

**WASSERVERSORGUNG  
STADT KAUFBEUREN**

**LANDKREIS OSTALLGÄU**

**Hydrogeologisches Gutachten zum  
Wasserschutzgebiet  
der Brunnen Ebenhofen**

Weiterführende Untersuchungen

Teil 2: Ergebnisse von Grundwassermodellrechnungen

**Vorhabensträger:**

Städt. Wasserwerk Kaufbeuren  
König-Rudolf-Straße 1  
87600 Kaufbeuren

**Verfasser:**

Büro Boden und Wasser  
St.-Martin Straße 11  
Untermauerbach, 86551 Aichach

AZ 06125

Stand **05.11.2008**

-

**HyGeMo - 91719 Heidenheim-Degersheim**  
Partnerschaft für Hydrogeologie und Modellrechnung in der Wasserwirtschaft  
Dipl.-Geol. Dr. Klaus März und Math.-Geogr. Dr. Jürgen Schaar  
Degersheim, am Bücklein 5, 91719 Heidenheim, Tel. 09833/777, Fax 989315

<b>Inhaltsverzeichnis Teil 2</b>		<b>Seite</b>
1.	Vorbemerkungen und Ziel der Grundwassermodellrechnungen	1
2.	Aufbau und Eichung des Grundwassermodells	3
2.1	Modellraum	3
2.2	Art des Modells	4
2.3	Modellerstellung	4
2.4	Randbedingungen	5
2.5	Modelleichung	7
3.	Ergebnisse der Modellrechnungen	10
3.0	Vorbemerkungen zur Auswertung und Darstellung der Berechnungsergebnisse	10
3.1	Rechenfall 1 (Eichfall - mittlere Grundwasserstände, Brunnenentnahmen Mai 2002)	11
3.2	Rechenfall 2 (mittlere Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)	12
3.3	Rechenfall 3 (niedrige Grundwasserstände - Brunnenentnahmen September 2003)	13
3.4	Rechenfall 4 (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen) Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen nur aus Brunnen V	14
3.5	Rechenfall 5 (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen) Variante 1, Rechenfall 5a: Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen soweit technisch möglich aus Brunnen I, II, III Variante 2: Rechenfall 5b: Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen im wesentlichen aus Br. III und V	15
3.6	Rechenfall 6 alternativer fiktiver Brunnen VI, Zustrom aus dem Geisenrieder Tal (mittlere Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)	17
3.7	Rechenfall 7 alternativer fiktiver Brunnen VI, Zustrom aus dem Geisenrieder Tal (mittlere Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)	18
4.	Gesamtzustrombereich - Synthese aus den Modellrechenergebnissen	19
5.	Nachtrag zum Grundwassermodell - Plausibilitätsrechnungen zu möglichen Wechselwirkungen der Wertach mit dem Grundwasser im Abschnitt von der Kreisstraße OAL 7 bis zur B12	20
5.1	Vorgehensweise	21
5.2	Ergebnisse der Rechenfälle RF09 bis RF12	23
5.3	Gesamtbeurteilung möglicher Wechselwirkungen der Wertach mit dem Grundwasser	25

## Anlagenverzeichnis zu Teil 2

### Anl. 1 Aufbau des Grundwassermodells

Plan 1	Modellränder, Randbedingungen und Gitternetz sowie Lage von Profildarstellungen im Modellraum	M 1: 10.000
Plan 2	Höhenlinien der Modellbasis	M 1: 10.000
Plan 3	Modellränder, Randbedingungen und Durchlässigkeitswerte des geeichten Modells	M 1: 10.000
Tab. 4	Herleitung der im Modell verwendeten Brunnen entnahmen gemessene Förderung Mai 2002 (Eichfall), September 2003 (Niedrigwasser) und genehmigte Entnahmen	
Tab. 5	Modellgrundlagen, Messwerte und Berechnungsergebnisse	
5.1, Bl. 1-3	Kiesbasis, gemessene Grundwasserstände - Stichtagsmessungen 29.05.2002, Ende Sep./Anf. Oktober 2003, 28.07.2005 und 24.08.2006, in Pumpversuchen "gemessene" Durchlässigkeitswerte sowie im Modell berechnete Grundwasserstände für den Eichfall 29.05.2002 ("Eichtabelle") und die Rechenfälle 1 bis 7	
5.2, Bl. 1-5	Kiesbasis aus geoelektrischen Profilmessungen	
5.3, Bl. 1	Verschiedene weitere Messergebnisse, u.a. im Rahmen der Stichtagsmes- sung am 24.08.2006 und Abflussmessungen an der Wertach am 17.10.2006	
Plan 6.1	Profil entlang der Wertach von Modellrand zu Modellrand, dargestellt für die Rechenfälle 1 und 5	
Tab. 6.2	Datengrundlage für Plan 6.1	

### Anl. 2 Ergebnisse der Grundwassermodellrechnungen, Rechenfälle 1 bis 7

Die Ergebnisse der Rechenfälle 1 bis 7 sind jeweils auf einem Lageplan M 1: 10.000 (Anl. 2.1 bis 2.7), und in einer Tabelle der Mengenbilanz dokumentiert. Auf den Plänen sind jeweils dargestellt:

Modellränder, Randbedingungen, Randzustrom/-abstrommengen, für die Modelleichung verwendete Grundwasseraufschlüsse (im Eichfall zusätzlich mit Angabe der Abweichung berechnet/gemessen), berechnete Grundwassergleichen, Zustromflächen/-linien zu den einzelnen Brunnen, 50-Tage-Flächen/-Punkte, einzelne sonstige beispielhafte Stromlinien

Für die Rechenfälle 1 und 5a sind außerdem Pläne der Grundwassermächtigkeit beigelegt.

Brunnen IV wird schon seit längerer Zeit nicht mehr betrieben; die Pumpe ist ausgebaut. Diesem Brunnen wird daher in den einzelnen Rechenfällen keine Entnahme zugeordnet, soweit nicht anders angegeben (betrifft nur Rechenfall 5a).

## Anlagenverzeichnis zu Teil 2

**Anl. 2.1**      Rechenfall 1 - Eichfall (Plan 1: berechnete Grundwassergleichen und Einzugsgebiete, Plan 2: Grundwassermächtigkeit, Bilanztablelle)  
ca. mittlere Grundwasserstände 29.05.2002, Grundwasserneubildungsrate  
11,5 l/s\*km<sup>2</sup>, Brunnenförderung Mai 2002

**Anl. 2.2**      Rechenfall 2 (Lageplan + Bilanztablelle)  
ca. mittlere Grundwasserstände 29.05.2002, Grundwasserneubildungsrate  
11,5 l/s\*km<sup>2</sup>, genehmigte jährliche (Maximal-) Brunnenentnahmen,

**Anl. 2.3**      Rechenfall 3 (Lageplan + Bilanztablelle)  
niedrige Grundwasserstände angenähert wie Ende Sept./Anf. Oktober 2003,  
Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>, Brunnenförderung September 2003

**Anl. 2.4**      Rechenfall 4 (Lageplan + Bilanztablelle)  
niedrige Grundwasserstände angenähert wie Ende Sept./Anf. Oktober 2003,  
Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>,  
genehmigte jährliche (Maximal-) Entnahmen, bei den Brunnen Kaufbeuren  
wird die Gesamtmenge allein aus Brunnen V entnommen,  
übrige Brunnen Kaufbeuren Stillstand

**Anl. 2.5**      Rechenfälle 5a und 5b  
niedrige Grundwasserstände angenähert wie Ende Sept./Anf. Oktober 2003,  
Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>, gen. jährliche (Maximal-) Brunnenentnahmen,

Plan 1 - Rechenfall 5a (Plan 1: berechnete Grundwassergleichen und Einzugsgebiete,  
Bilanztablelle, Plan 3: Grundwassermächtigkeit zu RF5a)  
bei den Brunnen Kaufbeuren Entnahme aus den Brunnen I bis III gemäß Pumpenleistung,  
Rest aus Brunnen V  
(Anm.: Entnahme gemäß Pumpenleistung aus Brunnen II rechnerisch nicht möglich, daher  
in der Rechnung 1/3 der Pumpenleistung von Brunnen II fiktiv in Brunnen IV angesetzt)

Plan 2 (Rechenfall 5b, interne Bez. RF8) (Lageplan + Bilanztablelle)  
bei den Brunnen Kaufbeuren Entnahme aus Brunnen III gemäß Pumpenleistung, geringfügige  
Förderung aus Brunnen I, Rest aus Brunnen V, Stillstand Brunnen II, abgesehen von der  
Verteilung der Brunnenentnahmen zwischen den Brunnen Kaufbeuren I bis V entspricht der  
Rechenfall 5b dem Rechenfall 5a

## Anlagenverzeichnis zu Teil 2

### Anl. 2.6 Rechenfall 6 (Lageplan + Bilanztabelle)

niedrige Grundwasserstände angenähert wie Ende Sept./Anf. Oktober 2003, Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>, genehmigte jährliche (Maximal-) Entnahmen, bei den Brunnen Kaufbeuren wird die Gesamtmenge allein aus einem fiktiven (bisher nicht existierenden Brunnen VI in der Nordwestecke des Flurstückes 189 entnommen, übrige Brunnen Kaufbeuren Stillstand. Dies führt zu einer Anströmung des fiktiven Brunnens VI aus dem Geisenrieder Tal.

### Anl. 2.7 Rechenfall 7 (Lageplan + Bilanztabelle)

niedrige Grundwasserstände angenähert wie Ende Sept./Anf. Oktober 2003, Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>, genehmigte jährliche (Maximal-) Entnahmen, bei den Brunnen Kaufbeuren wird die Gesamtmenge allein aus einem fiktiven (bisher nicht existierenden Brunnen VI entnommen, der alternativ zu Rechenfall 6 rd. 100 m SSW von P5 auf dem Flurstück 189 angenommen ist, übrige Brunnen Kaufbeuren Stillstand. Dies führt zu einer Anströmung des fiktiven Brunnens VI aus dem Wertachtal.

## Anl. 3 Ergebnisse der Grundwassermodellrechnungen, Brunneneinzugsgebiete

### Plan 1 Plangrundlage TK 25

Zustromgebiete und 50-Tage-Flächen - Synthese/Umhüllende M 1: 10.000  
aus den Rechenfällen 1 bis 4, 5b und 7 mit einem  
Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung der Dispersion

### Plan 2 Plangrundlage digitale Flurkarte, sonst wie Plan 1

Zustromgebiete und 50-Tage-Flächen - Synthese/Umhüllende M 1: 10.000  
aus den Rechenfällen 1 bis 4, 5b, 6, 7 mit einem  
Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung der Dispersion  
Dieser Plan ist Grundlage für den Vorschlag zur Schutzgebietsabgrenzung  
jedoch noch ohne Anpassung an Flurstücksgrenzen

Tab. 3 Berechnung des Sicherheitszuschlages zur Berücksichtigung  
der Dispersion

Tab. 4 Fließzeiten vom Modellrand bis zu den Brunnen

## Anlagenverzeichnis zu Teil 2

### **Anl. 4 Nachtrag zum Grundwassermodell - Plausibilitätsrechnungen** M 1: 20.000 **zur Wechselwirkung Wertachwasser/Grundwasser** **im Abschnitt OAL 7 - B12**

- 4.1 Dokumentation der in den Rechenfällen 9 bis 11 vorgenommenen Änderungen der  $k_f$ -Werte im Wertachnahbereich (Rechenfall 12 =  $K_f$ -Werte wie im Eichfall Rechenfall 1)
- 4.2 Rechenfall 9  
Mittelwasserverhältnisse wie Eichfall/Rechenfall 1,  $k_f$ -Werte im Wertachnahbereich gegenüber dem Eichfall/Rechenfall 1 leicht verändert, Versickerung aus der Wertach in das Grundwasser sowie Wiedereintritt von Grundwasser in die Wertach von je 380 l/s
- 4.3 Rechenfall 10 (Test)  
Niedrigwasserverhältnisse wie Eichfall/Rechenfall 3,  $k_f$ -Werte im Wertachnahbereich wie im RF09 gegenüber dem Eichfall/Rechenfall 1 leicht verändert, Versickerung aus der Wertach in das Grundwasser sowie Wiedereintritt von Grundwasser in die Wertach von je 96,3 l/s - im Ergebnis hydraulisch nicht plausibel, weil bei Grundwasserständen unterhalb des Wertachwasserspiegels zwar Wasser aus der Wertach in das Grundwasser versickern, aber kein Grundwasser zurück in die Wertach gelangen kann.
- 4.4 Rechenfall 11  
Niedrigwasserverhältnisse wie Eichfall/Rechenfall 3,  $k_f$ -Werte im Wertachnahbereich wie im RF09 gegenüber dem Eichfall/Rechenfall 1 leicht verändert, Versickerung aus der Wertach in das Grundwasser von 96,3 l/s, Reduzierung des Randzustroms im Wertachtal um 96,3 l/s (anstelle des bei Niedrigwasser nicht möglichen - siehe RF10 - Wiedereintritts von Grundwasser in die Wertach)
- 4.5 Rechenfall 12  
Niedrigwasserverhältnisse wie Eichfall/Rechenfall 3,  $k_f$ -Werte im Wertachnahbereich wie im RF09 gegenüber dem Eichfall/Rechenfall 1 unverändert, Versickerung aus der Wertach in das Grundwasser von 96,3 l/s, Reduzierung des Randzustroms im Wertachtal um 96,3 l/s (anstelle des bei Niedrigwasser nicht möglichen - siehe RF10 - Wiedereintritts von Grundwasser in die Wertach)

## 1. Vorbemerkungen und Ziel der Grundwassermodellrechnungen

Das vorliegende Gutachten bezieht sich auf die Brunnen Ebenhofen I, II, III und V der Stadt Kaufbeuren und den Brunnen Ebenhofen der Gemeinde Biessenhofen. Es ist in drei Teile unterteilt:

Teil 1: Wasserschutzgebietsvorschlag

Teil 2: Grundwassermodellrechnungen

Teil 3: ergänzende Aufschluss- und sonstige Untersuchungsergebnisse

Unterlagen und Literatur sind in Teil 1 zitiert.

Teil 1 enthält

- die Lagepläne mit dem Schutzgebietsvorschlag,
- eine Übersicht über die bestehenden Wasserrechte und bisher festgesetzten Wasserschutzgebiete,
- die Begründung der vorgeschlagenen Schutzgebietsgrenzen, aufbauend auf dem Gutachten vom 12.12.2002 /6/ sowie den Teilen 2 und 3 des vorliegenden Gutachtens und einen Vorschlag für den Auflagenkatalog, außerdem ein Verzeichnis der verwendeten Unterlagen.

Der hier vorliegende **Teil 2** enthält

die Ergebnisse der Grundwassermodellrechnungen mit Erläuterung sowie die aus den Modellrechnungen abgeleiteten Einzugsgebiets- und 50-Tage-Flächen, jedoch noch ohne Anpassung an Flurstücksgrenzen.

Teil 3 enthält

die Ergebnisse der nach Fertigstellung des Gutachtens vom 12.12.2002 /6/ durchgeführten Geländeerkundungen und sonstigen neuen Untersuchungsergebnisse.

Grundwasserstände, Grundwassergefälle, Fließrichtungen und -geschwindigkeiten sowie Einzugsgebiete von Brunnen hängen vom Schichtaufbau, der Schichtlagerung, der Durchlässigkeit und dem durchflusswirksamen Hohlraumanteil des Untergrundes, der Grundwasserneubildungsrate, der Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern und den Entnahmen aus den Brunnen ab.

Grundsätzlich lassen sich Grundwassergleichen und Einzugsgebiete zwar durch zeichnerische Interpolation zwischen in Aufschlüssen gemessenen Grundwasserständen konstruieren. Da Grundwasseraufschlüsse aus Kostengründen nicht beliebig vermehrbar sind, können aber rein zeichnerisch konstruierte ermittelte Grundwassergleichen insbesondere bei Rinnestrukturen im Untergrund das tatsächliche Bild der Grundwasseroberfläche nicht immer zuverlässig nachzeichnen. Andererseits hängen die ermittelten Fließrichtungen und Einzugsgebiete unmittelbar von der Form der Grundwassergleichen ab.

Mit einer Grundwassermodellrechnung können hingegen die Wechselwirkungen zwischen Grundwasserzu- und abstrom, Grundwasserneubildungsrate, Tiefenlage der Kiesbasis, unterschiedlichen Durchlässigkeiten, Brunnenentnahmen und Oberflächengewässern (hier der Wertach) in das Grundwasser so berücksichtigt werden. Die berechneten Grundwassergleichen sind in sich hydraulisch konsistent. In einem hinreichend geeichten Modell sind sie deshalb als zuverlässiger zu betrachten als Grundwassergleichen, die aus den gemessenen Grundwasserständen rein zeichnerisch konstruiert werden.

Insbesondere für die Einzugsgebietsermittlung von Brunnen können aus dem berechneten Grundwasserströmungsfeld Stromlinien abgeleitet werden, aus welchen die Trennstromlinien für die Brunneneinzugsgebiete sowie die lokalen Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten (Abstandsgeschwindigkeiten unter Einbeziehung der Nutzporosität) hervorgehen. Im vorliegenden Fall wurden damit auch die 50-Tage-Abstände sowie die Fließzeiten vom Modellrand zu den Brunnen ermittelt.

Alle vorgenannten Fragestellungen bzw. Ziele lassen sich im Modell bei verschiedenen Entnahmeraten und Grundwasserständen untersuchen und darstellen. Es lassen sich beliebige Brunnenstandorte und Entnahmeraten je Brunnen simulieren.



## **2. Aufbau und Eichung des Grundwassermodells**

### **2.1 Modellraum**

Im Untersuchungsraum liegen aus umfangreichen Voruntersuchungen punktuelle Kenntnisse über den Untergrundaufbau und die Grundwasserstände vor, die z.B. im Gutachten vom 12.12.2002 /6/ u. a. in Form eines Grundwassergleichenplans und eines Isolinenplans der Kiesbasis dokumentiert sind. Der Isolinenplan der Kiesbasis wurde durch die im September 2006 durchgeführten geoelektrischen Messungen (tabellarische Dokumentation siehe Anlage 1, Tabelle 5.2 zu Teil 2, Lageplan und Isolinenplan der Kiesbasis sowie Profildarstellungen siehe Teil 3) nochmals ergänzt und in die Modellbasis, die in Anlage 1, Plan 2 zum vorliegenden Gutachten in Isolinenform dargestellt ist, übergeführt.

Hinzu kommen punktuelle Kenntnisse über die Aquiferdurchlässigkeiten, die aus Pumpversuchen ermittelt wurden. Sie sind im Gutachten vom 12.12.2002 im einzelnen erläutert und in Anlage 1, Tab. 5.1, Blatt 1 nochmals zusammengestellt.

Diese Informationen über die Grundwasserverhältnisse stellen das hydrogeologische Modell des Untersuchungsraums dar, das als Grundlage für die Abgrenzung und den Aufbau des im folgenden beschriebenen numerischen Grundwassermodells Kaufbeuren dient.

Das Grundwassermodell Ebenhofen berechnet die Grundwasserströmung im zu einem großen Teil kiesig ausgebildeten Aquifer des ausgewählten Modellbereichs. Der Modellraum (tatsächlicher Berechnungsraum) wurde nach hydrogeologischen Kriterien abgegrenzt und umfasst den ersten (obersten) Grundwasserleiter des Gebiets etwa zwischen Immenhofen, südöstlich Ruderatshofen, Ebenhofen, Biessenhofen-Altendorf und Marktoberdorf-Ennenhofen. Die Kiesbasis weist ein ausgeprägtes Relief mit lokalen Höhen- und Tiefenbereichen auf. Sie ist in vielen Bereichen durch Aufschlüsse und Geoelektrik-Messungen relativ gut, an anderen Stellen nur grob durch Interpolationen bekannt und wird als Modellbasis (siehe Anlage 1, Plan 2) übernommen.

Im Detail verläuft der Modellrand vom südlichen Ortsrand Immenhofen nach NE durch den südöstlichen Ortsrand und weiter bis zum Hungerberg, von dort nach NNE bis zur Ortsverbindungsstraße Ruderatshofen/Ebenhofen (OAL 5), von dort ca. nach E zur Kirnach, weiter in östlicher Richtung ca. entlang der Kirnach bis knapp östlich der Wertach, dann in einer geraden Linie ca. nach SE bis über die B12, dann ca. nach WSW entlang der B12 bis zum Höhenrücken bei Kreen, weiter über diesen nach SW südlich der B16, dann nördlich von Marktoberdorf nach W bis zum Schmölzbach (auf der topografischen Karte namenloser Bach) im NW von Marktoberdorf, weiter nach WSW entlang des Schmölzbachs bis zur Verbindungsstraße Ennenhofen/Geisenhofen (OAL 7), weiter nach NW das Wertachtal querend bis zum Südrand von Geisenhofen, von dort in einem Bogen ca. 500 m nach WSW und von dort das Geisenrieder Tal querend nach NW wieder zum Südrand von Immenhofen (siehe Anl. 1, Plan 1). Der Modellraum umfasst eine Fläche von ca. 8,5 km<sup>2</sup>.

Im Modellraum liegen Aquiferbereiche mit großen Schwankungen in den Durchlässigkeiten, den Aquifermächtigkeiten, dem Grundwassergefälle und somit auch den Strömungsgeschwindigkeiten vor. Die Haupt-Grundwasserströmung erfolgt vereinfacht von WSW nach ENE, wobei jedoch auch Bereiche mit z. T. deutlich davon abweichenden Richtungen gege-

ben sind. So ist die Grundwasserströmung im südlichen Modellraum weitgehend etwa von S nach N ausgerichtet. Im nordwestlichen Modellraum (zwischen Ruderatshofen und Ebenhofen, südlich des Weilers Heimenhofen) liegt infolge hoch liegender Kies- bzw. Modellbasis eine fast radiale Strömung mit Richtungen nach W, SW, S, SE bis E vor. Analoges gilt für den Bereich um Geisenhofen. Weitere kleinräumige Abweichungen von der Hauptgrundwasserströmungsrichtung sind nur von lokaler Bedeutung.

Es erfolgen Zu- und Abströme von Grundwasser über die Modellränder, teils an Oberflächengewässern oder von/zu benachbarten Grundwasserkörpern. Im gesamten Modellraum findet eine Grundwasserneubildung statt.

In einigen Bereichen wie z. B. westlich von Ebenhofen oder bei Geisenhofen dünnt der Kiesaquifer fast vollständig aus und geht in einen Sand- bis Schluffaquifer mit sehr geringen Durchlässigkeiten über.

## 2.2 Art des Modells

Zur Bearbeitung der anstehenden hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Fragen wurde mit dem Programm HYDRA der SOFISTIK GmbH, Oberschleißheim, ein Grundwassermodell des oben beschriebenen Modellraums nach der Methode der Finiten Elemente erstellt. Diese Methode ermöglicht schiefwinklige dreieckige oder viereckige Modellzellen. Damit war eine Anpassung des Modellnetzes an die differenzierten geohydraulischen Bedingungen gut möglich. Das Modell wurde einschichtig erstellt und berechnet die Grundwasserströmung nach der DUPUIT-Annahme. Das heißt, bei einem gleichmäßigen, überwiegend fast horizontalen Grundwasserstrom darf angenommen werden, dass die Stromlinien horizontal und die Äquipotentiallinien vertikal verlaufen und dass das hydraulische Gefälle über die Vertikale konstant ist und dem Spiegelgefälle des betrachteten (obersten) Grundwasserstockwerkes entspricht. Die Höhe der Modellbasis geht an jedem Knoten ein und die Grundwasserströmung zwischen den einzelnen Elementen wird durch alle drei Raumdimensionen beschrieben. An den Modellknoten besteht in der Vertikalen jedoch keine Potential-Differenzierung.

Diese Vereinfachung ist für die Berechnung von einschichtigen Grundwasserleitern mit einer in der Fläche erheblich größeren Ausdehnung (mehrere km) als in der Vertikalen (wenige 10er Meter) üblich und kann ohne nennenswerten Fehler angewandt werden.

## 2.3 Modellerstellung

Über die Fläche des Modellraums (s. o.) wurde eine Einteilung in 4278 Elemente, zum größten Teil Viereckselemente, aber auch Dreieckselemente, mit 4342 Knoten vorgenommen. Das Knotennetz (siehe Anlage 1, Plan 1) ist in den zentralen Bereichen des Modellraums mit größerer hydrogeologischer Informationsdichte feinmaschiger (typische Elementgröße hier ca. 20 m X 20 m), als in den Randbereichen mit geringerer Detailkenntnis (typische Elementgröße hier ca. 80 m X 80 m). Für alle Modellknoten (Eckpunkte des Drei- und Vierecknetzes) wurde die Höhenlage aus dem bereits vorliegenden mittels des Programms SURFER

berechneten Gitternetz der Kiesbasis (siehe Teil 3, Anlage 1.2) durch Interpolation als Modellbasis (siehe Teil 2, Anlage 1, Plan 2) übernommen.

Die Durchlässigkeiten gehen als  $k_f$ -Werte für jedes einzelne Element in das Modell ein. Diese wurden in der Modelleichung (s. u.) detailliert ermittelt. Der durchflusswirksame Hohlraumanteil (auch als Nutzporosität bezeichnet) wurde pauschal über das gesamte Modell mit 0,20 angesetzt. Dieser Wert wurde 1975 im Rahmen der Grundwassererkundungsprogramms Ebenhofen in umfangreichen Pumpversuchen an 3 Versuchsbrunnen nordwestlich des Brunnens Kaufbeuren-Ebenhofen V (heute Grundwassermeßstellen 758, 759 und 760 des Bayerischen Landesgrundwasserdienstes) /9c/ und fast mit demselben Zahlenwert (0,189) in einem gemeinsamen Pumpversuch an den Brunnen Altdorf im Jahr 1996 /3/ ermittelt.

Da im Modellraum keine nennenswerten Deckschichten vorhanden sind, wurde der Aquifer als ungespannt angenommen und der Freispiegel-Berechnungsmodus gewählt. Außer dem Grundwasserkörper sind innerhalb des Modellraums noch die Wertach und das Mühlbächle (im Norden von Altdorf) und am Modellrand die Kirnach sowie der Schmölbach (namenloser Bach auf der topografischen Karte) am südöstlichen Modellrand westlich von Ennenhofen als hydraulisch wirksame Gewässer in die Berechnungen einbezogen. Die Wertach-Wasserstände sind durch Leakage-Elemente mit einem hydraulischen Widerstand mit den räumlich entsprechenden Modellknoten verbunden, während die anderen genannten Gewässer in den Berechnungen durch fixe Mengen (Mühlbächle) oder Festpotentiale (Kirnach und Schmölbach - namenloser Bach auf der topografischen Karte - im Südosten) hydraulisch wirksam sind.

Alle Berechnungen wurden unter Vorgabe der im folgenden genannten Randbedingungen stationär durchgeführt.

Eine Beurteilung der zeitlichen Variation der Grundwasserstände, die sich aus zeitlich veränderlichen Brunnenentnahmen ergeben könnte, wäre nach einer instationären Eichung, welche auf der vorliegenden stationären Eichung aufbaut, möglich.

## 2.4 Randbedingungen

Im Geisenrieder Tal und in der Wertachau im SW liegen die Abschnitte der Modellränder mit den weitaus bedeutendsten Zuströmen in der Größenordnung von jeweils 200 l/s (bei den Grundwasserständen vom 29.05.2002) aus dem jeweils angeschlossenen Grundwasserleiter. Auch nordwestlich und nordöstlich des Kühbergs (südlich der B12 am Nordrand von Marktoberdorf) herrscht ein Grundwasserzustrom, jedoch in deutlich geringerem Ausmaß, vor. An diesen Rändern wurden im Modell bei unterschiedlichen Rechenfällen fixe Grundwasserzuströme angesetzt, die sich aus der Modelleichung (s. u.) ergaben. Entlang des Schmölbaches (namenloser Bach auf der topografischen Karte) nordwestlich von Ennenhofen erfolgt ein geringer Grundwasserzustrom aufgrund des Bachwasserstands, der im Modell durch Ansatz von Festpotenzialen realisiert wird. Erhebliche Grundwassermengen in der Größenordnung von 100 l/s treten hingegen in den Schmölbach über und werden in die

Wertach abgeführt. Grundwasserabströme in die Kirnach im N sowie bis in die NE-Ecke des Modellraums werden im Modell ebenfalls durch Festpotenzialränder mit Potentialhöhen entsprechend dem Kirnachwasserstand bzw. dem von der Kirnach direkt beeinflussten Grundwasserstand realisiert. Im E und SE, wo sich Abschnitte mit Zu- und Abstrom bei eher geringeren Strömungsmengen abwechseln, aber auch nur geringere Kenntnisse über die tatsächlichen Grundwasserstände gegeben sind, herrschen indifferente Strömungsverhältnisse vor. Dies wurden im Modell ebenfalls mit Festpotentialen realisiert, die aus dem Grundwassergleichenplan im Gutachten vom 12.12.2002 (dort Anlage 1.3, Plan 1) /6/ übernommen wurden. In diesem Bereich bleibt der Grundwasseraustausch mit den benachbarten Grundwasserleitern aufgrund der hier gegebenen relativ geringen Durchlässigkeiten gering. Ähnliches gilt für den NW- und N-Rand in Richtung Ruderatshofen und Heimenhofen, wobei sich jedoch aus der Rechnung direkt nördlich des Hungerbergs ein kurzer Abschnitt mit einem etwas bedeutenderem Grundwasserzustrom in der Größenordnung von ca. 20 l/s ergibt.

Die Wasserstände der Wertach wurden über sog. Leakage-Elemente, die an die Modellknoten auf der Fläche der Wertach gebunden sind, in die Modellrechnungen einbezogen. Dabei musste entsprechend den Ergebnissen der Abflussmessungen an der Wertach zwischen der OAL 7 und der B12 vom 17.10.2006 (siehe Teil 3) von einer nur schwachen hydraulischen Verbindung zwischen Wertach und Grundwasser ausgegangen werden, so dass der Austausch im Modell insgesamt unter 20 l/s (Summe beider Austauschrichtungen) bleibt.

An einigen Modellrandabschnitten, wie im SW bei Geisenhofen zwischen Wertachtal und Geisenrieder Tal, im W von Immenhofen bis zum Hungerberg, im S beim Kühberg und im S südöstlich der Kreuzung B12/B16 wurden entsprechend den Kenntnissen zum Untergrund dichte Ränder angesetzt. Hier besteht im Modell kein Grundwasseraustausch mit benachbarten Bereichen.

Die Grundwasserneubildung könnte grundsätzlich nach Elementen oder Bereichen differenziert vorgegeben werden, wird jedoch im vorliegenden Fall aufgrund fehlender und auch praktisch nicht gewinnbarer Detailinformation zu einzelnen Modellelementen pauschal über den Modellraum mit  $11,5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  bei Mittelwasserverhältnissen, bzw. mit  $6,7 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  bei Niedrigwasserverhältnissen (abgeleitet aus den Trockenwetterabflüssen des Pegels Thalhofen an der Wertach, NW 1983/84 /18/, Erläuterung siehe Gutachten vom 12.12.2002 /6/) angesetzt. Es ist allerdings auch eher unwahrscheinlich, dass innerhalb des Untersuchungsgebiets eine bedeutende Differenzierung der Grundwasserneubildung gegeben ist. Der Wasseraustausch über die Modellbasis (Kiesbasis) mit dem Liegenden ist wegen der um Größenordnungen unterschiedlichen Durchlässigkeiten zwischen dem Kies und dem Liegenden im Vergleich zur Grundwasserströmung im Kies mengenmäßig und daher für die Berechnung der Strömungsverhältnisse unbedeutend. Die Modellbasis kann somit ohne nennenswerten Fehler rechnerisch als dicht angesetzt werden.

Eine weitere wichtige Gruppe von Randbedingungen sind die Entnahmen aus den verschiedenen Brunnen im Modellraum. Hierfür wurden die entsprechenden äquivalenten Dauerentnahmen (l/s) der Monats- oder Jahresentnahmen verwendet (siehe Anlage 1, Tabelle 4). Die angesetzten Brunnenentnahmen variieren je nach Berechnungsfall.

Detaillierte Informationen über die Randbedingungen können aus den Bilanztabellen und den Grundwasserisolinienplänen in Anlage 2 entnommen werden.

## 2.5 Modelleichung

Unter der Modelleichung versteht man die Anpassung der Modellparameter und wiederholte Berechnung, solange bis die berechneten Grundwasserstände hinreichend mit den gemessenen Grundwasserständen übereinstimmen. Erst nach Eichung ist ein Grundwassermodell prognosefähig. Im vorliegenden Fall wurde für die Eichung eine Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen von etwa 0,30 m oder besser angestrebt.

Die aus dem Gutachten vom 12.12.2002 /6/ vorliegenden Informationen zu den Durchlässigkeiten wurden räumlich interpoliert und als Startwerte für die Modelleichung auf den Modellraum übertragen. Als Eichzustand wurden die Grundwasserstände der Stichtagsmessung vom 29.05.2002 verwendet, die als etwa mittlere Grundwasserstände einzuordnen sind. Entsprechend den Abweichungen zwischen an Grundwasseraufschlüssen gemessenen und bei der Eichung für diese Punkte in jedem Rechengang berechneten Grundwasserständen wurden Durchlässigkeitswerte und Randbedingungen gezielt variiert und für den nächsten Berechnungsgang verwendet.

Der wichtigste zu variierende Modellparameter ist die Durchlässigkeit in Form von  $k_f$ -Werten. Im Laufe einer Vielzahl von so durchgeführten Modelleichungsberechnungen hat sich ein flächendeckendes Muster von über 100  $k_f$ -Bereichen ergeben (Anl. 1, Plan 3). Die  $k_f$ -Werte dieser Einzelflächen variieren von ca.  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s bis  $7 \cdot 10^{-2}$  m/s.

An wenigen Punkten innerhalb des Modellraums liegen Angaben über die Durchlässigkeit aus Pumpversuchsauswertungen vor (Anlage 1, Tabelle 5.1, Blatt 1). Diese Werte dienen im Modell einerseits bei der Eichung als erste Orientierungswerte für die zu verwendenden  $k_f$ -Wert-Bereiche. Bei der Eichung des Modells wurde darauf geachtet, diese vorgegebenen  $k_f$ -Werte für das Umfeld des jeweiligen Messpunkts beizubehalten.

Neben den Durchlässigkeiten wurden während der Modelleichung auch die Zu- und Abstrommengen und in geringerem Maß die Festpotenziale (Wasserstände) an den Modellrändern verändert. Die sonstigen Modellparameter und Randbedingungen blieben im Laufe der Eichung unverändert.

Die Aufschlusspunkte innerhalb des Modellraumes sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft zum Grundwasserstand recht unterschiedlich zu bewerten. So gibt es

- a) Brunnen und Grundwassermeßstellen mit eingemessenen Messpunkthöhen. Diese ermöglichten Messungen der Grundwasserstände zu dem für die Eichung gewählten Stichtag 29.05.2002 und geben somit exakte Auskunft über die Grundwasserhöhen.
- b) wieder verfüllte Bohrungen mit eingemessener Ansatzhöhe und Angaben zum Grundwasserstand mit Angabe des Messzeitpunktes. Diese geben exakte Auskunft über die Grundwasserhöhe zum Messzeitpunkt. Diese muss aber infolge natürlicher Grundwasserstandsschwankungen nicht mit der Grundwasserhöhe zum Stichtag 29.05.2002 übereinstimmen. Letztere ist jedoch aus den Daten zum Messzeitpunkt nicht immer ohne weiteres ableitbar. Es ist in jedem Einzelfall zu beurteilen, mit welchen Grundwasserstandsschwankungen am Ort der Bohrung zu rechnen und ob der darin gemessene Wasserstand für die Modelleichung verwendbar ist.  
Die Schwankungsbeträge des Grundwassers hängen sehr stark von der Grundwassermächtigkeit ab. An Stellen mit geringer Mächtigkeit des Kiesgrundwasserleiters und / oder des Grundwassers über der Kiesbasis, also außerhalb der Hauptkiesrinnen, sind auch die Schwankungsbeträge gering. Innerhalb der Hauptkiesrinnen können sie dagegen hoch sein wie z.B. in der Grundwassermeßstelle 758 des Landesgrundwasserdienstes, wo die Grundwasserstände im gesamten Messzeitraum seit 1976 immerhin um 5 m schwankten.

Beispiele sind die Versuchsbohrungen der Stadt Kaufbeuren aus den 1960er Jahren, die Bohrungen am Wertachdamm 1999/2000 und einige Baugrundbohrungen entlang der B12.

- c) wieder verfüllte Bohrungen mit nicht eingemessener Ansatzhöhe und Angaben zum Grundwasserstand mit oder ohne Angabe des Messzeitpunktes. Bei solchen Bohrungen muss die Ansatzhöhe aus den Höhenlinien der topografischen Karte ermittelt werden, was nur ungenau möglich ist. Entsprechend ungenau sind auch die daraus abgeleiteten Grundwasserhöhen in m ü. NN. Selbst bei Verwendung der Höhenlinien zur Flurkarte M 1: 5.000 ist nach den bisherigen Vermessungserfahrungen mit Fehlern bis zu etwa 3 m zu rechnen. Wasserspiegel aus derartigen Bohrungen können nur Hinweise auf die ungefähre Höhe der Grundwasseroberfläche liefern.  
Hinsichtlich der natürlichen Schwankungen der Grundwasserstände gelten dieselben Einschränkungen wie unter b) erläutert.
- d) in einigen der im Jahr 1995 durchgeführten geoelektrischen Tiefensondierungen schien es möglich, neben der Kiesbasis auch Aussagen zum Grundwasserstand zu treffen. Abgesehen von den Einschränkungen wegen der unter b) erläuterten natürlichen Schwankungen der Grundwasserstände kann hier auch das Messergebnis selbst nicht mit Sicherheit als zutreffend angesehen werden. Solche Daten können daher nur als ungesicherte Hinweise auf die Grundwasserhöhe betrachtet werden und haben für die Modelleichung nur Orientierungswert.

Zur Modelleichung wurden die unter a) erläuterten Brunnen und Grundwassermeßstellen und von den unter b) und c) genannten Aufschlüssen die meisten der entlang der B12 gelegenen Bohrungen herangezogen. Letzteres war möglich und vertretbar, weil entlang der B12 die Grundwassermächtigkeiten überwiegend sehr gering sind und somit auch mit nur geringen Schwankungen im Laufe der Zeit zu rechnen ist.

Bei den in Anlage 2.1, Plan 1 dargestellten Grundwasseraufschlüssen wurde in der Eichung angestrebt, die berechneten Grundwasserstände durch Variation der Modellparameter den gemessenen Grundwasserständen auf möglichst weniger als 30 cm Differenz anzunähern.

Bei den übrigen in Anlage 2.1, Plan 1, nicht dargestellten Grundwasseraufschlüssen wurde wegen der erläuterten Unsicherheiten über die richtigen Wasserspiegelhöhen (unsichere Ansatzhöhe, Unsicherheit, inwieweit die Messzeitpunkte ähnliche Grundwasserverhältnisse wie am 29.05.2002 repräsentieren) nicht versucht, die berechneten Wasserspiegel den Wasserspiegeln aus diesen Aufschlüssen genau anzupassen. Größere in Anlage 1, Tabelle 5.1, Blatt 1 bis 3, aufgeführte Abweichungen berechnet/gemessen sind in Kenntnis dieser Gegebenheiten zu bewerten !

Beispiele für solche Aufschlusspunkte sind viele der Geoelektromesspunkte mit Wasserspiegelangaben (S1 bis S77 in Anlage 1, Tab. 5.1) und die Bohrungen Büro Ulrich am Wertachdamm (W1 bis W29 in Anlage 1, Tab. 5.1). Bei der Mehrzahl letzterer Bohrungen wurde eine Stichtagsmessung am 10.11.1999 vorgenommen, bei weiteren Bohrungen Messungen am 07.04., 27.04. und 10.07.2000. Durch Vergleich mit den Wasserspiegeln des nächstgelegenen und nicht betriebenen Brunnens Kaufbeuren IV zu den gleichen Zeitpunkten zeigte sich, dass die zu den genannten Zeitpunkten in den Bohrungen am Wertachdamm gemessenen Wasserspiegel gegenüber dem für die Modelleichung verwendeten Stichtag 29.05.2002 um 0,61 m bis 0,94 m zu hoch liegen. Das gilt vor allem für die Bohrungen W1, W2 und W3, danach W4, W5, W16, W17, W18. Die übrigen W-Bohrungen bzw. Wasserspiegel liegen schon südlich außerhalb der Hauptkiesrinne, wo die Grundwasserstandsschwankungen generell deutlich geringer sind als in der Rinne.

Nach abgeschlossener Eichung liegt der Mittelwert der Differenzen zwischen den gemessenen und berechneten Werten an allen für die Eichung herangezogenen Punkten bei 0,00 m, die Standardabweichung beträgt 0,28 m. Alleine bezogen auf die Brunnen und Grundwassermeßstellen, an denen am 29.05.2002 eine Stichtagsmessung möglich war, liegt der Mittelwert der Differenzen bei 0,02 m und die Standardabweichung bei 0,16 m.

In der Anlage 1, Tabelle 5.1, Blatt 1 bis 3 sind die der Eichung zugrunde liegenden gemessenen und die an denselben Stellen berechneten Grundwasserstände des Eichfalls, sowie die Differenzen zwischen berechnet und gemessen zusammengestellt ("Eichtabelle"). In Anlage 2.1, Plan 1 sind die berechneten Grundwasserisolinien des Eichfalls dargestellt.

Die Modellbilanz, d. h. Summe aller Zu- und Abströme muss in einem stationären Modell immer ausgeglichen sein. Die Ergebnisse sind in den Bilanztabellen zu jedem Rechenfall (Anlage 2.1 bis 2.7, Rechenfälle 1 bis 7) dokumentiert.

Im Eichfall erfolgen die Hauptzuströme rechnerisch durch das Geisenrieder Tal mit 199,8 l/s und das Wertachtal mit 208,1 l/s sowie die Grundwasserneubildung über die gesamte Modellfläche mit 97,7 l/s. Daneben strömen noch an der Westflanke 20,6 l/s, am Ostrand 2,4 l/s, am östlichen Südrand 10,9 l/s, östlich und westlich des Kühbergs 7,0 l/s bzw. 10,2 l/s, aus dem Schmölzbach im SW 13,8 l/s und aus der Wertach 6,5 l/s zu.

Der Haupt-Abstrom im Eichfall erfolgt im N über die Kirnach mit 408,2 l/s bzw. benachbarte Aquiferbereiche im NE mit 23,6 l/s. Daneben strömen noch über den N-Rand 0,4 l/s, den Ostrand im N 15,7 l/s, den Ostrand im S 17,8 l/s sowie 20,0 l/s in das Mühlbächle und 8,3 l/s in die Wertach ab. Die Summe der Brunnenentnahmen beträgt im Eichfall 82,5 l/s. Der Gesamtgrundwasserumsatz beträgt 577 l/s mit einem Bilanzfehler (aus Iterationen und Rundungen) von 0,5 l/s.

Mit dem wie beschrieben erstellten und geeichten Grundwassermodell Ebenhofen liegt ein Berechnungswerkzeug vor, mit dem sich unter gezielten Änderungen von Modellparametern und Randbedingungen je nach Fragestellung beliebige Brunnen-Betriebszustände und Brunnenstandorte für die Ermittlung von Brunneneinzugsgebieten simulieren lassen.

### **3. Ergebnisse der Modellrechnungen**

#### **3.0 Vorbemerkungen zur Auswertung und Darstellung der Berechnungsergebnisse**

Die Berechnungsfälle, wie der Eichfall = Rechenfall 1 oder die mit dem geeichten Modell durchgeführten weiteren Rechenfälle 2 bis 7 zur Einzugsgebietsermittlung von Brunnen, werden in den Anlagen 2.1 bis 2.7 in erster Linie durch Grundwasserisolinienpläne des jeweiligen Rechenfalls dargestellt. Die gemessenen und berechneten Grundwasserstände sind in Anlage 1, Tabelle 5.1, Blatt 1 bis 3 dokumentiert.

Ebenfalls wurde in den Anlagen 2.1 bis 2.7 für jeden Rechenfall eine Bilanztafel für die oben genannten Bilanzglieder ausgegeben. Für den Eichfall = Rechenfall 1 als Beispiel für etwa mittlere Grundwasserstände und den Rechenfall 5a als Beispiel für Maximalentnahme und tiefste Grundwasserstände sind zusätzlich Grundwassermächtigkeitspläne beigefügt. In den Grundwassermächtigkeitsplänen ist die berechnete Grundwassermächtigkeit (berechnete Grundwasserhöhe minus Modellbasis) in Form von Linien gleicher Grundwassermächtigkeit dargestellt. An den eingetragenen Aufschlüssen ist die Grundwassermächtigkeit vermerkt, welche sich aus der Differenz zwischen berechnetem Grundwasserstand und erbohrter Kiesbasis ergibt. Diese kann im Einzelfall geringfügig von der Grundwassermächtigkeit lt. Isolinie abweichen, weil die Modellknoten nicht immer exakt an der Stelle der Grundwasseraufschlüsse platziert sind. In manchen Fällen können sich auch geringfügig negative Grundwassermächtigkeiten ergeben, weil Modellknoten rechnerisch nicht trocken fallen dürfen und das Berechnungsprogramm in Fällen, wo dies sonst geschehen würde, selbsttätig die Modellbasis leicht tiefer setzt bei gleichzeitiger Reduzierung der Durchlässigkeit auf 1 Promille. Das hat auf das Berechnungsergebnis keinen nennenswerten Einfluss.



Die Brunnen Nestlé-Altdorf und Biessenhofen-Altdorf sind wie weiter oben schon erwähnt mit ihren Fördermengen in die Berechnungen einbezogen. Das jeweilige Einzugsgebiet wird jedoch in einem gesonderten Gutachten dargestellt.

Ebenfalls mit ihren Fördermengen einbezogen sind der Brunnen Geisenhofen, die Privatbrunnen Wintergerst (Hofname auf der TK 25 = Feldwagner) und Reichenbach (Hofname auf der TK 25 = Lorenzbauer) und Schmid westlich der Wertach sowie der Brunnen Gärtnerei Jung und der natürliche Abfluss aus dem Mühlbächle östlich der Wertach. Einzugsgebiete sind hierfür nicht dargestellt.

Nachstehend sind die in jedem Rechenfall angesetzten Randbedingungen benannt und die Ergebnisse kurz erläutert.

### 3.1 Rechenfall 1

#### (Eichfall - mittlere Grundwasserstände, Brunnenentnahmen Mai 2002)

- Grundwasserstände vom 29.05.2002,
- Grundwasserneubildungsrate 11,5 l/s\*km<sup>2</sup>
- Brunnenentnahmen wie im Mai 2002: das bedeutet für die Brunnen Kaufbeuren ganz überwiegend Betrieb Br. V mit durchschnittlich ca. 15 l/s. Übrige Brunnen Kaufbeuren fast keine Förderung, Br. Ebenhofen 3,9 l/s,  
Brunnen Nestlé zusammen 52 l/s, Brunnen Biessenhofen-Altdorf zusammen 10,3 l/s.  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 82,5 l/s
- Mühlbächle Abfluss 20 l/s
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 15 l/s)
- Gesamtgrundwasserumsatz 577 l/s

Im Eichfall ergeben sich für die Brunnen Kaufbeuren I bis III und V und Biessenhofen-Ebenhofen infolge der hohen Durchlässigkeiten (am Brunnen V im Pumpversuch nach Neubohrung nur 12 cm Absenkung bei einer Förderung von 100 l/s) jeweils sehr schmale Anstrombereiche, die aus dem Wertachtal kommen und sich im Maßstab 1: 10.000 ganz überwiegend nur als Linien darstellen lassen. Die Strömungsverhältnisse werden fast ausschließlich durch die natürliche Grundwasserströmung, ohne Beeinflussung durch die gegenüber den hohen Durchlässigkeiten vergleichsweise geringen Brunnenentnahmen, bestimmt.

Einzelne - willkürlich ausgewählte - Stromlinien außerhalb der Anstrombereiche der Brunnen Ebenhofen zeigen, dass der Grundwasserzustrom aus dem Geisenrieder Tal nordwestlich an den Brunnen Ebenhofen vorbei und unter der Bebauung von Ebenhofen hindurch zum nördlichen Modellrand hin läuft.

Die Grundwassermächtigkeit ist erwartungsgemäß im zentralen Modellraum am höchsten; sie reicht dort bis über 35 m. am nördlichen Rand und im Süden zwischen der Wertach und der B12 sowie nördlich von Geisenhofen geht sie bereichsweise gegen Null. Im Bereich der Hauptgrundwasserzuströme im Wertachtal und im Geisenrieder Tal beträgt sie um oder etwas über 10 m.

### 3.2 Rechenfall 2 (mittlere Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)

- Grundwasserstände vom 29.05.2002,
- Grundwasserneubildungsrate 11,5 l/s\*km<sup>2</sup>
- Förderung aus allen Brunnen wie genehmigt.

Bei den Brunnen Kaufbeuren wurde die genehmigte Entnahme von 3.000.000 m<sup>3</sup>/a mit ca. 80 % auf den Brunnen V und der Rest auf die Brunnen I bis III verteilt (75 l/s aus Br. V, je 6,65 l/s jeweils aus Br. I, II, III).

Beim Brunnen Ebenhofen der Gemeinde Biessenhofen ist keine Jahresentnahme festgesetzt. Hier wurde von der tatsächlichen Entnahme wie im Eichfall ausgegangen.

Bei den Brunnen Altdorf der Gemeinde Biessenhofen ist für den Brunnen 1 eine Jahresentnahme von 120.000 m<sup>3</sup> und für den Brunnen 2 mit Bescheid vom 29.07.1986 von 130.000 m<sup>3</sup>, geändert mit Bescheid vom 31.01.2002 auf 280.000 m<sup>3</sup> festgesetzt. Der Bescheid für den Brunnen 1 blieb unverändert, eine Gesamtentnahme aus Brunnen 1 und 2 wurde nicht festgesetzt. Da die Summe aus Brunnen 1 und 2 mit 400.000 m<sup>3</sup> deutlich über dem Bedarf liegt und nicht ganz klar ist, ob die Summe von 280.000 m<sup>3</sup>/a als Gesamtentnahme zu verstehen ist, wurde auch im Rechenfall 2 und den weiteren Rechenfällen, denen die genehmigte Entnahme zugrundeliegt, von der tatsächlichen Entnahme wie im Eichfall ausgegangen.

Bei den Brunnen Altdorf der Fa. Nestlé sind 2 x 50 l/s ohne weitere Beschränkung (Altrecht) genehmigt. Soweit bekannt, wurde eine solche Menge zwar noch nie gefördert. Da in den bisherigen Besprechungen immer Wert darauf gelegt wurde, dass die Genehmigung nicht beschränkt wird und vom LRA darauf hingewiesen wurde, dass eine Beschränkung gegen den Willen von Nestlé auch rechtlich kaum möglich sei, wurde angenommen, dass die genehmigten 2 x 50 l/s im Dauerbetrieb über das gesamte Jahr ausgeschöpft werden.

Daraus ergeben sich für die Modellrechnung folgende Förderaten:

Kaufbeuren Br. V = 75 l/s, Br. 1 bis 3 je 6,7 l/s

Br. Ebenhofen 3,9 l/s

Br. Nestlé 2 \* 50 l/s,

Br. Biessenhofen-Altdorf zusammen 10,3 l/s

Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s

Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s

- Mühlbächle Abfluss 10 l/s
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen) rd. 13 l/s
- Der Gesamtgrundwasserumsatz im Modell ist gegenüber dem Rechenfall 1 mit rd. 580 l/s im wesentlichen unverändert.

Die für die genehmigten Entnahmemengen berechneten Grundwasserstände liegen im Mittel um 0,41 m unter denen des Rechenfalles 1 (Eichfall), in dem mit den tatsächlichen Entnahmemengen vom Mai 2002 gerechnet wurde.

Infolge der gegenüber dem Eichfall 2 1/2 mal höheren Grundwasserentnahmen ergibt sich um die Brunnen Kaufbeuren I bis III und den Brunnen Biessenhofen-Ebenhofen herum ein ausgedehnteres Entnahmefeld. Nach Südwesten schrumpft es wieder auf einen schmalen Schlauch. Zusammen mit dem Brunnen Kaufbeuren V ergibt sich dann bis zum südlichen Modellrand eine Gesamtzustrombreite von etwa 300 m.

Der Gesamtzustrom erfolgt nach wie vor aus dem Wertachtal.

Einzelne - willkürlich ausgewählte - Stromlinien außerhalb der Anstrombereiche der Brunnen Ebenhofen zeigen, dass der Grundwasserzustrom aus dem Geisenrieder Tal auch bei Maximalentnahme aus den Brunnen Ebenhofen und Altdorf nordwestlich an den Brunnen Ebenhofen vorbei und unter der Bebauung von Ebenhofen hindurch zum nördlichen Modellrand hin läuft.

### 3.3 Rechenfall 3

#### (niedrige Grundwasserstände - Brunnenentnahmen September 2003)

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003. Zu diesem Zeitpunkt herrschten in der Grundwassermeßstelle 758 des Landesgrundwasserdienstes und dem wichtigsten Brunnen Kaufbeuren V (siehe Ganglinien in Teil 3) die langfristig niedrigsten bekannten Grundwasserstände.  
Das Niedrigwasser wurde im Modell erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/ Abstrom gegenüber dem Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwasserstände um 50 cm reduziert.
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- Brunnenentnahmen wie September 2003, insgesamt 78,8 l/s. Das bedeutet Kaufbeuren V rd. 21 l/s, übrige Brunnen Kaufbeuren fast keine Entnahme  
Br. Ebenhofen 3,6 l/s  
Br. Nestlé zusammen rd. 47 l/s, Br. Biessenhofen-Altdorf zusammen 6,3 l/s  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Die Ganglinie der Grundwassermeßstelle 758 des Landesgrundwasserdienstes und des Brunnens V zeigt im Messzeitraum 1976 bis 2006 Ende September/Anfang Oktober den niedrigsten Grundwasserstand seit Messbeginn. Für den Stand Ende September 2003 liegen weitere Wasserspiegeldaten von den Brunnen Kaufbeuren I bis V, den Brunnen Ebenhofen und Altdorf der Gemeinde Biessenhofen und den Brunnen Altdorf der Fa. Nestlé vor.

Unter Ansatz der tatsächlichen Förderraten vom September 2003 (siehe Anlage 1, Tabelle 4 der für die Modellrechnungen verwendeten Brunnenentnahmen) und unter Berücksichtigung der vorgenannten Wasserspiegeldaten wurde der Grundwasserzustrom zum Modell rechnerisch reduziert. Unter Ansatz einer reduzierten Grundwasserneubildungsrate von 6,7 l/s\*km<sup>2</sup> (LfW-Heft 3/87,  $GW_{neu}$  abgeleitet aus den Niedrigwasserabflüssen der Wertach, Minimalwert 1983/84 für den Pegel Thalhofen, aus der Messreihe 1972/84 /18/) wurde bei etwa 75 % des Grundwasserzuflusses, der sich im Eichzustand ergeben hatte, die beste Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechneten Grundwasserhöhen erreicht. Der Grad der Übereinstimmung ist im Mittel wie im Eichfall +/- Null. Die maximale Einzelabweichung ist hier mit bis zu ca. 80 cm etwas schlechter als im Eichfall.

Der Gesamtgrundwasserumsatz im Modell beträgt rd. 450 l/s. Das gilt mit geringen Unterschieden auch für die weiteren Rechenfälle 4 bis 7, die für denselben Niedrigwasserzustand wie im Rechenfall 4 gerechnet wurden. Die berechneten Grundwasserstände liegen im Mittel um 1,10 m unter denen des Rechenfalles 1 (Eichfall), in dem mit den Grundwasserständen vom 29.05.2002 und den tatsächlichen Entnah-

memengen vom Mai 2002 (die geringfügig höher waren als die Entnahmen vom September 2003) gerechnet wurde.

Wegen der dem Eichfall ähnlichen Gesamtbrunnenentnahme von knapp 80 l/s ergeben sich wie im Eichfall wieder nur schmale Anstrombereiche, die aus dem Wertachtal kommen und sich im Maßstab 1: 10.000 fast nur als Linien darstellen lassen. Das Stromlinienbild ist dem Eichfall sehr ähnlich. Die Strömungsverhältnisse werden auch im Rechenfall 3 fast ausschließlich durch die natürliche Grundwasserströmung, mit nur geringer Beeinflussung durch die gegenüber den hohen Durchlässigkeiten vergleichsweise geringen Brunnenentnahmen, bestimmt.

Der Rechenfall 3 und die weiteren Rechenfälle 4 bis 7 sind hinsichtlich der Grundwasserstände einerseits eine Extremwertbetrachtung, weil die Ende September/Anfang Oktober 2003 gemessenen Niedrigwasserstände einen vorübergehenden Zustand darstellen, die stationäre Berechnung im Modell aber einen Dauerzustand unterstellt. Andererseits erscheint der für Niedrigwasser berechnete hydraulische Zustand bei den kurzen Fließzeiten vom Modellrand bis zu den Brunnen von wenigen Monaten durchaus realistisch, weil Niedrigwasserzustände auch einige Monate anhalten können. Insofern sind bei der Schutzgebietsbemessung auch die Rechenfälle bei Niedrigwasser angemessen zu berücksichtigen.

#### **3.4 Rechenfall 4 (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen) Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen nur aus Brunnen V**

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003  
Das wurde erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/Abstrom gegenüber Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwasserstände um 50 cm reduziert
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- Förderung aus allen Brunnen wie genehmigt, in Kaufbeuren jedoch Gesamtmenge aus Brunnen V. In Biessenhofen-Altdorf tatsächliche Förderung wie Eichfall.  
Kaufbeuren Br. V = 95 l/s, übrige Brunnen Kaufbeuren keine Förderung  
Br. Ebenhofen 3,9 l/s  
Br. Nestlé 2 \* 50 l/s, Br. Biessenhofen-Altdorf zusammen 10,3 l/s  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Die berechneten Grundwasserstände liegen im Mittel um 1,46 m unter denen des Rechenfalles 1 (Eichfall), in dem mit den Grundwasserständen vom 29.05.2002 und den tatsächlichen Entnahmemengen vom Mai 2002 gerechnet wurde. Dieselben mittleren Unterschiede zum Eichfall gelten auch für die Rechenfälle 5 bis 7, in denen sich nur die Aufteilung der Brunnenentnahme zwischen den einzelnen Brunnen Kaufbeuren unterscheidet, die Gesamtentnahme aus allen Brunnen aber jeweils dieselbe ist wie im Rechenfall 4.

Hier ergibt sich für den Brunnen V ein bis etwa 150 m breiter Entnahmbereich, der zwischen den Höfen Feldwagner und Lorenzbauer hindurch etwa im Zentrum der Hauptkiesrinne aus dem Wertachtal kommt.

Der Entnahmbereich des Brunnens Ebenhofen ist abgesehen von einem etwa 50 m breiten Bereich am Südrand der Bebauung von Ebenhofen wieder nur ein schmaler Schlauch, der sich im Maßstab 1: 10.000 nur als Linie darstellen lässt. Diese schmiegt sich im Norden bzw. Westen an den Entnahmbereich des Brunnens Kaufbeuren V an.

### 3.5 Rechenfall 5 (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)

#### Variante 1, Rechenfall 5a

Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen soweit technisch möglich aus Brunnen I, II, III

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003  
Das wurde erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/Abstrom gegenüber Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwasserstände um 50 cm reduziert
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- Förderung aus allen Brunnen wie genehmigt, in Kaufbeuren jedoch Förderung aus den Brunnen I bis III so viel wie aus jedem Brunnen möglich, Rest bis zur genehmigten Menge aus Brunnen V. In Biessenhofen-Altdorf tatsächliche Förderung wie Eichfall. Die angesetzten Mengen sind:  
Kaufbeuren Br. I = 14 l/s, Br. II = 25 l/s (rechnerisch aufgeteilt 2/3 = 16,4 l/s aus Br. II und fiktiv 1/3 = 8,5 l/s aus Br. IV), Br. III = 27 l/s, , Br. V = 29 l/s  
Br. Nestlé 2 \* 50 l/s, Br. Biessenhofen-Altdorf zusammen 10,3 l/s  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Alternativ zur Wasserförderung alleine aus dem Brunnen V (Rechenfall 4) sollte im Rechenfall 5 eine entsprechend den Pumpenleistungen maximal mögliche Förderung aus den Brunnen I bis III und nur die verbleibende Restentnahme aus Brunnen V simuliert werden. Es zeigte sich dabei, dass diese Brunnenbetriebsart bei Niedrigwasser und Maximalentnahme aus allen Brunnen einschließlich der Brunnen Altdorf rechnerisch nicht möglich ist. Die pumpe-technisch mögliche Menge von 25 l/s kann aus Brunnen II nicht entnommen werden kann, weil der Wasserspiegel dabei rechnerisch zu stark absinkt. Hilfsweise wurde daher die Entnahme aus Brunnen II rechnerisch zu 2/3 der Pumpenleistung auf Brunnen II und zu 1/3 fiktiv auf Br. IV (wird nicht mehr genutzt) verteilt.

Wie schon bei Rechenfall 3 muss hier nochmals darauf hingewiesen, dass es sich auch beim Rechenfall 5a hinsichtlich der Grundwasserstände um eine Extremwertbetrachtung handelt, weil die Ende September/Anfang Oktober 2003 gemessenen Niedrigwasserstände nur einen vorübergehenden Zustand darstellen, die stationäre Berechnung im Modell aber einen Dauerzustand unterstellt. In diesem Licht muss auch das Rechenergebnis gesehen werden, wo-

nach im Rechenfall 5a aus Brunnen II die Förderung mit voller Pumpenleistung von 25 l/s nicht mehr möglich ist. In der Praxis ist das sehr wohl möglich, weil das Grundwasser nicht dauerhaft Niedrigststände aufweist.

Unter den Annahmen im Rechenfall 5a zeigte sich, dass der Zustrombereich (und gleichzeitig 50-Tage-Bereich) nach Norden weiter als das bisher festgesetzte Wasserschutzgebiet in die Bebauung von Ebenhofen hinein reichen würde.

Die für den Extremfall des Rechenfalls 5a in Anlage 2.5, Plan 3 dargestellten Isolinien der Grundwassermächtigkeit zeigen grundsätzlich dasselbe Bild wie beim Rechenfall 1 = Eichfall, nur mit einer um durchschnittlich knapp 1,5 m geringeren Mächtigkeit. Zwischen der Wertach und der B12 werden die Bereiche mit einer gegen Null gehenden Grundwassermächtigkeit größer.

#### Variante 2, Rechenfall 5b (interne Bezeichnung = Rechenfall 8)

Förderung Kaufbeuren-Ebenhofen im wesentlichen aus Br. III und V

Die im Rechenfall 5a angesetzte maximale Förderung aus den Brunnen Kaufbeuren I bis III (+ 1/3 von Br. II fiktiv aus Br. IV) führte dazu, dass der Entnahmebereich westlich der Schwabenstraße deutlich über das bisher festgesetzte Wasserschutzgebiet nach Norden in die Bebauung von Ebenhofen hinein reicht. Da eine Vergrößerung des Wasserschutzgebietes in diese Richtung nicht angestrebt ist und es sich bei Rechenfall 5a um eine Extremannahme handelt, wurde ein weiterer Rechenfall 5b (intern = RF8) gerechnet, in dem die Förderung aus den Brunnen Kaufbeuren I bis III so weit reduziert wurde, dass der berechnete Zustrombereich nicht weiter als das bisherige Wasserschutzgebiet (1. Häuserzeile ist im WSG) nach Norden reicht. Das erforderte eine Rücknahme der Förderung aus Brunnen II auf Null und aus Brunnen I auf nur 2 l/s.

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003  
Das wurde erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/Abstrom gegenüber Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwasserstände um 50 cm reduziert
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- Insgesamt haben sich folgende Förderraten ergeben:  
Kaufbeuren Br. I = 2 l/s, Br. II = 0 l/s, Br. III = 27 l/s, Br. V = 66 l/s.  
Br. Nestlé 2 \* 50 l/s, Br. Biessenhofen-Altendorf zusammen 10,3 l/s wie Eichfall.  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Das Ergebnis des Rechenfalls 5b (intern = RF8) ist somit, dass unter Extrembedingungen - theoretisch andauernde Niedrigwasserstände und gleichzeitig genehmigte Maximalentnahmen - die Förderung nicht entsprechend den Pumpenleistungen auf die Brunnen Kaufbeuren I bis III konzentriert werden kann, sondern die genehmigte Menge alleine aus Brunnen V oder aus Brunnen V zusammen mit Brunnen III gefördert werden muss.

### **3.6 Rechenfall 6 - alternativer fiktiver Br. VI, Zustrom aus Geisenrieder Tal (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)**

Die Rechenfälle 1 bis 5 ergaben alle einen Zustrom aus dem Wertachtal.

Im Hinblick auf Überlegungen des Städt. Wasserwerks Kaufbeuren, die Förderung zukünftig auf die Umgebung des Brunnens V zu konzentrieren und dort einen weiteren Brunnen VI zu bohren, wurde überprüft, ob es möglich ist, einen Brunnen auf dem im Eigentum der Stadt Kaufbeuren befindlichen Flurstücks 189 so zu platzieren, dass der Zustrom aus dem Geisenrieder Tal erfolgt. Hierzu wurde ein fiktiver Brunnen VI in der Nordwestecke des Flurstücks 189 mit 10 m Abstand von den Flurstücksgrenzen - also so, dass ggf. noch ein Fassungsbe-  
reich eingerichtet werden könnte - angenommen.

Die Rechenannahmen in diesem Rechenfall sind:

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003  
Das wurde erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/Abstrom gegen-  
über Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwas-  
serstände um 50 cm reduziert
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- genehmigte Entnahmen, Kaufbeuren jedoch Gesamtförderung aus einem fiktiven  
Brunnen VI in der Nordwestecke (10 m Abstand von den Flurstücksgrenzen) des  
Flurstücks 189, Biessenhofen-Altdorf tatsächliche Förderung wie Eichfall. Das ergibt  
folgende Förderraten:  
Kaufb. fiktiver Br. VI = 95 l/s, sonst keine Förderung aus den Brunnen Kaufbeuren  
Br. Nestlé 2 \* 50 l/s, Br. Biessenhofen-Altdorf zusammen 10,3 l/s  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Die Modellrechnung zeigt, dass im Rechenfall 6 der gesamte Zustrom zum fiktiven Brunnen VI aus dem Geisenrieder Tal kommt. Ähnlich wie bei den vorhergehenden Rechenfällen mit genehmigter (Maximal-) Entnahme ergibt sich auch hier infolge hoher Durchlässigkeiten für den fiktiven Brunnen VI ein relativ schmaler Zustrombereich, der bis zum Modellrand im Geisenrieder Tal eine Breite von bis zu etwa 250 m annimmt.

Der Zustrom zum bestehenden Brunnen Biessenhofen-Ebenhofen erfolgt unverändert in einem schmalen Stromfaden aus dem Wertachtal.

### **3.7 Rechenfall 7 - alternativer fiktiver Br. VI, Zustrom aus dem Wertachtal (niedrige Grundwasserstände - genehmigte Maximal-Entnahmen)**

Die im Rechenfall 6 gewählte Lage des fiktiven Brunnens VI führt dazu, dass der Zustrom zu diesem Brunnen aus dem Geisenrieder Tal erfolgt. Es wird möglicherweise noch einige Jahre dauern, bis ein Brunnen VI alternativ zu den Brunnen I bis III (IV) gebohrt wird. Andererseits erscheint es schwierig, jetzt schon ein Wasserschutzgebiet in Richtung Geisenrieder Tal auszuweisen, das ohne den noch nicht existierenden Brunnen VI in der Nordwestecke des Flurstücks 189 nicht benötigt wird, weil der Zustrom in allen anderen Rechenfällen aus dem Wertachtal erfolgt.

Da auf einen Brunnen VI künftig aber nicht verzichtet werden soll, wurde überprüft, ob dieser auf dem ziemlich großen im Eigentum des städt. Wasserwerks Kaufbeuren stehenden Flurstück 189 auch so platziert werden kann, dass er seinen Zustrom nur aus dem Wertachtal erhält. Es zeigte sich, dass das bei einem Standort rd. 100 m südsüdwestlich der Grundwassermeßstelle P5 möglich ist. Dies ist der Rechenfall 7. Im übrigen sind die Rechenannahmen dieselben wie im Rechenfall 6.

- Niedrigwasser - Grundwasserstände angenähert wie Ende September 2003  
Das wurde erreicht durch Reduzierung der Festpotenziale Zustrom/Abstrom gegenüber Eichfall = RF1 um etwa 70 bis 90 cm und des Zustroms auf 75 %, Wertachwasserstände um 50 cm reduziert
- Grundwasserneubildungsrate 6,7 l/s\*km<sup>2</sup>
- genehmigte Entnahmen, Kaufbeuren jedoch Gesamtförderung aus einem fiktiven Brunnen VI in der Nordwestecke (10 m Abstand von den Flurstücksgrenzen) des Flurstücks 189, Biessenhofen-Altendorf tatsächliche Förderung wie Eichfall. Das ergibt folgende Förderraten:  
Kaufbeuren fiktiver Brunnen VI = 95 l/s, sonst keine Förderung  
Br. Nestlé 2 \* 50 l/s, Br. Biessenhofen-Altendorf zusammen 10,3 l/s  
Förderrate Brunnen Geisenhofen + Privatbrunnen = 0,9 l/s  
Gesamtbrunnenentnahme 210 l/s
- Mühlbächle Abfluss 5 l/s (25 % des Abflusses im Eichfall = RF1)
- Grundwasseraustausch mit der Wertach (zu und ab zusammen rd. 19 l/s)

Das Ergebnis ist grundsätzlich dasselbe wie im Rechenfall 4 (genehmigte Entnahme Kaufbeuren alleine aus Brunnen V), nur mit dem Unterschied, dass sich der Zustrombereich entsprechend des gegenüber Brunnen V weiter westlich angenommenen fiktiven Brunnens VI ebenfalls nach Westen verschiebt. Der schmale Zustromfaden zum bestehenden Brunnen Biessenhofen-Ebenhofen verläuft im Rechenfall 7 knapp östlich des Zustrombereichs zum fiktiven Brunnen VI, während er sich im Rechenfall 4 sich westlich an den Zustrombereich zum Brunnen V anschmiegt.



#### 4. Gesamtzustrombereich - Synthese aus den Modellrechnungsergebnissen

In Anlage 3, Plan 1 (Plangrundlage TK25) und Plan 2 (Plangrundlage digitale Flurkarte) wurde um die in den Rechenfällen 1 bis 4, 5b und 7 ermittelten Zustrombereiche aus dem Wertachtal die Umhüllende (braun-weiße Linie) gezeichnet. Die von der Umhüllenden eingeschlossene Fläche ist der Zustrombereich zu den Brunnen Ebenhofen unter Einbeziehung sowohl mittlerer als auch niedriger Grundwasserstände und sowohl üblicher als auch extremer Betriebszustände mit den genehmigten (Maximal-) Entnahmen. Die in den Modellrechnungen berücksichtigten niedrigen Grundwasserstände sind bereits eine Extremannahme, da sie in der Rechnung als Dauerzustand angesetzt sind, in Wirklichkeit aber nie auf Dauer Niedrigwasserstände herrschen. Der Rechenfall 5a, in welchem dem Brunnen Kaufbeuren II rechnerisch nicht die volle Pumpenleistung zugeordnet werden konnte, sondern diese auf den Brunnen II und den schon länger nicht mehr betriebenen Brunnen IV aufgeteilt werden musste, wird für die Praxis als nicht mehr realistisch angesehen und ist in der Umhüllenden nicht berücksichtigt. Dies ist allerdings nur am Südwestrand von Ebenhofen von Bedeutung. Weiter oberstromig ist der Unterschied zwischen den Rechenfällen 5a und 5b für die Schutzgebietsbemessung nicht mehr relevant.

Bei höheren als mittleren Grundwasserständen kann der Zustrombereich in der Tendenz schmaler, sicherlich aber nicht breiter werden.

Der berechnete Zustrombereich der bestehenden Brunnen Ebenhofen und eines fiktiven Brunnens VI auf dem Flurstück 189 südlich von P5 liegt bei allen beschriebenen Rechenannahmen in der aus dem Wertachtal kommenden Hauptkiesrinne. Für die Abgrenzung des Wasserschutzgebietes wurde als Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung der Dispersion der Grundwasserströmung ein Dispersionswinkel von 5 Grad angesetzt. Die Berechnung ist in Anlage 3, Tabelle 3 angegeben. Die sich aus dem Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung der Dispersion ergebende grün-weiße Linie ist die als Wasserschutzgebiet vorgeschlagene Fläche innerhalb des Modellraumes, jedoch noch ohne Anpassung an Flurstücksgrenzen (siehe dazu Teil 1).

Neben dem Zustrombereich aus dem Wertachtal zu den bestehenden Brunnen Ebenhofen und einem fiktiven Brunnen VI auf dem Flurstück 189 südlich von P5 ist in Anlage 3, Pläne 1 und 2, auch der Zustrombereich aus dem Geisenrieder Tal zu einem fiktiven Brunnen VI in der Nordwestecke des Flurstückes 189 (siehe Rechenfall 6) eingetragen. Nach Hinzurechnung eines Sicherheitszuschlages zur Berücksichtigung der Dispersion könnte er als Grundlage für eine Wasserschutzgebietsabgrenzung dienen, falls ein Brunnen in dieser Lage realisiert werden sollte.

Innerhalb der Zustrombereiche wurden die Bereiche abgegrenzt, von deren Rand das Grundwasser bis zu den Brunnen 50 Tage Fließzeit benötigt. Der für den Zustrombereich aus dem Wertachtal dargestellte 50-Tage-Bereich (rot-weiße Linie) ist analog zum Zustrombereich die Umhüllende aus den in den einzelnen Rechenfällen abgegrenzten 50-Tage-Linien.

Die Fließzeiten vom Modellrand bis zum Brunnen betragen je nach Grundwasserstand und Entnahmekonfiguration für den Brunnen Kaufbeuren V zwischen 115 und 130 Tagen, für den Brunnen Kaufbeuren III zwischen 135 und 260 Tagen und für die Brunnen I und II zwischen 196 und 800 Tagen.

Zu einem fiktiven Brunnen an der Nordwestecke des Flurstückes 189 wäre das Wasser vom Modellrand bis zum Brunnen knapp 150 Tage unterwegs.

Sowohl der Zustrombereich aus dem Wertachtal als aus dem Geisenrieder Tal enden nicht am südlichen Modellrand. Außerhalb des Modellrandes gibt das Modell keine Auskunft über die Grundwasserströmungsverhältnisse.

## **5. Nachtrag zum Grundwassermodell - Plausibilitätsrechnungen zu möglichen Wechselwirkungen Wertach/Grundwasser im Abschnitt OAL7 - B12**

Wie in Kap. 2.4 zu den Modell-Randbedingungen erläutert, wurde für den Wertachabschnitt zwischen der OAL7 und der B12 von einer nur schwachen hydraulischen Verbindung zwischen Wertach und Grundwasser ausgegangen, weil Abflussmessungen durch das WWA Kempten am 17.10.2006 (siehe Teil 3, Anl. 3.2, S. 5) an der OAL 7 = ca. Wertach-km 86,3 und der B12 = ca. Wertach-km 85,1 im Rahmen der möglichen Messgenauigkeit identische Abflüsse ergeben haben. Entsprechend wurden in der Modelleichung die Durchlässigkeiten der Flusssohle gewählt.

Im Februar 2008 legte das WWA Kempten weitere Ergebnisse von Abflussmessungen vom Oktober 2007 und Januar 2008 im Bereich zwischen der 2. Wertachschleife oberstromig der OAL 7 = ca. Wertach-km 89,1 und der B12 vor (siehe Teil 3, Anl. 3.2) . Außerdem wurden in 03/2008 Daten von Wasserspiegelmessungen an der Wertach zwischen Thalhofen und Biessenhofen (alle 200 m) für Niedrigwasser am 29.10.1986 und für Mittelwasser am 28.04.1971 mitgeteilt (siehe Teil 3, Anl. 3.4).

Die neuen Abflussmessergebnisse vom Oktober 2007 und Januar 2008 weisen auf eine möglicherweise stärkere Wechselwirkung zwischen der Wertach und dem Grundwasser hin als nach den Abflussmessungen vom 17.10.2006 angenommen werden konnte. Da dies Auswirkungen auf die Beurteilung der Notwendigkeit eines Wasserschutzgebietes südlich der Wertach haben kann, waren die neuen Abflussmessergebnisse Anlass, in weiteren Modellrechnungen zu überprüfen, inwieweit sich die Ergebnisse der Abflussmessungen mit dem Grundwassermodell vereinbaren lassen. Die entsprechenden Berechnungen, nachfolgend als Rechenfälle 9 bis 12 bezeichnet, erfolgten unter Berücksichtigung der ebenfalls bisher nicht bekannten Wasserspiegel der Wertach von 1971 bzw. 1986 und der am Pegel Thalhofen kontinuierlich gemessenen Abflüsse (siehe Teil 3, Anl. 3.4).

## 5.1 Vorgehensweise

Durch Plausibilitätsrechnungen mit dem Grundwassermodell soll festgestellt werden, ob sich ein Austausch zwischen Wertach und Grundwasser in der Größenordnung der aus dem Messwerten berechneten Abfluss-Differenzen (siehe Tabelle 2 in Teil 3, Kap. 3.1) so in das Grundwassermodell einbeziehen lässt, dass sich in weiter entfernten Bereichen, insbesondere den potenziellen Schutzgebietsflächen für die Brunnen Kaufbeuren und Altdorf, keine Änderungen der Grundwasserströmung ergeben, die einen relevanten Einfluss auf die Schutzgebietsgrenzen hätten. Da die Modellrechnungen für Mittel- (29.05.2002) und Niedrigwasserverhältnisse (September 2003) des Grundwassers erfolgten, sollten diese Plausibilitätsbetrachtungen ebenfalls für MW- und für NW-Verhältnisse angestellt werden. Dabei wurde in erster Näherung angenommen, dass sich Wertachabflüsse und Grundwasserstände korrelieren lassen.

Da die Abfluss-Messwerte zwischen der OAL 7 und der B12 innerhalb eines breiten Wertebereichs streuen, müssen zur Durchführung der genannten Plausibilitätsrechnungen zunächst sinnvolle Austauschmengen Wertachwasser/Grundwasser festgelegt werden.

In einem ersten Schritt wurde der Versuch unternommen, die an den verschiedenen Punkten zu verschiedenen Zeitpunkten gemessenen relativ niedrigen Abflusswerte unter Verwendung der Daten des Pegels Thalhofen auf MW- bzw. NW-Verhältnisse der Wertachabflüsse hochzurechnen. Hierzu wurden die linearen Beziehungen zwischen den Messwerten an allen Messpunkten und den Werten des Pegels Thalhofen ermittelt. Die Hochrechnung auf MW-Verhältnisse über die berechneten linearen Regressionsbeziehungen hat aber zu unrealistisch hohen Abflussdifferenzen (bis über 2 m<sup>3</sup>/s) geführt, die über die Grundwasserumsatzmenge im gesamten Modellraum hinausgehen würden. Dies zeigt schon, dass Einzelmessungen und darauf beruhende Hochrechnungen mit großer Vorsicht zu interpretieren sind. Mit den aus den Regressionen stammenden Werten wurde daher nicht weiter gerechnet.

Da sich an verschiedenen Messtagen im selben Fließabschnitt bei Gesamtabflüssen in ähnlichen Größenordnungen Differenzen von nur wenigen Zehnerlitern bis Hektolitern pro Sekunde (siehe Tabelle 2 in Teil 3, Kap. 3.1) errechnen, wurde für die Plausibilitätsrechnungen bei Mittelwasserverhältnissen von den größten am 17.01.2008 festgestellten Abflussdifferenzen ausgegangen. Dies waren 380 l/s Zutritt aus der Wertach ins Grundwasser zwischen Punkt 5 und 6. In den weiteren Fließabschnitten bis Punkt 9 wurden am selben Tag ein Austritt von Grundwasser in die Wertach von insgesamt 370 l/s (Anm.: im Rahmen der Messgenauigkeit sind 370 l/s als identisch mit 380 l/s zu betrachten), das heißt, dass sich innerhalb des Modellraums Zu- und Austritte ausgleichen. Daher war dieselbe Menge zwischen den Punkten 7 und 8 wieder als Austritt vom Grundwasser in die Wertach anzusetzen. An der Gesamtbilanz im Grundwassermodell ändert sich somit durch den angenommenen Austausch zwischen Wertachwasser und Grundwasser nichts.

Für NW-Verhältnisse wurde die Zu-/Austrittsmenge im Verhältnis der MQ- / NQ- Abflüsse am Pegel Thalhofen errechnet, wobei für NQ der Mittelwert der zweiten Septemberhälfte 2003 von 2,3366 m<sup>3</sup>/s (analog zu den NW-Verhältnissen für das Grundwasser in Rechenfall 3 mit Werten ebenfalls Ende September 2003) verwendet wurde. Für MQ konnte der tatsächliche

MQ-Wert von  $9,22 \text{ m}^3/\text{s}$  verwendet werden, da zum Eichzeitpunkt 29.05.2002 im Rechenfall 1 der Wertachabfluss relativ genau dem MQ-Wert entsprach. Die Niedrigwasseraustauschmenge ergibt sich daraus wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{ca. } NQ(\text{PTh}) / MQ(\text{PTh}) &= \\ 2,3366 \text{ m}^3/\text{s} / 9,22 \text{ m}^3/\text{s} &= 0,2534 \\ 380 \text{ l/s} * 0,2534 &= 96,3 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Die Zu-/Austrittsmenge von je  $96,3 \text{ l/s}$  wurde für die Plausibilitätsrechnungen bei Niedrigwasserverhältnissen in den gleichen Wertachabschnitten wie bei MW angesetzt.

Die Plausibilitätsrechnungen sollten jedoch nicht nur überprüfen, ob die genannten Austauschmengen mit dem Grundwassermodell ohne signifikante Änderungen der Grundwasserströmung vor allem in den potenziellen Schutzgebietenbereichen möglich sind. Es mussten auch die im Modell berechneten Wertachwasserstände mit den Wasserständen aus den mittlerweile vom WWA Kempten mitgeteilten Mittelwasser- und Niedrigwasserfixierungen an der Wertach in diesen Flussabschnitten (Teil 2, Anl. 1, Plan 6.1 und Teil 3, Anlage 3.4) vereinbar sein.

Dies konnte mit dem Rechenfall RF09 für MW-Verhältnisse (Teil 2, Anlage 4.2) erreicht werden, wobei im Nahbereich der Wertach zwischen der OAL7 und der B12 innerhalb der Hauptgrundwasserströmungsrinne die Durchlässigkeiten im Modell stellenweise bis maximal um eine Zehnerpotenz zu variieren waren. Durch die  $k_f$ -Wert-Änderungen (Teil 2, Anl. 4.1) konnte der berechnete Grundwasserstand im Bereich der Wertachmesspunkte 5 und 6 soweit abgesenkt werden, dass dort ein Zutritt von Wertachwasser ins Grundwasser und zwischen den Wertachmesspunkten 7 bis 8 soweit angehoben werden, dass dort ein Austritt von Grundwasser in die Wertach (wie er nach den Messergebnissen anzunehmen ist) plausibel bzw. hydraulisch möglich ist. Die Unterschiede liegen im Bereich bis ca.  $0,5 \text{ m}$ .

Das Modell zeigt damit, dass sowohl die bisher aus der Modelleichung ermittelten, wie auch die für die Plausibilitätsrechnungen variierten Grundwasserstände hydraulisch sind möglich sind. Mit dem Modell kann aber nicht entschieden werden, welche der berechneten Grundwasserstände den tatsächlichen Grundwasserständen bei MW und NW besser entsprechen, weil entlang der Wertach keine Grundwassermeßstellen existieren.

Im Rechenfall 10 (Teil 2, Anlage 4.3) wurden Versickerung von Wertachwasser und Wiedereintritt des Grundwassers wie oben beschrieben mit  $96,3 \text{ l/s}$  angesetzt. Es zeigte sich, dass die Versickerung von Wertachwasser ins Grundwasser zwischen den Wertachmesspunkten 5 und 6 ohne weiteres möglich ist, nicht aber der Wiederaustritt von Grundwasser in die Wertach weiter unterstromig, weil sich dort Grundwasserstände von mehr als  $1 \text{ m}$  unter dem Wertachwasserstand ergaben. Der Rechenfall 10 ist somit zwar rein rechnerisch möglich, aber hydraulisch nicht plausibel.

Es wurden daher zwei weitere Rechenfälle RF11 (Teil 2, Anlage 4.4) und RF12 (Teil 2, Anlage 4.5) für NW berechnet, in welchen eine Versickerung von 96,3 l/s aus der Wertach ins Grundwasser angesetzt wurde. Der Austritt von Grundwasser in die Wertach zwischen den Wertachmesspunkten 7 und 8 entfällt jedoch in diesen Rechenfällen. Dafür wurde der Randzustrom im betroffenen Abschnitt um 96,3 l/s vermindert. Dies ist möglich, da so die Grundwassermengenbilanz erhalten bleibt. Aus den Basisdaten und der Modelleichung geht nur die Gesamtzuströmungsmenge in diesem Abschnitt hervor. Die Gesamtzuströmungsmenge kann sich modelltechnisch zwanglos auf einen Grundwasserzustrom und eine Zuspeisung aus der Wertach im selben Bereich verteilen, wie in den beiden Rechenfällen RF11 und RF12 angesetzt. Die beiden genannten Rechenfälle unterscheiden sich lediglich dadurch, dass in RF11 die lokale  $k_f$ -Variation wie in RF09, in RF12 die ursprüngliche  $k_f$ -Verteilung aus der Modelleichung verwendet ist.

## 5.2 Ergebnisse der Rechenfälle RF09 bis RF12

Im folgenden werden die Ergebnisse der vier durchgeführten Rechenfälle mit ihren besonderen Randbedingungen sowie den Auswirkungen kurz beschrieben. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 4.1 bis 4.5 zu Teil 2 dargestellt.

### Rechenfall 9 (Teil 2, Anlage 4.2)

Der Rechenfall 9 entspricht dem Eichfall/Rechenfall 1 für ca. Mittelwasserverhältnisse. Es wurden jedoch zwischen den Wertachmesspunkten 5 und 6 eine Wertachversickerung von 380 l/s und ein Wiedereintritt von Grundwasser in die Wertach von ebenfalls 380 l/s zwischen den Wertachmesspunkten 7 und 8 angesetzt. Damit die Zutritte / Austritte von Wasser hydraulisch plausibel mit den Wertachwasserständen aus der Mittelwasserfixierung des WWA Kempten vom 28.04.1971 vereinbar sind, war eine lokale  $k_f$ -Wert-Änderung im betroffenen Bereich (Teil 2, Anlage 4.1) erforderlich. In diesem Bereich liegen keine Grundwasserstandsmessungen vor, so dass die dort berechneten Grundwasserstandsänderungen im Rechenfall R9 gegenüber dem Eichfall/Rechenfall 1 gleichwertig denkbar sind.

Die Darstellung in Teil 3, Anlage 4.2 zeigt, dass sich die Grundwasserstände des Rechenfalls 9 nur im Nahbereich des angesetzten erhöhten Wertach-Austauschs vom Rechenfall 1 unterscheiden. Mit der Entfernung von diesem Bereich decken sich die Grundwasserisolinien beider Rechenfälle zunehmend. Auch die in Teil 3, Anlage 4.2 dargestellten Randzu- und Abströme beider Rechenfälle sind nahezu gleich. Damit ist gezeigt, dass ein erhöhter Austausch zwischen Wertach und Grundwasser im Bereich der Hauptzustromrinne denkbar ist, ohne dass sich dieser außerhalb des Nahbereichs der Wertach auf die Grundwasserströmung nennenswert auswirken würde.

### Rechenfall 10 (Teil 2, Anlage 4.3)

Der Rechenfall 10 entspricht dem Rechenfall/Eichfall 3 für ca. Niedrigwasserverhältnisse. Es wurden jedoch zwischen den Wertachmesspunkten 5 und 6 eine Wertachversickerung von 96,3 l/s und ein Wiedereintritt von Grundwasser in die Wertach von ebenfalls 96,3 l/s zwischen den Wertachmesspunkten 7 und 8 angesetzt. Die in RF09 beschriebene lokale  $k_f$ -Variation wurde übernommen.

Die Versickerung von Wertachwasser ins Grundwasser ist in RF10 hydraulisch plausibel mit den Wertach-Wasserständen vereinbar, der Übertritt von Grundwasser in die Wertach aufgrund der Wertachwasserstände jedoch nicht. Bei Niedrigwasserverhältnissen sind solche Übertritte von Grundwasser in die Wertach wegen der bis mehr als einen Meter tieferen Grundwasserstände in diesem Bereich hydraulisch nicht möglich und folglich als in der Natur wahrscheinlich nicht gegeben anzusehen. Trotzdem wurden diese Austritte im Rechenfall RF10 als einem ersten Versuch angesetzt, um die Reaktionen des Grundwasserkörpers zu testen. Die Darstellung des Rechenfalls 10 in Teil 2, Anlage 4.3 zeigt, dass sich die Grundwasserstände des Rechenfalls 10 nur im Nahbereich des angesetzten erhöhten Wertach-Austauschs von denen des Rechenfalls 3 unterscheiden. Mit der Entfernung von diesem Bereich decken sich die Grundwasserisolinien beider Rechenfälle zunehmend. Auch die Randzu- und -abströme beider Rechenfälle sind nahezu gleich.

#### **Rechenfall 11** (Teil 2, Anlage 4.4)

Der Rechenfall RF11 entspricht dem Eichfall RF03 für ca. Niedrigwasserverhältnisse. Es wurde jedoch zwischen den Wertachmesspunkten 5 und 6 eine Versickerung von 96,3 l/s aus der Wertach ins Grundwasser angesetzt, der hydraulisch mit den Wertach-Wasserständen vereinbar ist. Ein anschließender Übertritt von Grundwasser in die Wertach im Unterstrom wurde im Gegensatz zu RF10 nicht angesetzt, da sich in Rechenfall 10 gezeigt hatte, dass dies bei Niedrigwasserverhältnissen wegen des bis mehr als einen Meter tieferen Grundwassers in diesem Bereich hydraulisch nicht möglich ist. Statt dessen wurde der Randzustrom von Grundwasser im betroffenen Gebiet um 96,3 l/s vermindert, um die Grundwasserbilanz wieder auszugleichen. Es wurde die in RF09 beschriebene lokale  $k_f$ -Variation übernommen.

Die Darstellung des Rechenfalls 11 in Teil 2, Anlage 4.4 zeigt wiederum, dass sich die Grundwasserstände des Rechenfalls 11 nur im Nahbereich des angesetzten erhöhten Wertach-Austauschs von denen des Rechenfalls 3 unterscheiden. Mit der Entfernung von diesem Bereich decken sich die Grundwasserisolinien beider Rechenfälle zunehmend. Auch die dargestellten Randzu- und -abströme beider Rechenfälle sind - abgesehen von der o.g. Verminderung um 96,3 l/s im Zustrom im Wertachtal - nahezu gleich.

#### **Rechenfall 12** (Teil 2, Anlage 4.5)

Der Rechenfall 12 entspricht dem Eichfall/Rechenfall 3 für ca. Niedrigwasserverhältnisse und hinsichtlich der Versickerung von Wertachwasser ins Grundwasser einerseits und der Reuzierung des Grundwasserzustroms andererseits um 96,3 l/s dem Rechenfall 11. Vom Rechenfall 11 unterscheidet er sich dadurch, dass die  $k_f$ -Verteilung wie im Eichfall/ Rechenfall 1 verwendet und nicht die in RF09 beschriebene lokale  $k_f$ -Variation übernommen wurde.

Die Darstellung des Rechenfalls 12 in Teil 2, Anlage 4.5 zeigt erneut, dass sich die Grundwasserstände des Rechenfalls RF12 nur im Nahbereich des angesetzten erhöhten Wertach-Austauschs von denen des Rechenfalls 3 unterscheiden. Mit der Entfernung von diesem Bereich decken sich die Grundwasserisolinien beider Rechenfälle zunehmend. Auch die dargestellten Randzu- und -abströme beider Rechenfälle sind - abgesehen von der o.g. Verminderung um 96,3 l/s im Zustrom im Wertachtal - wiederum nahezu gleich.

### 5.3 Gesamtbeurteilung möglicher Wechselwirkungen der Wertach mit dem Grundwasser

In Teil 2, Anlagen 4.2 bis 4.5 sind u. a. die Grundwasserisolinien für den Fall mit und ohne Austausch von Wertachwasser/Grundwasser in unterschiedlichen Farben dargestellt. Wie bei den einzelnen Rechenfällen erläutert, zeigt sich, dass außerhalb des Wertach-Nahbereichs quasi Deckungsgleichheit der Isolinien besteht, was den hohen Grad der Übereinstimmung jeweils beider Fälle belegt. Trotz des jeweils angesetzten relativ hohen Austauschs zwischen Wertach und Grundwasser ergeben sich in den für die Schutzgebietsermittlung relevanten Bereichen keine wesentlichen Änderungen der Grundwasserströmung. Ein Austausch des Grundwassers mit der Wertach in den angesetzten Mengen von 380 l/s bei Mittelwasser und 96 l/s bei Niedrigwasser im Abschnitt von der Kreisstraße OAL 7 bis zur B12 ist demnach hydraulisch möglich.

Oberhalb der OAL 7 (außerhalb des Modellraums) zeigen die Abflussmessergebnisse vom Oktober 2007 und Januar 2008 vergleichsweise deutlich, dass dort Grundwasser in die Wertach übertreten dürfte. Ursache ist wahrscheinlich eine Verengung des Abflussquerschnitts in der Hauptkiesrinne. Die Größenordnung reicht bis etwa 20 % der an den Messtagen gegebenen Abflüsse von etwa 4 bis 5 m<sup>3</sup>/s.



Dr. Jürgen Schaar  
(Math.-Geogr.)



Dr. Klaus März  
(Dipl.-Geol.)