

10 ENTWICKLUNG EINES OPTIMIERUNGSSYSTEMS FÜR INSTATIONÄRE VERHÄLTNISSE

10.1 Übersicht

Für die instationäre Optimierung wurde in Kapitel 8 ein Bewertungssystem entwickelt, das die instationären Anforderungen an den Wasserhaushalt berücksichtigt. Dabei verändern sich die Zielfunktionen im Jahresverlauf, um auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Landwirtschaft und des Naturschutzes einzugehen. Sie berücksichtigen nun die natürlichen Schwankungen des Grundwasserstands im Jahresverlauf sowie den aktuellen Versorgungsgrad im Boden. Die Zielfunktionen für die Wasserwirtschaft bleiben identisch, sie sind nicht von einem Jahresgang geprägt. Es müssen jedoch im Zuge der Optimierung die sich ständig verändernden, aktuellen Monatswerte für Nitrat und Härte berücksichtigt werden. Das Berechnungsschema für die Mischungskonzentrationen (siehe Kap. 5.3.2) bleibt aber vollständig erhalten.

Mit Blick auf die Berechnung der Grundwasserverhältnisse im Jahreslauf musste das Modell von seiner stationären Zeitdomäne auf die instationäre verändert werden. Da ein bereits instationär geeichtes und verifiziertes Grundwassermodell vorhanden ist, stellt diese Veränderung keine Probleme dar. Das benützte instationäre Grundwassermodell basiert auf einer Zeitdiskretisierung mit 10-Tagesschrittlängen. Die Optimierung erfolgt auf Monatsbasis, so dass für alle instationären Randbedingungen wie z.B. Grundwasserneubildung Monatsmittelwerte gebildet werden mussten. Die Optimierung beinhaltet die monatliche Neuberechnung der Bewertungsgrößen, d.h. die Entscheidung, welche Bewertungsgrößen für den aktuellen Monat berücksichtigt werden und welche aus dem Prozess ausscheiden, da der Flurabstand bereits ohne Entnahme zu groß ist, um optimiert zu werden (siehe Kap. 5 bzw. 8). Zusätzlich kommt der nun sich ständig verändernden Gesamtentnahme höhere Bedeutung zu. Die Reaktion der Grundwasserverhältnisse auf sich ständig verändernde Gesamtentnahmen muss mit berücksichtigt werden. Da die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters nicht wie bei der stationären Optimierung konstant ist, musste ein weiteres Modul entwickelt werden, welches hierauf im Zuge der Optimierung reagieren kann. Beispielhaft erfolgte für den Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999 eine Optimierung der Fassungsentnahmen bei verschiedenen Gesamtentnahmeraten.

10.2 Methodenentwicklung zur Berücksichtigung der instationären Grundwasserverhältnisse

Die instationäre Optimierung erfolgte in Monatsschritten. Das bedeutet, dass für jeden Monat eine Optimierung durchgeführt wird. Ein Optimierungszeitraum von mehreren Monaten wird monatsweise abgearbeitet. Das bedeutet, dass das instationäre Grundwassermodell im

Rahmen der Optimierung jeweils für ein bzw. zwei Monate (Vorlauf von einem Monat siehe Abb. 10.1) die Piezometerhöhen berechnet. Die wichtigste sich zeitlich verändernde Größe im Grundwassermodell ist dabei die Neubildung. Sie weist sehr große Schwankungsbreiten auf und nimmt direkten Einfluss auf das Wasserdargebot. Im numerischen Modell wird jeweils der Vormonat mit den bereits optimierten Entnahmeraten und dann der aktuelle Monat mit Optimierung der Grundwasserentnahme betrachtet. Diese Vorgehensweise mit jeweils 2 betrachteten Monaten pro Optimierungslauf ist in Abb. 10.1 dargestellt.

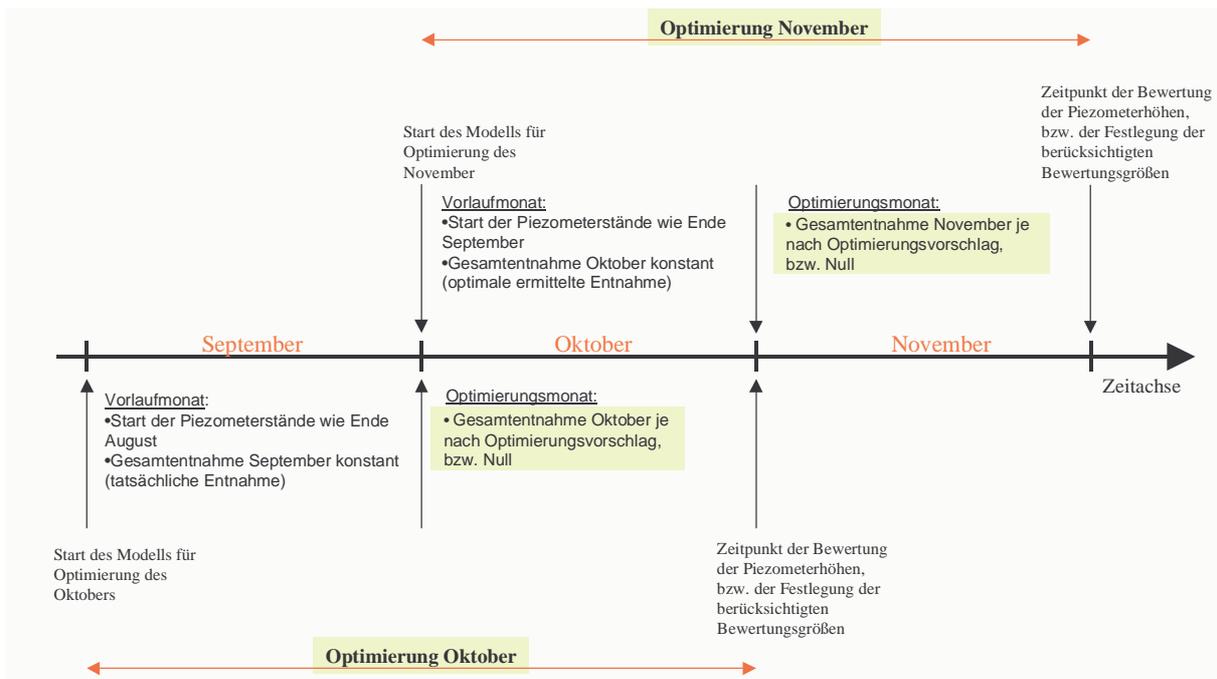


Abb. 10.1: Modelltechnischer Ablauf der instationären Optimierung dargestellt auf der Zeitachse (gelb: Änderungen gegenüber Abb. 9.1)

Dieses Schema ist ähnlich dem Schema der Bewertung der bisherigen Bewirtschaftung (siehe Abb. 9.1). Jetzt erfolgt aber nicht nur eine Bewertung des zweiten Berechnungsmonats mit den tatsächlichen Entnahmeraten, sondern eine Optimierung der Entnahmeverteilung. Analog zum Beispiel in Kap. 9.3 sei hier nun exemplarisch die Optimierung für den Monat Oktober erklärt. Es wird zu Beginn von Grundwasserverhältnissen bei tatsächlicher Entnahme ausgegangen. D.h. die Piezometerhöhen entsprechen zum Start des Modellzeitraums (1. September bis 31. Oktober) den tatsächlichen Piezometerhöhen Ende August.

Vor der eigentlichen Optimierung müssen zunächst die zu berücksichtigenden Bewertungspunkte ermittelt werden. Dafür wird nun der September als Vorlaufmonat mit den tatsächlichen Entnahmemengen berechnet. Dann folgt der zu optimierende Monat Oktober ohne Entnahme, um die Bewertungsgrößen zu ermitteln, die sich durch eine Entnahme verbessern lassen. Es ergeben sich Ende Oktober die kleinst möglichen Flurabstände, da ohne Entnahme gerechnet wurde. Auf Basis dieser Flurabstände wird die Anzahl der Bewertungsgrößen ermittelt. Danach folgt die eigentliche Optimierung. Ausgangspunkt ist wieder Anfang September, der als Vorlauf zum eigentlichen Optimierungsmonat Oktober vorangestellt wird. Vom Optimierungsmodul PEST wird die Entnahme für Oktober vorgeschlagen. Mit den Pie-

zometerhöhen Ende Oktober erfolgt nun die Bewertung. Entsprechend den vorgegebenen Abbruchskriterien entscheidet sich dann, ob die Optimierung abgeschlossen ist oder nicht. Ist sie noch nicht beendet, wird mit der Berechnung wieder ab Anfang September gestartet. Einziger Unterschied zur Bewertung ohne Optimierung entsprechend Kapitel 9 ist die Entnahmeverteilung im Oktober. Ist die Optimierung für den Oktober beendet, folgt die Optimierung für November. Das Ablaufschema ist exakt das gleiche, nur wird nun für den Oktober (der nun Vorlaufmonat ist) mit den optimalen Entnahmen anstatt den tatsächlichen gerechnet, da die optimalen ja jetzt bekannt sind. Dann erfolgt wieder die Ermittlung der Bewertungsgrößen ohne Entnahme im November usw.

10.3 Zusätzliche Module des Optimierungssystems

Da zum einen die Grundwasserstände zu Beginn des jeweiligen Optimierungszeitraums unterschiedlich sind, und zum anderen die Neubildung nun ebenfalls stark schwankt, ist die Ergiebigkeit der Fassungen zeitlich variabel und von den Grundwasserverhältnissen des vorangegangenen Monats abhängig. Deshalb erfordert die instationäre Optimierung die Entwicklung eines neuen Moduls zur Berücksichtigung der maximalen Fassungsentnahmen (Ergiebigkeiten der Fassungen) unter Berücksichtigung der aktuellen hydrologischen Verhältnisse im Vergleich zum stationären System, bei dem keine schwankende Hydrologie angesetzt wird. Diese sind wiederum von den zuvor optimierten Grundwasserentnahmen abhängig. Weiterhin beeinflussen sich die maximalen Fassungsergiebigkeiten gegenseitig, so dass beispielsweise die maximale Ergiebigkeit an Fassung 1 von der Entnahme an Fassung 6 abhängt. Diese komplexen instationären Zusammenhänge führen dazu, dass vor einem Optimierungsmonat die maximalen Fassungsentnahmen nicht bestimmt werden können, die dem Optimierungsalgorithmus als Schranke bei der Variation der Optimierungsgrößen vorgegeben werden müssen. Deshalb werden PEST die maximalen Fassungsentnahmen aus der stationären Optimierung (vgl. Tab. 7.1) vorgegeben und während der Optimierung überprüft, ob diese vorgeschlagenen Entnahmen möglich sind. Die Überprüfung erfolgte anhand der Entnahmeraten im Modell. Sind diese nicht möglich, so werden diese automatisch an der Fassung verringert. Der Vergleich zwischen den von PEST vorgeschlagenen und im Modell angesetzten Entnahmeraten ermöglicht die Überprüfung. Ist die im Modell angesetzte Gesamtentnahme kleiner als die von PEST vorgeschlagene, wird der Modelllauf künstlich schlechter bewertet, in dem alle Zielerfüllungsgrade der Bewertungsgrößen in Abhängigkeit der Differenz zwischen der von PEST vorgeschlagener Entnahme und vorgegebener Entnahme abgemindert werden. Der Erfüllungsgrad dieses Modelllaufs wird so abgemindert, dass er nicht als optimales Ergebnis in Betracht kommt, allerdings darf die objective function nicht zu stark verzerrt werden, da dann die weitere Optimierung gestört wird. Dies soll an Abb. 10.1 deutlich gemacht werden.

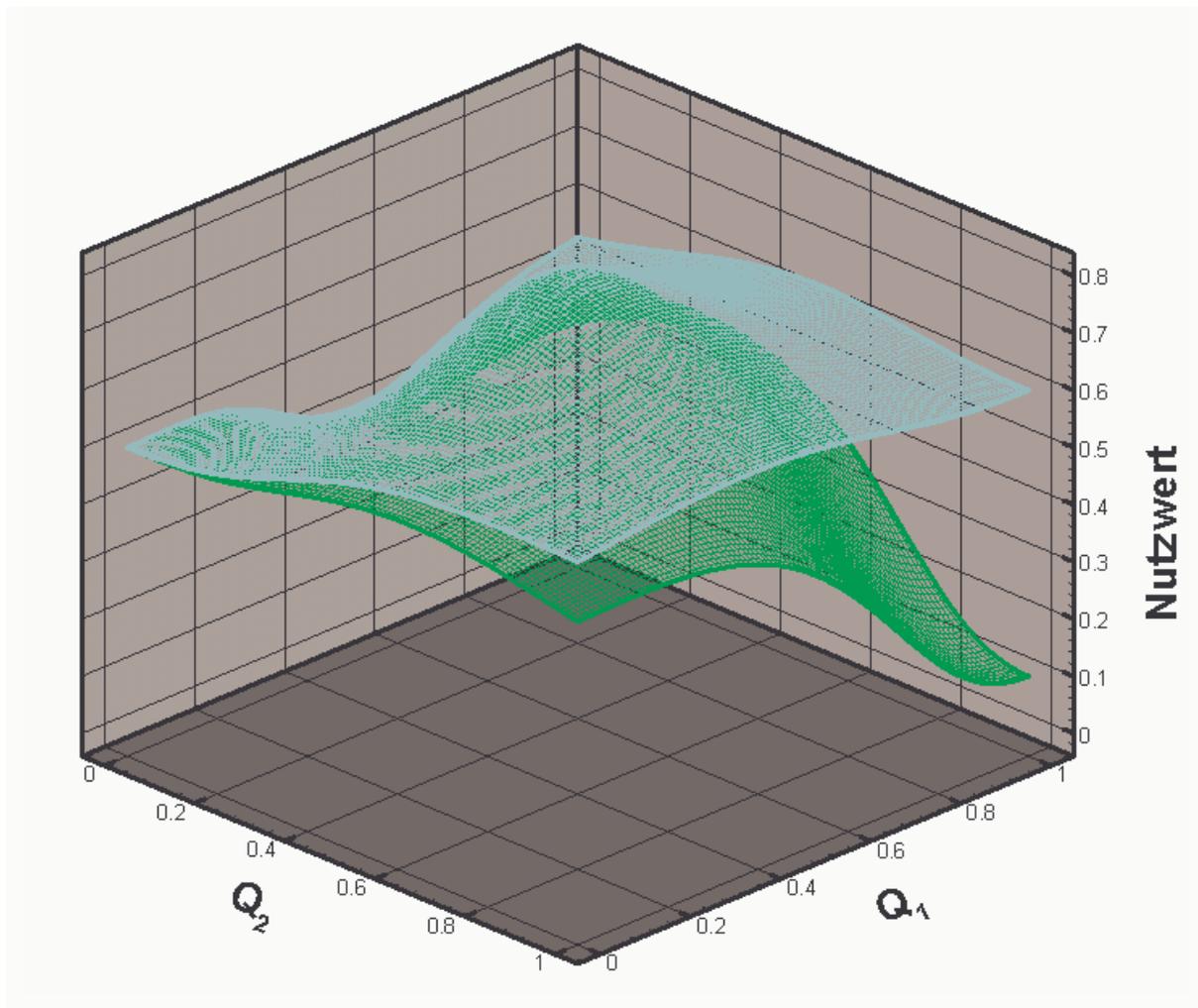


Abb. 10.1: Gesamtnutzwert abhängig von zwei normierten Optimierungsgrößen (Fassungsentnahmen). Unverändert (türkis) und abgeminderter (grün) Gesamtnutzwert.

Die beiden Optimierungsgrößen Q_1 und Q_2 können von 0 bis zu 1 m³/s variiert werden. Der Gesamtnutzwert schwankt dabei zwischen 40 und 80 % (obere türkise Ebene). Nun stellt sich bei der Optimierung heraus, dass abhängig von der Neubildung aus den Fassungen (Q_1 und Q_2) nicht immer die volle Menge entnommen werden kann. Dies wird PEST mitgeteilt indem der Nutzwert bei jeder einzelnen Bewertungsgröße nach folgender Formel abgemindert wird, wodurch dann in der Folge auch der Gesamtnutzwert sinkt:

$$ZEG_i = ZEG_i \cdot (\text{Quotient})^3 \quad \text{Gl. 10.1}$$

mit :

Quotient = $\frac{\text{tatsächliche Gesamtentnahme}}{\text{vorgegebene Gesamtentnahme}}$
 ZEG_i = Zielerfüllungsgrad der Bewertungsgröße
 i = Index der Bewertungsgröße

Bei der Abminderung der Zielerfüllungsgrade wurde ein kubischer Zusammenhang gewählt, um die Abminderung mit steigender Differenz zwischen tatsächlicher und vorgegebener Gesamtentnahme zu verstärken. In Abb. 10.1 erkennt man, dass der Gesamtnutzwert die größte Abminderung erhält, wenn versucht wird, an Fassung Q_1 und Q_2 jeweils die maximale

Menge zu entnehmen. Es können aber auch bei geringeren Mengen bereits Fehlbeträge auftreten, wie ebenfalls aus Abb. 10.1 bei z.B. Steigerung der Entnahme Q_2 ersichtlich ist. Können die geforderten Mengen laut dem Grundwassermodell nicht aus dem Modellgebiet entnommen werden, muss der Gesamtnutzwert abgemindert werden um PEST mitzuteilen, dass diese Entnahmeverteilung nicht möglich ist. Somit ist sichergestellt, dass durch die Abminderung, die in Relation zum Fehlbetrag steht, eine schlechtere Bewertung erfolgt. Dennoch bleibt der Gesamtnutzwert und somit auch die objective function in ihrer Gestalt erhalten, d.h. wenn die geförderte Menge wieder entnommen werden kann, erfolgt sofort wieder eine bessere Bewertung. Es besteht dennoch die Gefahr, dass eine Entnahmeverteilung als optimal angesehen wird, welche die geforderten Einzelentnahmen nicht leisten kann. Dies wurde durch die Wahl eines Exponenten von 3 versucht zu vermeiden. Dieses Modul folgt nach der Berechnung der Zielerfüllungsgrade (Schritt 2) und vor der Berechnung des Gesamtnutzwertes (Schritt 3).

10.4 Anwendung im Donauried

10.4.1 Übersicht

Für die instationäre Optimierung der Grundwasserentnahmen im Donauried wurde der Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999 gewählt. Dieser Zeitraum scheint geeignet, da hydrologisch bedingt zunächst Niedrigwasserverhältnisse und anschließend Mittelwasserverhältnisse vorliegen. Anfangs sind die Piezometerhöhen aufgrund einer langen Zeitspanne ohne signifikante Neubildung sehr tief, dann steigen sie aufgrund der starken Neubildungsereignisse ab Oktober 1998 sehr schnell wieder auf Mittelwasserniveau an. Dies lässt sich auch am Gang der Grundwassermessstelle Langenau-Simontal erkennen, die in Abb. 10.1 dargestellt ist.

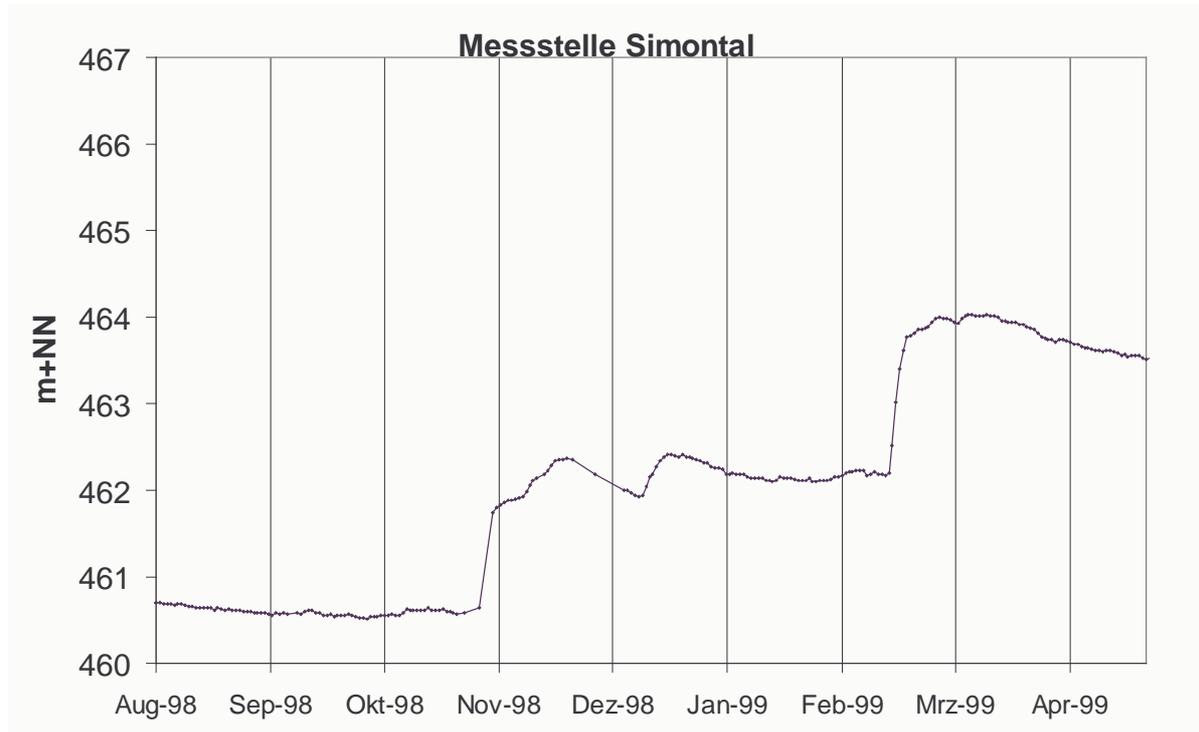


Abb. 10.1: Ganglinie der Grundwassermessstelle Langenau-Simontal zwischen August 1998 und April 1999.

Für die instationäre Bewertung und Optimierung ist in den Schwerpunktbereichen der Landwirtschaft vor der eigentlichen Optimierung die Überprüfung des aktuellen Versorgungsgrades notwendig, da hiervon die Auswahl der Zielfunktion abhängt. Hierfür wurden die im Rahmen der Neubildungsberechnung ermittelten Tageswerte des aktuellen Versorgungsgrades auf die einzelnen Monate gemittelt. Somit steht für jede Modellzelle der VG-Wert zur Verfügung. Versorgungsgrade unter 40% nFK führen zu einer Bewertung entsprechend Tab. 8.1, über 40% nFK entsprechend Tab. 5.1.

Die Optimierung erfolgt für verschiedene Gesamtentnahmen. Zunächst wird die tatsächliche Gesamtentnahme im Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999 optimiert, dann eine durchschnittliche Entnahmemenge von 1000 l/s vorgegeben und zuletzt eine vom Optimierungssystem frei wählbare Gesamtentnahme. Als Anfangsbedingungen wurden die Piezometerhöhen Ende August 1998 herangezogen. Zunächst wurden die Piezometerhöhen für September 1998 mit den tatsächlichen Entnahmen bestimmt und danach die Entnahmen für den Oktober 1998 optimiert. Die Nitrat- und Härtekonzentrationen entsprechen dabei den tatsächlichen Messwerten bei tatsächlicher Grundwasserförderung. Eine im Lauf der Optimierung erfolgte Änderung der Entnahmerate führt zu keiner Änderung der Wasserqualitätsparameter der Einzelfassungen.

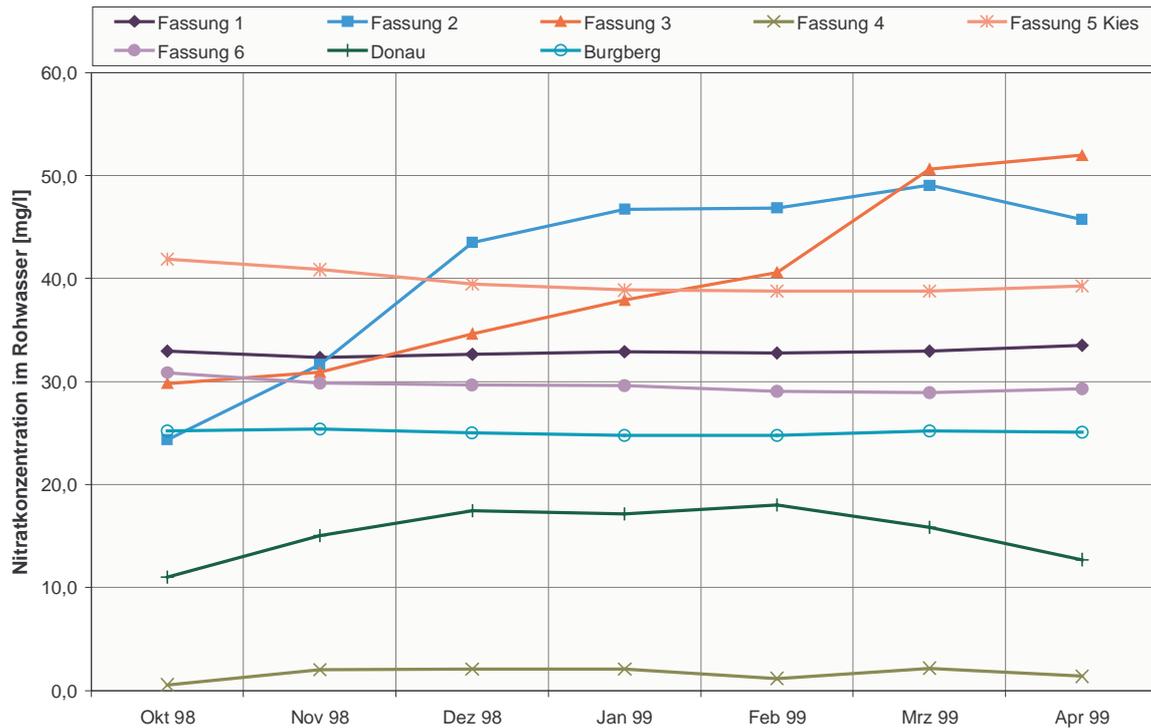


Abb. 10.2: Nitratkonzentrationen von Oktober 1998 bis April 1999 an den Fassungen 1 bis 6 sowie der Donau und dem Wasserwerk Burgberg

Die Verläufe der Nitrat- und Härtekonzentrationen weisen ab November 1998 höhere Werte auf als zuvor (siehe auch langjährige Zeitreihe in Kap. 3.2.1.2), so dass die Reaktion des Systems auf solche Vorkommnisse analysiert werden kann.

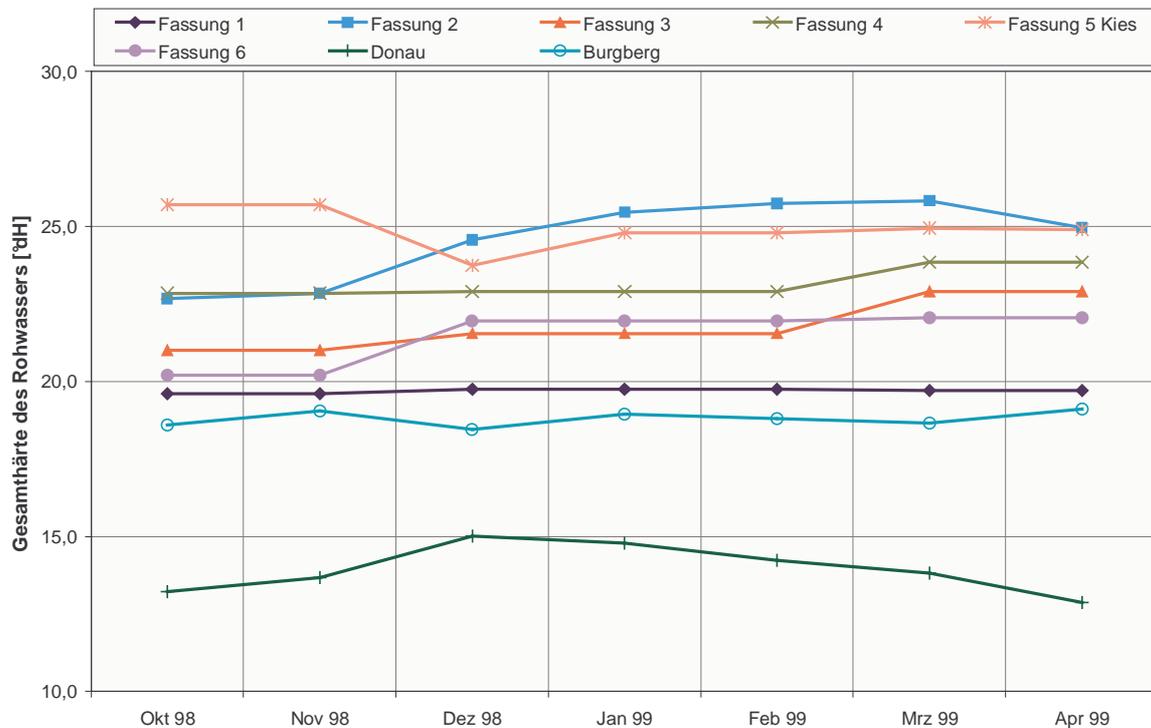


Abb. 10.3: Härtewerte von Oktober 1998 bis April 1999 an den Fassungen 1 bis 6 sowie der Donau und dem Wasserwerk Burgberg

10.4.2 Optimierung bei tatsächlicher Gesamtentnahme

Die tatsächliche Gesamtentnahme sowie die Neubildung von September 1998 bis April 1999 kann Tab. 10.1 entnommen werden.

Tab. 10.1: *Tatsächliche Entnahmemengen (ohne Donau und Burgberg) und Neubildung zwischen September 1998 und April 1999*

| | Tatsächliche Entnahmemenge [l/s] | Neubildung [mm/Monat] | Neubildung Modell [m³/s] |
|----------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| September 1998 | 806 | 10,3 | 4,44 |
| Oktober 1998 | 763 | 82,5 | 35,56 |
| November 1998 | 644 | 58,2 | 25,08 |
| Dezember 1998 | 680 | 31,7 | 13,66 |
| Januar 1999 | 688 | 20,0 | 8,62 |
| Februar 1999 | 823 | 49,4 | 21,29 |
| März 1999 | 780 | 16,2 | 6,98 |
| April 1999 | 719 | 7,3 | 3,15 |

Im Betrachtungszeitraum wurde signifikant weniger entnommen als durchschnittlich. Die mittlere Entnahme betrug 738 l/s gegenüber der durchschnittlichen Entnahme von ca. 940 l/s im Donauried. Die Neubildung ist besonders im Oktober außergewöhnlich hoch, wie in Tab. 10.1 ebenfalls dargestellt, und fällt dann konstant bis Januar. Im Februar folgt dann wieder ein Neubildungsereignis, welches die Piezometerhöhen noch einmal stark ansteigen lässt. Nachfolgend wird eine verbesserte Entnahmeverteilung für die tatsächliche Entnahme anhand des Optimierungssystems berechnet. Damit soll dargestellt werden, wie die tatsächliche Verteilung der Entnahme im Betrachtungszeitraum hätte optimiert werden können, so dass sich eine verbesserte Gesamtbewertung ergibt.

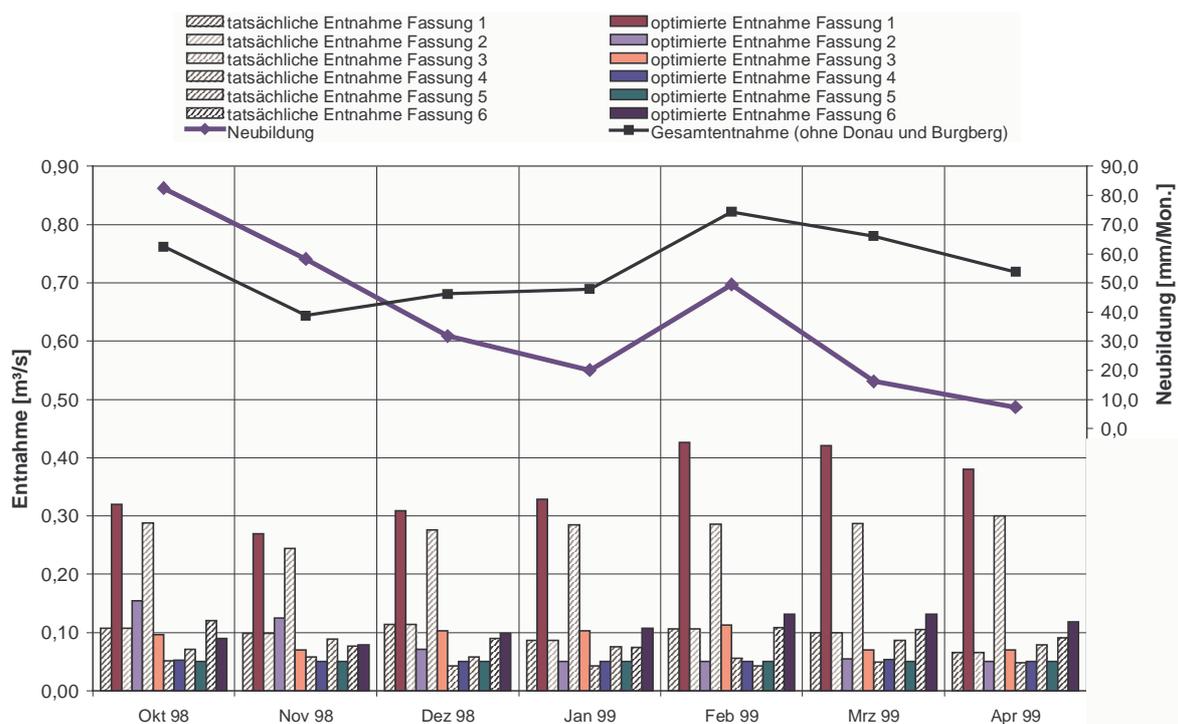


Abb. 10.1: *Optimierte Entnahmeverteilung bei tatsächlicher Gesamtentnahme, Neubildung und tatsächliche Entnahmeverteilung von Oktober 1998 bis April 1999*

Zunächst fällt die durchgängig hohe Entnahme an der Fassung 1 auf. Dieses Ergebnis konnte bereits bei der stationären Optimierung festgestellt werden. Dort wurde ebenfalls die Fassung 1 bis an ihr Maximum belastet, wobei die anderen Fassungen an ihrem Minimum blieben, und erst bei höheren Gesamtentnahmen von über 680 l/s wurden andere Fassungen gesteigert. Die wenigsten negativen Auswirkungen verursacht die Entnahme an Fassung 1 und die Schwankungen der instationär variierten Gesamtentnahme werden überwiegend durch sie ausgeglichen. Das Entnahmemaximum der Fassung 1 wird nur im Februar erreicht. Unterschiede zur stationären Optimierung werden an den anderen Fassungen deutlich. Die Rate an Fassung 2 sinkt von anfänglich hohen Entnahmen auf ihr Minimum und bleibt bis zum Ende des Betrachtungszeitraums niedrig. Bei der stationären Optimierung wurde Fassung 2 dann in Betrieb genommen, wenn für Fassung 1 und 6 maximale Entnahmen durch das Optimierungssystem vorgeschlagen wurden. Das ist hier nicht der Fall, an Fassung 2 wird aufgrund der hohen Nitratwerte ab November weniger Wasser entnommen. Die Entnahmemenge an Fassung 3 schwankt leicht, sie ist besonders bei hohen Grundwasserständen oder hoher Neubildung von Vorteil, trotz der hohen Nitratkonzentration. Die Entnahmemenge an Fassung 4 bleibt nahe an ihrem Minimum aufgrund des starken Einflusses des Kostennutzwertes auf die Optimierung. Bei der stationären Optimierung war die Entnahmemenge jedoch immer bei ca. 60-70 l/s optimal, da die Entnahme an dieser Fassung im Spannungsfeld zwischen Grundwasserabsenkung im landwirtschaftlich genutzten Umfeld und hohen Kosten steht. Die Entnahme an Fassung 5 bleibt analog zur stationären Lösung an ihrem Minimum. Die Entnahmemenge an Fassung 6 folgt in ihrer Tendenz der Menge an Fassung 1. Sie wird ebenfalls zum Ausgleich der schwankenden Gesamtentnahme genutzt. Die Möglichkeiten sind allerdings begrenzt, da die Maximalentnahme bei 129 l/s liegt.

Vergleicht man die optimalen Entnahmeraten mit den tatsächlichen, so lässt sich ein deutlicher Unterschied feststellen. An der Fassung 1 sollte viel mehr und an der Fassung 3 deutlich weniger entnommen werden. Dieses Ergebnis stimmt mit der stationären Optimierung überein.

Die Nutzwerte der Schwerpunktbereiche sind in Abb. 10.2 dargestellt.

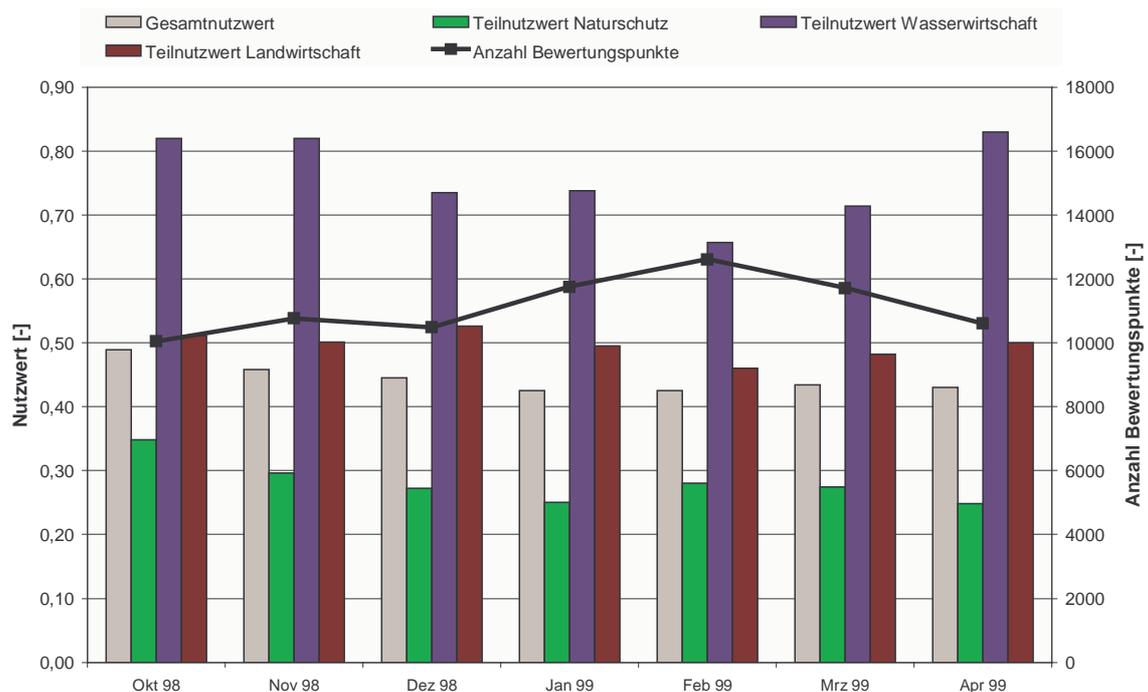


Abb. 10.2: Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Schwerpunktbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung der tatsächlichen Entnahme von Oktober 1998 bis April 1999

Die Schwankungen der Teilnutzwerte in Abb. 10.2 resultieren u. a. daraus, dass die Bewertungsgrößen nun für jeden Monat neu bestimmt werden und deren Anzahl zwischen 10000 und 12100 schwankt. Wie in Kap. 9.3.1 gezeigt wird, ist es dadurch gelungen, den Einfluss der Hydrologie auf die Gesamtnutzwerte zu verringern, in dem nur die Bewertungsgrößen in der Optimierung berücksichtigt werden, die sich durch die Grundwasserentnahme beeinflussen lassen.

Die Anzahl der Bewertungsgrößen folgt der Hydrologie, bei steigenden Grundwasserständen steigt auch sie und bei fallenden wie im April fällt sie. Die Größe des Gesamtnutzwerts verhält sich analog zur Tendenz der Neubildung, er fällt bis Februar leicht ab und steigt dann wieder an. Der Teilnutzwert des Schwerpunktbereichs Wasserwirtschaft wird direkt beeinflusst vom Teilnutzwert Nitrat, wie in Abb. 10.3 gut zu erkennen ist. Der Schwerpunktbereich Naturschutz erreicht wie erwartet höhere Nutzwerte bei höheren Grundwasserständen. Ihm wird auch hier bei der instationären Optimierung der geringste Teilnutzwert zugeordnet. Der Teilnutzwert der Landwirtschaft verhält sich umgekehrt proportional zur Tendenz der Neubildung und zu den Piezometerhöhen. Im Februar erreicht die Landwirtschaft ihren geringsten Teilnutzwert aufgrund der hohen Neubildung. Die Zielerfüllungsgrade in den einzelnen Schwerpunktbereichen sind in Abb. 10.3 dargestellt.

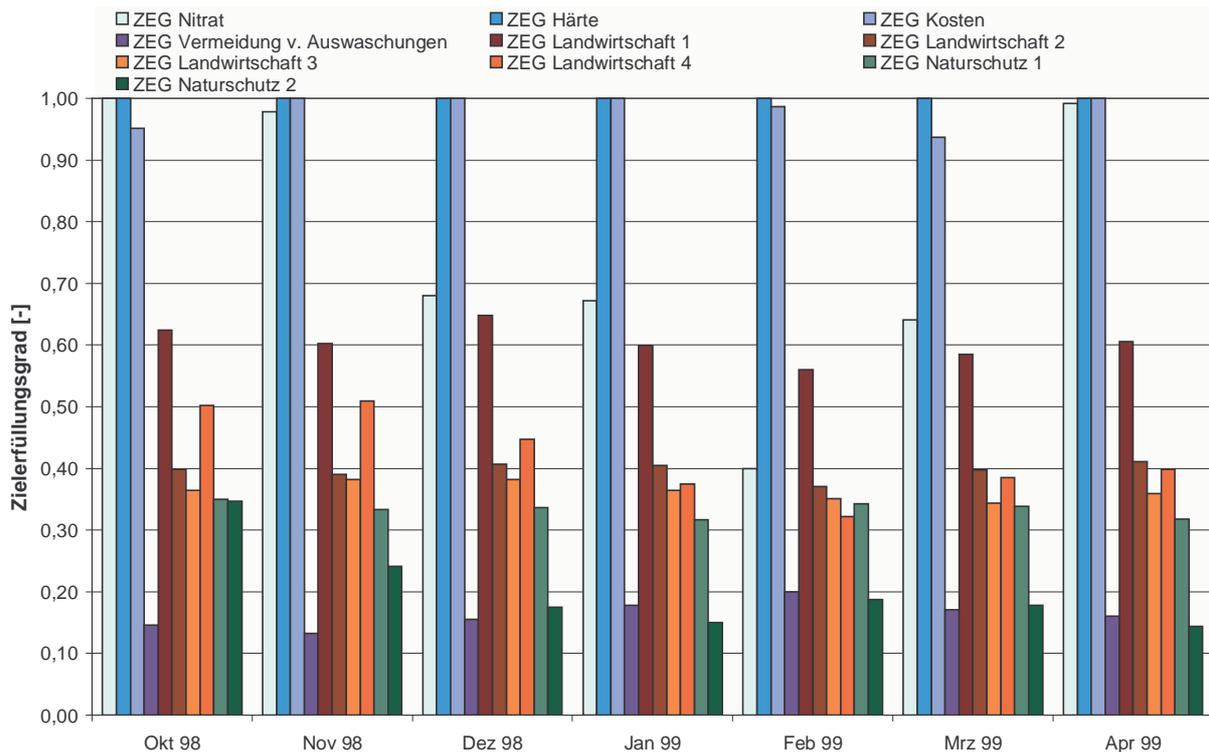


Abb. 10.3: Zielerfüllungsgrade bei Optimierung der tatsächlichen Entnahme von Oktober 1998 bis April 1999

Im Schwerpunktbereich Naturschutz ist der Zielerfüllungsgrad (ZEG) Naturschutz 1 nahezu konstant, die Schwankungen ergeben sich fast ausschließlich aus dem ZEG Naturschutz 2. Die Bewertung dieser Flächen reagiert sensibel auf veränderte Grundwasserstände, allerdings kaum auf die Neubildung. Im Schwerpunktbereich Landwirtschaft ist die Landwirtschaft 4 die sensibelste Größe, sie enthält die wenigsten Bewertungspunkte. Andererseits hat der ZEG Landwirtschaft 4 mit nur 5% eine sehr geringe Gewichtung innerhalb der Nutzungsgruppe Landwirtschaft. Die größte Gewichtung mit 50% hat Landwirtschaft 1. Im Schwerpunktbereich Wasserwirtschaft ist die Beeinflussung des Teilnutzwerts durch die Bewertungsgröße Nitrat gut zu erkennen. Der schlechte ZEG kann im April durch eine Steigerung der Entnahme an Fassung 6 und eine Senkung der Entnahme an Fassung 3 wieder erhöht werden. Der Teilnutzwert der Bewertungsgröße Härte bleibt konstant bei 100%.

10.4.3 Optimierung bei einer Gesamtentnahme von 1000 l/s

Die Entnahmeverteilung des gleichen Zeitraums Oktober 1998 bis April 1999 wurde nun mit einer Gesamtentnahme von 1000 l/s optimiert, anstatt der tatsächlichen Entnahmemenge. Die Ergebnisse sind in Abb. 10.1 dargestellt.

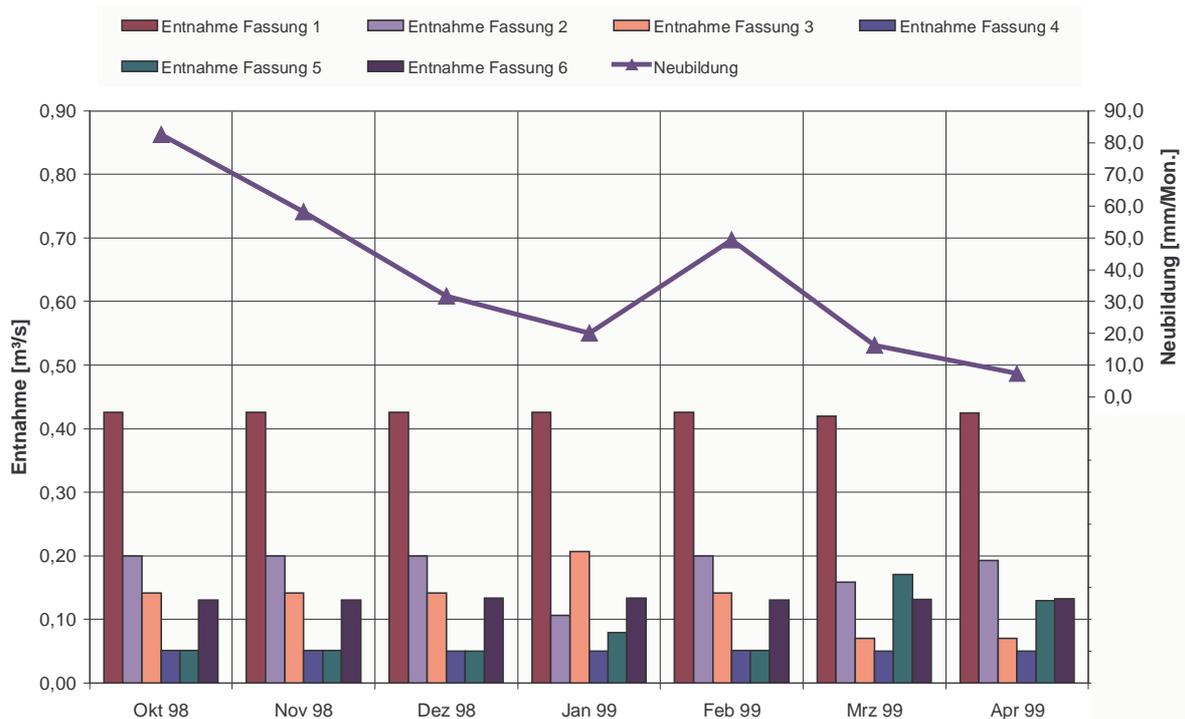


Abb. 10.1: Optimierte Entnahmeverteilung bei 1000 l/s Gesamtentnahme und Neubildung von Oktober 1998 bis April 1999

Die Verteilung der Entnahme auf die einzelnen Fassungen stellt sich nun etwas anders dar als dies bei der tatsächlichen Gesamtmenge der Fall war. Die Differenzmenge von ca. 200 l/s zwischen der tatsächlichen Entnahme und den 940 l/s wird zunächst durch die Fassung 1 versucht zu decken. Die Entnahmemenge an dieser Fassung ist konstant an ihrem Maximum. Dies ist analog zur stationären Optimierung. Die Entnahmemenge an Fassung 2 ist nun ebenfalls höher, trotz der hohen Nitratkonzentrationen. Die Entnahmemenge an Fassung 3 wird gesteigert bis Januar und fällt dann zu Gunsten der Entnahmemenge an Fassung 5 wieder ab. Der Grund für das Steigern der Entnahme an Fassung 5 liegt an den hohen Nitratgehalten des Wassers der Fassung 3. Diese übersteigen sogar die des Rohwassers der Fassung 2. Die Entnahmemenge an Fassung 4 ist eng mit dem Teilnutzwert Kosten verknüpft und wird deshalb nicht gesteigert. Die Entnahmemenge an Fassung 6 ist bereits konstant an ihrem Maximum.

Mit diesen Entnahmen ergeben sich die in Abb. 10.2 dargestellten Nutzwerte. Die Anzahl der Bewertungsgrößen ist geringer als dies bei der tatsächlichen Entnahme der Fall war, da die höhere Entnahme die Grundwasserstände generell absenkt. Der Teilnutzwert der Wasserwirtschaft kann bei dieser Entnahme nicht mehr so hoch gehalten werden. Es muss ein Kompromiss eingegangen werden, der Teilnutzwert für den Naturschutz bleibt nahezu konstant trotz ca. 200 l/s höherer Entnahme im Vergleich zur tatsächlichen Menge. **Der Teilnutzwert des Vorrangbereichs Landwirtschaft steigert sich sogar erheblich, die niedrigeren Grundwasserverhältnisse sind hier von Vorteil.**

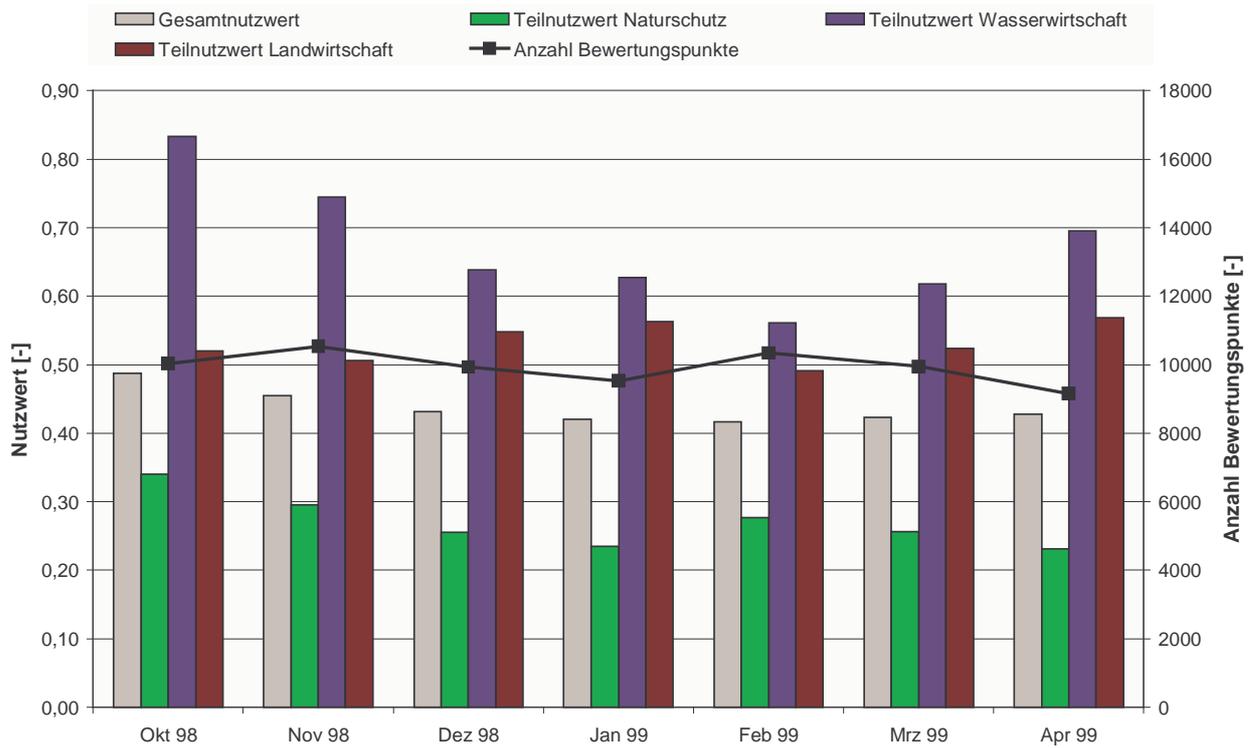


Abb. 10.2: Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Schwerpunktbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung mit einer Gesamtentnahme von 1000 l/s von Oktober 1998 bis April 1999

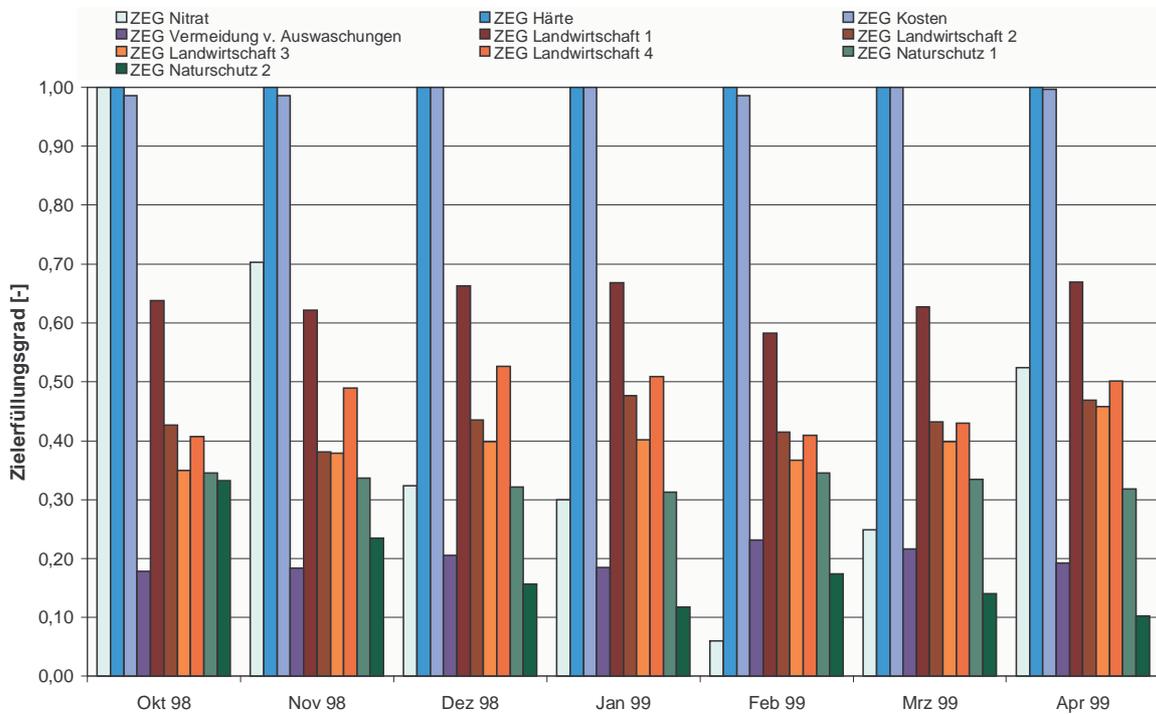


Abb. 10.3: Zielerfüllungsgrade bei Optimierung einer Gesamtentnahme von 1000 l/s von Oktober 1998 bis April 1999

Bei einer Gesamtentnahme von 1000 l/s können die hohen Nitratkonzentrationen der Fassungen 2 und 3 nicht mehr durch Umschalten auf andere Fassungen kompensiert werden, der ZEG Nitrat sinkt rapide ab bis Februar, erst dann wird aufgrund der fallenden Nitratwerte der Donau dieser ZEG stabilisiert. Die Härte und die Kosten bleiben bei nahezu 100%. Das Verhalten der anderen Teilnutzwerte wie Naturschutz 1 bzw. 2 und der Landwirtschaft ist analog zum Verlauf bei den tatsächlichen Entnahmemengen aber verstärkt zu erkennen.

Die Optimierung mit 1000 l/s zeigt, dass die Entnahme auch in Zeiten niedriger Grundwasserstände gegenüber der tatsächlichen Situation noch gesteigert werden kann. Steigt die Entnahme allerdings auf Spitzenentnahmen, wie dies zeitweise in Sommermonaten aufgrund des Bedarfs notwendig ist, so kann der Gesamtnutzwert auch stark zurückgehen. Detaillierte Untersuchungen hierzu sind nicht durchgeführt worden, aber ggf. im Betrieb des Optimierungssystems als Prognosewerkzeug notwendig.

10.4.4 Optimierung bei freier Gesamtentnahme

Bei freier Gesamtentnahme kann die Gesamtentnahme von PEST gewählt werden. Da allerdings eine Entnahme von weniger als 570 l/s aus dem Donauried für den Zweckverband Landeswasserversorgung nicht möglich ist (vgl. Tab. 6.1), wird die minimale Entnahme auf 570 l/s begrenzt. Die Gesamtförderung schwankt nun zwischen 989 l/s zu Beginn und sinkt auf 570 l/s ab.

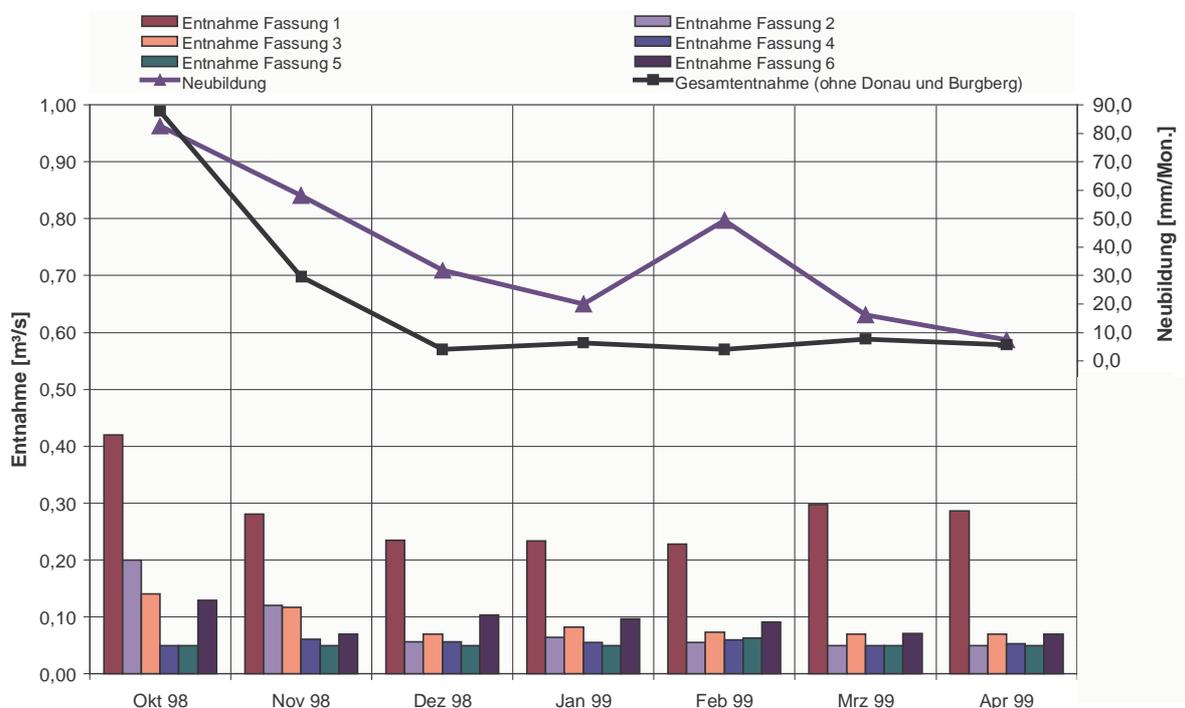


Abb. 10.1: Optimierte Entnahmeverteilung bei freier Gesamtentnahme und realer Neubildung von Oktober 1998 bis April 1999

Die Entnahmemenge an der Fassung 5 wird minimal gehalten. Sie wird wie bei den vorherigen Optimierungen mit vorgegebener Gesamtentnahme ebenfalls nicht genutzt. Die Ent-

nahme an der Fassung 6 schwankt zwischen 120 l/s und der Minimalentnahme. Die Entnahmen an den Fassungen 2 und 3 werden ab November stark reduziert, da dann die Nitratwerte ansteigen. Fassung 4 wird hier mit der gleichen Entnahme beansprucht wie bei der stationären Optimierung. Die Entnahme an Fassung 1 ist vergleichbar mit der stationären Optimierung.

Die Gesamtnutzwerte liegen ohne vorgegebene Gesamtentnahme wie erwartet höher als bei den vorangegangenen Optimierungen.

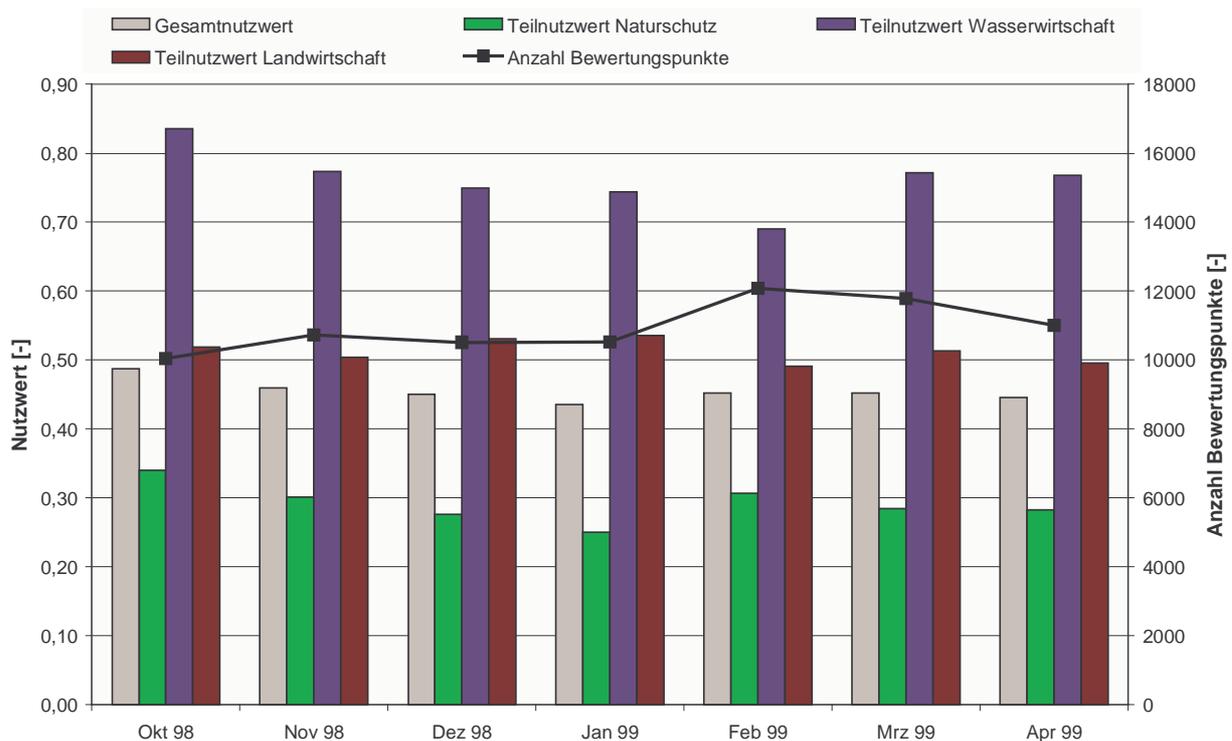


Abb. 10.2: Gesamtnutzwert, Teilnutzwerte der Vorrangbereiche und Anzahl der Bewertungspunkte bei Optimierung mit freier Gesamtentnahme von Oktober 1998 bis April 1999

Die Teilnutzwerte sind die höchsten von allen drei instationären Optimierungen, besonders der Teilnutzwert des Naturschutzes und der Wasserversorgung wird gesteigert. Offensichtlich trägt Composite Programming dazu bei, dass diese Bereiche verstärkt optimiert werden. Das Optimierungsergebnis zeigt, dass die Anstiege der Nitratkonzentration durch eine optimierte Entnahme ausgeglichen werden können. Die Landwirtschaft wird dagegen nicht verstärkt optimiert. Genauerem Aufschluss gibt die Analyse der Teilnutzwerte wie in Abb. 10.3 dargestellt.

Die Zielerfüllungsgrade für Nitrat sind bei der freien Optimierung deutlich besser als in den vorangegangenen Optimierungen. Im Schwerpunktbereich Landwirtschaft erreicht kein Teilnutzwert eine erkennbare Steigerung. Die ZEG für Landwirtschaft 2 sind insbesondere am Ende des Betrachtungszeitraumes höher als in den vorangegangenen Optimierungsbeurteilungen.

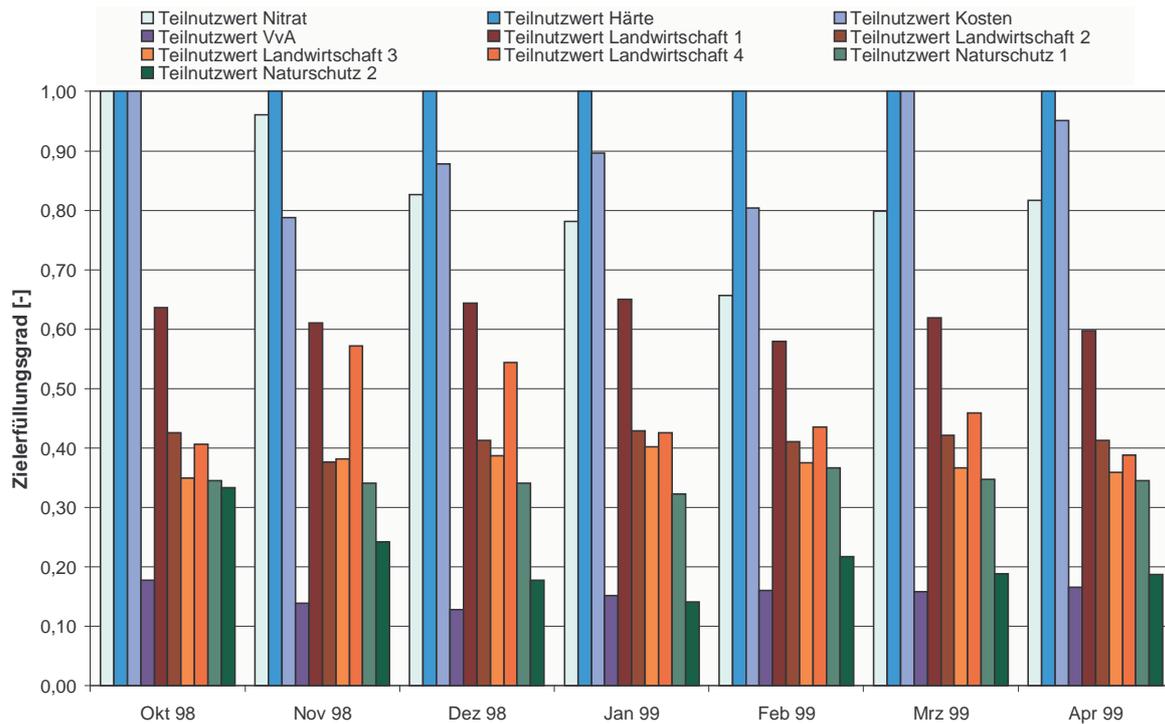


Abb. 10.3: Zielerfüllungsgrade bei Optimierung mit freier Gesamtentnahme von Oktober 1998 bis April 1999

10.4.5 Vergleich der Optimierungen

Die Gesamtnutzwerte und die Teilnutzwerte der Vorrangbereiche der verschiedenen Optimierungen werden nun miteinander verglichen. In Abb. 10.1 ist der Vergleich der Gesamtnutzwerte dargestellt.

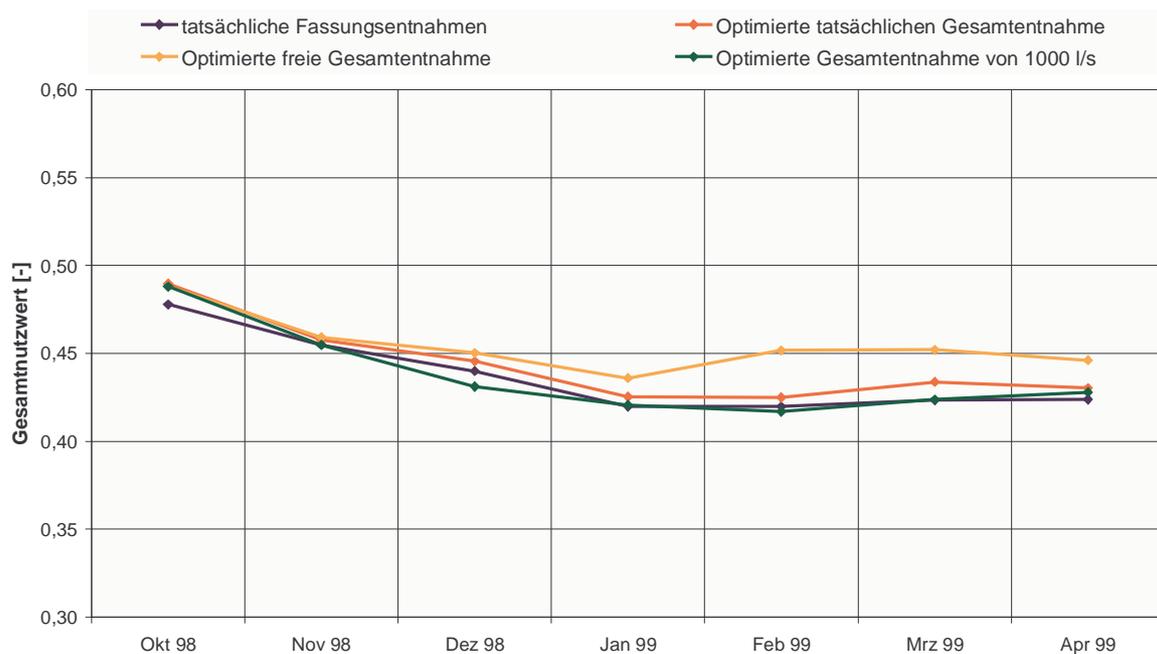


Abb. 10.1: Vergleich der Gesamtnutzwerte für die verschiedenen Optimierungen und des Gesamtnutzwerts der tatsächlichen Fassungsentnahmen

Im Oktober und November 1998 ist eine Optimierung praktisch ohne Auswirkung, die starke Neubildung lässt die Grundwasserverhältnisse so stark ansteigen, dass eine Umverteilung oder eine geringere Gesamtentnahme untergeordnet ist. Aufgrund des starken Grundwasseraufstiegs ist der Gesamtnutzwert hier am größten. Danach fallen die Gesamtnutzwerte aufgrund der sich verringernden Neubildung. Ab Dezember dann allerdings verlaufen die Entwicklungen nicht mehr parallel. Die erwartete Rangfolge zeichnet sich im Dezember besonders gut ab. Die hohe vorgegebene Gesamtentnahme von 1000 l/s erreicht den schlechtesten Gesamtnutzwert, gefolgt von der tatsächlichen Bewirtschaftung mit 680 l/s. Eine Optimierung dieser Entnahme äußert sich durch einen höheren Nutzwert. Die freie Entnahme hat ab diesem Zeitpunkt den besten Gesamtnutzwert und die Differenz zu den anderen Szenarien wächst bis auf 3-3,5% an. Vergleicht man diese Differenz mit der potentiellen Bandbreite der Gesamtnutzwerte der bisherigen Bewirtschaftung von 1993 bis 1996 von ca. 14% (siehe Kap. 9.3.1), so ist das vergleichsweise viel. **Dass die optimierte Entnahme bei 1000 l/s in etwa die gleichen Gesamtnutzwerte erreicht wie die tatsächliche Entnahme zeigt, dass bei optimierter Bewirtschaftung bei gleichem Nutzwert insgesamt mehr Wasser entnommen werden kann.** Eine Optimierung der tatsächlichen Entnahme bringt in etwa einen um 0,5 bis 1% besseren Gesamtnutzen. Aufschluss über das Zustandekommen dieser Gesamtnutzwerte geben die Teilnutzwerte der einzelnen Schwerpunktbereiche. In Abb. 10.2 sind die Teilnutzwerte des Schwerpunktbereichs Naturschutz dargestellt.

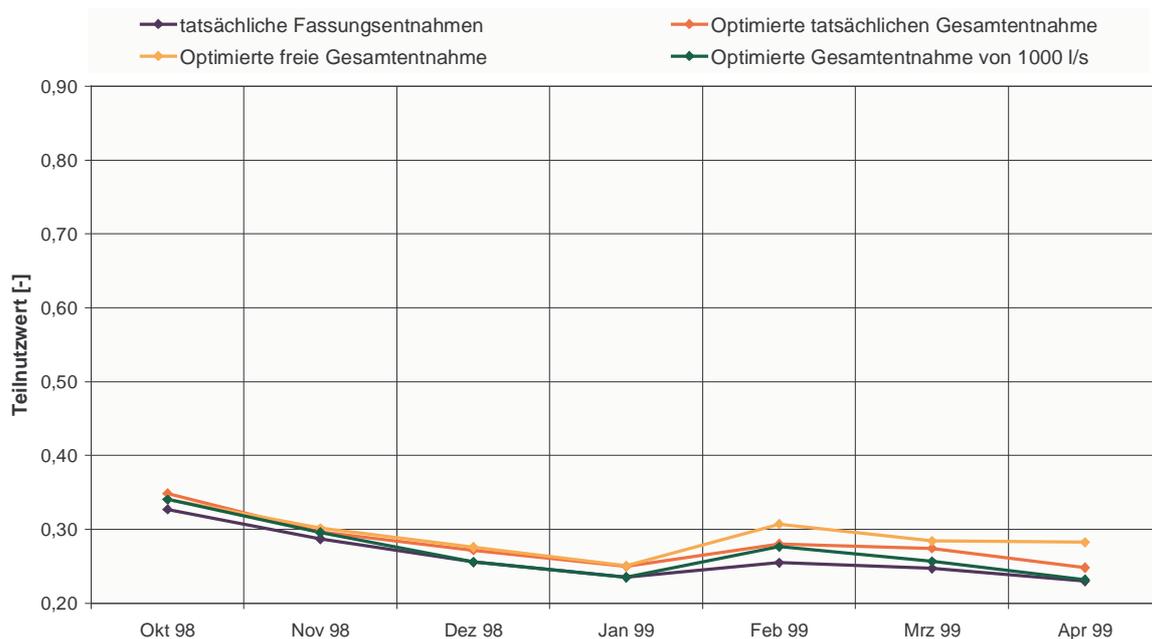


Abb. 10.2: Vergleich der Teilnutzwerte Naturschutz für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen

An der großen Ähnlichkeit der Verläufe des Teilnutzens Naturschutz und des Gesamtnutzwertes wird der Einfluss des Naturschutzes auf die Gesamtbewertung aufgrund der Kompensation von Composite Programming deutlich. Für den Naturschutz zeigt sich hier ebenfalls die bessere Bewertung geringerer Gesamtentnahmen. Die starke Neubildung im Februar drückt sich durch ein rapides Ansteigen der Teilnutzwerte aus.

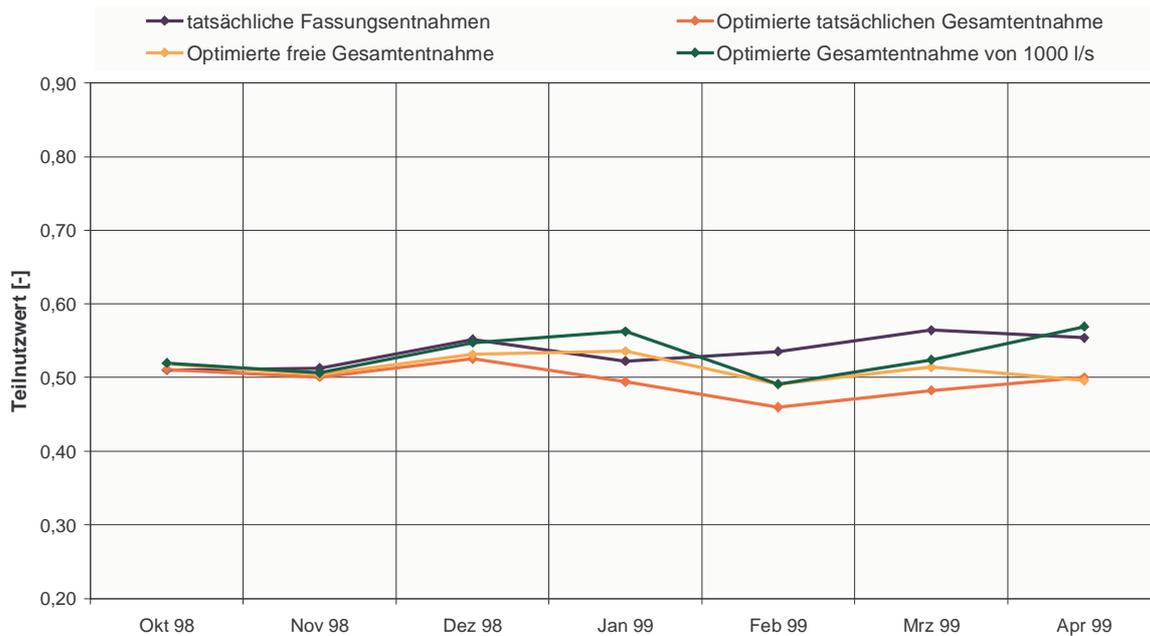


Abb. 10.3: Vergleich der Teilnutzwerte Landwirtschaft für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen

Der Teilnutzwert der Landwirtschaft hat größere Schwankungsbreiten als der des Naturschutzes. Die Rangfolge der Bewertung der Bewirtschaftungen, wie sie beim Naturschutz und beim Gesamtnutzen zu sehen war, ist hier nicht mehr zu erkennen. Die tatsächliche Bewirtschaftung erreicht außer in drei Monaten immer die beste Bewertung. In zwei von diesen drei Monaten erreicht nur die Bewirtschaftung mit 1000 l/s eine bessere. Die Optimierung geht also teilweise auf Kosten der Landwirtschaft, die freie Bewirtschaftung schneidet hier nicht besser ab als die tatsächliche. Die optimierte tatsächliche Entnahme wird in diesem Schwerpunktbereich am schlechtesten bewertet.

Die Teilnutzwerte der Wasserwirtschaft ergeben sich wie in Abb. 10.4 dargestellt.

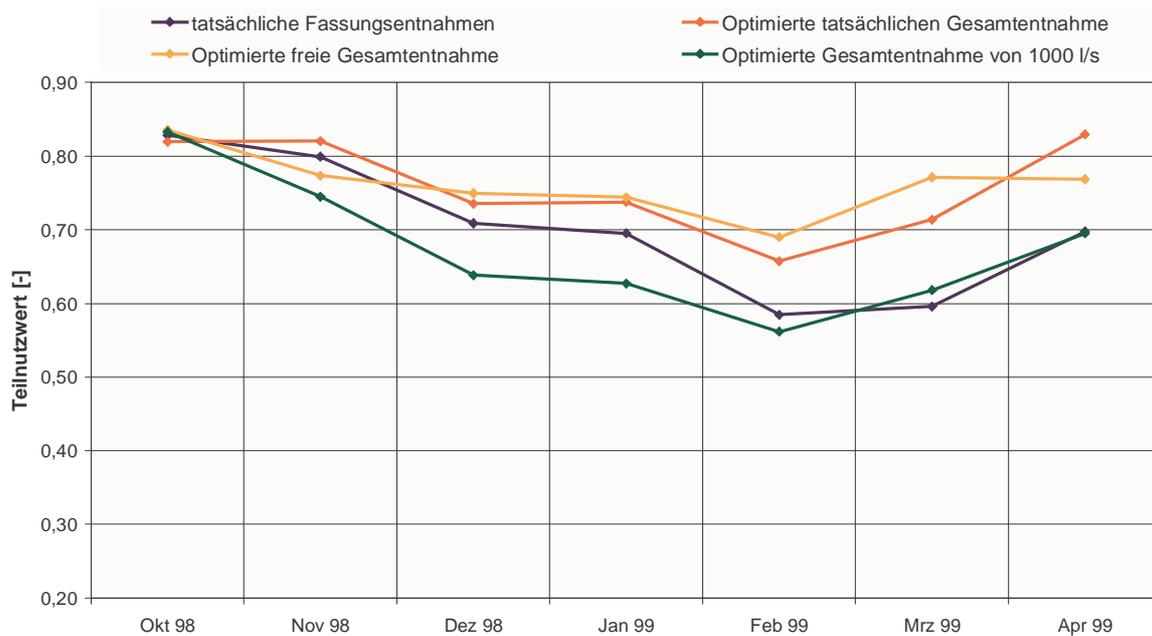


Abb. 10.4: Vergleich der Teilnutzwerte Wasserwirtschaft für die verschiedenen Optimierungen und der tatsächlichen Fassungsentnahmen

Der Teilnutzwert der Wasserwirtschaft hat eine höhere Schwankungsbreite als die übrigen. Bis zu 30% liegen zwischen den verschiedenen Optimierungen. Die freie Optimierung zeichnet sich durch konstant hohe Nutzwerte zwischen 75 und 80% aus. Nur hier kann ein Absinken des Teilnutzens wegen der hohen Nitratwerte verhindert werden. Aber auch die freie Entnahme erreicht nicht immer die beste Bewertung, hier zeigt sich der Kompromiss zu den anderen Schwerpunktbereichen. Die Optimierungen mit vorgegebener Gesamtentnahme folgen in etwa dem Verlauf der Nitratkonzentration, mit im März bzw. April wieder ansteigenden Werten bei sinkenden Konzentrationen. Durch eine Optimierung der tatsächlichen Entnahme können bei der Wasserwirtschaft durchaus 10-15% höhere Bewertungen erzielt werden. Die Entnahme von 1000 l/s ergibt erst gegen Ende des Optimierungszeitraums Teilnutzwerte, die ähnlich der tatsächlichen Bewirtschaftung sind.

10.5 Zusammenfassung

Das Optimierungssystem für instationäre Verhältnisse wurde exemplarisch für den Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999 auf die Grundwasserentnahme im Donauried angewendet. Dabei ist zu beachten, dass die Nutzwerte einerseits von der Hydrologie und andererseits von der Grundwasserentnahme im Donauried beeinflusst werden. Um den hydrologischen Einfluss auf die Bewertung weitgehend auszugleichen, wird für jeden Monat vor der Optimierung die Anzahl der Bewertungspunkte für die einzelnen Schwerpunktbereiche bestimmt, indem die Möglichkeit zur Optimierung überprüft wird. Aber dennoch ist der hydrologische Einfluss noch deutlich in den Teilnutzwerten für Naturschutz und Wasserversorgung erkennbar.

Wird die Grundwasserentnahme ohne eine vorgegebene Gesamtentnahme optimiert, so ergeben sich optimale Entnahmeraten, die unterhalb der mittleren Entnahme bzw. der tatsächlich in diesem Zeitraum entnommenen Wassermenge liegen. Das bedeutet, dass eine freie Optimierung im Hinblick auf die bereitzustellende Wassermenge nicht sinnvoll ist, obwohl sich bei der freien Optimierung Nutzwerte einstellen, die über den Nutzwerten der Optimierungen mit vorgegebener Gesamtentnahme liegen. Dass das Optimierungssystem bei der freien Optimierung die Fassungsentnahmen stark zurückfährt, liegt hauptsächlich in der schlechten Qualität der Rohwässer (Nitrat) im Betrachtungszeitraum begründet.

Die Optimierungen mit vorgegebener Gesamtentnahme entsprechend der tatsächlichen Entnahme zeigen, dass sich die Gesamtnutzwerte mit einer Optimierung verbessern lassen. Erfolgt eine Optimierung mit einer Gesamtentnahme von 1000 l/s (ca. 200 – 300 l/s über der tatsächlichen Entnahme), so können Gesamtnutzwerte innerhalb des Betrachtungszeitraumes erreicht werden, die denen der tatsächlichen (geringeren) Entnahme entsprechen. **Das bedeutet, dass die Gesamtentnahme durch Umverteilung gegenüber der tatsächlichen Entnahme ohne Einbußen für das Gesamtsystem gesteigert werden kann.**

Vergleicht man die zeitliche Entwicklung der Teilnutzwerte, so lässt sich feststellen, dass die Teilnutzwerte für die Schwerpunktbereiche Wasserversorgung und Landwirtschaft bei den unterschiedlichen Optimierungen mit zunehmender Zeitachse eine größere Bandbreite aufweisen. Die Bandbreite der Teilnutzwerte für Naturschutz ist dagegen deutlich kleiner. **Dies zeigt, dass die hydrologischen Einflüsse für den Vorrangbereich Naturschutz gegenüber denen einer optimalen Entnahmeverteilung dominieren. Eine Verbesserung der Verhältnisse für den Naturschutz durch eine optimale Entnahme ist damit nur eingeschränkt möglich.**

Mit dem neu entwickelten Optimierungssystem für instationäre Prozesse und der Anwendung im Donauried ist der Grundstein für ein dynamisches Grundwassermanagementsystem gelegt. Nachfolgend ist die Anwendung eines dynamischen Grundwassermanagementsystems zur Abschätzung der optimalen Entnahmeverhältnisse am Beispiel des Donaurieds aufgezeigt.