

# 11 DYNAMISCHES GRUNDWASSERMANAGEMENT-SYSTEM

## 11.1 Übersicht

Das entwickelte Optimierungssystem für instationäre Verhältnisse lässt sich in der praktischen Anwendung auch als dynamisches Managementsystem einsetzen. So können für einen bestimmten Zeitraum in der Zukunft optimale Entnahmeverhältnisse prognostiziert werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden exemplarisch Prognosebetrachtungen für den April 1999 durchgeführt. Der April ist der letzte Monat, der im Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999 bei der instationären Optimierung (siehe Kap. 10.4) betrachtet wurde.

Die Unsicherheiten bei der Prognose der optimalen Entnahmeverteilung im Rahmen eines Grundwassermanagements betreffen im wesentlichen zwei Größen, die vorab unbekannt sind. Dies ist zunächst die *Gesamtentnahme* für den Prognosemonat. Die Gesamtentnahme ist abhängig vom Trinkwasserverbrauch der Kunden des Wasserversorgungsunternehmens und von betrieblichen Randbedingungen (z.B. unterschiedlich starke Nutzung der Wasserressourcen). Der prognostizierte Wasserbedarf muss zunächst anhand von Erfahrungswerten für den jeweiligen Monat abgeschätzt werden. Die zweite wesentliche unbekannte Größe ist die *Grundwasserneubildung*. Sie ist abhängig vom Niederschlag, den klimatischen Verhältnissen und dem aktuellen Bodenwassergehalt vor dem Niederschlagsereignis. Diese Größe ist nicht voraussehbar und mit größeren Unsicherheiten behaftet als die Entnahmemenge. Für die Wasserversorgungsunternehmen sind die Bewertungsgrößen Nitrat- und Härtekonzentrationen an den Fassungen a priori ebenfalls unbekannt. Da hier aber die Schwankungsbreiten von einem Monat zum nächsten vergleichsweise gering sind, kann entweder von den Werten des aktuellen Monats ausgegangen oder aber eine Extrapolation der jüngsten Entwicklung vorgenommen werden.

Um nun ausgehend von den Ergebnissen des Monats April 1999 die Entnahme für den darauffolgenden Monat Mai 1999 in Abhängigkeit von den unbekanntenen Größen Gesamtentnahme und Grundwasserneubildung optimieren zu können, müssen mehrere Szenarien untersucht werden. Nachfolgend werden sechs mögliche Szenarien betrachtet, deren Eintreten für den kommenden Monat unterschiedlich wahrscheinlich ist. Die Optimierung erfolgt ausgehend vom März 1999, für den die tatsächliche Entnahmemenge, die tatsächliche Neubildung und die tatsächlichen Nitrat- und Härtewerte bekannt sind. Für den April 1999 wird davon ausgegangen, dass 719 l/s benötigt werden. Dies entspricht der tatsächlichen Gesamtentnahme im April 1999. Um die Unsicherheit dieser Entnahmeprognose berücksichtigen zu können, werden auch Optimierungsrechnungen mit der Bandbreite von  $\pm 20\%$  durchgeführt. Bei der Neubildung werden drei Szenarien betrachtet. Die wahrscheinlichste Neubildung ist das langjährige Monatsmittel für den April. Darüber hinaus wird keine Grundwasserneubildung als untere Grenze und eine maximale Grundwasserneubildung angesetzt,

die der größten Grundwasserneubildung im April der letzten 10 Jahre entspricht. Die sich daraus ergebenden Prognosevarianten für die Optimierung sind in Tab. 11.1 zusammengefasst. Um die Prognoseergebnisse vergleichen zu können, wurde auch die tatsächliche Neubildung im April 1999 mit tatsächlicher Entnahme im Optimierungssystem betrachtet.

Tab. 11.1: Übersicht über die betrachteten Szenarien der Prognose des April 1999.

		Neubildung				Wert [l/s]
		Keine	Tatsächliche	Mittlere	Maximale	
<b>Entnahmemenge</b>	Tatsächliche -20%			<b>X</b>		<b>575</b>
	Tatsächliche	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>719</b>
	Tatsächliche +20%			<b>X</b>		<b>863</b>
	Wert [mm/Mon.]	<b>0,0</b>	<b>7,30</b>	<b>16,04</b>	<b>76,43</b>	

## 11.2 Das Optimierungssystem

Die Vorgehensweise bei der Optimierung ist identisch zur instationären Optimierung (siehe Kap. 10). Es wird auch bei der Prognose ein Zeitraum von 2 Monaten betrachtet. Im ersten Monat werden die tatsächlichen Verhältnisse (Entnahme und Grundwasserneubildung) angesetzt. Anschließend wird der Prognosemonat berechnet. In 6 Optimierungsbetrachtungen werden die in Tab. 11.1 zusammengestellten Randbedingungen angesetzt. Innerhalb einer Optimierungsbetrachtung wird entsprechend der Vorgehensweise in Kap. 10 zunächst die Anzahl der Bewertungsgrößen durch einen Modelllauf ohne Grundwasserentnahme bestimmt. Danach erfolgt die Optimierung der instationären Strömungsverhältnisse mit dem instationären Bewertungssystem.

## 11.3 Vergleich der Optimierungen für die tatsächliche Entnahmemenge bei Variation der Neubildung

Die Neubildung hat einen großen Einfluss auf die Grundwasserstände und somit aufgrund der Vorgehensweise bei der Berechnung des Optimierungspotentials auf die Anzahl der Bewertungsgrößen. Die Auswirkungen auf die Anzahl der Bewertungsgrößen in Abhängigkeit von der Neubildung im Optimierungsmonat April ist in Abb. 11.1 wiedergegeben:

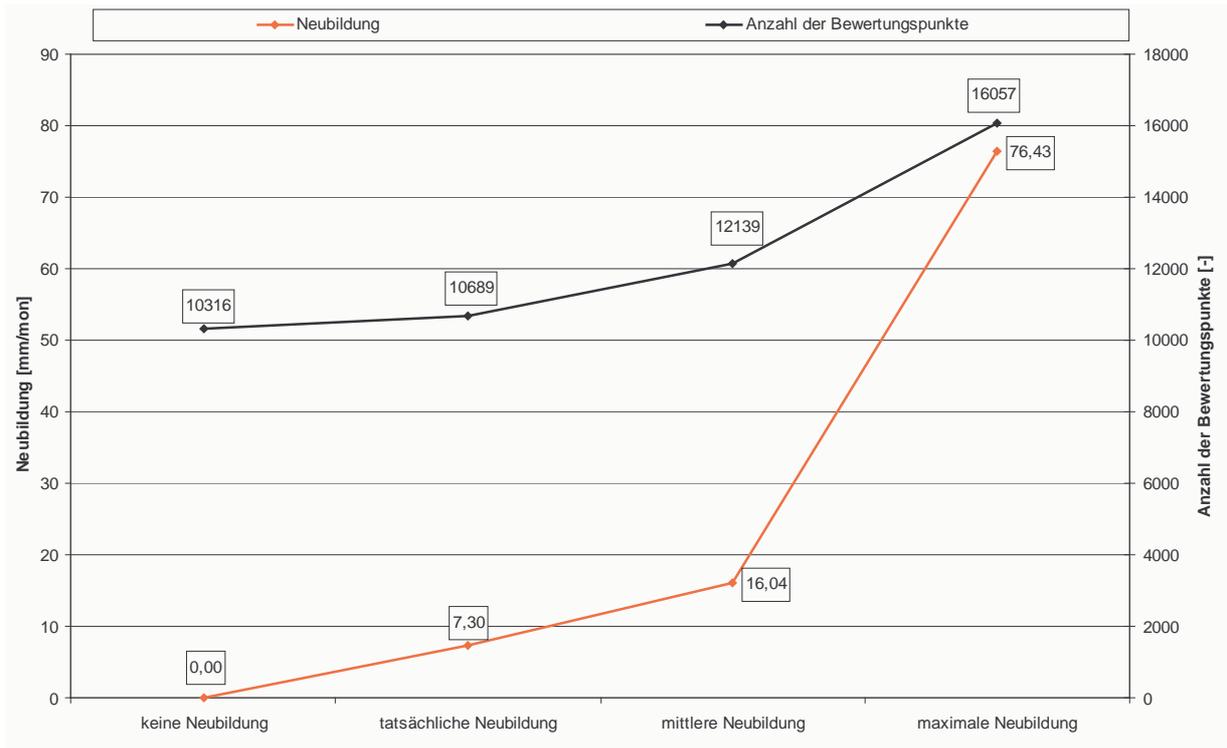


Abb. 11.1: Neubildung und Anzahl der Bewertungspunkte für die unterschiedlichen Szenarien

Aus Abb. 11.1 ist zu erkennen, dass die Anzahl der Bewertungspunkte mit steigender Grundwasserneubildung zunimmt, da gleichzeitig die Grundwasserstände steigen. Dadurch liegen bei hoher Neubildung mehr Bewertungspunkte in einem Bereich, der optimierbar ist, als bei niedriger oder keiner Neubildung. Das Ergebnis der vier Optimierungsberechnungen mit der tatsächlichen Gesamtentnahme ist in Abb. 11.2 dargestellt.

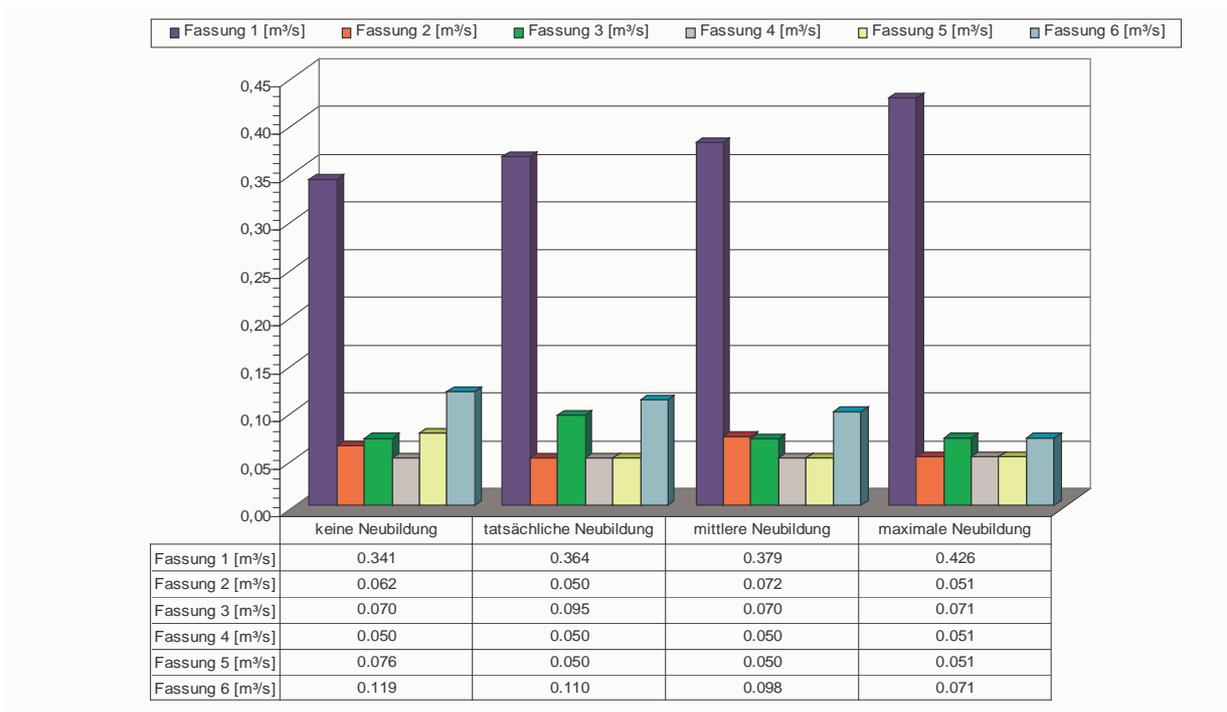


Abb. 11.2: Verteilung der Gesamtentnahme auf die Fassungen für verschiedenen Neubildungsprognosen im April 1999.

Man erkennt zwei klare Tendenzen, die sich für die Optimierung für April ohne Neubildung bis zur maximalen Neubildung verfolgen lassen. Die Entnahmemenge an Fassung 1 wird kontinuierlich von 341 l/s auf das Maximum von 426 l/s bei zunehmender Neubildung gesteigert. Analog dazu wird die Entnahmemenge an Fassung 6 kontinuierlich von 119 l/s bis fast auf das Minimum von 70 l/s bei zunehmender Neubildung gesenkt. Die Entnahmeverteilung auf diese beiden Fassungen reagiert sensibel auf eine Neubildungsänderung zugunsten einer Entnahme an Fassung 1 bei steigender Neubildung. Die Entnahmeverteilung für die anderen Fassungen ändert sich kaum. Vereinzelt sind veränderte Werte zu finden, z.B. für die Fassung 3 bei tatsächlicher Neubildung oder für die Fassung 2 bei mittlerer Neubildung. Für die betrachteten Entnahmeverteilungen bei verschiedenen Neubildungsprognosen ergeben sich die in Abb. 11.3 dargestellten Nutzwerte.

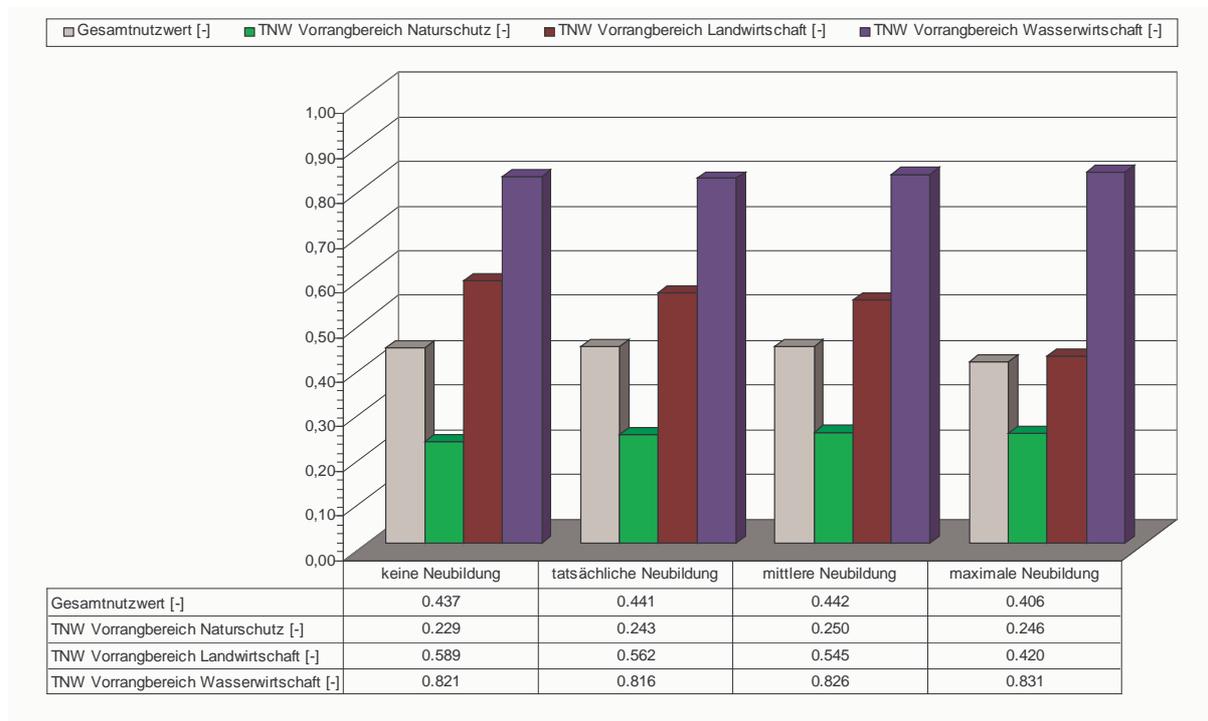


Abb. 11.3: Gesamtnutzwert und Teilnutzwerte (TNW) für verschiedene Neubildungsprognosen im April 1999

Der Vergleich der Nutzwerte muss mit der nötigen Vorsicht vorgenommen werden, da wie in Abb. 11.1 dargestellt, die Anzahl der Bewertungsgrößen extrem schwankt. Es ist aber wie bereits in der Optimierung für instationäre Verhältnisse bzw. bei der Bewertung der bisherigen Bewirtschaftung eine klare Tendenz beim Vorrangbereich Landwirtschaft zu erkennen: je höher die Neubildung desto tiefer der Teilnutzwert für den Schwerpunktbereich Landwirtschaft. Der Gesamtnutzwert ist am höchsten für die moderaten Neubildungsraten (mittlere und tatsächliche Neubildung).

### 11.4 Vergleich der Optimierungen für die mittlere Neubildung bei Variation der Entnahmemenge

Die Schwankungsbreite der möglichen Entnahmemenge aus dem Donauried abhängig vom Bedarf des Wasserversorgers kann im Jahresverlauf ebenfalls unterschiedlich sein. In den Wintermonaten weist die prognostizierte Entnahmemenge sicherlich nicht so hohe Schwankungsbreiten auf wie in den Sommermonaten. Wird die monatliche Gesamtentnahme aus dem Donauried analysiert, so zeigt sich, dass die Gesamtschwankung ca. 50% von der mittleren Entnahme ist. Die Standardabweichung liegt bei ca. 20%. Deshalb wurde eine mittlere Schwankungsbreite von  $\pm 20\%$  zur tatsächlichen Entnahmemenge gewählt. Dadurch ergeben sich Entnahmemengen von minimal 575 l/s und maximal 863 l/s. Diese Mengen werden nun mit der mittleren Neubildung der Monate April im Zeitraum 1993-2003 optimiert. Die optimierten Entnahmeverteilungen sind in Abb. 11.1 dargestellt.

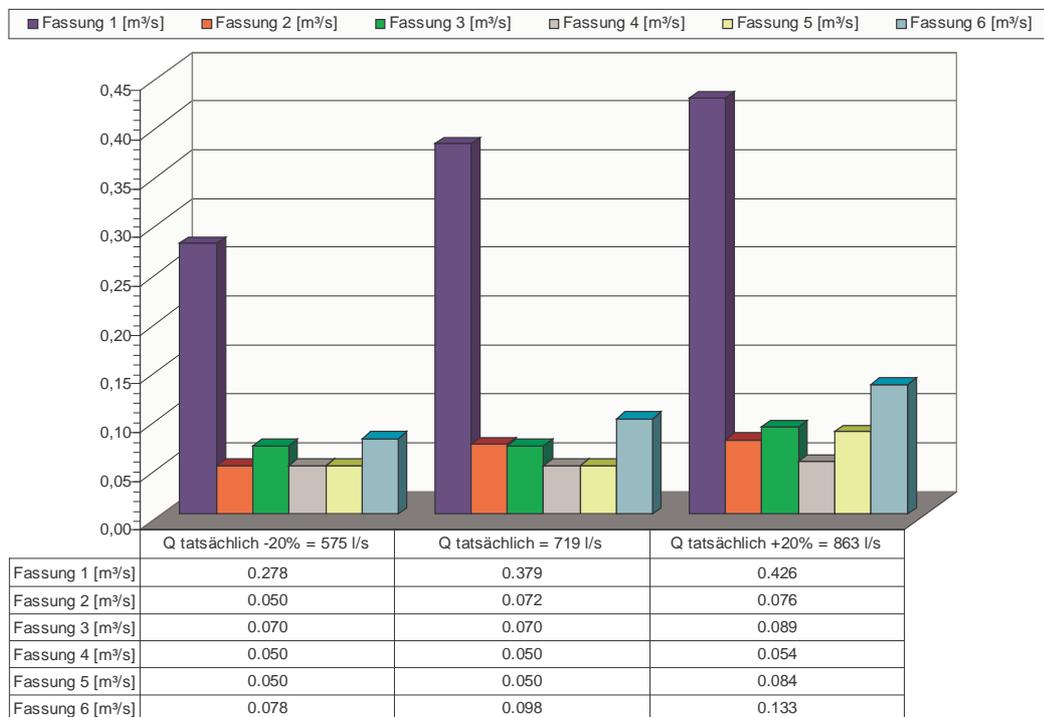


Abb. 11.1: Entnahmeverteilung der Fassungen für verschiedene Gesamtentnahmen bei mittlerer Neubildung im April 1999

Bei der Variation der Gesamtentnahme stellt sich die Frage, an welchen Fassungen die Steigerung bzw. Abminderung erfolgen wird. Bei der tatsächlichen Entnahmemenge von 719 l/s ist die Entnahme an Fassung 1 mit 379 l/s der Hauptanteil der Gesamtentnahme. Die Entnahme an Fassung 2 liegt knapp über der Minimalentnahme. An Fassung 3 wurde die Entnahme auf ca. 70 l/s optimiert. Die Entnahme an Fassung 4 bleibt konstant auf dem Minimum. An Fassung 5 wird die Entnahme erst bei der hohen Gesamtentnahme gesteigert. Die Entnahmen an Fassung 6 ist wie die Entnahme an Fassung 1 in der selben Größenordnung wie bei der Optimierung für stationäre Verhältnisse.

Betrachtet man nun die um 20% kleinere bzw. größere Menge, so wurden die größten Veränderungen an Fassung 1 und 6 vorgenommen. Im einen Fall wurden sie in der Summe um 121 l/s gesenkt, im anderen um 82 l/s erhöht. Die Entnahme an Fassung 6 wird nahezu in ihrem gesamten Entnahmespektrum verändert. Die Entnahme an Fassung 1 wird von minimalen 278 l/s bis auf das Maximum erhöht. Auffällig ist nun, dass die Entnahme an Fassung 2 kaum variiert, diese wurde bei der Optimierung für stationäre Verhältnisse bei Steigerung der Gesamtentnahme an dritter Stelle, d.h. nach der Entnahme an Fassung 1 und 6, verändert. Statt dessen werden die Entnahmen an der Fassungen 3, 4 und 5 bei Steigerung der Entnahme nun leicht erhöht. Mit diesen Entnahmeverteilungen ergeben sich die in Abb. 11.2 dargestellten Nutzwerte:

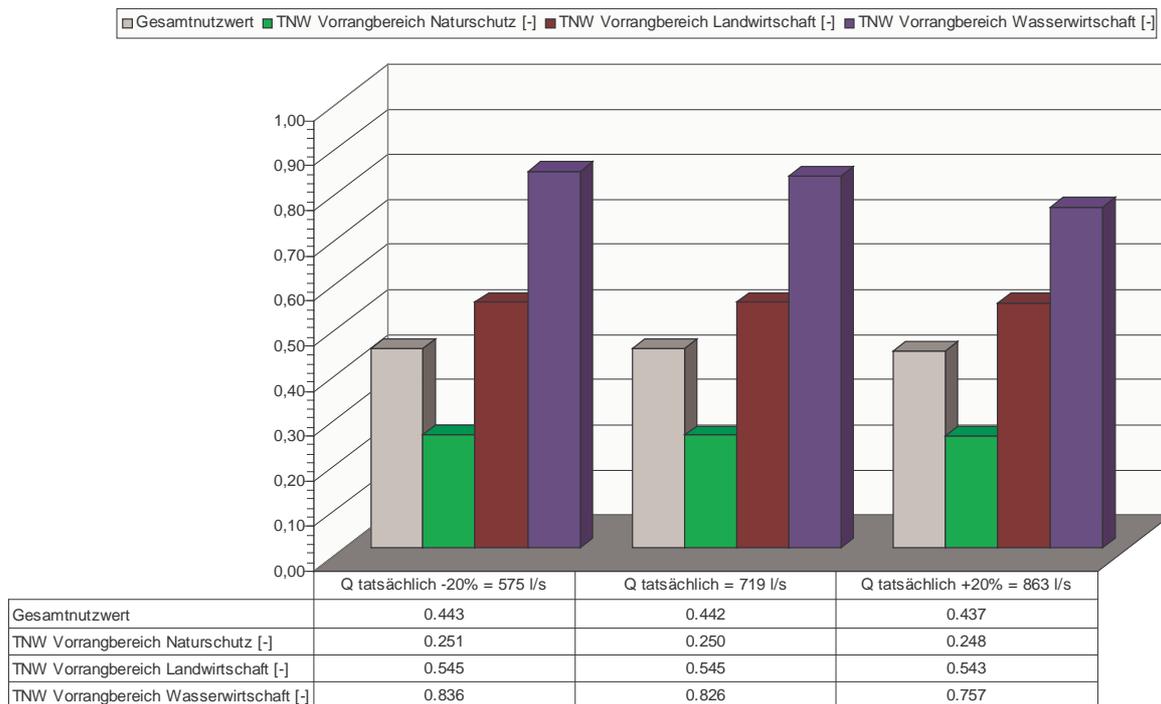


Abb. 11.2: Gesamtnutzwert und Teilnutzwerte (TNW) für verschiedene Gesamtentnahmen im April 1999.

Die Nutzwerte sind hier nun direkt miteinander vergleichbar, da sie alle mit derselben Anzahl an Bewertungsgrößen ermittelt wurden. Hier bestätigt sich das Ergebnis der Optimierung für stationäre Verhältnisse erneut. Bei der Optimierung mit freier Gesamtentnahme (siehe Kap. 7.6.2) wurde die optimale Menge zu 661 l/s ermittelt. Diese liegt zwischen den betrachteten Mengen der tatsächlichen Entnahme und der um 20% verringerten, die den höchsten Gesamtnutzwert erreicht. Der Teilnutzwert des Vorrangbereichs Naturschutz erhält wie erwartet den höchsten Wert bei der geringsten Entnahmemenge von 575 l/s. Die Veränderung der Teilnutzwerte des Vorrangbereichs Landwirtschaft sind vernachlässigbar klein, d. h. die Entnahme hat zumindest im Monat April keinen Einfluss auf die Landwirtschaft. Der Gesamtnutzwert des Vorrangbereichs Wasserwirtschaft schwankt am meisten. Er sinkt um nahezu 8% bei steigender Gesamtentnahme, dies ist auf den steigenden Nitratgehalt des Mischwassers zurück zu führen.

Damit ergeben sich die in Tab. 11.1 dargestellten Entnahmeverteilungen.

Tab. 11.1: Übersicht über die optimierten Entnahmeverteilungen der Prognose des April 1999

		Neubildung				Summe [l/s]
		Keine	Tatsächliche	Mittlere	Maximale	
Entnahmemenge [l/s]	Fassung 1:			278		<b>575</b>
	Fassung 2:			50		
	Fassung 3:			70		
	Fassung 4:			50		
	Fassung 5:			50		
	Fassung 6:			78		
	Fassung 1:	341	364	379	426	<b>719</b>
	Fassung 2:	62	50	72	51	
	Fassung 3:	70	95	70	71	
	Fassung 4:	50	50	50	51	
	Fassung 5:	76	50	50	51	
	Fassung 6:	119	110	98	71	
	Fassung 1:			426		<b>863</b>
	Fassung 2:			76		
	Fassung 3:			89		
	Fassung 4:			54		
	Fassung 5:			84		
	Fassung 6:			133		
	Wert [mm/Mon]	<b>0,0</b>	<b>7,30</b>	<b>16,04</b>	<b>76,43</b>	

Es ergibt sich folgender Vorschlag der Entnahmesteuerung für die einzelnen Fassungen bei unbekannter Neubildung und Gesamtentnahme im April 1999:

- Fassung 1: Sie wird zum Ausgleich der größten Entnahmeschwankungen genutzt. Die optimierte Entnahmebandbreite reicht von 278 l/s bis zur maximalen Entnahme.
- Fassung 2: Die Entnahmemenge wird leicht verändert. Die optimierte Entnahmebandbreite reicht vom Minimum (50 l/s) bis zu 76 l/s.
- Fassung 3: Wird ebenfalls zum Ausgleich der schwankenden Gesamtentnahme genutzt, allerdings erst bei der Steigerung von 719 auf 864 l/s. Die maximale Entnahmemenge beträgt 89 l/s.
- Fassung 4: Ist für den April optimal bei 50-54 l/s unabhängig von Gesamtentnahme und Neubildung.
- Fassung 5: Die Entnahme wird bei einer Entnahmesteigerung von 719 auf 864 l/s auf 84 l/s gesteigert, ansonsten optimal am Minimum von 50 l/s.
- Fassung 6: Sie wird ebenfalls zum Ausgleich der größten Entnahmeschwankungen genutzt. Die optimierte Entnahmebandbreite liegt zwischen 70 l/s und der maximalen Entnahme von 133 l/s mit wachsender Gesamtentnahme.

## 11.5 Einbindung der optimierten Entnahmeraten in die tägliche Bewirtschaftung

Die optimierten Entnahmeraten sind als mittlere monatliche Vorgaben zu verstehen, die im optimalen Fall während des gesamten Monats gleichmäßig eingehalten werden. Da die tägliche Bereitstellungsmenge der einzelnen Fassungen aber entsprechend der Gesamtbereitstellungsmenge schwankt, muss ein Weg gefunden werden, wie die optimierten Entnahmeraten in die tägliche Bewirtschaftung eingebunden werden können. Dazu müssen Bandbreiten für die Bewirtschaftung vorgegeben werden, die einerseits eine größtmögliche Flexibilität erlauben, andererseits aber sicherstellen, dass die optimierte Entnahmerate ohne allzu große Schwankungen in der täglichen Bereitstellung erreicht wird. Das Vorgehen sei exemplarisch anhand der in Tab. 11.1 dargestellten optimalen Entnahmerate an der Fassung 1 aufgezeigt. Zu Beginn des Prognosemonats ist von einer mittleren Gesamtentnahme und einer mittleren Grundwasserneubildung auszugehen, so dass die Zielvorgabe 379 l/s beträgt.

Theoretisch wäre es möglich, die vorgegebene Entnahmerate zu erreichen, wenn an 16,37 Tagen im April die Mindestentnahmemenge von 70 l/s (vgl. Tab. 6.2) und an 13,63 Tagen die wasserrechtlich genehmigte Entnahmemenge von 750 l/s (vgl. Tab. 3.1) entnommen wird. Diese ungleichmäßige Bewirtschaftung der Fassung ist jedoch nicht das Ziel der Optimierung, vielmehr ist eine gleichmäßige Entnahme von 379 l/s während des gesamten Monats anzustreben. Um dennoch genug Spielraum für die tägliche Bewirtschaftung zu lassen, wird die nachfolgend geschilderte Vorgehensweise gewählt.

Zunächst wird die bisherige tägliche Bewirtschaftung der Fassung 1 bei einer durchschnittlichen monatlichen Förderrate von 379 l/s  $\pm$  5% (360 l/s bis 398 l/s) analysiert. Dieses Kriterium trifft auf insgesamt 15 Monate zwischen November 1969 und Oktober 2003 zu. Innerhalb dieser Monate werden anschließend die Veränderungen der Förderraten von einem Tag zum nächsten berechnet und als Histogramm dargestellt (Abb. 11.1). Auf diese Weise kann festgestellt werden, in welchen Bereichen sich die bereitstellungsabhängigen Veränderungen in der Vergangenheit bei der vorgegebenen mittleren monatlichen Entnahmerate bewegt haben.

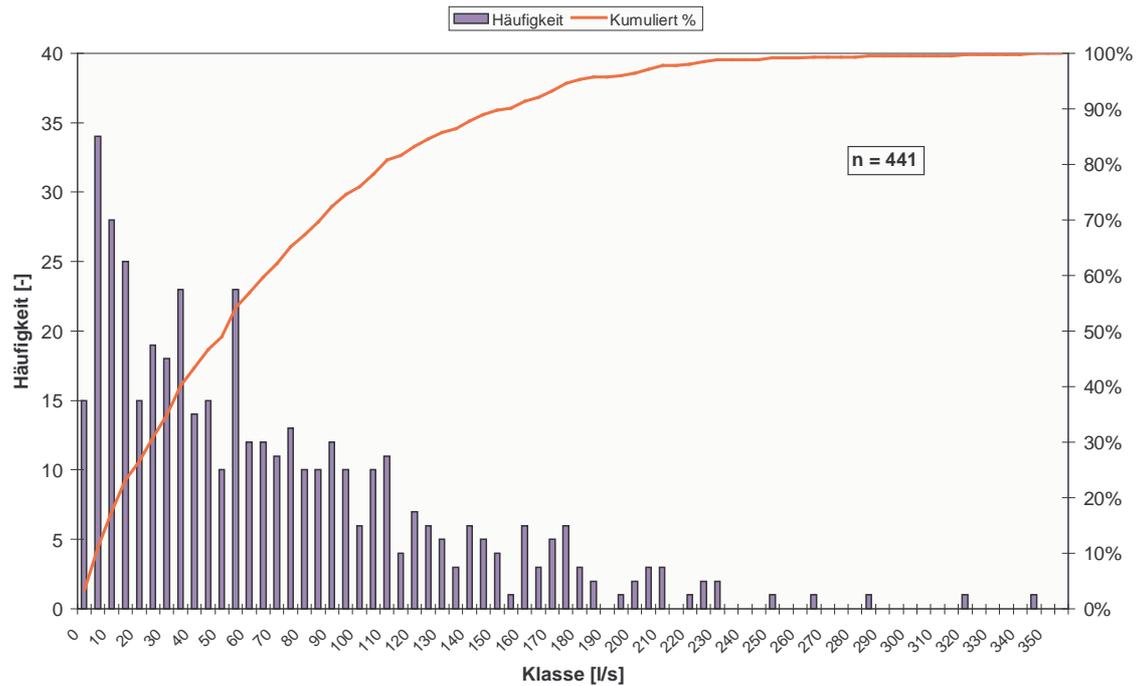


Abb. 11.1: Histogramm der Veränderung der täglichen Bereitstellungsmenge an der Fassung 1 bei einer mittleren monatlichen Entnahmerate von 379 l/s  $\pm$  5%

Die Auswertung zeigt, dass 95% der täglichen Veränderungen unterhalb von 179 l/s liegen. Es wird festgelegt, dass dieser „Entnahmesprung“ auch zukünftig im Rahmen der optimierten Bewirtschaftung möglich sein muss. Um die optimierte Entnahmerate von 379 l/s wird daher ein „Bewirtschaftungskorridor“ von  $\pm$  89,5 l/s gelegt. Die Bewirtschaftung der Fassung muss sich demnach innerhalb einer Bandbreite von 289,5 l/s ( $Q_{\min, \text{zul}}$ ) und 468,5 l/s ( $Q_{\max, \text{zul}}$ ) bewegen, geringere bzw. höhere Entnahmen sind unzulässig. Eine weitere Untersuchung der täglichen Veränderungen zeigt, dass der Entnahmesprung um 89,5 l/s dem 72%-Perzentil entspricht. Somit ist sichergestellt, dass auch von der mittleren Entnahmerate aus ein ausreichender Spielraum für die Bewirtschaftung der Fassung gegeben ist.

Ausgehend von den tatsächlichen Entnahmeraten des Prognosemonats wird schließlich tagessaktuell die mittlere Entnahmerate berechnet, die eingehalten werden muss, um die Zielvorgabe von 379 l/s am Ende des Monats zu erreichen. Ändert sich die Zielvorgabe innerhalb des Monats z.B. durch starke Grundwasserneubildung oder eine geringere Gesamtentnahme gemäß Tab. 11.1, so muss auch der Bewirtschaftungskorridor neu bestimmt werden.

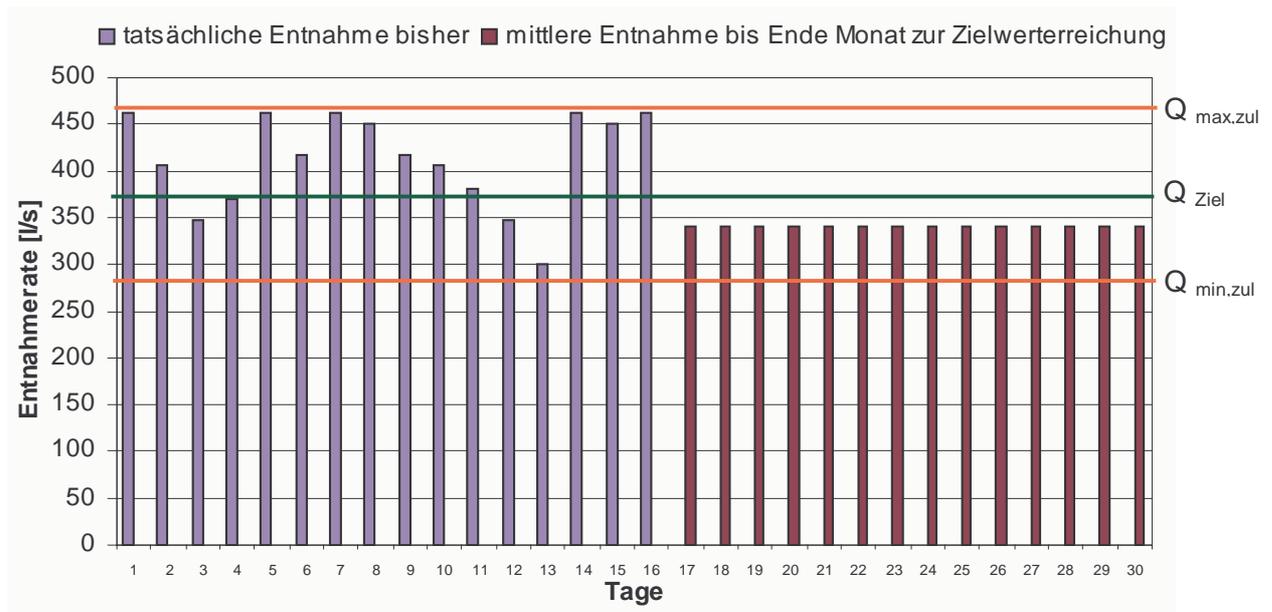


Abb. 11.2: Berechnung der mittleren Entnahmerate bis Monatsende zur Zielwerterreichung

Abschließend kann festgehalten werden, dass für die Planung der optimalen Bewirtschaftung des Donaurieds das Optimierungssystem für instationäre Prozesse eingesetzt werden kann. Durch Variation der Neubildungsraten und der voraussichtlichen Gesamtentnahme kann auf die aktuellen Verhältnisse innerhalb eines Monats reagiert werden. In der praktischen Umsetzung bedeutet dies, dass die Entnahmen jeweils an die tatsächlichen Verhältnisse angepasst werden können. Durch die Analyse der bisherigen Bewirtschaftung werden die Bandbreiten bestimmt, innerhalb derer sich die täglich veränderlichen Entnahmeraten bewegen dürfen. Auf diese Weise wird das dynamische Grundwassermanagementsystem sowohl der optimalen Bewirtschaftung des Gesamtgebiets als auch den Anforderungen der täglichen Praxis gerecht.