



**Regierungspräsidium Karlsruhe  
Abteilung 5, Referat 53.1**



## **Polder Bellenkopf / Rappenwört**

### **Anlage zur Synopse Nr. 9**

Abgleich der Grundwassermodelle „Polder  
Bellenkopf/Rappenwört“ und „Wasserwerk Kastenwört“



**November 2015**

## **Polder Bellenkopf/Rappenwört**

### **Abgleich der Grundwassermodelle „Polder Bellenkopf/Rappenwört“ und „Wasserwerk Kastenwört“**

Im Untersuchungsraum des Polders Bellenkopf/Rappenwört liegen zwei Grundwassermodelluntersuchungen vor. Dies ist das Grundwassermodell für den Polder Bellenkopf/Rappenwört und das Grundwassermodell der Stadtwerke Karlsruhe für das geplante Wasserwerk Kastenwört. Während beim Grundwassermodell für den Polder Bellenkopf/Rappenwört Fragestellungen im Zusammenhang mit Hochwasserereignissen und den lokalen Auswirkungen auf das Grundwasser im Vordergrund stehen, wurde das Grundwassermodell der Stadtwerke Karlsruhe für großräumige und langfristige Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Betrieb des geplanten Wasserwerks aufgebaut.

Beide Modelle wurden mit den vorhandenen Daten und Informationen bestmöglich aufgebaut und unabhängig von einander an die natürlichen Verhältnisse angepasst. Damit liegen zwei unabhängige Interpretationen für die hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsraum vor. Im Zusammenhang mit der Erarbeitung der Antragsunterlagen für den Polder Bellenkopf/Rappenwört und dem Wasserwerk Kastenwört wurde ein Modellvergleich der beiden Grundwassermodelle durchgeführt, um die unabhängigen Modellergebnisse der beiden Modelle zu überprüfen.

Bei diesem Modellvergleich wurden die wesentlichen Modelleingangsgrößen und auch Ergebnisse der beiden Grundwassermodelle verglichen. Es hat sich gezeigt, dass die Durchlässigkeitsstrukturen weitestgehend übereinstimmen. Ebenso stimmen die Bilanzsummen des Austausches mit dem Rhein und den oberirdischen Gewässern sowie der Zustrom von der Niederterrasse sehr gut überein. Auch die prognostizierten Absenkungen und der Anteil an rheinbürtigem Wasser an den geplanten Trinkwasserbrunnen weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf.

Von den Stadtwerken Karlsruhe wurde der Vergleich der beiden Modelle im Modellbericht für das Wasserwerk Karlsruhe unter Kapitel 5.2 dokumentiert. Das entsprechende Kapitel ist in Anhang 1 beigelegt. Die Erkenntnisse zur Übereinstimmung der wesentlichen Modelleingangsdaten und Modellergebnisse basieren auf dem kup-Bericht A297-2 (2008), in dem ein detaillierter Modellvergleich zwischen den beiden Modellen durchgeführt wurde. Dieser Bericht ist als Anhang 2 beigelegt.

Mit diesem Modellvergleich, der umfangreichen Kalibrierung zwischen 1999 und 2006 sowie der Aktualisierung bis Ende 2013 sind alle Anforderungen eines belastbaren und prognosefähigen Grundwasserbewirtschaftungsmodells im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W107 gegeben. Dieses Arbeitsblatt des DVGW ist als technische Regel für die Erstellung von Grundwassermodellen zu verstehen und besitzt bundesweit Gültigkeit. Der Nachweis der Einsetzbarkeit des Grundwassermodells Bellenkopf/Rappenwört für die Dimensionierung der Schutzmaßnahmen ist deshalb vollumfänglich gegeben.

Darüber hinaus verweisen wir auf die Stellungnahme des LGRB zum Polder Bellenkopf/Rappenwört S. 2 / Grundwasser, 2. Absatz:

*„Die zugrundeliegende Grundwassermodellierung (Anlage 6) wurde nochmal verbessert (Modellauflösung verfeinert und Modell angepasst) und der Vergleichszeitraum zur Modellprüfung bis 2013 verlängert. Zusätzlich wurden weitere Varianten für Schutzmaßnahmen für den Bereich Neuburgweier betrachtet. Aus hydrogeologischer Sicht spielen die in der Modellierung zugrunde gelegten Annahmen den derzeitigen Kenntnisstand bestmöglich wider und die Berechnungen erscheinen plausibel und nachvollziehbar.“*

Insbesondere die plausible und nachvollziehbare Modellbearbeitung und Dokumentation ist auch nach dem Arbeitsblatt W107 des DVGW eine wichtige Grundlage für ein Grundwassermodell, das nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik entwickelt wurde.

Stuttgart, den 06.11.2015



(Dr.-Ing. U. Lang)

## **Anhang 1:** Kapitel 5.2 des Modellberichts für das Wasserwerk Karlsruhe: Verifizierung anhand des Grundwassermodells Bellenkopf-Rappenwört

*„Zur Prognose der Grundwasserbeeinflussung durch den geplanten Retentions-raum Bellenkopf-Rappenwört wurde von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (Stuttgart) ein dreidimensionales numerisches Grundwassermodell erstellt und instationär anhand der Verhältnisse der Grundwasserströmung zwischen dem 01.01.1999 und dem 28.05.2001 kalibriert (Lang et. al 2004). Das zugehörige Modellgebiet weist eine deutlich geringere Ausdehnung auf als das Grundwassermodell Karlsruhe und ist auf die Rheinniederung und einen Streifen der angrenzenden Niederterrasse beschränkt.*

*Zum Vergleich der beiden Grundwassermodelle wurden zunächst die Durchlässigkeitsverteilungen betrachtet und dabei weitgehende Übereinstimmungen festgestellt. Lediglich im Bereich der geplanten Brunnen wurden geringfügige Unterschiede deutlich. Infolge der Verifizierung anhand des Pumpversuchs „Kastenwört“ im Jahr 1989 (vgl. Abschnitt 5) kann jedoch das Grundwassermodell Karlsruhe besonders in diesem Bereich als gut abgesichert angesehen werden.*

*Weiterhin wurde der Austausch mit dem Rhein und den oberirdischen Gewässern sowie der Zustrom von der Niederterrasse von beiden Modell bilanziert und verglichen. Dabei waren bei einzelnen Abschnitten zwar Unterschiede zu erkennen, bei den Bilanzsummen der Zu- und Abflüsse lagen jedoch sehr gute Übereinstimmungen vor. Weitere Vergleiche wurden für die berechneten Absenkungen und die Anteile des Grundwassers aus rheinseitigen Oberflächengewässern bei Be-trieb des Wasserwerks Kastenwört angestellt. Auch hierbei ergaben sich sehr gute Übereinstimmungen sowohl im Betrag und der räumlichen Ausdehnung der Absenkung als auch den Grundwasseranteilen aus rheinseitigen Oberflächengewässern. Die genauen Vergleichsdaten sind im Bericht des Ingenieurbüros Prof. Kobus und Partner GmbH enthalten (Lang & Pfäfflin 2006).*

*Auch aus dem Vergleich mit dem Grundwassermodell Bellenkopf-Rappenwört wird die Eignung des Grundwassermodells Karlsruhe zur Durchführung von Prognose-rechnungen für das geplante Wasserwerk Kastenwört zusätzlich deutlich.“*

**Anhang 2:** kup-Bericht A297-2: Vergleich der Grundwassermodellergebnisse:  
Grundwassermodell der Stadtwerke und Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört

## **Vergleich der Grundwassermodellergebnisse: Grundwassermodell der Stadtwerke und Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört**

Auftraggeber:                    Regierungspräsidium Karlsruhe

Auftragsnummer:                A297

Berichtsnummer:                A297-2

Bearbeitung:                    Dr.-Ing. U. Lang (Projektleiter)  
   Dipl.-Ing. H. Pfäfflin

Datum:                             30.06.2008

Inhalt:

1. Übersicht
2. Vergleich der Modelleingangs- und Eichdaten
3. Vergleich der Zu- und Abflüsse über den östlichen Modellrand und die oberirdischen Gewässer
4. Vergleich der Piezometerhöhen und Absenkungen infolge Grundwasserentnahme durch die Stadtwerke von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr
5. Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus Oberflächengewässern
6. Modellrechnungen mit Flutung des Retentionsraumes
7. Zusammenfassung

## 1. Übersicht

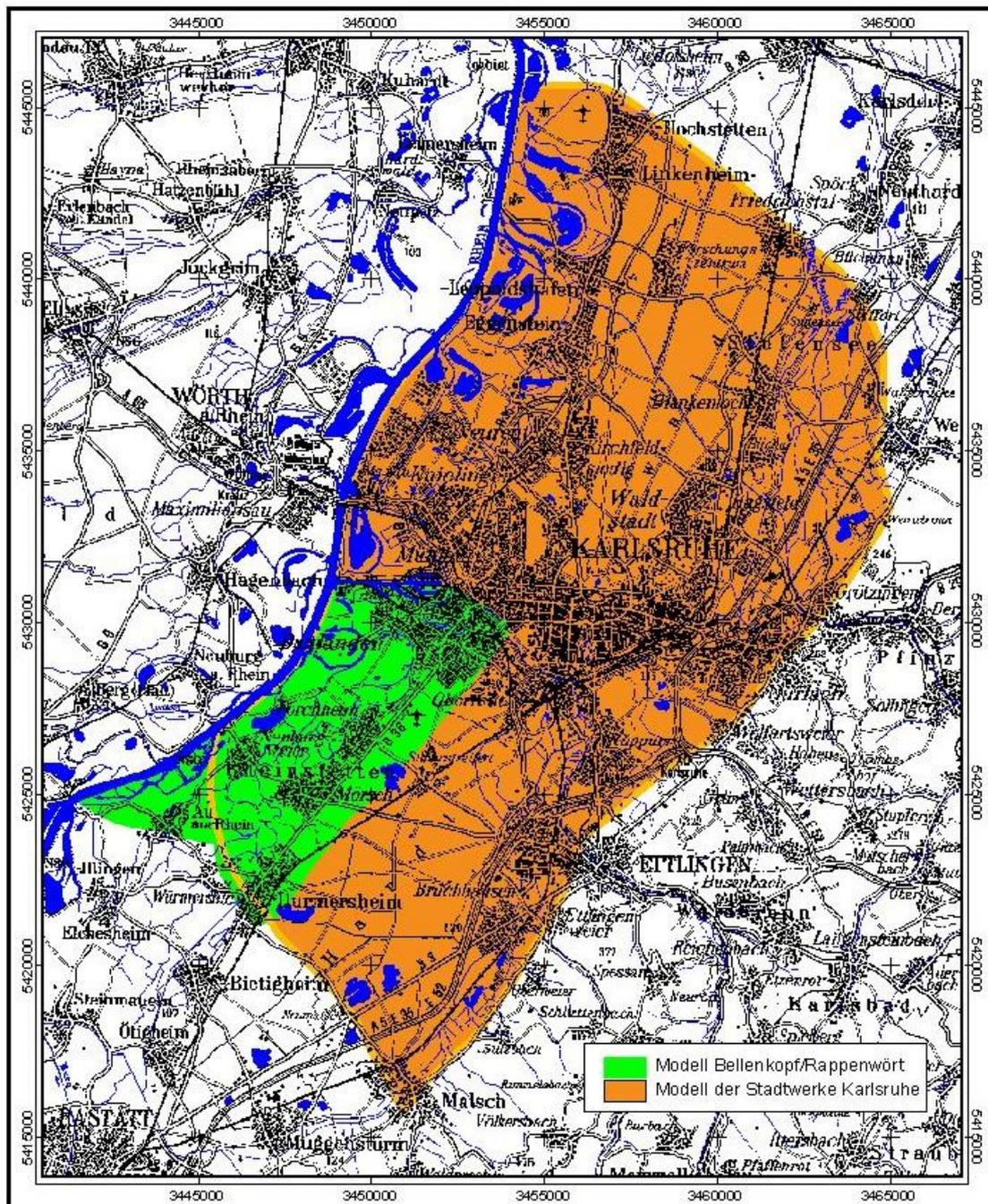
Das Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört wurde für die Prognose der Grundwasserverhältnisse bei Flutung des Retentionsraumes Bellenkopf/Rappenwört dreidimensional aufgebaut. Das Modell wurde anhand der instationären Verhältnisse zwischen 01.01.1999 und 28.05.2001 anhand der verfügbaren Grundwasserstandsganglinien geeicht.

Von den Stadtwerken Karlsruhe wurde ein zweidimensionales Grundwassermodell für die Fragestellungen im Zusammenhang mit der geplanten Grundwasserentnahme in Kastenwört erstellt. Das Grundwassermodell wurde instationär für den 30-Jahreszeitraum 1960 bis 1990 geeicht.

Die Ausdehnung der beiden Modellgebiete ist in **Abb. 1** dargestellt. Das Modellgebiet der Stadtwerke Karlsruhe ist deutlich größer als das Gebiet des Grundwassermodells Bellenkopf/Rappenwört. Dies ist notwendig, da sich die Prognoserechnungen für die Entnahme in Kastenwört auf Wasserbilanzfragestellungen in vergleichsweise langen Zeiträumen (quasi stationär) beziehen, bei denen auch die umliegenden Entnahmen berücksichtigt werden müssen. Die Prognoserechnungen für den Retentionsraum betreffen im Hinblick auf die Strömung nur einen vergleichsweise kurzen Zeitraum, während der Flutung des Retentionsraumes. Das bedeutet, dass sich die Piezometerhöhenänderungen infolge Flutung des Retentionsraumes nur innerhalb der Rheinniederung abspielen.

Beide Modelle wurden mit den vorhandenen Daten und Informationen bestmöglich aufgebaut und unabhängig von einander an die natürlichen Verhältnisse angepasst. Bei der Modellanpassung wurden die Durchlässigkeitsverhältnisse und die Leakagekoeffizienten an den Oberflächengewässern ermittelt. Aufgrund der unterschiedlichen Bearbeitung und Fragestellungen für die beiden Modelle sind die ermittelten Parameterverteilungen auch unterschiedlich.

Mit beiden Modellen wurden vergleichende Betrachtungen durchgeführt, um den Anteil an Grundwasser aus rheinseitigen Oberflächengewässern in der Entnahme der Stadtwerke ohne den Retentionsraum zu ermitteln. Im Grundwassermodell der Stadtwerke wurde der mittlere rheinseitige Zustrom von oberirdischem Wasser aus einer instationären Simulation über 11,6 Jahre zu 10,2 % bestimmt. Im Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört liegt der rheinseitige Zustrom von oberirdischem Wasser für einen stationären Datensatz mit hydrologischen Verhältnissen gemäß Anfang 1999 bei 5%.



**Abb. 1:** Lage der Modellgebiete Bellenkopf/Rappenwört und Stadtwerke Karlsruhe

Der Grund für diese Unterschiede wurde gemeinsam von den Stadtwerken Karlsruhe und der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner untersucht. Dazu wurden die Vorgehensweise und die Zwischenergebnisse auf den beiden Besprechungen am 17.02.2006 und 28.04.2006 diskutiert und die Ergebnisse im vorliegenden Bericht zusammengefasst. In beiden Modellen wurden die sich unterscheidenden Randbedingungen und Systemgrößen variiert. Als Ergebnis der Betrachtung kann festgehalten werden, dass die Unterschiede in den hydrologischen Situationen und

damit in den Vorflutverhältnissen des Rheins liegen. Während bei den Berechnungen der Stadtwerke die Verhältnisse über 11,6 Jahre gemittelt wurden, wurden die Betrachtungen von kup für Januar 1999 durchgeführt. In diesem Fall liegt der Rheinwasserspiegel ca. 0,4 m tiefer als bei Mittelwasserverhältnissen. Nachfolgend wurden nun Modellrechnungen mit einem um 0,4 m erhöhten stationären Rheinwasserspiegel durchgeführt und diese Ergebnisse mit denen der Stadtwerke verglichen. Die Berechnungen wurden für eine Entnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr durchgeführt.

## 2. Vergleich der Modelleingangs- und Eichdaten

Wie die Untersuchungen gezeigt haben ist der wesentliche Parameter für den Anteil an rheinseitigem Grundwasser der Wasserspiegel im Rhein, der abhängig von den hydrologischen Verhältnissen schwankt. Darüber hinaus liegen Unterschiede aufgrund der Konzeption der Modelleingangs- und Eichdaten sowie aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungen vor. Diese Unterschiede lassen sich wie folgt benennen und hinsichtlich der Ergebnisse bewerten:

- **Dimensionalität:** Das Modell der Stadtwerke ist zweidimensional. Das Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört ist dreidimensional. Hinsichtlich der Beschreibung der natürlichen hydraulischen Verhältnisse ergeben sich keine Unterschiede in den Ergebnissen, da keine dominante hydraulische Trennung zwischen den Grundwasserstockwerken vorliegt. Dasselbe gilt für die Absenkungen bei Wasserwerksbetrieb und für die rheinseitige Zuströmung von Grundwasser aus oberirdischen Gewässern. Im Falle der Flutung des Retentionsraumes ist die vertikale Differenzierung beim Transport von Wasser aus dem Retentionsraum wichtig. Für die Piezometerhöhen spielt die vertikale Differenzierung eine untergeordnete Rolle.
- **Ausdehnung:** Das Modell der Stadtwerke ist deutlich größer als das Modell Bellenkopf/Rappenwört. Das Modell der Stadtwerke umfasst das gesamte Einzugsgebiet der geplanten Brunnen. Um die langfristigen Wasserbilanzfragestellungen bearbeiten zu können, ist diese große Ausdehnung notwendig. Dies ist nicht mit dem Modell Bellenkopf/Rappenwört möglich.
- **Gewässernetz:** Das Gewässernetz ist aufgrund der unterschiedlichen Skalen der Modelle in der Auflösung verschieden. So sind die kleinen Gräben des inneren und äußeren Kastenwört nur im Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört vorhanden. Der Vergleich der Abflussbilanzen in den Gewässern und Gräben hat gezeigt, dass die Vorflutwirkung der Gräben des inneren und äußeren Kastenwört im Modell der Stadtwerke durch den Federbach selbst übernommen wird. Dadurch hat dieser Unterschied nur eine untergeordnete Bedeutung für die lokale Wasserbilanz und die lokalen Piezometerhöhenverhältnisse.
- **Durchlässigkeiten und Leakagefaktoren:** Die Durchlässigkeiten und Leakagefaktoren der Oberflächengewässer wurden im Rahmen der Modellanpassung unabhängig bei den Stadtwerken und bei kup bestimmt. Die resultierende Durchlässigkeitsverteilung ist in beiden Modellen sehr ähnlich.

Generell nehmen die Durchlässigkeiten vom Hochgestade bis zur Rheinniederung zu. Die Bandbreite der ermittelten Durchlässigkeiten beträgt ca. eine Zehnerpotenz. Lediglich im Bereich der geplanten Brunnen ist die Durchlässigkeit im Modell Bellenkopf/Rappenwört lokal um den Faktor 3 größer als im Modell der Stadtwerke. Auf die generellen Strömungsverhältnisse hat dieser Unterschied keine Auswirkungen. Inwieweit sich Unterschiede beim Betrieb der Brunnen ergeben wurde nachfolgend untersucht.

### 3. Vergleich der Zu- und Abflüsse über den östlichen Modellrand und die oberirdischen Gewässer

Zunächst wurden die Zuflüsse über den östlichen Modellrand, der Austausch mit dem Rhein und der Abfluss in die oberirdischen Gewässer zwischen den beiden Modellen miteinander verglichen, um mögliche Unterschiede zu identifizieren. Dazu erfolgte eine Bilanzierung entsprechend den Abschnitten in **Abb. 2**.

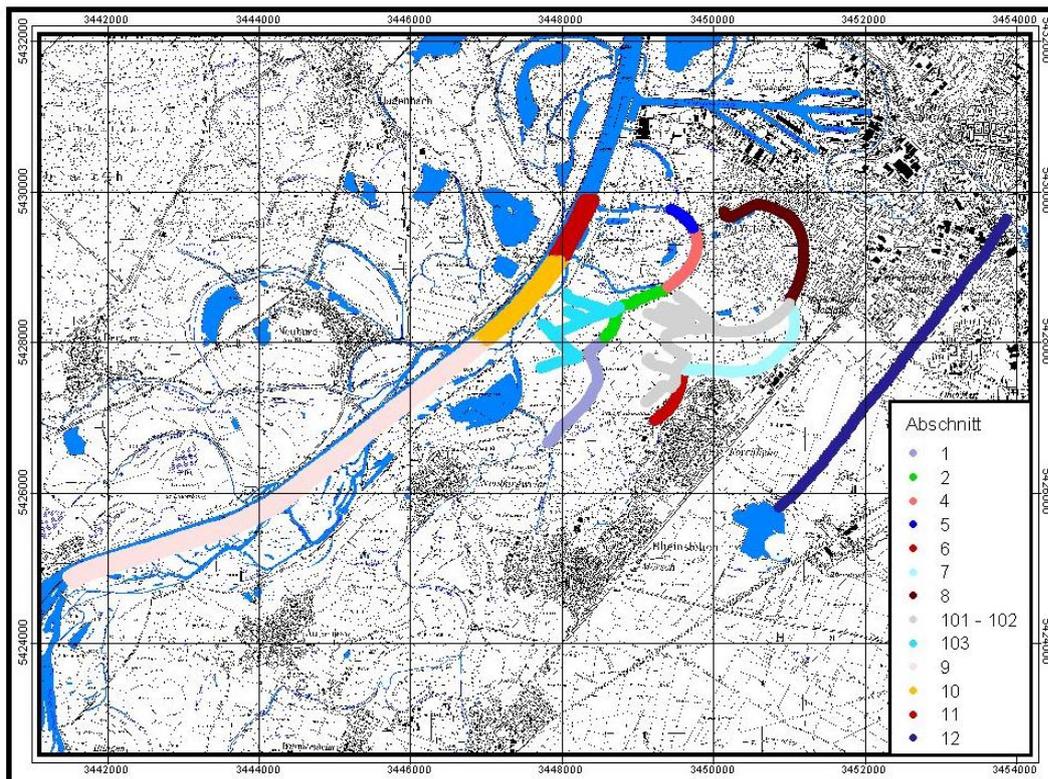
In **Tabelle 1** sind die Zuflüsse über den östlichen Modellrand (Abschnitt 12) und den Rhein (Abschnitte 9 bis 11) sowie die Abflüsse in die oberirdischen Gräben (Abschnitte 1 bis 8) dargestellt. Für beide Modelle wurde jeweils ein Rechenlauf ohne Entnahme der Stadtwerke und ein Rechenlauf mit einer Entnahme der Stadtwerke von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr durchgeführt.

Tab. 1: Vergleich der Zu- und Abflüsse über die Bilanzierungsbereiche gemäß Abb. 2 in m<sup>3</sup>/s

Abschnitt	Ohne Entnahme		Entnahme STW 7,4 Mio. m <sup>3</sup> /a	
	Modell STW	Modell kup	Modell STW	Modell kup
1	-0,104	-0,068	-0,048	-0,026
2 (103)	-0,041	-0,017 (-0,026)	-0,010	0,000 (-0,012)
4	-0,026	-0,095	-0,008	-0,067
5	-0,014	-0,057	-0,010	-0,045
6	-0,024	-0,009	-0,002	0,001
7 (101 + 102)	-0,153	-0,052 (-0,060)	-0,121	-0,042 (-0,034)
8	-0,085	-0,050	-0,077	-0,048
9	0,049	-0,024	0,050	-0,020
10	0,026	0,056	0,030	0,062
11	0,035	0,052	0,037	0,057
12	0,273	0,281	0,277	0,287
Summe Zuflüsse	0,383	0,389	0,394	0,407
Summe Abflüsse	-0,447	-0,458	-0,276	-0,294

Die in Klammern aufgeführten Abschnitte existieren nur im Modell kup.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht unterscheiden sich die mit den beiden Modellen berechneten Zu- bzw. Abflüsse in einzelnen Abschnitten. Dies ist mit der unterschiedlichen Bearbeitung insbesondere bei der Modellanpassung zu erklären. Vergleicht man dagegen die jeweiligen Summen der Zu- bzw. Abflüsse, so zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Modelle. Sehr deutlich wird auch die Auswirkung der geplanten Entnahme von 7,4 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr in der summarischen Bilanz. Die geplante Entnahme von 7,4 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr (entspricht 0,235 m<sup>3</sup>/s) vermindert im Wesentlichen den Abfluss in die oberirdischen Gewässer.



**Abb. 2:** Abschnitte für die Auswertung der Zu- bzw. Abflüsse

#### 4. Vergleich der Piezometerhöhen und Absenkungen infolge Grundwasserentnahme durch die Stadtwerke von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr

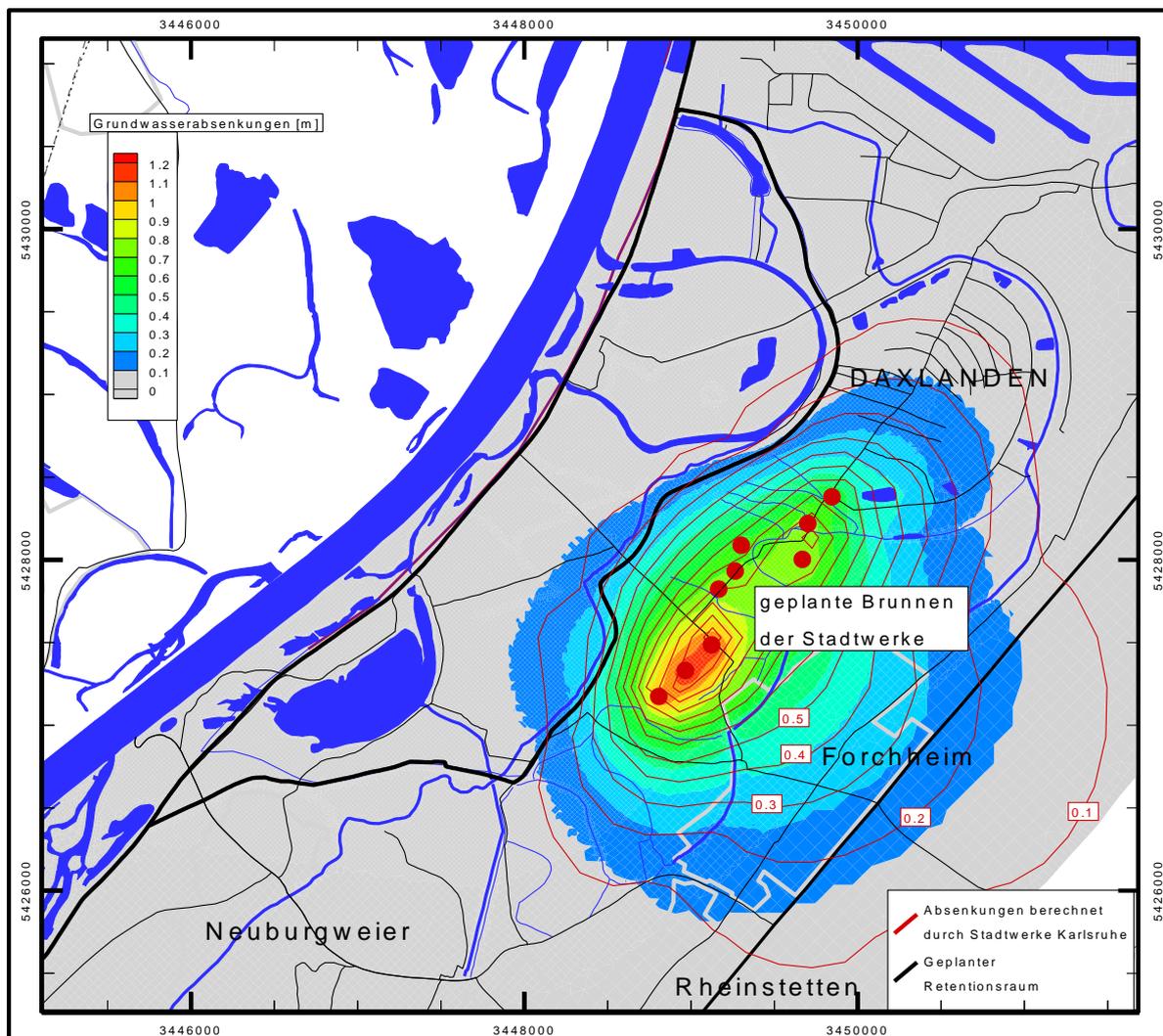
Um die Piezometerhöhenverhältnisse beim Betrieb der Wasserwerksbrunnen zu untersuchen, wurden im Modell Bellenkopf/Rappenwört stationäre Modellrechnungen unter Berücksichtigung der Grundwasserentnahme in Kastenwört durchgeführt. Dabei wurde ein mittlerer Rheinwasserspiegel angesetzt. Der Retentionstraum ist dann nicht in Betrieb. Bei den stationären Modellrechnungen wurden die optimierten Brunnenstandorte verwendet und die Verteilung der Entnahmeraten wie folgt angesetzt:

- Brunnen 1-3 jeweils 12,3 % der Gesamtentnahme
- Brunnen 4-6 jeweils 3 % der Gesamtentnahme

- Brunnen 7-9 jeweils 18 % der Gesamtentnahme

Die sich daraus ergebenden Absenkungen im Bereich der Entnahmebrunnen sind in **Abb. 3** zusammen mit den berechneten Absenkungen der Stadtwerke Karlsruhe dargestellt. Die generelle Form der Absenkungsverteilung ist in beiden Modellrechnungen sehr ähnlich. In beiden Modellen liegt der Schwerpunkt der Absenkungen im Bereich der 3 südlichen Brunnen, an denen ca. die Hälfte der Gesamtentnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr entnommen werden. Die maximale Absenkung beträgt in beiden Modellen 1,2 m.

Die Absenkungslinie von 0,1 m ist in Richtung Rhein bei beiden Modellen sehr ähnlich, in östlicher Richtung reicht die Absenkungslinie des Stadtwerke Modells etwas weiter. Dies ist mit dem vergleichsweise nahe an den Brunnen liegenden Rand im Modell Bellenkopf/Rappenwört zu erklären. Durch die Festpotentialrandbedingung wird die Ausdehnung der Absenkung bis unter das Hochgestade behindert. Sensitivitätsuntersuchungen mit einer Zuflussrandbedingung für den östlichen Modellrand haben gezeigt, dass damit die Reichweite der Absenkungen eher überschätzt wird. Zusammenfassend lässt sich aber feststellen, dass trotz der Modellunterschiede eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beiden Modellen vorliegt.

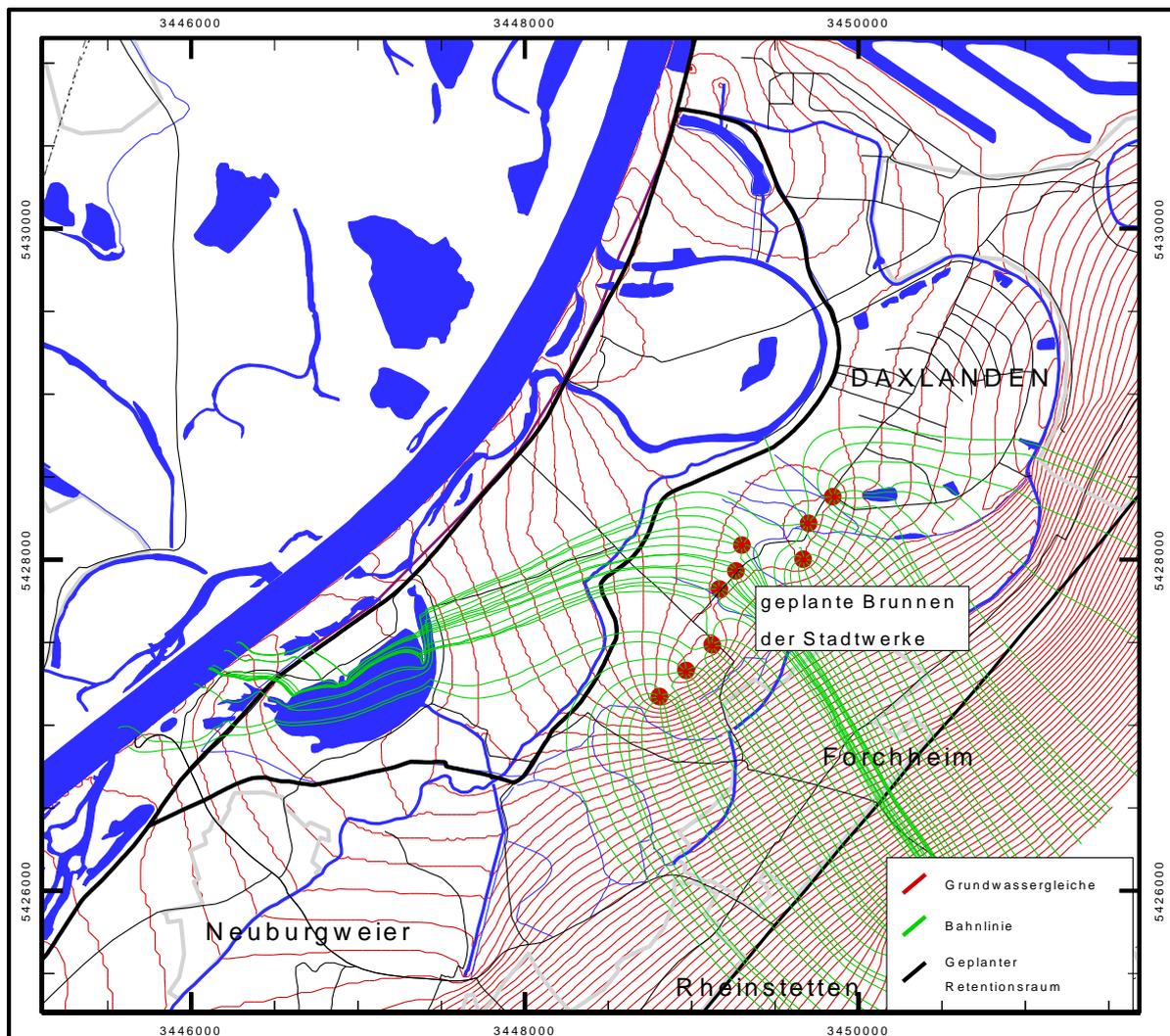


**Abb. 3:** Berechnete Absenkungen für eine Entnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr; Isoflächen: Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört; Isolonien: Grundwassermodell der Stadtwerke Karlsruhe

## 5. Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus Oberflächengewässern

Mit Hilfe der stationären Strömungsverteilung beim Betrieb der Wasserwerksbrunnen und mittleren Rheinwasserständen wurde der Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus Oberflächengewässern bestimmt. Dazu wurden die Gewässer mit einer Konzentration von 1,0 markiert und der Transport über mehrere Jahre berechnet bis sich quasi stationäre Zuflusskonzentrationen an den Wasserwerksbrunnen ergeben haben. Dies ist nach ca. 6 bis 8 Jahren der Fall. Dann stellt sich ein Anteil von 11% ein, der von den rheinseitigen oberirdischen Gewässern stammt. Dieser Anteil stimmt vergleichsweise gut mit den Ergebnissen der Stadtwerke überein. Von den Stadtwerken wurde ein Anteil von 10,2 % bestimmt.

Die Zuströmung zu den Stadtwerkebrunnen ist anhand von Bahnlinienbetrachtungen ausgewertet worden. Diese sind in **Abb. 4** dargestellt. Dabei wurden die Bahnlinien entgegen der Strömungsrichtung mit dem stationären Modell berechnet. Bei der Darstellung in Abb. 4 ist zu beachten, dass die Anzahl der Bahnlinien keine Information über die Zuflussgröße aus einem Teilbereich gibt.



**Abb. 4:** Berechnete Bahnlinien von den Brunnen der Stadtwerke entgegengesetzt der Grundwasserströmung

Die rheinseitige Zuströmung zu den Wasserwerksbrunnen ergibt sich hauptsächlich aus dem Bereich des Fermasees. Da die Grundwassergleichen auch beim Betrieb der Wasserwerksbrunnen fast senkrecht zum Rhein verlaufen, stammt das Rheinwasser in den Wasserwerksbrunnen aus dem südlichen Teil.

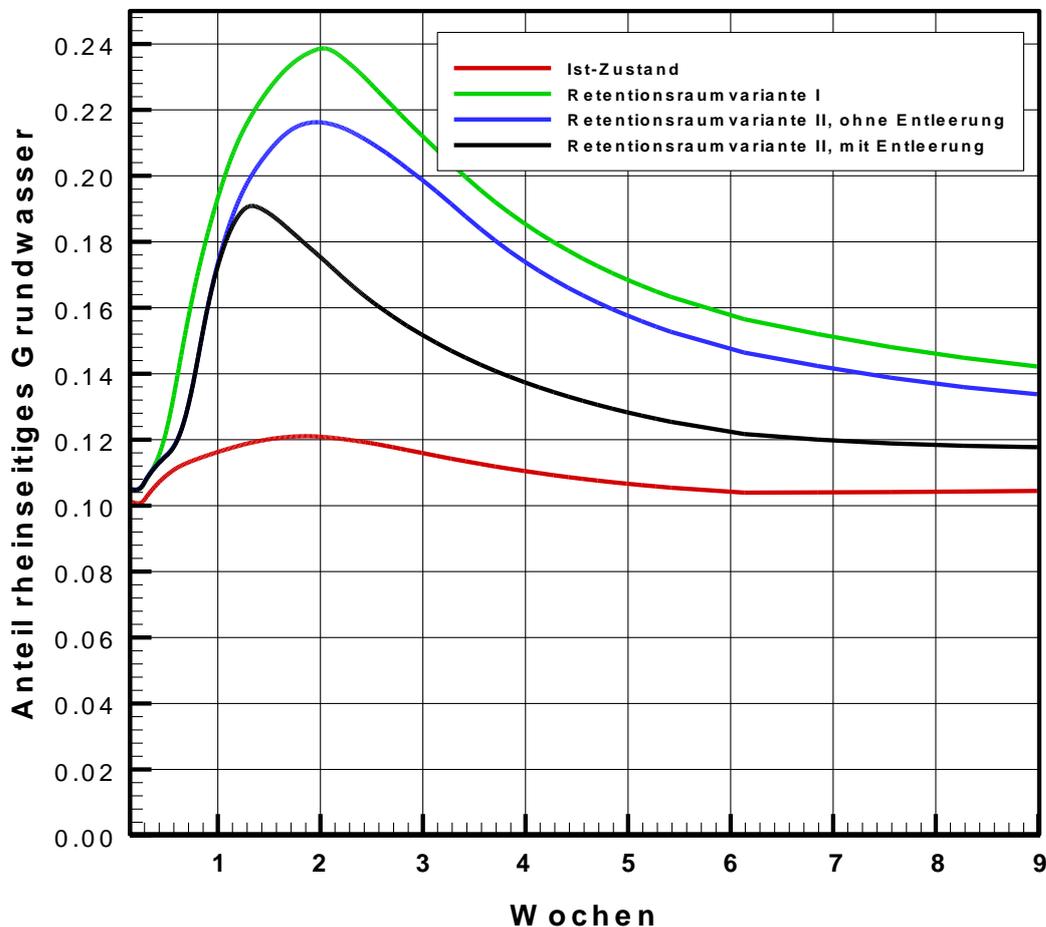
## 6. Modellrechnungen mit Flutung des Retentionsraumes

Mit den stationären Modellrechnungen bei mittleren Rheinwasserständen konnte aufgezeigt werden, dass sich der Unterschied in dem rheinseitigen Anteil an Grundwasser aus oberirdischen Gewässern nur anhand der Wasserspiegel im Rhein ergibt. Im instationären Fall werden die Wasserstände im Rhein anhand der gemessenen Verhältnisse vorgegeben, so dass die Untersuchungsergebnisse zum rheinseitigen Anteil an Grundwasser aus oberirdischen Gewässern keinen Einfluss auf die Strömungsberechnungen mit Retentionsraum haben.

Im Hinblick auf den Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern spielt nicht nur die Grundwasserströmung eine wichtige Rolle, sondern auch die dreidimensionale Anfangsverteilung für die Transportrechnung. Bei den bisherigen Berechnungen wurde eine Anfangsverteilung mit stationären hydrologischen Verhältnissen gemäß Januar 1999 angesetzt. Nun wurden die Berechnungen mit einer Anfangsverteilung für mittlere Rheinwasserstände wiederholt, um die Sensitivität der Anfangsverteilung zu untersuchen.

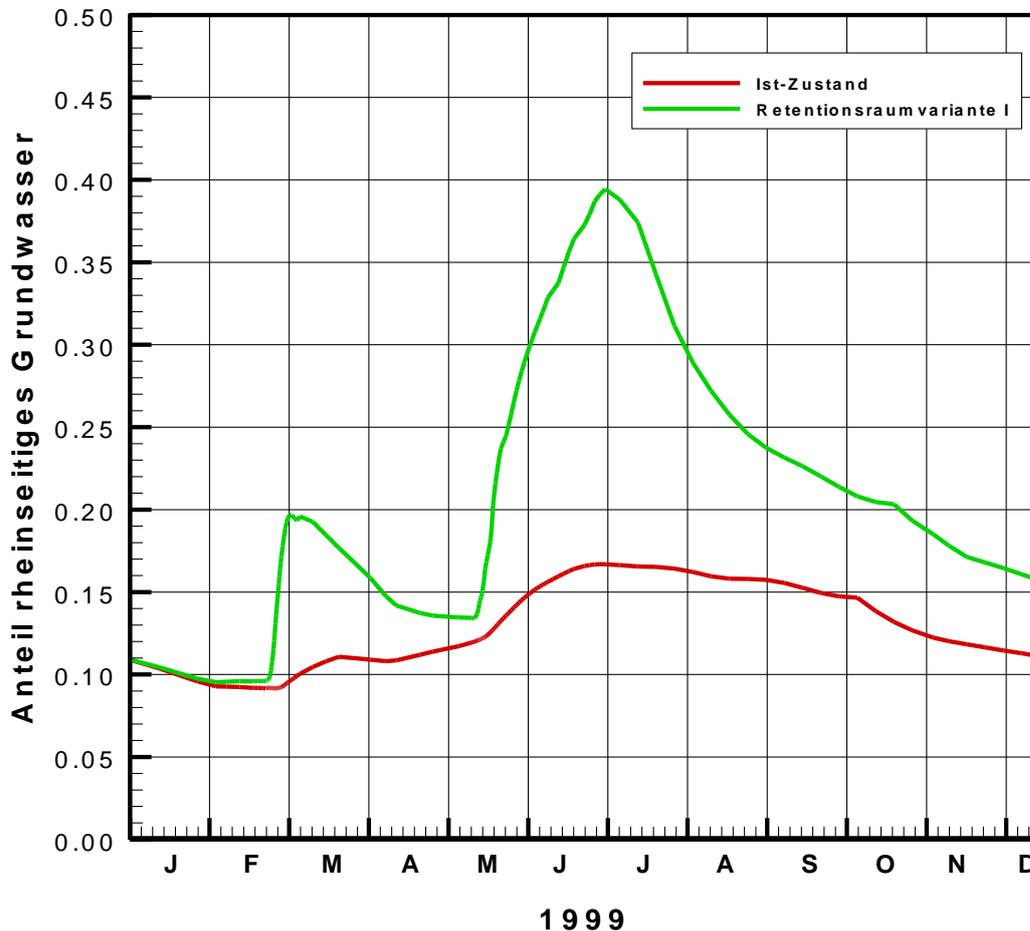
Die Ergebnisse der Modellrechnungen für das Bemessungshochwasser sind in **Abb. 5** dargestellt. Bei der derzeitigen Situation wird im Falle des Bemessungshochwassers 10 bis 12 % rheinseitiges Grundwasser aus oberirdischen Gewässern entnommen. Wie bei den bisherigen Berechnungen ergibt sich der größte Anteil bei Retentionsraumvariante I. Der Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern verdoppelt sich gegenüber der Ist-Situation. Der gesteuerte Retentionsraum ohne eine Entleerung über den Rheinhafen ist im Hinblick auf die Beeinflussung der Wasserwerkentnahme etwas günstiger als Retentionsraumvariante I zu bewerten. Die geringsten Beeinflussungen ergeben sich für Retentionsraumvariante II mit einer Entleerung über den Rheinhafen. Die Erhöhung des rheinseitigen Anteils an Grundwasser aus oberirdischen Gewässern beträgt dann nur noch 60 %.

Bei den Modellrechnungen für das Bemessungshochwasser lässt sich festhalten, dass wie bei den bisherigen Modellergebnissen (siehe kup-Bericht A175-1) sich der Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern durch den Retentionsraum maximal verdoppelt. Der maximale Anteil an rheinseitigem Grundwasser beträgt bei Retentionsraumvariante I 24%. Im Hinblick auf die Wasserversorgung ist diese Variante am ungünstigsten zu bewerten.



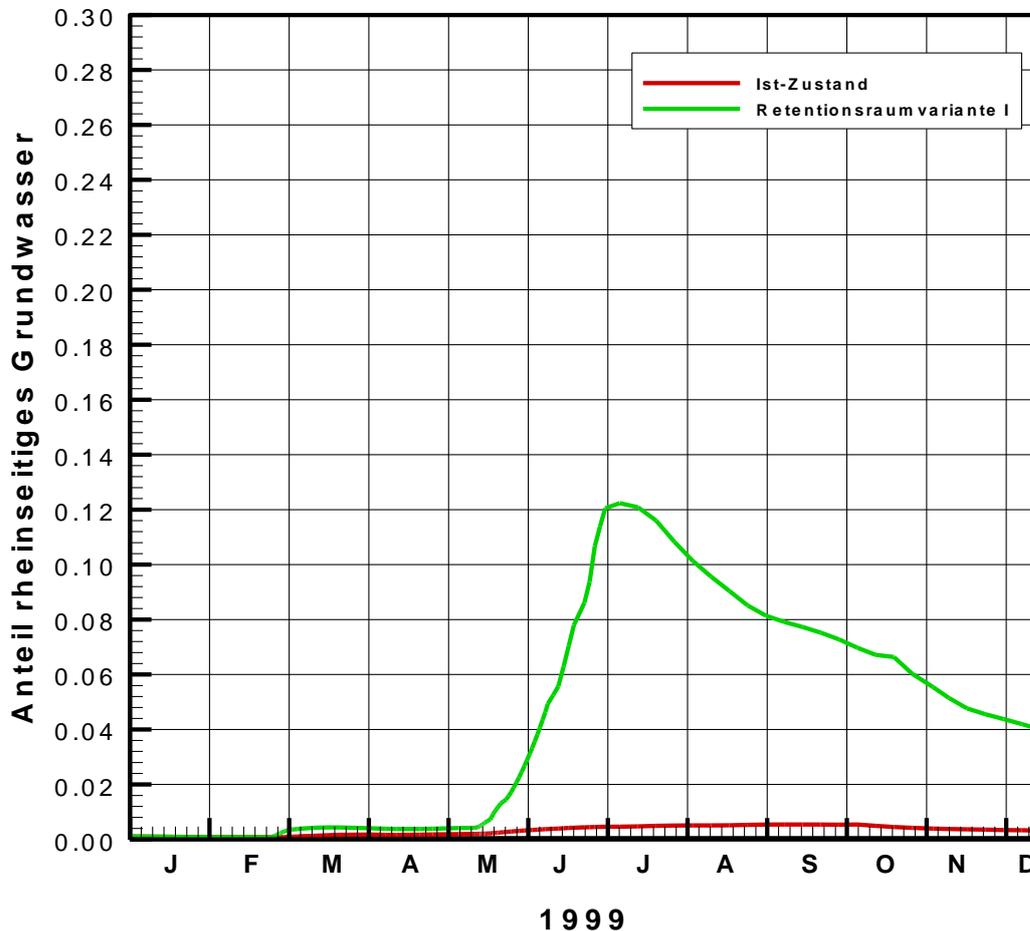
**Abb. 5:** Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern für den Ist-Zustand, die Retentionsraumvariante I und II sowohl mit als auch ohne Entleerung über den Rheinhafen

Mit der neu berechneten Anfangsverteilung für die Transportsimulation zur Bestimmung des rheinseitigen Anteils an Grundwasser aus oberirdischen Gewässern wurden auch die Modellrechnungen für das Jahr 1999 durchgeführt. Dabei wurde zunächst die Situation ohne Retentionsraum und mit einer Entnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr betrachtet. Der berechnete Anteil von rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern ist in **Abb. 6** dargestellt. Er schwankt zwischen 10 und 16%. Mit Berücksichtigung des Retentionsraumes als Dammrückverlegung erhöht sich der Anteil für das erste Hochwasser in derselben Größenordnung wie beim Bemessungshochwasser auf 20%. Das zweite Hochwasser zeigt wie bei den bisherigen Betrachtungen (siehe kup-Bericht A175-1) eine deutliche Erhöhung des rheinseitigen Anteils an Grundwasser aus oberirdischen Gewässern. Der maximale Anteil liegt knapp unter 40 % aufgrund des lang anhaltenden Mai Hochwassers im Jahr 1999.



**Abb. 6:** Berechnete Ganglinie der Entnahme von rheinseitigem Grundwasser, das aus oberirdischen Gewässern stammt, in den Brunnen der Stadtwerke (mit und ohne Retention) bei einer Entnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr

Neben den Rechnungen mit einer Entnahme von 7,4 pro Jahr m<sup>3</sup> durch die Stadtwerkebrunnen in Kastenwört wurde auch eine Jahresentnahme von 5,2 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr mit Hilfe des Modells untersucht. Die sich ergebenden Anteile an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern sind in **Abb. 7** dargestellt. Wird nur die Entnahme der Stadtwerke betrachtet, so ist der Anteil an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern mit weniger als 1% zu vernachlässigend. Bei Berücksichtigung des Retentionsraumes als Dammrückverlegung steigt der Anteil beim Hochwasser im Mai auf 12% an. Dies entspricht den bisherigen Ergebnissen aus dem Bericht A297-1.



**Abb. 7:** Berechnete Ganglinie der Entnahme von rheinseitigem Grundwasser, das aus oberirdischen Gewässern stammt, in den Brunnen der Stadtwerke (mit und ohne Retention) bei einer Entnahme von 5,2 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr

## 7. Zusammenfassung

Das Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört wurde mit dem Modell der Stadtwerke verglichen, um den Grund für die etwas unterschiedlichen Anteile an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern zu finden. Der Vergleich und die Variation der Unterschiede in den Modelleingangsdaten und der Modellkonzeption hat gezeigt, dass sich die unterschiedlichen Anteile an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern aus den im stationären Fall angesetzten Rheinwasserspiegeln ergeben. Während die instationären Untersuchungen der Stadtwerke über einen Zeitraum von 11,6 Jahre gemittelt wurden, wurden bei den stationären Berechnungen von kup die hydrologischen Verhältnisse zu Beginn des instationären Kalibrierungszeitraumes im Januar 1999

verwendet. Zu diesem Zeitpunkt liegen die Rheinwasserstände um ca. 0,4 m tiefer als bei Mittelwasserverhältnissen. Werden mittlere Rheinwasserstände angesetzt, so ergibt sich im Grundwassermodell Bellenkopf/Rappenwört ein rheinseitiger Zustrom von Grundwasser aus oberirdischen Gewässern von 11 %, der sehr ähnlich zu dem von den Stadtwerken bestimmten Anteil von 10,2 % ist.

Neben den Rheinwasserständen unterscheiden sich die Modelle in der horizontalen Ausdehnung, der vertikalen Auflösung (Modell der Stadtwerke 2D, Modell von kup 3D), der lokalen Durchlässigkeitsverteilung und dem Detaillierungsgrad des Gewässernetzes. Diese Unterschiede haben eine untergeordnete Bedeutung für die berechneten Piezometerhöhen. So werden in beiden Modellen in etwa dieselben Absenkungsverhältnisse beim Betrieb der Stadtwerkebrunnen simuliert.

Mit dem in der Sensitivitätsuntersuchung ermittelten rheinseitigen Anteil von 11% in den Stadtwerkebrunnen wurden instationäre Modellrechnungen für das Bemessungshochwasser und die beiden Hochwässer im Jahr 1999 durchgeführt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Retentionsraumvarianten sind dieselben wie bei den bisherigen Betrachtungen. Die größten Anteile an rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern ergeben sich für Retentionsraumvariante I. Die geringsten Anteile sind bei der gesteuerten Retention mit Entleerung über den Rheinhafen zu erwarten. Bei den Prognoserechnungen mit einer Entnahme von 7,4 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr und den hydrologischen Verhältnissen von 1999 sind die Auswirkungen durch eine Dammrückverlegung im Februarhochwasser ähnlich zu denen des Bemessungshochwassers. Wie in den bisherigen Untersuchungen auch, ergeben sich die größten Anteile von rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern beim extremen Maihochwasser 1999. Sie betragen dann kurzfristig 40%. Bei einer Entnahme von 5,2 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr sind die Auswirkungen durch den Retentionsraum bei kurzen Hochwässern wie im Februar 1999 oder bei dem Bemessungshochwasser zu vernachlässigen. Lediglich beim Extremereignis im Mai 1999 steigt der Anteil von rheinseitigem Grundwasser aus oberirdischen Gewässern auf 12% an.