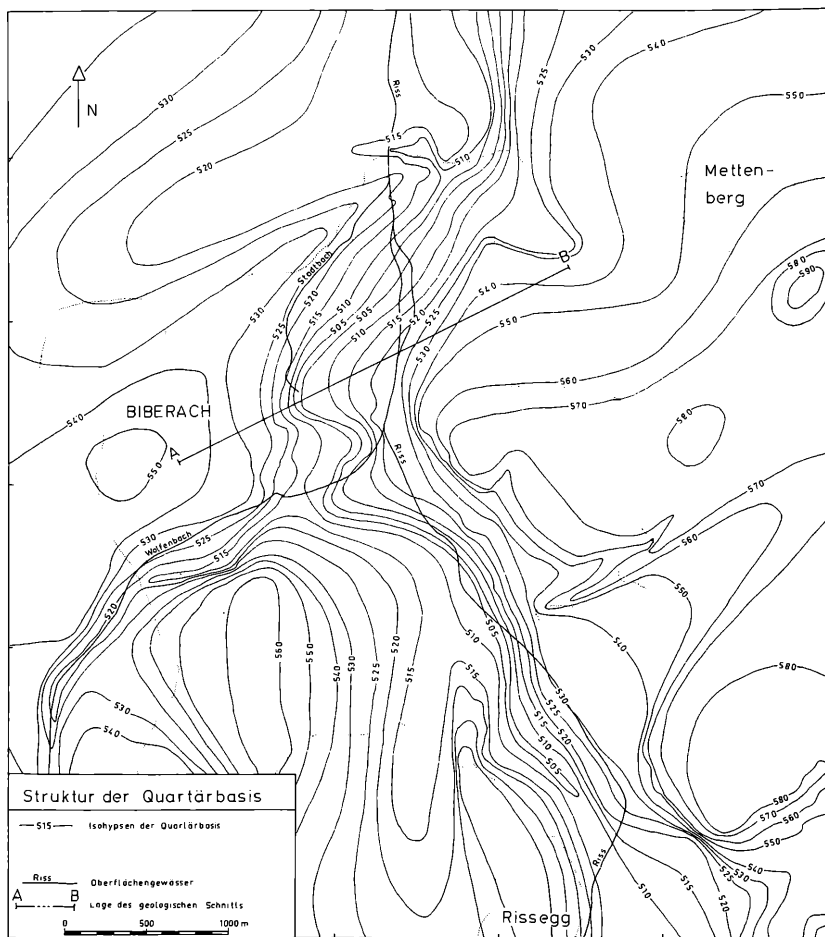


Abb. 2: Tiefenlinienplan der Quartärbasis.

### 3. Programmsystem

Im Rahmen des Projekts wurde eine Programmumgebung zusammengestellt, in der ein Großteil der Arbeitsschritte von der Datenaquisition bis zur Modellierung mit Rechnerunterstützung bewältigt werden konnte (Abb. 4). Für die Erfassung und Darstellung wurde das PC-Datenbankprogramm GEODAT

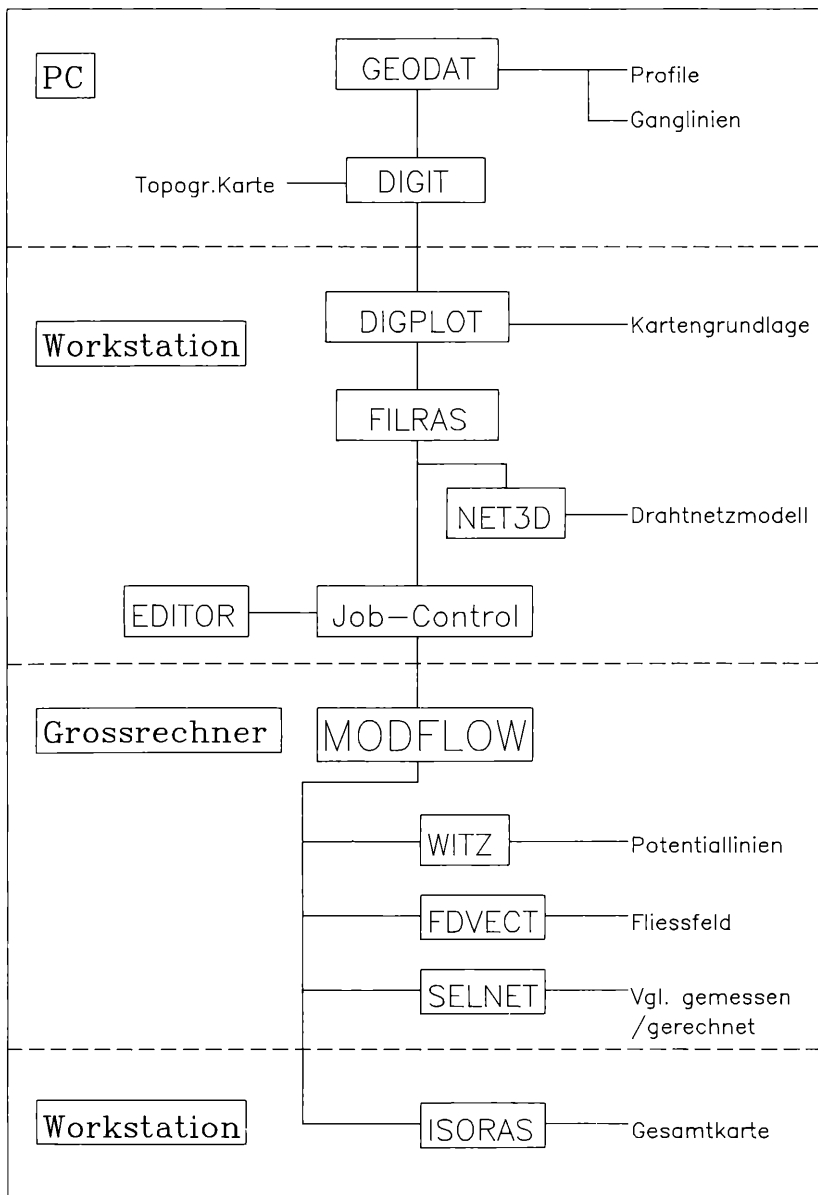


Abb. 4: Flußdiagramm des verwendeten Programmsystems.

entwickelt, das speziell auf die Erfordernisse des Projekts zugeschnitten wurde. Topographische Karten wurden mit dem Programm DIGIT (Geologisches Institut, Universität Freiburg) digitalisiert. Mit Hilfe des Programms DIGPLOT (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg) wurden digitalisierte Pläne reproduziert und in andere Darstellungen eingblendet. Mit dem Programm FILRAS (Geologisches Institut, Universität Freiburg) wurden die digitalisierten Pläne in regelmäßige Rasterdateien umgesetzt, wie sie als Eingabedaten für das Simulationsprogramm benötigt wurden. Zur Darstellung der Rasterdaten diente das Programm NET3D (Geologisches Institut, Universität Freiburg).

Zur Simulation der Fließverhältnisse im Aquifer wurde das Finite-Differenzen-Programm MODFLOW (HARBAUGH & McDONALD, 1984) verwendet. Die berechneten Potentialverteilungen und Fließfelder wurden am Geologischen Landesamt Baden-Württemberg mit Hilfe der Programme WITZ, ISORAS und FDVECT dargestellt.

#### 4. Datengrundlage

Als Grundlage der Modellierung diente ein Tiefenlinienplan, aus dem die geometrischen Daten des Aquifers für die Modellierung entnommen wurden (Abb.5). Die hydraulischen Parameter wurden anhand mehrerer Pumpversuche bestimmt. Die aus Pumpversuchen errechnete Durchlässigkeit der Talkiese liegt in einem Bereich zwischen  $3,5 \cdot 10^{-3}$  bis  $8 \cdot 10^{-3}$  m/s. Bei der Modellierung war aus dieser Spanne eine Verteilung der Durchlässigkeit zu bestimmen, die den im Gutachten „Grundwasserabsenkung Kreissparkasse“ (STRAYLE, 1973) vermuteten Grundwasserstrom in Höhe von ca. 0,1 bis 0,12 m<sup>3</sup>/s, der in das südliche Riftal bei Rißegg zuströmt, in seiner Größenordnung trifft. Für die durchflußwirksame Porosität wurde ein Erfahrungswert von 15 % verwendet. Zusätzlich zu den Pumpversuchen stand eine Messung der Grundwasserstände aus dem Sommer 1987 sowie Messungen des Wasserstands der Riß an 17 Pegeln zur Verfügung.

#### 5. Modellierung

Das modellierte Gebiet ist 4,95 km lang und 2,65 km breit. Seine südwestliche Ecke hat die Gauss-Krüger Koordinaten 3 559 500/5 326 200. Es reicht vom Jordanbad im Süden bis zum nördlichen Stadtrand, wo der Verlauf der Riß von der östlichen auf die westliche Talseite wechselt (Abb. 5).

Der Modellraum wurde in ein regelmäßiges Gitter von  $99 \times 53$  Zellen aufgeteilt, wobei jede Zelle eine Ausdehnung von  $50 \times 50$  m besitzt. Der Fehler bei der Diskretisierung der Aquiferbasis beträgt maximal 0,5 m. Als Fließgrenze innerhalb des Modellgebiets wurde die Ausstrichlinie der Oberen Süßwasser-

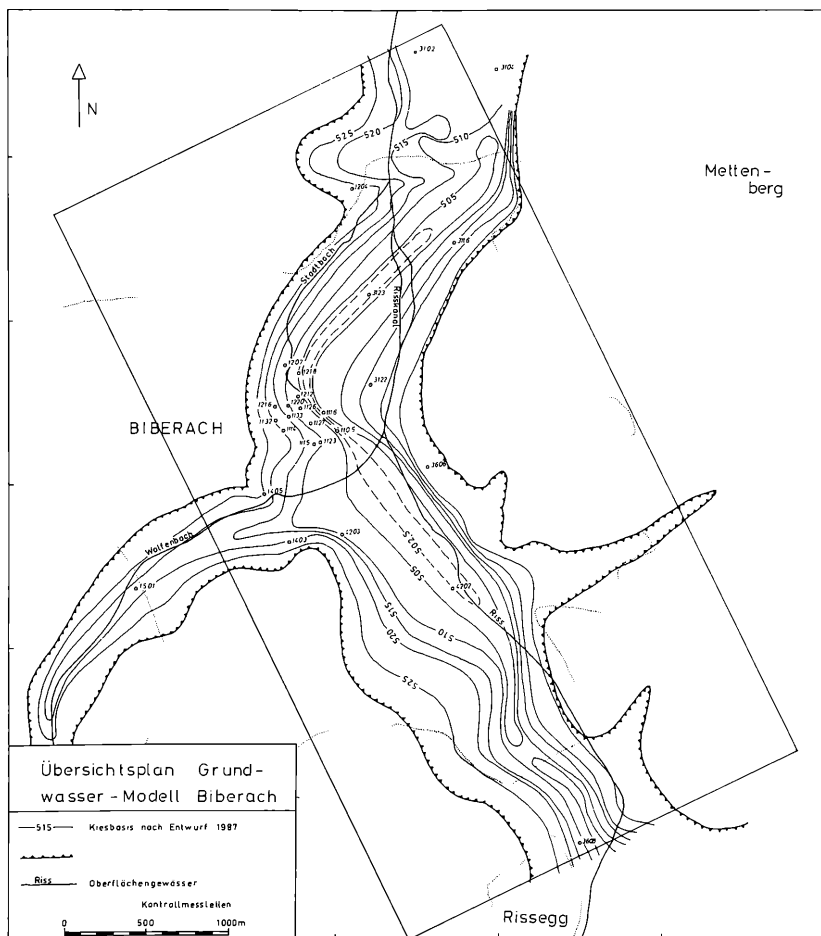


Abb. 5: Übersichtsplan über das Modellgebiet mit den Tiefenlinien der Aquiferbasis, dem Verlauf des Aquiferandes und der Oberflächengewässer sowie der Lage der Kontrollmessstellen.

molasse gewählt. Bedingt durch die Geometrie des Grundwasserleiters wurden lediglich 45 % der 5.247 Zellen als aktive Zellen behandelt, durch die Grundwasser fließt, während der Rest als inaktiv in den Rechnungen nicht berücksichtigt wurde. Die „no flow“-Grenze, d.h. die Grenze zwischen aktiven und inaktiven Zellen, wurde großzügig angelegt, so daß viele inaktive Zellen zunächst als aktiv betrachtet wurden und dann während der Modellierung trocken fielen (Abb. 6).

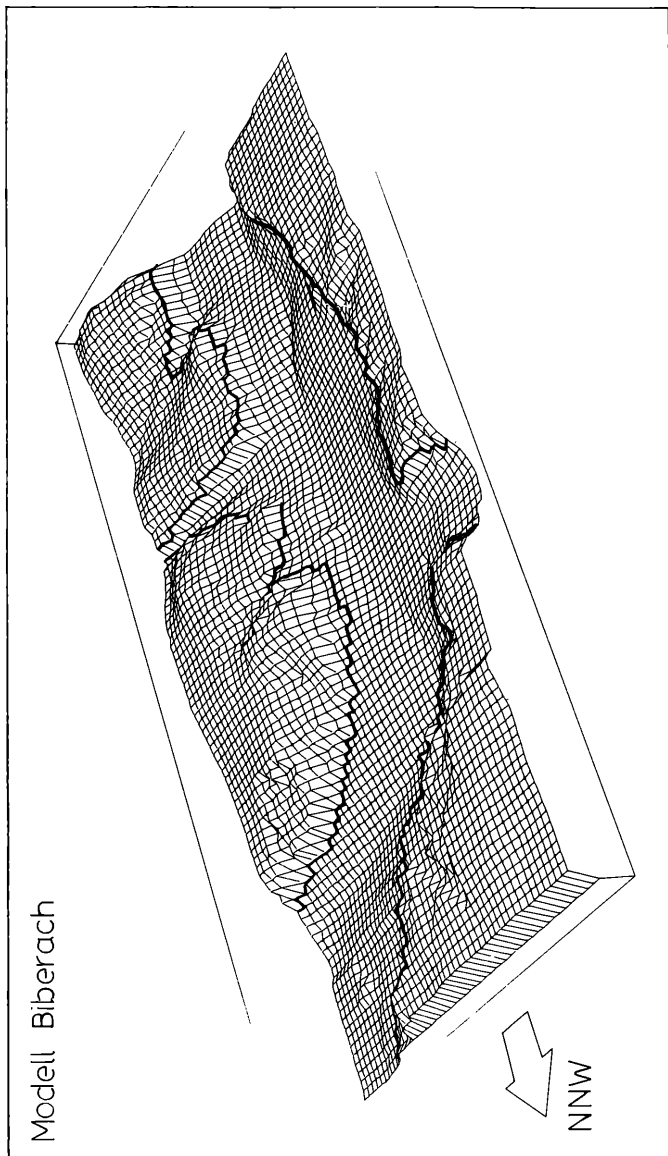


Abb. 6: 3D-Drahtnetzmodell der diskretisierten Aquiferbasis.



Trocken gefallene Zellen werden vom Simulationsprogramm automatisch auf „no flow“ geschaltet. Die weite Grenzziehung war notwendig, da ein Aquifer mit freier Grundwasseroberfläche vorliegt, bei dem verschiedene Fließraten unterschiedliche Grundwasserstandshöhen hervorrufen. Aufgrund dieser Grenzziehung wurden einzelne aktive Randzellen in Rechenläufen mit hohen Fließraten in Simulationen mit niedrigen Fließraten inaktiv. Innerhalb des Eichungslaufes trocken gefallene Zellen sind in Abb. 7 gekennzeichnet.

Während der iterativen Berechnung nähern sich die Potentialwerte der einzelnen Zellen bei richtig gesetzten Randbedingungen asymptotisch der exakten Lösung der Differentialgleichung an. Um zu verhindern, daß das Programm bei nicht konvergierenden Berechnungen in einer Endlosschleife arbeitet, wurde die maximal zulässige Anzahl von Iterationen auf 300 festgesetzt. Bei konvergierenden Rechnungen wurde der Rechengang beendet, wenn die maximal vorkommende Differenz zwischen dem Ergebnis einer Iteration mit dem der vorhergehenden für alle Zellen unter 0,01 m lag.

Bei der Modellierung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- a) Abschätzung des durchschnittlichen Kf-Wertes
- b) Hydraulischer Anschluß der Oberflächengewässer
- c) Modellierung der Durchlässigkeits-Verteilung

Durch den Vergleich zwischen Werten aus Stichtagsmessungen der Kontrollpegel und berechneten Werten wurden die Eingabedaten für das Modell schrittweise verbessert. Nach der Kalibrierung (Modelleichung) unter stationären Bedingungen wurde getestet, ob das Modell in gleicher Weise wie das natürliche System auf veränderte Bedingungen reagiert. Hierzu wurde eine starke Grundwasserabsenkung im Stadtgebiet Biberach gewählt und mit dem Rechnermodell verglichen.

## 5.1 Durchlässigkeit der Talkiese

Die Durchlässigkeit des Aquifers wurde zunächst grob abgeschätzt. Hierzu wurde das Gebiet als homogener Kieskörper, abgeschlossen von Einflüssen der Oberfläche, betrachtet. An den Zuflußgrenzen wurden feste Potentiale vorgegeben. Da die Riß in diesem Simulationsvorgang nicht berücksichtigt wurde, mußte das Potentialgefälle der Riß über Festpotentiale vorgegeben werden.

Es wurden drei Datensätze mit  $k_f$ -Werten von  $3,5 \cdot 10^{-3}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$  und  $7 \cdot 10^{-3}$  m/s zusammengestellt. Die berechneten Potentiallinienpläne sind bei allen drei Läufen aufgrund der gleichen Höhe der Festpotentiale identisch (Abb. 8), dagegen sind die Fließraten unterschiedlich. Die Länge der Fließpfeile in Abb. 9 ist ein Maß für die Abstandsgeschwindigkeit. Abb. 10 zeigt die errechnete Höhe ausgewählter Kontrollpegel im Vergleich mit den beobachteten Grundwasser-

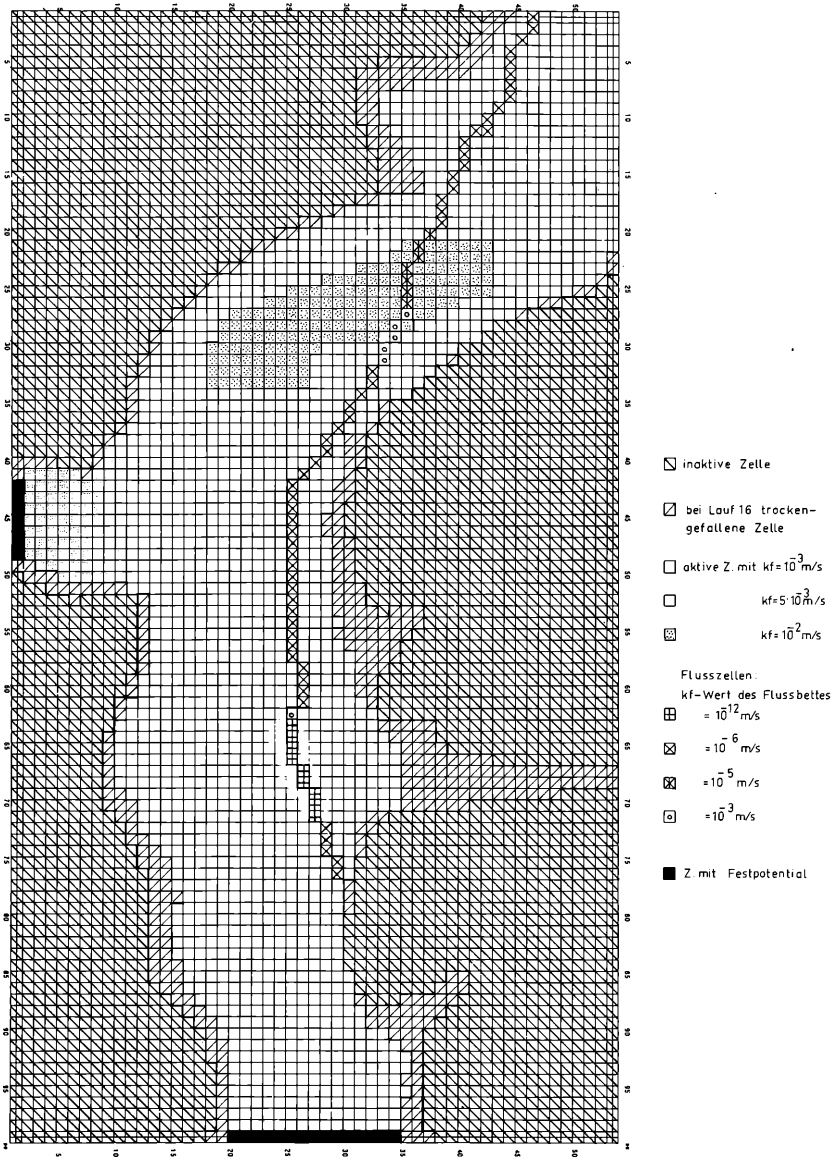


Abb. 7: Diskretisierungsplan des Modells mit den Zellparametern des Eichungslaufes.

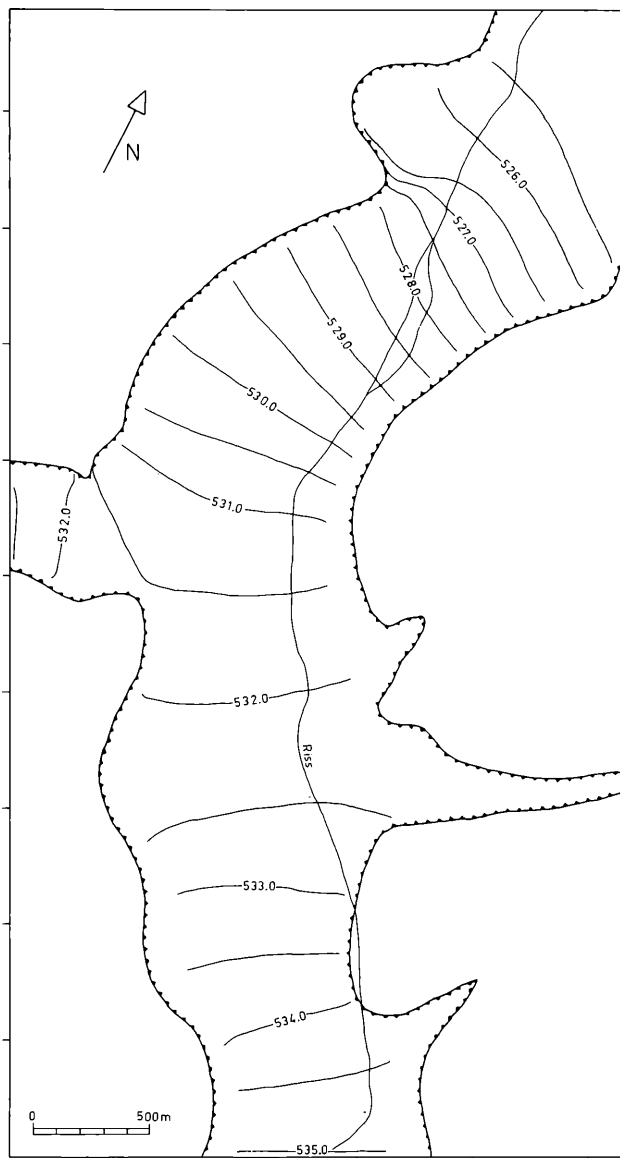


Abb. 8: Berechnete Potentiallinien des Experiments zur Abschätzung der allgemeinen Durchlässigkeiten.



Abb. 9: Fließfeld des Rechenlaufes zur Abschätzung der durchschnittlichen Durchlässigkeit der Talkiese mit einem angenommenen  $k_f$ -Wert von  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s.

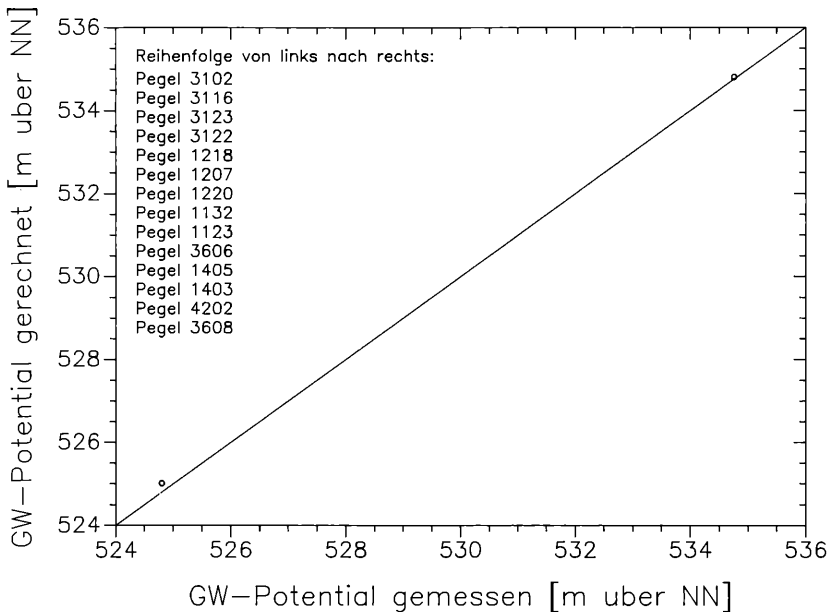


Abb. 10: Vergleich zwischen gemessenem Stichtagspotential und den berechneten Grundwasserständen an den Kontrollpegeln bei der Abschätzung der durchschnittlichen Durchlässigkeit der Talfüllung.

ständen in einem N-S-Profil. Die stärksten Abweichungen treten im Stadtgebiet von Biberach auf; insgesamt liegt der berechnete Grundwasserspiegel im Modell höher als beobachtet. Der mittlere  $k_f$ -Wert wurde auf  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s geschätzt.

## 5.2 Hydraulischer Anschluß der Riß

In einem weiteren Modellierungsschritt wurden Oberflächengewässer in die Berechnung mit einbezogen. Das Programm MODFLOW betrachtet Flüsse als Bereiche mit festem Potential, die durch eine Schicht bestimmter Dicke und Durchlässigkeit in Kontakt mit dem Grundwasser stehen. Prinzipiell können dabei zwei Situationen unterschieden werden: Infiltration, d.h. Flußwasser gelangt in das Grundwasser hinein, und Exfiltration, d.h. Grundwasser aus dem Aquifer gelangt in den Fluß. Der vertikale Grundwasseraustausch, die Leakage, wird durch den Potentialunterschied zwischen Fluß und Grundwasser und durch die vertikale Konduktanz, dem Produkt aus Leakage Faktor und der durchströmten Fläche, gesteuert.

Das Potential der Riß wurde anhand der Stichtagsmessung linear interpoliert. Die allgemeine Durchlässigkeit des Rißbettes beträgt nach einer Abschätzung von STRAYLE (1973)  $kf' = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s, die durchschnittliche Mächtigkeit der Ablagerungen im Flußbett wurde mit 0,2 m angenommen. Die Leakage wechselt im Flußverlauf und hängt von den Verhältnissen im Gewässerbett ab. Im Bereich des Rißkanals ist der Altarm der Riß hydraulisch kaum an das Grundwasser angeschlossen, der Kanal selbst hingegen sehr stark. Der Wolfenbach ist hydraulisch nicht an das Grundwasser angeschlossen.

Im Bereich der Wehre wird im oberstromigen Bereich die Fließgeschwindigkeit des Flusses stark herabgesetzt. Es kommt zur Sedimentation von feinkörnigem Material und dadurch zu einer Herabsetzung der Durchlässigkeit des Flußbettes (Abb. 11). Unterstromig erhöht das Flußwasser seine Geschwindigkeit, so daß lediglich grobes Material am Grund des Flusses liegenbleibt und die Leakage erhöht. Mit wachsendem Abstand vom Wehr lassen beide Effekte nach. Die angenommene Verteilung von  $kf'$  im Modell ist in Abb. 7 sowie im Flußprofil (Abb. 12) aufgetragen.

Es wurden zwei Datensätze erstellt, die sich hinsichtlich der angenommenen Durchlässigkeit des Flußbettes unterscheiden. In einem ersten Experiment wurde eine gleichmäßige Anbindung mit einem durchschnittlichen  $kf'$ -Wert des Flußbettes von  $10^{-6}$  m/s angenommen. Die in Abb. 13 gezeigte Potentialverteilung geht dagegen von variierenden Durchlässigkeiten des Flußbettes ent-

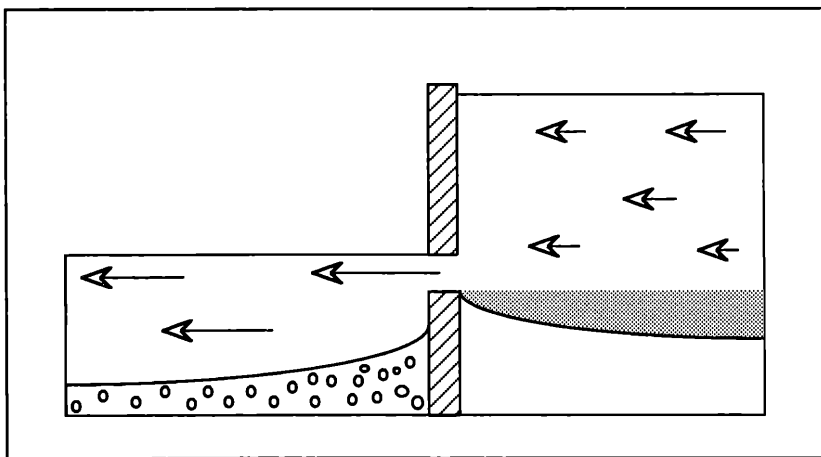


Abb. 11: Schematische Darstellung der Fließgeschwindigkeiten und der Korngrößen der Flußbettsedimente an einem Wehr.

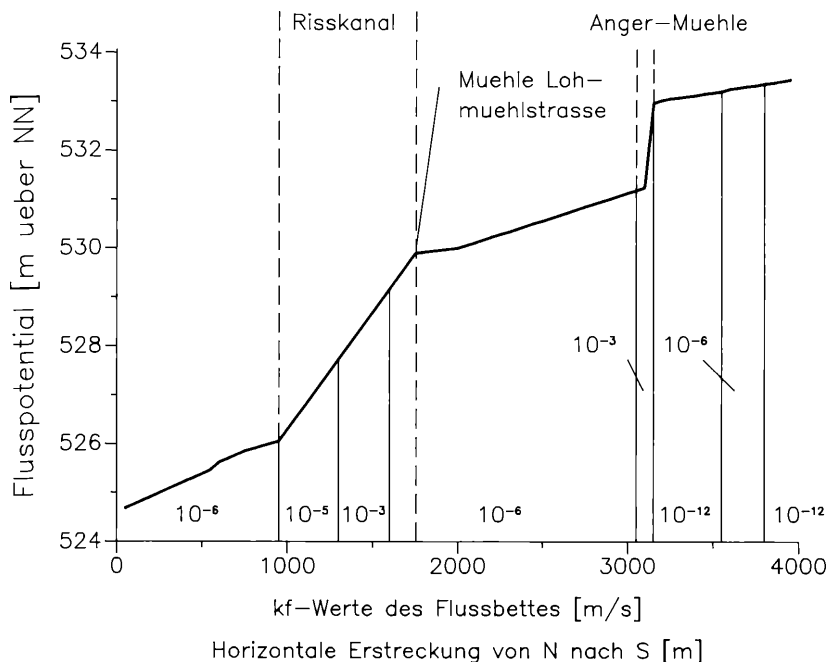


Abb. 12: N-S-Schnitt des Flusspotentials und angenommenen Durchlässigkeiten des Flussbettes.

sprechend Abb. 12 aus. Im Vergleich werden die Auswirkungen der oben beschriebenen Phänomene auf die Potentialverteilung des Grundwassers deutlich. Von beiden Versuchen zeigt Abb. 14, die Potentialverteilung bei variierender Durchlässigkeit des Flussbettes, die bessere Übereinstimmung mit den Kontrollpegeln. Eine Abweichung von 9 cm bei einem Gesamtgefälle von ca. 10 m liegt im natürlichen Schwankungsbereich des Grundwasserstandes.

### 5.3 Modellierung der Durchlässigkeit

Eine weitere Verbesserung des Modells konnte über eine Verfeinerung der Durchlässigkeitsverteilung im Modellgebiet erreicht werden. Abb. 14 zeigt in zwei Bereichen des Modellgebiets stärkere Differenzen zwischen berechnetem und beobachtetem Grundwasserstand. Ein erster Anstieg der Differenz ist an der Grundwassermeßstelle 1403 im Bereich des Wolfentales zu verzeichnen. Die Kiese des Wolfentales sind wesentlich geringer durchlässig als jene des Rißtales. Entsprechend sind die berechneten Zuflüsse aus dem Wolfental zu hoch. Ein

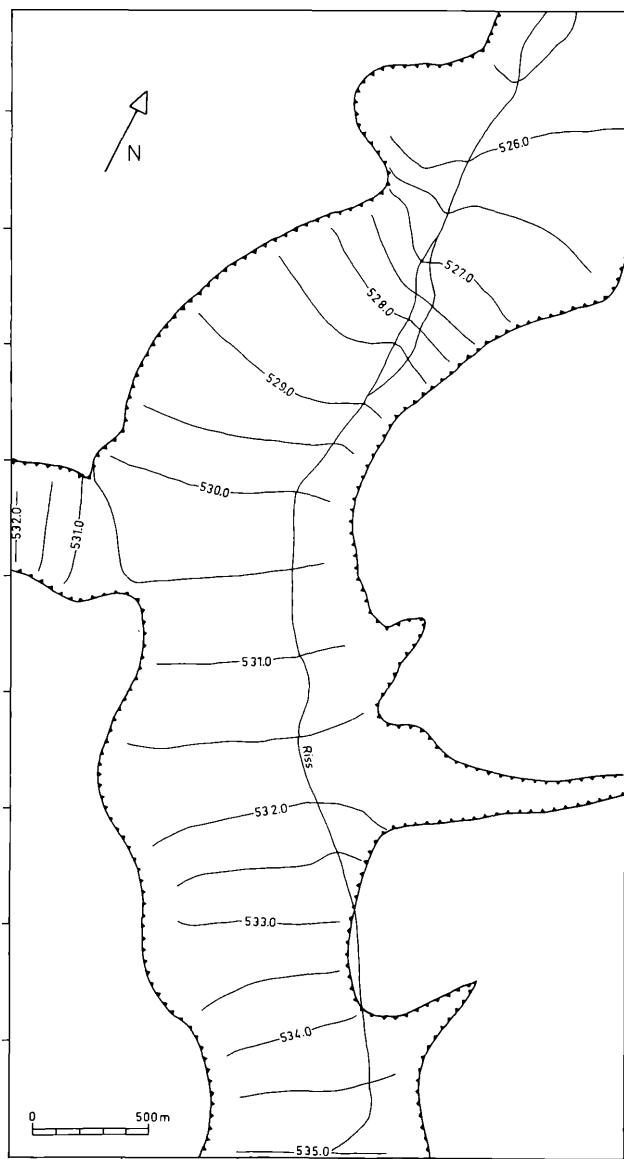


Abb. 13: Berechnete Potentiallinien mit hydraulischem Anschluß der Riß unter Annahme variierender  $k_f$ -Werten des Flußbettes.



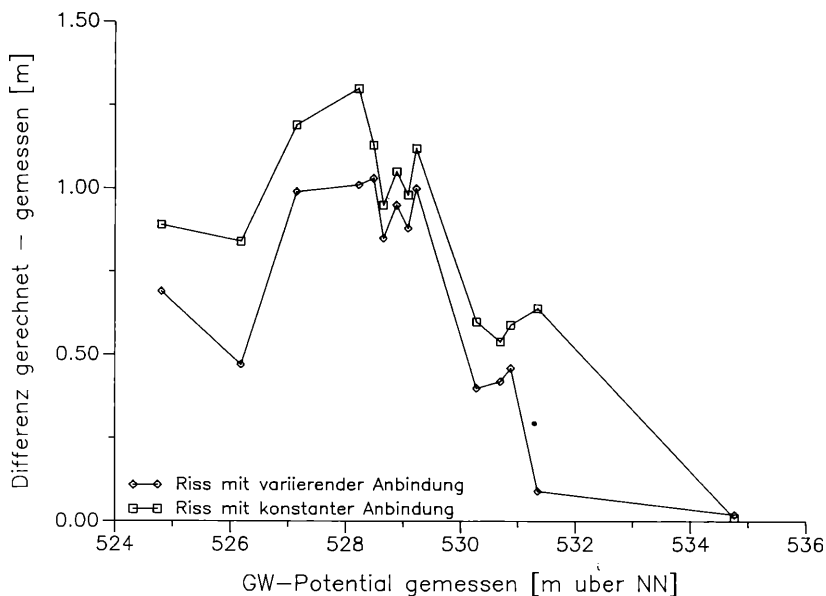


Abb. 14: Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserpotential an den Kontrollpegeln bei Rechnung mit hydraulischem Anschluß der Riß.

weiterer Bereich mit erhöhten Differenzen liegt im Stadtzentrum. Durch die Annahme einer lokal erhöhten Durchlässigkeit aufgrund größerer Kiesanteile könnte diese Differenz erklärt werden. Betrachtet man die Geometrie des Rinneverlaufes und berücksichtigt den Eintritt der Wolfenbachrinne in das Rißtal, so könnte ein hypothetisches Modell der würmeiszeitlichen Sedimentationsbedingungen aufgestellt werden, das die lokale Zunahme der größeren Korndurchmesser erklären könnte: Beim Zusammentreffen beider Flüsse bildete sich durch die Erhöhung der Wassermenge ein Stau in beiden Fließsystemen; dadurch wurde die Fließgeschwindigkeit oberstromig des Mündungsgebietes verlangsamt. Unterstromig des Treffpunktes der beiden Flüsse mußte eine relativ erhöhte Wassermenge weggeführt werden, was entweder zu einer Weitung des Flußbettes oder einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit führte. Da eine Verbreiterung des ehemaligen Flußlaufes im Rißtal nicht zu beobachten ist, die Rinne sogar schmaler wird, kann es in diesem Bereich zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und zu einer verstärkten Ablagerung größerer Sedimente gekommen sein. Dies würde sich mit den hydraulischen Forderungen des Modells decken. Da der errechnete Grundwasserstand zu hoch liegt, muß der Grundwasserstrom im Stadtgebiet ansteigen, was durch eine Erhöhung der

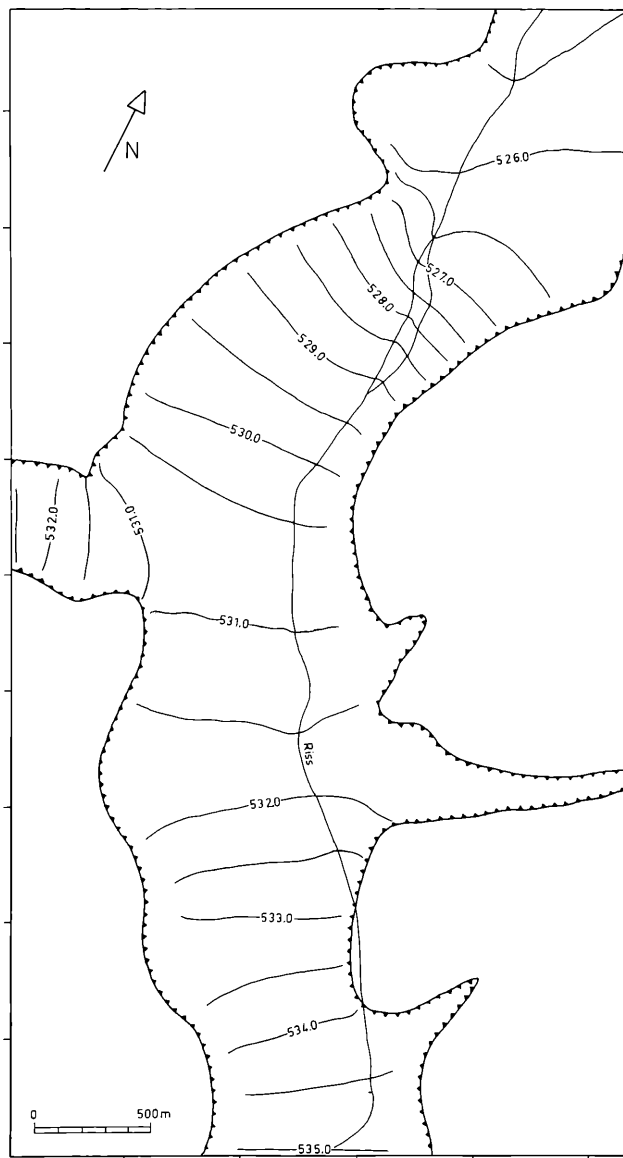


Abb. 15: Berechnete Potentiallinien bei Variation der Durchlässigkeiten im Wolfental und im Rinnentiefsten nördlich des Stadtgebietes.

Durchlässigkeit, wie sie aus den oben genannten Überlegungen folgt, möglich wäre.

In einem weiteren Experiment wurde daher der  $k_f$ -Wert im Rinnenbereich nördlich des Stadtgebietes bis auf einen Wert von  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s erhöht. Höhere Durchlässigkeiten sind in den Talkiesen des Rißtales bislang nicht festgestellt worden. Bei diesem  $k_f$ -Wert trat eine weitere Verringerung der Differenzen zwischen den errechneten und gemessenen Grundwasserständen vor allem im Stadtgebiet ein, während der Bereich zwischen dem Stadtkern und dem nördlichen Stadtgebiet (Meßstelle 3123) unverändert blieb (Abb. 16). Mit der bis dahin vorliegenden Datengrundlage war kein weiterer Eingriff möglich, ohne das Modell auf hypothetische, quantitativ nicht belegbare Grundlagen zu stellen. Der maximale Fehler des stationär geeichten Modells beträgt 0,95 m (Meßstelle 3123). Der durchschnittliche Fehler läßt sich über die Differenzkurve berechnen (Abb. 17). Die Fläche zwischen  $x$ -Achse und Kurve, d. h. die Summe der Absolutwerte der Integrale zwischen den Nullpunkten bzw. den Randpunkten des Graphs wird durch die Länge der Kurve über der  $x$ -Achse geteilt. Der durchschnittliche Fehler des Modells beträgt 0,27 m (entspricht 2,7 % bei einem Gefälle von 10 m im gesamten Modellgebiet) und liegt damit um 50 % unter der durchschnittlichen jährlichen Schwankungsbreite des Grundwasserstandes von 0,5 m (mündliche Auskunft TH. BITTNER, Universität Tübingen).

#### 5.4 Diskussion der Fehlerquellen im Bereich des Pegels 3123

Folgende Ursachen für die Differenz zwischen beobachtetem und gemessenem Grundwasserstand an Meßstelle 3123 wurden in Betracht gezogen:

- a) Der Verlauf der Kiesrinne wurde nicht ausreichend genau erfaßt.
- b) Weitere Oberflächengewässer beeinflussen das Grundwasser.
- c) Das Profil der Riß und die Anbindung des Rißkanals sind nicht ausreichend genau aufgenommen.
- e) Die Funktionsfähigkeit der Meßstelle 3123 ist fraglich.

Der Entwurf des Isolinenplans der Kiesbasis von 1987 und die abschließende Version von 1989 weichen im nördlichen Teil des Modellgebietes insofern voneinander ab, als das Rinnentiefste im Entwurf von 1987 am Rand des Modellgebietes um ca. 2,5 m ansteigt, wogegen in der endgültigen Karte 1989 (Abb. 2) dieser Anstieg nicht festzustellen ist. Dies legt die Vermutung nahe, daß durch die Verflachung der Rinne im bestehenden Modell nicht genügend Wasser aus dem Modell heraus transportiert wird. Berücksichtigt man diese Änderung im Modell, so ergibt sich trotzdem keine deutliche Verbesserung (Abb. 18). Die Querschnittsfläche des Rinnentiefsten ist gegenüber der des Gesamtaquifers offenbar zu gering, um sich auf die Modellergebnisse auswirken zu können.

Als weiterer Faktor kommt der Stadtbach in Betracht, der vom Stadtzentrum am westlichen Rand des Rißtales entlang nach Norden fließt und in die Riß

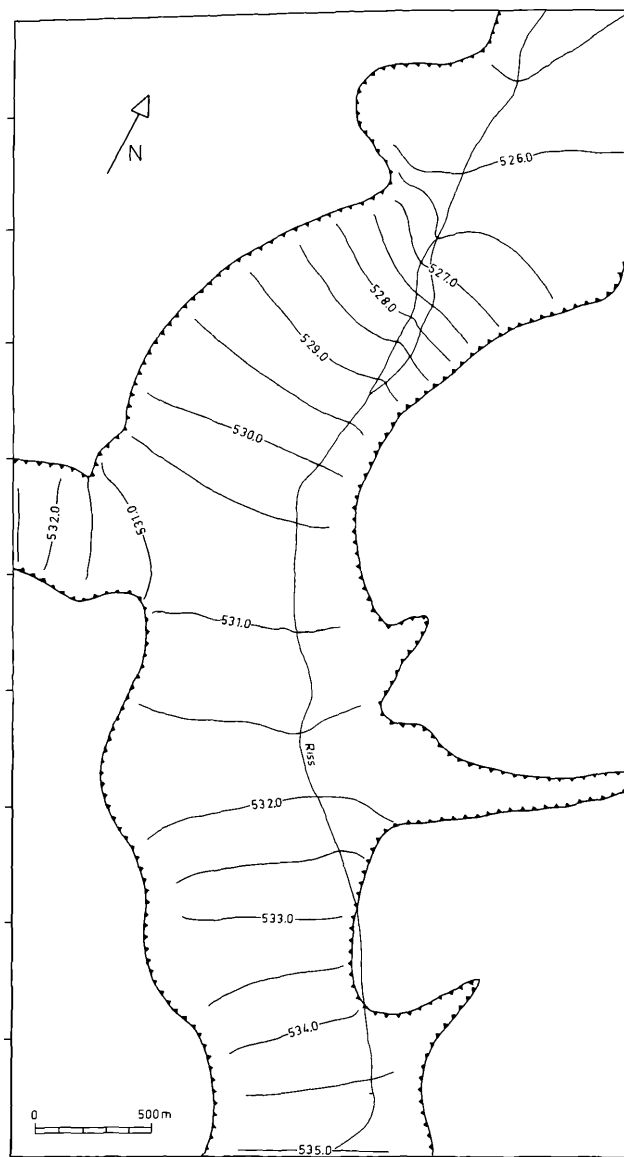


Abb. 15: Berechnete Potentiallinien bei Variation der Durchlässigkeiten im Wolfental und im Rinnentiefsten nördlich des Stadtgebietes.

Durchlässigkeit, wie sie aus den oben genannten Überlegungen folgt, möglich wäre.

In einem weiteren Experiment wurde daher der  $k_f$ -Wert im Rinnenbereich nördlich des Stadtgebietes bis auf einen Wert von  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s erhöht. Höhere Durchlässigkeiten sind in den Talkiesen des Rißtales bislang nicht festgestellt worden. Bei diesem  $k_f$ -Wert trat eine weitere Verringerung der Differenzen zwischen den errechneten und gemessenen Grundwasserständen vor allem im Stadtgebiet ein, während der Bereich zwischen dem Stadtkern und dem nördlichen Stadtgebiet (Meßstelle 3123) unverändert blieb (Abb. 16). Mit der bis dahin vorliegenden Datengrundlage war kein weiterer Eingriff möglich, ohne das Modell auf hypothetische, quantitativ nicht belegbare Grundlagen zu stellen. Der maximale Fehler des stationär geeichten Modells beträgt 0,95 m (Meßstelle 3123). Der durchschnittliche Fehler läßt sich über die Differenzenkurve berechnen (Abb. 17). Die Fläche zwischen x-Achse und Kurve, d. h. die Summe der Absolutwerte der Integrale zwischen den Nullpunkten bzw. den Randpunkten des Graphs wird durch die Länge der Kurve über der x-Achse geteilt. Der durchschnittliche Fehler des Modells beträgt 0,27 m (entspricht 2,7 % bei einem Gefälle von 10 m im gesamten Modellgebiet) und liegt damit um 50 % unter der durchschnittlichen jährlichen Schwankungsbreite des Grundwasserstandes von 0,5 m (mündliche Auskunft TH. BITTNER, Universität Tübingen).

#### 5.4 Diskussion der Fehlerquellen im Bereich des Pegels 3123

Folgende Ursachen für die Differenz zwischen beobachtetem und gemessenem Grundwasserstand an Meßstelle 3123 wurden in Betracht gezogen:

- a) Der Verlauf der Kiesrinne wurde nicht ausreichend genau erfaßt.
- b) Weitere Oberflächengewässer beeinflussen das Grundwasser.
- c) Das Profil der Riß und die Anbindung des Rißkanals sind nicht ausreichend genau aufgenommen.
- e) Die Funktionsfähigkeit der Meßstelle 3123 ist fraglich.

Der Entwurf des Isolinenplans der Kiesbasis von 1987 und die abschließende Version von 1989 weichen im nördlichen Teil des Modellgebietes insofern voneinander ab, als das Rinnentiefste im Entwurf von 1987 am Rand des Modellgebietes um ca. 2,5 m ansteigt, wogegen in der endgültigen Karte 1989 (Abb. 2) dieser Anstieg nicht festzustellen ist. Dies legt die Vermutung nahe, daß durch die Verflachung der Rinne im bestehenden Modell nicht genügend Wasser aus dem Modell heraus transportiert wird. Berücksichtigt man diese Änderung im Modell, so ergibt sich trotzdem keine deutliche Verbesserung (Abb. 18). Die Querschnittsfläche des Rinnentiefsten ist gegenüber der des Gesamtaquifers offenbar zu gering, um sich auf die Modellergebnisse auswirken zu können.

Als weiterer Faktor kommt der Stadtbach in Betracht, der vom Stadtzentrum am westlichen Rand des Rißtales entlang nach Norden fließt und in die Riß

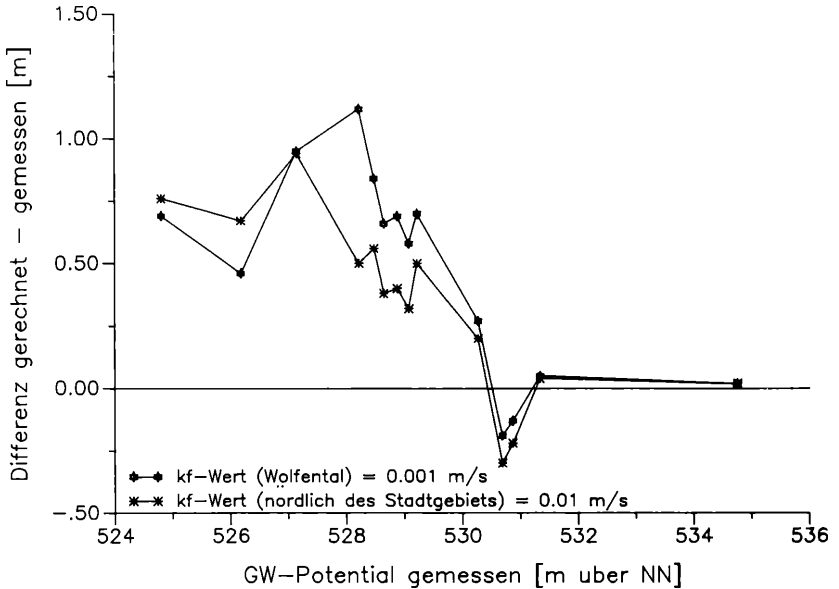


Abb. 16: Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserpotential an den Kontrollpegeln bei Variation der Durchlässigkeiten der Talfüllung im Wolfental und im Rinntiefsten nördlich des Stadtzentrums (Eichungslauf).

mündet (Abb. 5). Hydrologische Daten über den Stadtbach sind weitgehend unbekannt. Bei einer simulierten Entnahme von 0,1 l/s Grundwasser auf einen Meter Bachlauf stellt sich der berechnete Grundwasserstand im Stadtgebiet nahe dem gemessenen der Stichtagsmessung ein (Abb. 18). Für den Bereich der Meßstelle 3123 und nördlich davon nimmt dagegen die Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserstand nur geringfügig ab. Wird die Entnahme über ein realistisches Maß hinaus ausgedehnt (0,3 l/s Entnahme pro m Bachlauf), so ergibt sich dennoch keine deutliche Verringerung der Differenz. Auch die Annahme eines oder mehrerer Grundwasserentnehmer ist unwahrscheinlich angesichts der hohen Entnahmemengen, die für die Erklärung der Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserstand nötig wären.

Die Annahme von Fehlmessungen an der Grundwassermeßstelle 3123 ist insofern auszuschließen, als alle nördlich davon gelegenen Meßstellen ebenfalls größere Abweichungen von der Stichtagsmessung aufweisen.

In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, daß Meßstelle 3123 in einem Bereich liegt, in dem nach der Geologischen Karte TK 25 Blatt 7824

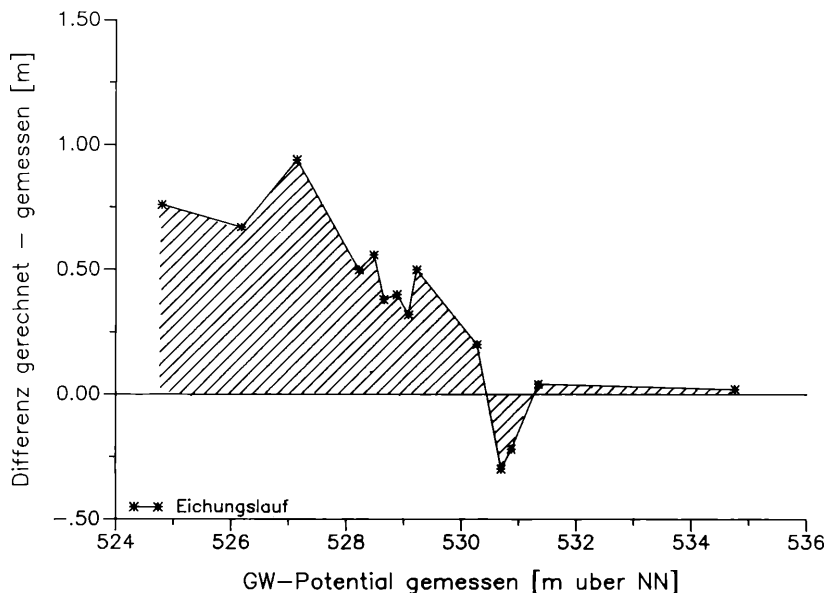


Abb. 17: Berechnung des durchschnittlichen Modellfehlers aus der Differenzkurve zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserstand.

(SCHREINER, 1985) der Verlauf der Doppelwallriß-Endmoräne vermutet wird. Inwiefern Reste dieser Endmoräne im Rißtal erhalten sind und somit die Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters beeinflussen, ist nicht bekannt.

### 5.5 Test des Modells: Simulation einer Grundwasserabsenkung

Im Zeitraum vom 14. 8. 1972 bis zum 9. 1. 1973 wurde im Stadtgebiet Biberach eine Grundwasserabsenkung für ein Bauvorhaben mit einer Förderrate von  $0,251 \text{ m}^3/\text{s}$  durchgeführt, bei dem bei einer Absenkung von  $3,8 \text{ m}$  stationäre Verhältnisse erreicht wurden. Die von der Entnahmestelle ca.  $150 \text{ m}$  entfernte Riß ist unter ungestörten Verhältnissen an das Grundwasser hydraulisch angeschlossen und infiltriert in den Aquifer (Abb. 19). Durch die Entnahme wurde der Anschluß jedoch unterbrochen, so daß sich der Absenkungstrichter unter der Riß nach Osten ausbreitete. Im Rechenexperiment wurde die Grundwasserabsenkung nachvollzogen, indem der entsprechenden Zelle des Modells konstant  $0,251 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen wurden. Die Grundwasserabsenkung wurde mit  $3,5 \text{ m}$  berechnet und zeigt damit eine gute Annäherung an die beobachtete Absenkung.

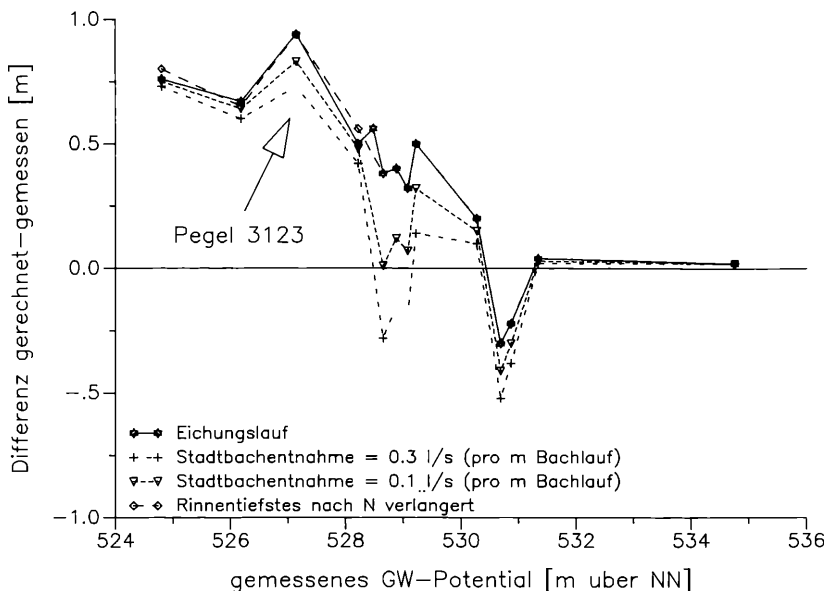


Abb. 18: Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserpotential an den Kontrollpegeln bei Annahme verschiedener Einflüsse auf das Grundwasser in der Nähe der Meßstelle 3123.

Die Differenz zwischen der berechneten Potentialverteilung und den gemessenen Grundwasserständen (ohne Grundwasserabsenkung) zeigt, wie sich der Absenkungstrichter unter der Riß fortsetzt (Abb. 20).

## 6. Ergebnisse

Die Durchlässigkeiten des quartären Aquifers im Rißtal betragen durchschnittlich  $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$  m/s bei einer Schwankungsbreite von  $10^{-3}$  m/s bis  $10^{-2}$  m/s. Der Grundwasserzustrom aus dem südlichen Rißtal liegt bei etwa  $0,107$  m<sup>3</sup>/s, aus dem Wolfental bei ca.  $0,015$  m<sup>3</sup>/s. Das bedeutet, daß bei der in Kapitel 5.5 beschriebenen Grundwasserabsenkung das Doppelte des normalen Grundwasserstroms entnommen wurde; das Defizit wurde durch die Infiltration der Riß in den Aquifer ausgeglichen.

Die Angaben zur In- und Exfiltration der Riß stellen das interessanteste Ergebnis der Modellrechnungen dar. Insgesamt werden über den gesamten Verlauf des Flusses im Modellgebiet  $0,27$  m<sup>3</sup>/s mit dem Aquifer ausgetauscht, also das 2,5fache des Grundwasserstroms der Talkiese. Dabei werden insgesamt 1,44 %



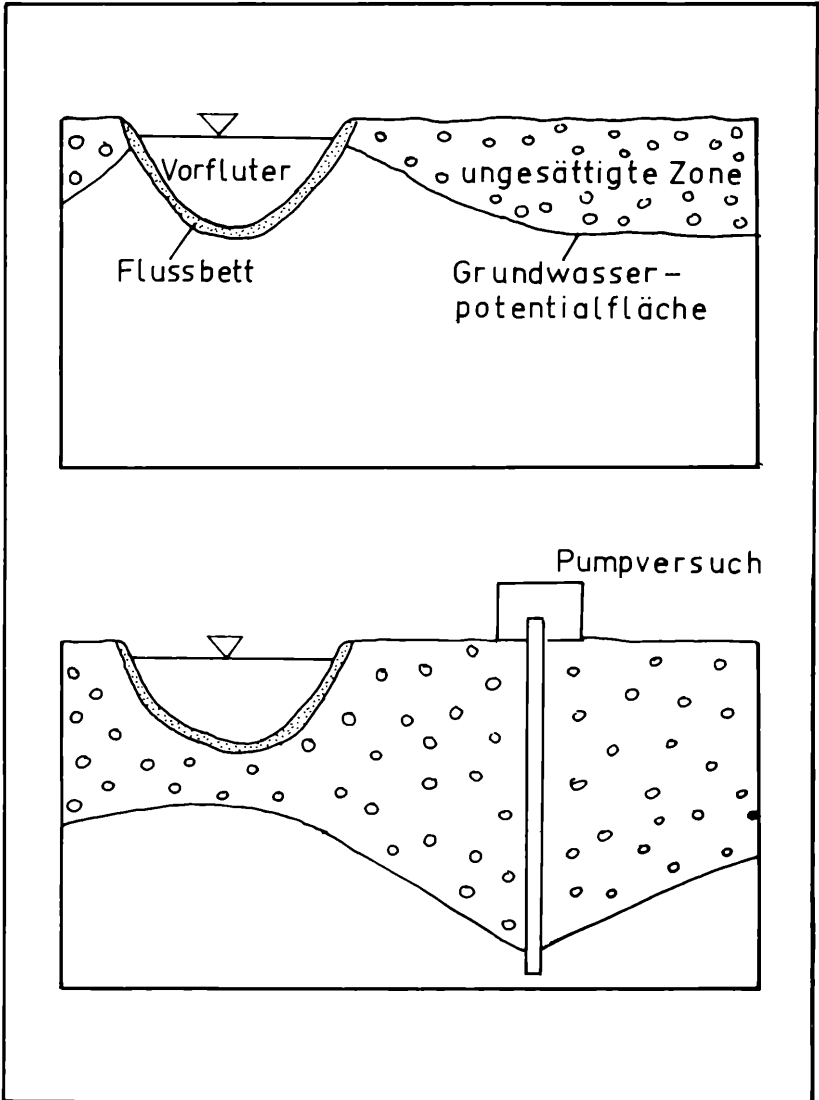


Abb. 19: Schematische Darstellung des Effektes der simulierten Grundwasserabsenkung auf den hydraulischen Anschluß des Vorfluters.

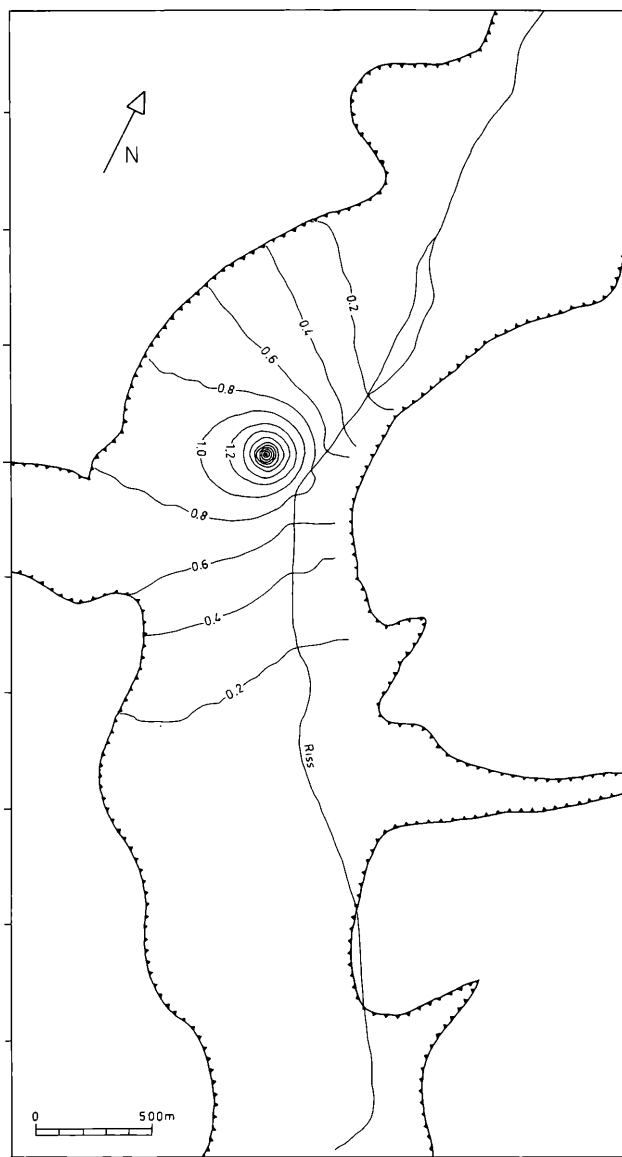


Abb. 20: Differenz der Potentialpläne zwischen Pumpversuchssimulation und Eichungslauf.

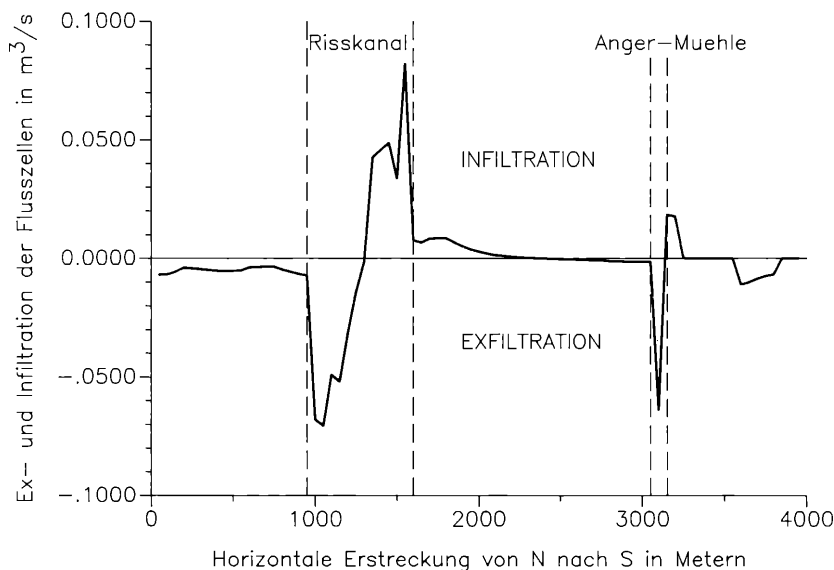


Abb. 21: Ex- und Infiltrationsraten der Flusszellen in einem N-S-Profil.

mehr ex- als infiltriert, die Gesamtbilanz für das Grundwasser im Modell ist negativ. Dieses Ergebnis ist von besonderem Interesse im Hinblick auf die Grundwasserqualität, die durch Infiltration durch einen Vorfluter beeinflusst wird. Verfolgt man den Wasseraustausch zwischen Grundwasserleiter und Fluß in einem N-S Schnitt (Abb. 21), so sind die Spitzen der Ex- bzw. Infiltration erwartungsgemäß dort zu beobachten, wo menschliche Eingriffe in das Flußsystem vorgenommen wurden. Die relative Gesamtbilanz (1,44 % höhere Ex- als Infiltration) wurde dadurch wahrscheinlich nicht beeinflusst, da das Gesamtgefälle der Riß über das Modellgebiet nicht verändert wurde. Die umgesetzten Wassermengen wurden jedoch um ein mehrfaches erhöht.

Dieser durch antropogene Einflüsse bereits veränderte Grundwasserhaushalt wird im Stadtgebiet Biberach laufend durch Tiefbauvorhaben, die bis in das Grundwasser hinreichen, zusätzlich gestört. Das vorliegende Modell bietet einen Anhaltspunkt, künftig Auswirkungen solcher Bauvorhaben im Vorfeld zu untersuchen.

Ein weiterer Aspekt des Modells besteht darin, daß nicht nur aufgrund geologischer Daten hydrogeologische Zusammenhänge nachvollzogen werden können, sondern daß durch hydrogeologische Forderungen aus den Ergebnissen der Modellrechnungen geologische Hypothesen weiterentwickelt werden können.

## Danksagung

Wir danken Herrn Prof. Dr. PFLUG, Herrn Prof. Dr. SCHREINER, Herrn Dr. ETZOLD und Herrn Dipl.-Geol. WENDEBOURG für Unterstützung und Anregungen bei der Ausführung der Arbeit.

## Angeführte Schriften

- MCDONALD, M. G., HARBAUGH, A. W. (1984): A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. — 528 S.; U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875. United States Government Printing Office, Washington.
- SCHREINER, A. HAAG, TH. (1982): Zur Gliederung der Rißeiszeit im östlichen Rheingletschergebiet (Baden-Württemberg). — Eiszeitalter u. Gegenwart, 32, S. 137-161. — Hannover.
- SCHREINER, A. (1985): Erläuterungen zu Blatt 7824 Biberach Nord. — 76 S. — In: Geologische Karte 1 : 25.000 Baden-Württemberg, Blatt 7824 Biberach Nord. — Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- STRAYLE, G. (1973): Hydrogeologisches Gutachten über Grundwasserabsenkungen im Stadtgebiet Biberach und hydraulische Auswertung der Grundwasserabsenkung Kreissparkasse Biberach. — Unveröffentlicht, Archiv Geologisches Landesamt, Freiburg.
- WEIDENBACH, F. (1937): Blatt 7924 Biberach Süd 1 : 25.000. — Erläuterungen geol. Spezialkarte Württemberg, S. 1-91. — Stuttgart.

Eingang des Manuskripts am 12. Mai 1989.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [79](#)

Autor(en)/Author(s): Ulmer Dominik, Reinold Markus, Bitzer Klaus, Strayle Günther

Artikel/Article: [Hydrogeologische Modellierung des Rißtales bei Biberach \(Oberschwaben\) 5-30](#)