

**BMBF-FORSCHUNGSVORHABEN**

**OPTIMIERUNG DES**

**GEBIETSWASSERHAUSHALTS**

**IN WASSERGEWINNUNGSGEBIETEN**

**- ENDBERICHT -**

Förderung:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Projekträger:



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



## BMBF-Forschungsvorhaben

### „Optimierung des Gebietswasserhaushalts in Wassergewinnungsgebieten“

#### - Endbericht -

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektträger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Projektlaufzeit: 1.3.01 – 30.6.04 (TP 1: Bewertungssysteme)

1.3.01 – 29.2.04 (TP 2: Optimierungs- und Grundwassermanagementsysteme)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den **Förderkennzeichen 02WA0111 und 02WA0112** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren.

Stuttgart, im Oktober 2004



Dr.-Ing. F. Haakh <sup>1</sup>



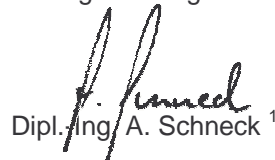
Dr.-Ing. U. Lang <sup>2</sup>



Dipl.-Ing. B. Keim <sup>2</sup>



Dipl.-Ing. W. Eisele <sup>1</sup>



Dipl.-Ing. A. Schneck <sup>1</sup>



Dr.-Ing. M. Emmert <sup>1</sup>



Dipl.-Ing. A. Kopp, M.Sc. <sup>2</sup>



Dipl.-Ing. J. Sanzenbacher <sup>2</sup>



Dipl.-Ing. A. Maier, M.Sc. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zweckverband Landeswasserversorgung, Schützenstraße 4, 70182 Stuttgart

<sup>2</sup> Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Wilhelmstraße 11, 70182 Stuttgart

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>BEWERTUNGS- UND OPTIMIERUNGSVERFAHREN</b> .....	<b>8</b>
2.1	Übersicht.....	8
2.2	Begriffsdefinitionen.....	8
2.3	Übersicht Bewertungsverfahren.....	8
2.4	Nutzwertanalyse.....	8
2.5	Composite Programming.....	8
2.6	Übersicht zu Steuerungs- und Managementsystemen .....	8
2.7	Optimierungssystem.....	8
2.8	Zusammenfassung.....	8
<b>3</b>	<b>INFORMATIONSGRUNDLAGEN</b> .....	<b>8</b>
3.1	Überblick über den Untersuchungsraum .....	8
3.2	Datenerfassung von 1900 bis heute.....	8
3.3	Nutzung und Vegetation .....	8
3.4	Nutzungskonzept württembergisches Donauried.....	8
3.5	Numerisches Grundwassermodell Donauried .....	8
<b>4</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN DEN WASSERHAUSHALT</b> .....	<b>8</b>
4.1	Übersicht.....	8
4.2	Wasserversorgung .....	8
4.3	Landwirtschaft.....	8
4.4	Naturschutz .....	8
4.5	Zusammenfassung.....	8
<b>5</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES BEWERTUNGSSYSTEMS FÜR STATIONÄRE VERHÄLTNISS</b> .....	<b>8</b>
5.1	Übersicht.....	8
5.2	Notwendigkeit der räumlichen Nutzungsentflechtung .....	8
5.3	Festlegung der Zielfunktionen.....	8
5.4	Zielsystem zur Beurteilung und Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung.....	8
5.5	Gewichtungs- und Kompensationsfaktoren.....	8
5.6	Zusammenfassung.....	8
<b>6</b>	<b>ANWENDUNG DES BEWERTUNGSSYSTEMS UND ENTWICKLUNG EINES LEITFADENS MIT BEWIRTSCHAFTUNGSREGELN</b> .....	<b>8</b>
6.1	Übersicht.....	8
6.2	Festlegung von Ausschlusswerten.....	8
6.3	Abgrenzung des Bewertungs- und Optimierungsraumes.....	8
6.4	Bewertungsergebnisse für den Flurabstand .....	8
6.5	Sensitivität der wasserwirtschaftlichen Bewertungsgrößen.....	8
6.6	Zusammenführung der Bewertungsergebnisse .....	8
6.7	Zusammenfassung.....	8
<b>7</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES OPTIMIERUNGSSYSTEMS FÜR STATIONÄRE VERHÄLTNISS</b> .....	<b>8</b>
7.1	Übersicht.....	8
7.2	Aufgaben und Ziele eines Optimierungssystems.....	8

---

7.3	Anforderungen an ein Optimierungssystem und Integration des Bewertungssystems.....	8
7.4	Optimierungssystem.....	8
7.5	Sensitivitätsuntersuchung.....	8
7.6	Anwendung im Donauried .....	8
7.7	Zusammenfassung.....	8
<b>8</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES BEWERTUNGSSYSTEMS FÜR INSTATIONÄRE VERHÄLTNISSSE .....</b>	<b>8</b>
8.1	Übersicht.....	8
8.2	Naturschutz.....	8
8.3	Landwirtschaft.....	8
8.4	Wasserversorgung .....	8
<b>9</b>	<b>BEWERTUNG DER BISHERIGEN BEWIRTSCHAFTUNG IM DONAURIED .....</b>	<b>8</b>
9.1	Übersicht.....	8
9.2	Bewertung anhand gemessener Grundwasserstände .....	8
9.3	Bewertung mit Hilfe instationärer Modellrechnungen.....	8
9.4	Zusammenfassung.....	8
<b>10</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES OPTIMIERUNGSSYSTEMS FÜR INSTATIONÄRE VERHÄLTNISSSE .....</b>	<b>8</b>
10.1	Übersicht.....	8
10.2	Methodenentwicklung zur Berücksichtigung der instationären Grundwasserverhältnisse .....	8
10.3	Zusätzliche Module des Optimierungssystems.....	8
10.4	Anwendung im Donauried .....	8
10.5	Zusammenfassung.....	8
<b>11</b>	<b>DYNAMISCHES GRUNDWASSERMANAGEMENTSYSTEM.....</b>	<b>8</b>
11.1	Übersicht.....	8
11.2	Das Optimierungssystem.....	8
11.3	Vergleich der Optimierungen für die tatsächliche Entnahmemenge bei Variation der Neubildung.....	8
11.4	Vergleich der Optimierungen für die mittlere Neubildung bei Variation der Entnahmemenge.....	8
11.5	Einbindung der optimierten Entnahmeraten in die tägliche Bewirtschaftung .....	8
<b>12</b>	<b>ÜBERTRAGBARKEIT DER ENTWICKLUNGEN .....</b>	<b>8</b>
12.1	Übersicht.....	8
12.2	Diskussion der Datengrundlage .....	8
12.3	Aussagegenauigkeit .....	8
12.4	Programmentwicklung Groundwater Resources Management .....	8
<b>13</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>8</b>
13.1	Zusammenfassung der Forschungsarbeiten .....	8
13.2	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	8
13.3	Ausblick .....	8
<b>14</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>8</b>
<b>15</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>8</b>
15.1	Böden des Donaurieds .....	8
15.2	Ergebnisse der Bewertungen von Entnahmen an Einzelfassungen .....	8
15.3	GRM – Groundwater Resources Management.....	8

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 0.1:	Leitbilder, Bewertungsgrößen, Zielgrößen und erforderliche Datengrundlagen zur Bewertung der Grundwasserbewirtschaftung im Untersuchungsraum Donauried.....	2
Abb. 0.2:	Zielsystem, Gewichtungs- und Kompensationsfaktoren im Fallbeispiel Donauried .....	3
Abb. 0.3:	Allgemeines Schema zur Optimierung des Gebietswasserhaushalts .....	4
Abb. 2.1:	Strukturmuster und Arbeitsablauf der Nutzwertanalyse .....	8
Abb. 2.2:	Hierarchisches Zielsystem von Ober-, Haupt-, Teilzielen und Bewertungskriterien .....	8
Abb. 2.3:	Beispiel für eine Zielfunktion .....	8
Abb. 2.4:	Wirkungsweise des Kompensationsfaktors p bei einem konstantem Nutzwert von 0,5 .....	8
Abb. 2.5:	Iterative Parameterbestimmung des Minimums der objective function .....	8
Abb. 3.1:	Lage des Projektgebiets .....	8
Abb. 3.2:	Das Wasserschutzgebiet Donauried-Hürbe .....	8
Abb. 3.3:	Wasserbilanz des Donaurieds .....	8
Abb. 3.4:	Übersicht über das Untersuchungsgebiet .....	8
Abb. 3.5:	Verlauf der Lufttemperatur am Wasserwerk Langenau .....	8
Abb. 3.6:	Niederschlagsverteilung am Wasserwerk Langenau .....	8
Abb. 3.7:	Niederschlagsverteilung am Vorpumpwerk Niederstotzingen .....	8
Abb. 3.8:	Klimatische Wasserbilanz für das Donauried .....	8
Abb. 3.9:	Schematischer geologischer Schnitt durch das Donauried .....	8
Abb. 3.10:	Hydrogeologischer Schnitt durch das Donauried von der Schwäbischen Alb bis zur Donau .....	8
Abb. 3.11:	Wasserbilanz des Torfaquifers.....	8
Abb. 3.12:	Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet .....	8
Abb. 3.13:	Bodenkarte des Untersuchungsgebiets .....	8
Abb. 3.14:	Prozentuale Verteilung der Böden im Untersuchungsgebiet .....	8
Abb. 3.15:	Grenzflurabstand bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 0,2 mm/d.....	8
Abb. 3.16:	Wasserbereitstellung aus den Gewinnungsanlagen der Landeswasserversorgung .....	8
Abb. 3.17:	Jährliche Wassergewinnung aus den Fassungsanlagen im Donauried seit 1917 .....	8
Abb. 3.18:	Mittlere monatliche Förderraten aus den Fassungen im Donauried .....	8
Abb. 3.19:	Kiesgrundwassergleichen und Zustrombereiche zu den Fassungen im Frühjahr 2003 .....	8
Abb. 3.20:	Entwicklung der Nitratkonzentration im westlichen und östlichen Donauried seit 1930 .....	8
Abb. 3.21:	Nitratauswaschungseffekte bei schnell steigenden Grundwasserständen.....	8
Abb. 3.22:	Nitratkonzentration in den Rohwässern der Wassergewinnungsanlagen .....	8
Abb. 3.23:	Gesamthärte der Rohwässer der Wassergewinnungsanlagen.....	8
Abb. 3.24:	Prinzipbild der Wassergewinnung und Wasseraufbereitung im Wasserwerk Langenau.....	8
Abb. 3.25:	Ganglinie der Karst-Grundwasserstände an der Messstelle Langenau-Simontal.....	8
Abb. 3.26:	Zusammenhang Grundwasserstand Langenau-Simontal – Grundwasserdargebot.....	8
Abb. 3.27:	Ausgewählte Grundwassermessstellen im Donauried.....	8
Abb. 3.28:	Grundwasserganglinien im Donauried.....	8
Abb. 3.29:	Das Oberflächengewässernetz im Donauried.....	8
Abb. 3.30:	Nau-Abfluss an der Messstelle Mussismühle.....	8
Abb. 3.31:	Abfluss im Landesgrenzgraben.....	8
Abb. 3.32:	Realnutzungskartierung 1999 .....	8
Abb. 3.33:	Vegetation der Naturschutzgebiete .....	8
Abb. 3.34:	Standortgerechtigkeit der Vegetation in den NSG Langenauer Ried und Leipheimer Moos .....	8
Abb. 3.35:	Interessens- und Konfliktbereiche im Donauried .....	8
Abb. 3.36:	Wasserwirtschaftliche Schwerpunktbereiche .....	8
Abb. 3.37:	Schwerpunktbereiche des Naturschutzes .....	8
Abb. 3.38:	Landwirtschaftliche Schwerpunktbereiche .....	8
Abb. 3.39:	Kompromissvorschlag zur Nutzungsentflechtung im Donauried – Umsetzungsstufe 1 .....	8
Abb. 3.40:	Modellbereich mit Randbedingungen, sowie Lage einiger Grundwassermessstellen.....	8
Abb. 3.41:	Grundwasserneubildung im gesamten Modellbereich, potentielle Verdunstung und Niederschlag in Langenau.....	8
Abb. 3.42:	Maßgebliche Bilanzgrößen des Grundwassermodells.....	8
Abb. 3.43:	Gemessene und berechnete Ganglinie an der Grundwassermessstelle 7113.....	8
Abb. 3.44:	Gemessene und berechnete Ganglinie an der Grundwassermessstelle 5028.....	8
Abb. 3.45:	Gemessene und berechnete Ganglinie an der Grundwassermessstelle 1980.....	8

Abb. 4.1:	Wasserbereitstellung für die öffentliche Wasserversorgung aus Grund- und Oberflächenwasser in Europa.....	8
Abb. 4.2:	Wassernutzung in Deutschland im Jahr 2000.....	8
Abb. 4.3:	Problematische Parameter in den Rohwassermessstellen Baden-Württembergs.....	8
Abb. 4.4:	Verschiedene Verläufe der Zielfunktion für den Wassergüteparameter Nitrat.....	8
Abb. 4.5:	Den realen Gegebenheiten angepasste Zielfunktion.....	8
Abb. 4.6:	Kontrollraum für die zu berücksichtigenden Kostenfaktoren.....	8
Abb. 4.7:	Zielfunktion des Flurabstands bei Altlasten.....	8
Abb. 4.8:	Der BBCH-Code – Allgemeines Schema.....	8
Abb. 4.9:	Mittlerer Wasserverbrauch verschiedener Kulturpflanzenbestände im Donauried pro Dekade bei mittlerer Evapotranspiration.....	8
Abb. 4.10:	Die Retentionskurve und der Zusammenhang zwischen Wasserleitfähigkeit und Wasserspannung bei unterschiedlichen Bodenarten.....	8
Abb. 4.11:	Schema zur Bodenwasserbilanz.....	8
Abb. 4.12:	Der Versorgungsgrad des Bodens.....	8
Abb. 4.13:	Schema zur exemplarischen Ertragsseinschätzung in Abhängigkeit vom sommerlichen Grundwasserflurabstand.....	8
Abb. 4.14:	Beispiele für Zielfunktionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen.....	8
Abb. 4.15:	Bewertung des anzustrebenden Grundwasserflurabstands bei gleichrangiger Berücksichtigung des Trockenmasseertrages, der Torfmineralisation und der Spurengasemission.....	8
Abb. 4.16:	Flurabstandsganglinie der Messstelle 4316.....	8
Abb. 4.17:	Monatsmittelwerte des Flurabstands an der Messstelle 4316.....	8
Abb. 4.18:	Perzentile der Monatsmittelwerte an der Messstelle 4316.....	8
Abb. 4.19:	Zielfunktion der Hochstaudenfläche im Monat April.....	8
Abb. 4.20:	Mittlere Grundwassergänge unter Niedermoor und idealisierte Ganglinie für die Bedürfnisse von Rast- und Wiesenbrutvögeln.....	8
Abb. 4.21:	Leitbilder, Bewertungsgrößen, Datengrundlagen und Zielfunktionen.....	8
Abb. 5.1:	Prinziphafte Darstellung der Grundwasseroberfläche bei einer Einzelentnahme in Grundströmung.....	8
Abb. 5.2:	Anpassung der Grundlagendaten an das Berechnungsgitter des Grundwassermodells.....	8
Abb. 5.3:	Vegetation und Nutzung im Schwerpunktbereich des Naturschutzes.....	8
Abb. 5.4:	Nutzung und Böden im Schwerpunktbereich Landwirtschaft.....	8
Abb. 5.5:	Flächen mit Zielfunktionen für den Flurabstand im Schwerpunktbereich Wasserwirtschaft.....	8
Abb. 5.6:	Veränderung der spezifischen Wasserkosten "Donauried gesamt" bei einer ansteigenden Förderung an der Fassung 4 und gleichmäßiger Reduzierung an den anderen Fassungen.....	8
Abb. 5.7:	Zielsystem zur Beurteilung von Grundwasserentnahmen.....	8
Abb. 6.1:	Ganglinie der Messstelle Simontal mit Berechnungszeitraum und Auswertzeitpunkten für hohe, mittlere und niedrige Grundwasserstände.....	8
Abb. 6.2:	Abgrenzung des Bewertungs- und Optimierungsraumes.....	8
Abb. 6.3:	Entwicklung der Teilnutzwerte für die Landwirtschaft bei Entnahmen an Einzelfassungen.....	8
Abb. 6.4:	Entwicklung der Teilnutzwerte für den Naturschutz bei Entnahmen an Einzelfassungen.....	8
Abb. 6.5:	Entwicklung der Teilnutzwerte bei einer kombinierten Entnahme aus dem östlichen Donauried.....	8
Abb. 6.6:	Entwicklung der Teilnutzwerte und des Gesamtnutzwerts bei einer kombinierten Entnahme aus dem westlichen Donauried.....	8
Abb. 6.7:	Entwicklung des Zielerfüllungsgrades der Nitratkonzentration im Mischwasser bei einem steigendem Anteil von Grundwasser.....	8
Abb. 6.8:	Entwicklung des Zielerfüllungsgrades der Gesamthärte im Mischwasser bei einem steigendem Anteil von Grundwasser aus der Fassung 2.....	8
Abb. 6.9:	Entwicklung des Zielerfüllungsgrades der bei der Wassergewinnung und -aufbereitung entstehenden Betriebskosten.....	8
Abb. 6.10:	Allgemeines Schema zur Entwicklung eines Leitfadens mit Bewirtschaftungsregeln.....	8
Abb. 7.1:	Flussdiagramm des Optimierungssystems.....	8
Abb. 7.2:	Flussdiagramm der Berücksichtigung der Nebenbedingungen.....	8
Abb. 7.3:	Aufbau des Prinzipmodells.....	8
Abb. 7.4:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren und freier Gesamtentnahme...8	8
Abb. 7.5:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren und vorgegebener Gesamtentnahme von 0,05 m <sup>3</sup> /s.....	8
Abb. 7.6:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren und vorgegebener Gesamtentnahme von 0,09 m <sup>3</sup> /s.....	8

Abb. 7.7:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren und vorgegebener Gesamtentnahme von 0,07 m <sup>3</sup> /s.....	8
Abb. 7.8:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren, freier Gesamtentnahme und veränderter Zielfunktion 4 .....	8
Abb. 7.9:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren, freier Gesamtentnahme und veränderter Zielfunktion 1 (Variation 1).....	8
Abb. 7.10:	Teilnutzwerte und Entnahme bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren, freier Gesamtentnahme und veränderter Zielfunktion 1 (Variation 2).....	8
Abb. 8.1:	Charakteristischer Verlauf der Torfgrundwasserstände im Donauried.....	8
Abb. 8.2:	Jahreszeitliche Veränderlichkeit der Zielfunktion für den Naturschutz.....	8
Abb. 8.3:	Mineralisch-terrestrische Bodenformationen innerhalb des Schwerpunktbereichs Landwirtschaft.....	8
Abb. 8.4:	Bodenprofilaufnahme am Standort der Bodenfeuchtesonde 36007 .....	8
Abb. 8.5:	Retentionskurve des repräsentativen Mineralbodens.....	8
Abb. 8.6:	Versorgungsgrad, Niederschlag und Flurabstand im Bereich der Bodenfeuchtemessstelle 36006 im Jahr 2003.....	8
Abb. 9.1:	Gemessene Ganglinie der Grundwasserstände an der Messstelle Langenau-Simontal für den Bewertungszeitraum 1993 bis 1999 .....	8
Abb. 9.2:	Bewirtschaftung des Donaurieds durch die Landeswasserversorgung.....	8
Abb. 9.3:	Verteilung der Grundwassermessstellen im Schwerpunktbereich Naturschutz.....	8
Abb. 9.4:	Gemessene Ganglinie an der Grundwassermessstelle 1966 im Nutzungsbereich N9 sowie die instationären Ganglinien des Grenzflurabstands.....	8
Abb. 9.5:	Gemessene Ganglinie an der Grundwassermessstelle 4316 im Nutzungsbereich U8 sowie die instationären Ganglinien des Grenzflurabstands.....	8
Abb. 9.6:	Anhand von gemessenen Grundwasserstandsganglinien ausgewertete Teilnutzwerte für Naturschutz und Landwirtschaft .....	8
Abb. 9.7:	Anzahl der Bewertungspunkte für die Schwerpunktbereiche Naturschutz und Landwirtschaft bei gemessenen Grundwasserständen.....	8
Abb. 9.8:	Modelltechnischer Ablauf der Bewertung.....	8
Abb. 9.9:	Anzahl der Bewertungspunkte, Entwicklung des Gesamtnutzwertes und der Teilnutzwerte der Schwerpunktbereiche im Bewertungszeitraum 1993-1999 .....	8
Abb. 9.10:	Anzahl der Bewertungspunkte für alle Gruppen.....	8
Abb. 9.11:	Nitratkonzentrationen aller Fassungen sowie von Burgberg, Donau und der sich ergebenden Mischungskonzentration .....	8
Abb. 9.12:	Härtewerte aller Fassungen sowie von Burgberg, Donau und der sich ergebenden Mischungshärte nach Enthärtung.....	8
Abb. 9.13:	Teilnutzwerte der Bewertungsgrößen für die Wasserwirtschaft .....	8
Abb. 9.14:	Teilnutzwerte der Bewertungsgröße im Schwerpunktbereich Landwirtschaft .....	8
Abb. 9.15:	Teilnutzwerte des Schwerpunktbereichs Naturschutz .....	8
Abb. 10.1:	Modelltechnischer Ablauf der instationären Optimierung dargestellt auf der Zeitachse.....	8
Abb. 10.2:	Gesamtnutzwert abhängig von zwei normierten Optimierungsgrößen.....	8
Abb. 10.3:	Ganglinie der Grundwassermessstelle Langenau-Simontal zwischen August 1998 und April 1999.....	8
Abb. 10.4:	Nitratkonzentrationen von Oktober 1998 bis April 1999 an den Fassungen 1 bis 6 sowie der Donau und dem Wasserwerk Burgberg.....	8
Abb. 10.5:	Härtewerte von Oktober 1998 bis April 1999 an den Fassungen 1 bis 6 sowie der Donau und dem Wasserwerk Burgberg .....	8
Abb. 10.6:	Optimierte Entnahmeverteilung bei tatsächlicher Gesamtentnahme, Neubildung und tatsächliche Entnahmeverteilung von Oktober 1998 bis April 1999.....	8
Abb. 10.7:	Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Schwerpunktbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung der tatsächlichen Entnahme von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8
Abb. 10.8:	Zielerfüllungsgrade bei Optimierung der tatsächlichen Entnahme von Oktober 1998 bis April 1999.....	8
Abb. 10.9:	Optimierte Entnahmeverteilung bei 1000 l/s Gesamtentnahme und Neubildung von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8
Abb. 10.10:	Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Schwerpunktbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung mit einer Gesamtentnahme von 1000 l/s von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8
Abb. 10.11:	Zielerfüllungsgrade bei Optimierung einer Gesamtentnahme von 1000 l/s von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8
Abb. 10.12:	Optimierte Entnahmeverteilung bei freier Gesamtentnahme und realer Neubildung von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8



Abb. 10.13: Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Vorrangbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung mit freier Gesamtentnahme von Oktober 1998 bis April 1999 .....	8
Abb. 10.14: Zielerfüllungsgrade bei Optimierung mit freier Gesamtentnahme von Oktober 1998 bis April 1999.....	8
Abb. 10.15: Vergleich der Gesamtnutzwerte für die verschiedenen Optimierungen und des Gesamtnutzwerts der tatsächlichen Fassungsentnahmen .....	8
Abb. 10.16: Vergleich der Teilnutzwerte Naturschutz für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen.....	8
Abb. 10.17: Vergleich der Teilnutzwerte Landwirtschaft für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen .....	8
Abb. 10.18: Vergleich der Teilnutzwerte Wasserwirtschaft für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen .....	8
Abb. 11.1: Neubildung und Anzahl der Bewertungspunkte für die unterschiedlichen Szenarien .....	8
Abb. 11.2: Verteilung der Gesamtentnahme auf die Fassungen für verschiedenen Neubildungsprognosen im April 1999. ....	8
Abb. 11.3: Gesamtnutzwert und Teilnutzwerte für verschiedene Neubildungsprognosen im April 1999 .....	8
Abb. 11.4: Entnahmeverteilung der Fassungen für verschiedene Gesamtentnahmen bei mittlerer Neubildung im April 1999 .....	8
Abb. 11.5: Gesamtnutzwert und Teilnutzwerte für verschiedene Gesamtentnahmen im April 1999. ....	8
Abb. 11.6: Histogramm der Veränderung der täglichen Bereitstellungsmenge an der Fassung 1 .....	8
Abb. 11.7: Berechnung der mittleren Entnahmerate bis Monatsende zur Zielwerterreichung .....	8
Abb. 12.1: Darstellung der objective function mit zwei lokalen und dem absoluten Minimum.....	8
Abb. 12.2: Hauptmenü und Arbeitsfläche von GRM mit dem Beispiel des Kiesgrundwasserleiters im Donauried.....	8
Abb. 12.3: Modellnetz, Bewertungsflächen und Zielfunktion in GRM.....	8
Abb. 12.4: Berechnete Piezometerhöhenverteilung und Wasserbilanz für die optimale Entnahme in GRM.....	8
Abb. 12.5: Ergebnis der Optimierung für das Testbeispiel .....	8
Abb. 15.1: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 126 l/s an der Fassung 1 .....	8
Abb. 15.2: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 251 l/s an der Fassung 1 .....	8
Abb. 15.3: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 377 l/s an der Fassung 1 .....	8
Abb. 15.4: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 496 l/s an der Fassung 1 .....	8
Abb. 15.5: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 172 l/s an der Fassung 2.....	8
Abb. 15.6: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 344 l/s an der Fassung 2.....	8
Abb. 15.7: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 516 l/s an der Fassung 2.....	8
Abb. 15.8: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 703 l/s an der Fassung 2.....	8
Abb. 15.9: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 147 l/s an der Fassung 3.....	8
Abb. 15.10: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 293 l/s an der Fassung 3.....	8
Abb. 15.11: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 440 l/s an der Fassung 3.....	8
Abb. 15.12: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 590 l/s an der Fassung 3.....	8
Abb. 15.13: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 37 l/s an der Fassung 4.....	8
Abb. 15.14: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 75 l/s an der Fassung 4.....	8
Abb. 15.15: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 112 l/s an der Fassung 4.....	8
Abb. 15.16: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 149 l/s an der Fassung 4.....	8
Abb. 15.17: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 74 l/s an der Fassung 5.....	8
Abb. 15.18: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 148 l/s an der Fassung 5.....	8
Abb. 15.19: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 223 l/s an der Fassung 5.....	8
Abb. 15.20: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 297 l/s an der Fassung 5.....	8
Abb. 15.21: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 57 l/s an der Fassung 6.....	8
Abb. 15.22: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 114 l/s an der Fassung 6.....	8
Abb. 15.23: Flurabstände, Absenkungen und Bewertung bei einer Entnahme von 172 l/s an der Fassung 6.....	8
Abb. 15.24: Zellen, die zur Berechnung der Piezometerhöhe einer Fläche ausgewertet werden .....	8
Abb. 15.25: „Chemical Reaction“ und „Transport Settings“ Dialog.....	8
Abb. 15.26: Schnittstellenprogrammierung in GRM im „External Menu“ .....	8
Abb. 15.27: Beispiel einer „batch“ Datei.....	8
Abb. 15.28: Zielfunktion mit 4 Punkten.....	8
Abb. 15.29: Beispiel eines Strukturbaums mit den drei Hauptnutzergruppen und jeweils einigen Untergruppen .....	8
Abb. 15.30: Beispiel des „Wells and Wellgroups“ Dialogs zur Definition der Brunnen und Fassungen in GRM .....	8
Abb. 15.31: „Optimize-Settings“ Dialog .....	8
Abb. 15.32: Beispiele möglicher Zielerfüllungsgrade der drei Entnahmesituationen. ....	8
Abb. 15.33: Flussdiagramm der Optimierung bei internem Modell. ....	8

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1:	Anforderungen an Bewertungsverfahren zur Umsetzung einer nachhaltigeren Entwicklung .....	8
Tab. 2.2:	Kriterien für den Einsatz multikriterieller Bewertungsverfahren für Managementprobleme in Wassereinzugsgebieten .....	8
Tab. 2.3:	Die Anwendung von Ausschlusswerten .....	8
Tab. 3.1:	Auswertung der Bodenkarte für bodenwasserrelevante Größen .....	8
Tab. 3.2:	Übersicht über die Fassungsanlagen der Landeswasserversorgung .....	8
Tab. 3.3:	Flächenbilanz des Untersuchungsgebiets nach der Realnutzungskartierung 1999 .....	8
Tab. 3.4:	Bodennutzungshaupterhebung 1999 .....	8
Tab. 3.5:	Zuordnung der Vegetationsstrukturen nach MÄCK zu Biotoptypen gem. BfN-Standardbiotoptypenliste ...	8
Tab. 3.6:	Hemerobie („Naturnähe“) nach EGLSEER .....	8
Tab. 3.7:	Nutzungsanforderungen und Schwerpunktbereiche, gegliedert nach Wertstufen .....	8
Tab. 4.1:	Pflanzenschutzmittelwirkstoffe mit Positivbefunden .....	8
Tab. 4.2:	Grenzwerte der TrinkwV für ausgewählte Wassergüteparameter .....	8
Tab. 4.3:	Kulturartenkoeffizienten für den Wasserbedarf verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom phänologischen Entwicklungsstadium (entsprechend BBCH-Code) .....	8
Tab. 4.4:	Mittlere effektive Durchwurzelungstiefe homogener Böden in Abhängigkeit von der Rohdichte trocken und der Lagerungsdichte für Ackerkulturen sowie für Torfe bei Substanzvolumen der Stufe 3 .....	8
Tab. 4.5:	Mittlere kapillare Aufstiegsrate aus dem Grundwasser bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraums in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte bzw. Torfart, Zersetzungsstufe und Substanzvolumen .....	8
Tab. 4.6:	Äußere Grenzen des Grundwasserflurabstands für grundwasserabhängige Ökosysteme .....	8
Tab. 5.1:	Eckpunkte der Zielfunktionen auf den naturschutzbedeutsamen Flächen .....	8
Tab. 5.2:	Eckpunkte der Zielfunktionen im land- und forstwirtschaftlich genutzten Umfeld .....	8
Tab. 5.3:	Eckpunkte der Zielfunktionen im Vorrangbereich Landwirtschaft .....	8
Tab. 5.4:	Eckpunkte der Zielfunktionen im Vorrangbereich Wasserwirtschaft .....	8
Tab. 5.5:	Eckpunkte der Zielfunktionen für die Wassergüteparameter Nitrat und Gesamthärte .....	8
Tab. 5.6:	Fassungsspezifische Kenngrößen .....	8
Tab. 5.7:	Spezifische Wasserbereitstellungskosten .....	8
Tab. 5.8:	Eckpunkte der Zielfunktion zur Berücksichtigung des Kostenaspekts .....	8
Tab. 5.9:	Bedeutung und praktische Auswirkungen des Kompensationsfaktors .....	8
Tab. 6.1:	Ausgewertete Modellläufe zur Entwicklung eines Bewirtschaftungsleitfadens .....	8
Tab. 6.2:	Mindest- und Maximalentnahme aus dem Donauried .....	8
Tab. 6.3:	Mindest- und Höchstentnahmeraten aus den Einzelfassungen im Donauried .....	8
Tab. 6.4:	Bewertungen bei Nullentnahme in einem Normaljahr .....	8
Tab. 6.5:	Bewertungen bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 1 .....	8
Tab. 6.6:	Bewertungen bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 2 .....	8
Tab. 6.7:	Bewertungen bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 3 .....	8
Tab. 6.8:	Zielerfüllungsgrade bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 4 .....	8
Tab. 6.9:	Zielerfüllungsgrade bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 5 (Kies) .....	8
Tab. 6.10:	Zielerfüllungsgrade bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an der Fassung 6 .....	8
Tab. 6.11:	Entnahmeraten bei einer Wassergewinnung an mehreren Fassungen .....	8
Tab. 6.12:	Zielerfüllungsgrade bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an den Fassungen 1 und 6 .....	8
Tab. 6.13:	Zielerfüllungsgrade bei einer stufenweisen Entnahmesteigerung an den Fassungen 2, 3 und 4 .....	8
Tab. 6.14:	Entnahmeraten bei einer maximalen Wassergewinnung an allen Fassungen .....	8
Tab. 6.15:	Zielerfüllungsgrade bei maximaler Entnahme an allen Fassungen .....	8
Tab. 6.16:	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den ausgewerteten Modellläufen .....	8
Tab. 6.17:	Entnahmen am 19.06.1996 und verbesserte Entnahmeverteilung .....	8
Tab. 6.18:	Bewertung von zwei Entnahmeverteilungen mit gleicher Gesamtentnahme .....	8
Tab. 7.1:	Zielsystem des Anwendungsfalls ohne Kompensationsfaktoren .....	8
Tab. 7.2:	Zielebenen und Gewichtungsfaktoren des Prinzipbeispiels .....	8
Tab. 7.3:	Zielfunktionen für die Flurabstände des Prinzipbeispiels .....	8
Tab. 7.4:	Eckpunkte der Zielfunktion für den Wasserqualitätsparameter des Prinzipbeispiels .....	8
Tab. 7.5:	Flurabstände und Zielerfüllungsgrade bei vorgegebenen Entnahmen .....	8
Tab. 7.6:	Optimierungsergebnis der Sensitivitätsuntersuchung .....	8
Tab. 7.7:	Grenzen der Entnahme pro Fassung bei stationärer Optimierung .....	8

Tab. 7.8:	Einstellungsparameter von PEST.....	8
Tab. 7.9:	Entnahmeverteilung für die freie Optimierung.....	8
Tab. 7.10:	Zielerfüllungsgrade und Nutzwerte für die freie Optimierung .....	8
Tab. 7.11:	Entnahmeverteilung für die Optimierung der vorgegebenen Gesamtentnahmen von 700, 1000 und 1300 l/s.....	8
Tab. 7.12:	Nutzwerte für die Optimierung der vorgegebenen Gesamtentnahmen von 700, 1000 und 1300 l/s.....	8
Tab. 7.13:	Vereinfachtes Zielsystem des Anwendungsfalls.....	8
Tab. 7.14:	Vereinfachte Zielfunktionen des Anwendungsfalls .....	8
Tab. 7.15:	Entnahmeverteilung für die Optimierung mit Hilfe der drei vereinfachten Bewertungssysteme sowie zum Vergleich mit Hilfe des komplexen Bewertungssystems.....	8
Tab. 7.16:	Nutzwerte für die Optimierung mit Hilfe der drei vereinfachten Bewertungssysteme sowie zum Vergleich mit Hilfe des komplexen Bewertungssystems.....	8
Tab. 8.1:	Eckpunkte der Zielfunktionen im Vorrangbereich Landwirtschaft .....	8
Tab. 10.1:	Tatsächliche Entnahmemengen und Neubildung zwischen September 1998 und April 1999.....	8
Tab. 11.1:	Übersicht über die betrachteten Szenarien der Prognose des April 1999.....	8
Tab. 11.2:	Übersicht über die optimierten Entnahmeverteilungen der Prognose des April 1999 .....	8
Tab. 12.1:	Übersicht über die erforderlichen Datengrundlagen, deren Verwendung im Bewertungssystem und Verfügbarkeit .....	8
Tab. 15.1:	Bodenformationen im württembergischen Donauried.....	8

### Anmerkung der Autoren

Im Rahmen des Teilprojekts 1 „Bewertungssysteme“ wurden vom **Zweckverband Landeswasserversorgung** folgende Kapitel bearbeitet: 2.1 bis 2.5, 3.1 bis 3.4, 4, 5, 6, 8 und 11.5. Diese Kapitel enthalten originäre Teile aus dem Promotionsvorhaben von Dipl.-Ing. A. Schneck.

Im Rahmen des Teilprojekts 2 „Optimierungs- und Managementsysteme“ wurden von der **Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner** folgende Kapitel bearbeitet: 2.6 bis 2.7, 3.5, 7, 9, 10 und 11.1 bis 11.4.

Die verbleibenden Kapitel wurden **gemeinsam** erstellt.