

5 ENTWICKLUNG EINES BEWERTUNGSSYSTEMS FÜR STATIONÄRE VERHÄLTNISSE

5.1 Übersicht

Die in Kap. 4 ermittelten Anforderungen an den Wasserhaushalt müssen nun in das in Kap. 2 gewählte Bewertungsverfahren integriert werden. Im vorigen Kapitel wurde bereits dargestellt, wie die Zielfunktionen allgemein zu entwickeln sind. In diesem Kapitel wird nun anhand des Untersuchungsgebiets Donauried dargestellt, wie die konkreten Anforderungen vor Ort in ein Bewertungssystem für die Bewertung und Optimierung der Entnahmen an den sechs Kies-Grundwasserfassungen im Donauried implementiert werden. In diesem Kapitel wird außerdem das für alle weiteren Bewertungen und Optimierungen gültige Zielsystem einschl. der Gewichtungs- und Kompensationsfaktoren festgelegt.

Das Bewertungssystem wird zunächst für stationäre Verhältnisse entwickelt, d.h. die Zielfunktionen stellen sich als zeitunabhängig dar. Sie basieren im wesentlichen auf langjährigen Mittelwerten und sind im wesentlichen für Mittelwasserverhältnisse gültig. Vergleichsweise niedrige und hohe Grundwasserstände liegen meist nur temporär vor, so dass die Annahme stationärer Strömungsverhältnisse nur bedingt möglich ist. Dennoch ist davon auszugehen, dass das entwickelte Bewertungssystem auch für Jahresmittelwerte bei Niedrig- und Hochwasser anwendbar ist.

5.2 Notwendigkeit der räumlichen Nutzungsentflechtung

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Ansprüche der drei Wassernutzer Wasserversorgung, Landwirtschaft und Naturschutz an den Wasserhaushalt differieren teilweise beträchtlich. Der Flurabstand taucht dabei als zentrale Bewertungsgröße bei allen drei Gruppen auf. Während der Naturschutz, vereinfacht gesagt, möglichst oberflächennahe Grundwasserstände benötigt, sind für die Landwirtschaft größere Flurabstände notwendig, um optimale Bedingungen zu schaffen. Die Zielfunktionen widersprechen sich in diesem Fall und eine Optimierung, bei der auf einer Fläche gleichzeitig die Bedingungen für die Landwirtschaft und den Naturschutz verbessert werden sollen, muss zwangsläufig scheitern. Jede zu bewertende Fläche muss daher im Bewertungssystem eindeutig durch eine Zielfunktion repräsentiert werden.

Es muss vor Beginn der Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung überprüft werden, ob die aktuelle Landnutzung im Gebiet eine sinnvolle Optimierung des Grundwasserhaushalts überhaupt zulässt. Dabei sind insbesondere die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Grundwasserströmung (Absenkungsverhalten, Abb. 5.1) mit in die Überlegungen einzubeziehen. Mittels numerischer Modelluntersuchungen lassen sich abgesicherte Aussagen über den Einflussbereich der Grundwasserentnahmen treffen.

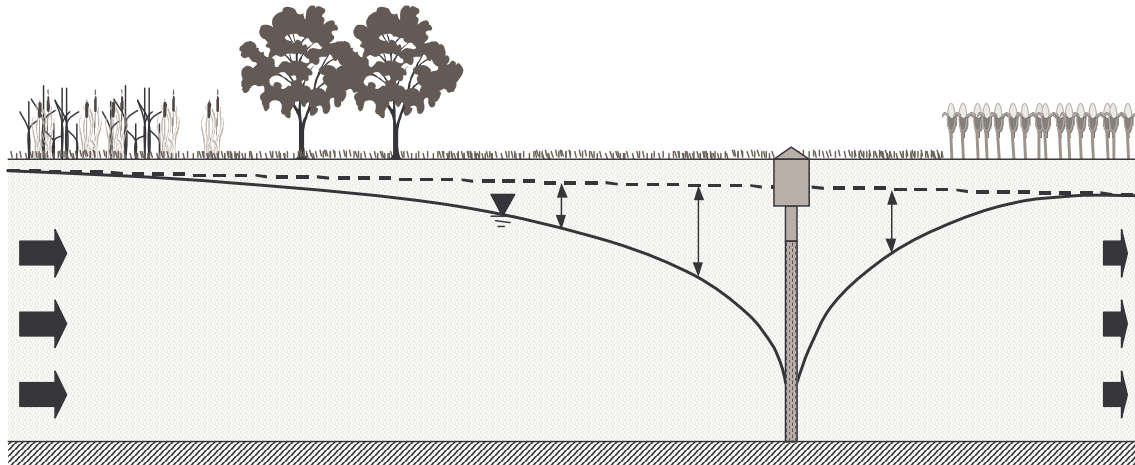


Abb. 5.1: *Prinziphafte Darstellung der Grundwasseroberfläche bei einer Einzelentnahme in Grundströmung*

Der Grundwasserhaushalt wird sich in aller Regel für eine kleinräumig strukturierte Landnutzung nur schwerlich optimieren lassen, v.a. dann, wenn naturschutzrelevante Flächen und landwirtschaftlich genutzte Flächen in einem kleinräumigen Mosaik eng beieinander liegen. Der Erfolg der Optimierung hängt damit auch von der räumlichen Verteilung der drei Nutzer im Untersuchungsraum und den Entfernungen zu den Brunnen ab, mit denen die Bewertungsgröße Flurabstand gesteuert werden kann.

Es wird empfohlen, die aktuelle Landnutzung in solchen Fällen vor Beginn der Optimierung zunächst zu entflechten und Teilflächen des Gebiets der vorrangigen Nutzung durch eine der drei Gruppen zuzuordnen. Durch die Bildung solcher Schwerpunktbereiche, vorausgesetzt die physikalischen Gesetzmäßigkeiten wurden beachtet, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich durch die optimierte Grundwasserbewirtschaftung ein für alle Beteiligten zufriedenstellendes Ergebnis erzielen lässt. Die weitere Unterteilung der Schwerpunktbereiche in Flächen unterschiedlicher Wertigkeit lässt eine höhere Gewichtung von besonders wertvollen Bereichen im Zielsystem zu.

Bei der Unterteilung des Gebiets in Vorrangbereiche müssen alle Nutzer mitwirken, da ansonsten die Akzeptanz einer optimierten Bewirtschaftungsstrategie bei den einzelnen Nutzern gering sein wird. Es muss daher ein für alle Nutzer tragfähiger Kompromiss erarbeitet werden. Die Abgrenzung von Vorrangbereichen anhand von rechtlich festgelegten Schutzgebieten (Wasserschutzgebiet, Naturschutzgebiet, FFH-Gebiet, etc.) kann bei diesem Schritt lediglich eine Hilfe sein, da es keine „Landwirtschaftsschutzgebiete“ gibt. Es bestünde daher die Gefahr, dass die Landwirtschaft bei dieser Art der Nutzungsentflechtung benachteiligt wird.

Wie der Prozess der Neuordnung von Nutzungsinteressen in der Praxis aussehen kann, beschreibt HAAKH (1998). Für die Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung im Donauried liegt die in Kap. 3.4 dargestellte Flächenaufteilung der Arbeitsgruppe „Nutzungskonzept württembergisches Donauried“ zugrunde (Abb. 3.5).

5.3 Festlegung der Zielfunktionen

5.3.1 Zielfunktionen für den Flurabstand

Die Zielfunktionen für stationäre Verhältnisse wurden auf Basis der folgenden Datengrundlagen ermittelt:

- Schwerpunktbereiche entsprechend Abb. 3.5
- Bodentyp und Bodenart entsprechend Abb. 3.1
- Landwirtschaftliche Nutzung unterschieden in Acker- und Grünlandnutzung entsprechend Abb. 3.1
- Vegetation entsprechend Abb. 3.2

Die Grundlagenkarten wurden dazu an das Raster des Grundwassermodells angepasst. Die Anpassung wurde im GIS vorgenommen, wobei so vorgegangen wurde, dass jeder Berechnungszelle (Größe: 50 · 50 m) dasjenige Attribut zugewiesen wurde, das prozentual die meiste Fläche einnahm. Die resultierenden „Rasterkarten“ wurden im GIS überlagert und so eine Zielkarte auf Basis des Modellrasters geschaffen, die die Grundlage für die Festlegung der Zielfunktionen bildete. Diese Vorgehensweise war nötig, um jeder Berechnungszelle, für die mit dem Grundwassermodell jeweils eine Piezometerhöhe berechnet wird, eine eindeutige Zielfunktion zuweisen zu können. Dabei musste eine geringfügige Vergrößerung der Datengrundlagen in Kauf genommen werden. Sehr kleinräumig ausgeprägte Flächen (z.B. einzelne kleine Grünlandflächen inmitten von Ackerland) und schmale Linienstrukturen (z.B. Grabenränder) fielen dadurch aus der Bewertung heraus. Für die Bewertung der Fassungsentnahmen ist dies jedoch unerheblich.

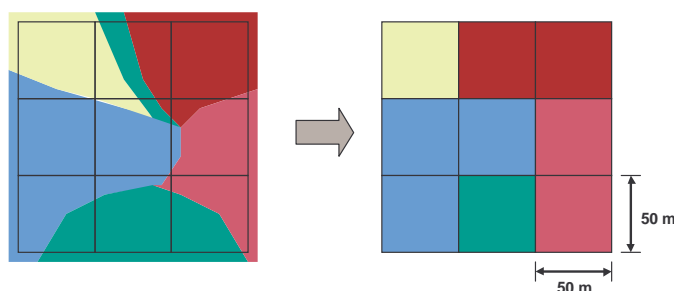


Abb. 5.1: Anpassung der Grundlagendaten an das Berechnungsgitter des Grundwassermodells

5.3.1.1 Zielfunktionen im Schwerpunktbereich Naturschutz

Die Festlegung der Zielfunktionen des Flurabstands im Schwerpunktbereich Naturschutz basiert auf einem von der Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos e.V. (AGSD) entwickelten Schlüssel der im Donauried vorkommenden Vegetationsstrukturen und Nutzungsformen (MÄCK, 2002; Tab. 5.1 und Tab. 5.2). Die bereits verfügbaren Vegetationskartierungen (Vegetationskartierung UVP Fassung 4 und Vegetationskartierung Leipheimer Moos) wurden an diesen Schlüssel angepasst. Dort, wo keine Kartierungen vorlagen, wurde entsprechend des Schlüssels nachkartiert (EGLSEER, 2002).

Das fachliche Ziel des Naturschutzes für das Donauried ist die flächige Wiedervernässung des Niedermoorkörpers und somit die Wiederherstellung dessen ursprünglicher Umweltfunktion. Der Schwerpunktbereich Naturschutz wird gemäß dem Schlüssel in zwei Zonen unterteilt (vgl. Zonierungskonzept für die Renaturierung von Mooren; SCHOPP-GUTH, 1999):

- in eine *Kernzone*, die die Naturschutzgebiete und weitere naturschutzrelevante, ungenutzte Flächen umfasst und
- in eine *Pufferzone* um die Kernzone, die gegenwärtig landwirtschaftlich genutzt wird.

Von der AGSD wurden die „Zielvegetation“ und die „Zielnutzung“ für die derzeit vorhandenen Vegetations- und Nutzungsstrukturen festgelegt. Diese stellen den Soll-Zustand für den Naturschutz im Donauried dar, der mit Hilfe der optimierten Grundwasserbewirtschaftung angestrebt werden soll. Ziel ist somit nicht die Erhaltung des Ist-Zustands, sondern die Etablierung einer niedermoortypischeren Tier- und Pflanzenwelt (vgl. Abb. 3.3), dies allerdings vor dem Hintergrund der potentiellen Machbarkeit und unter Berücksichtigung von aus Sicht des Naturschutzes wertvoller Lebensräume und Artengruppen, auch wenn diese nicht klassischerweise niedermoortypisch sind. Modellrechnungen hatten gezeigt, dass im Fall der Nullentnahme sehr geringe Flurabstände im Schwerpunktbereich Naturschutz möglich sind, die allerdings für Teile der gegenwärtigen Vegetation in den Naturschutzgebieten nicht akzeptabel wären. Dieses überraschende Ergebnis liegt daran, dass weite Teile der Naturschutzgebiete von Vegetationseinheiten beherrscht sind, die dort nur aufgrund der jahrzehntelangen, künstlichen Grundwasserabsenkung Fuß fassen konnten und heute eine Vielzahl seltener und schützenswerter Pflanzen und Tiere beherbergen. Wenn nun die ökologischen Ansprüche dieser Vegetationsgesellschaften bei der Zielwertfindung des Wasserstandes Berücksichtigung finden würden, wäre eine Erreichung des übergeordneten Ziels, nämlich ein niedermoortypischer Wasserstand nicht möglich. In einem gemeinsamen Gespräch mit der AGSD am 27.05.03 wurde daher festgelegt, dass für die aktuelle, überwiegend nicht niedermoortypische Vegetation kein genereller Bestandsschutz gelten solle. Dort, wo sich aus der heutigen Vegetation Feuchtröhricht, Großseggenriede oder Bruchwald (= torfbildende Vegetationsstrukturen) entwickeln könnten, wurden keine Mindestflurabstände (GFA_{\min} und GFA_{opt1}) spezifiziert.

Die optimalen Flurabstände wurden für die *Kernzone* also grundsätzlich anhand der Zielvegetation festgelegt. Der optimale Grundwasserstand muss in der Kernzone dann über oder knapp unter der Geländeoberkante liegen. Damit kann einerseits eine Rückquellung des Torfes, dort wo er noch Faserstrukturen aufweist, initiiert werden bzw. ein erneutes Torfwachstum beginnen, andererseits wird das Potenzial für die Ansiedlung von feuchtgebietstypischen Tier- und Pflanzenarten geschaffen. Einzige Ausnahme bilden die trockenen Magerrasenbestände im Leipheimer Moos, die aufgrund ihrer ökologischen Bedeutung auch zukünftig erhalten bleiben sollen. Diese wertvollen Pflanzengesellschaften besiedeln jetzt die höchstgelegenen Flächen der Niedermoore. Dies bedeutet, dass das Herstellen eines niedermoortypischen Wasserstandes auch für diese Bereiche aufgrund der Reliefenergie des Gebietes in den tieferliegenden Arealen das Entstehen einer Seenlandschaft zur Folge hätte, was mit dem Ziel der Wiederherstellung eines Niedermoores nicht vereinbar wäre. Daher

erscheint es fachlich richtig und zielführend, die höchstliegenden Areale fachlich differenziert zu betrachten.

In der *Pufferzone* werden die optimalen Flurabstände anhand der Zielnutzung abgeleitet. Mit diesen Flurabständen wird der natürliche Torfabbau minimiert und eine Rückquellung des Torfes in den tieferen Bereichen initiiert, dennoch soll weiterhin eine extensive Grünlandbewirtschaftung der Flächen möglich bleiben bzw. etabliert werden. Damit werden gleichzeitig wertvolle Lebensräume für eine Vielzahl von naturschutzrelevanten Arten geschaffen, die in der heutigen industrialisierten Landwirtschaft keinen Lebensraum mehr finden und die in der ehemaligen Natur- und Kulturlandschaft auch die Randbereiche und das Umfeld der nassen Bereiche der Niedermoore besiedelten.

Tab. 5.1: *Eckpunkte der Zielfunktionen auf den naturschutzbedeutsamen Flächen (Kernzone)*

Gegenwärtige Vegetation	Kartiereinheit	Zielvegetation	GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]
(Feucht-)Röhricht	N1	Feuchtröhricht	-	-	10	20
Großseggenried	N2	Großseggenried	-	-	10	15
Kleinseggenried	N3	Kleinseggenried (Bestandsschutz)	-30	5	15	25
Übergang von Klein- zu Großseggenried	N2/N3	Großseggenried	-	-	10	15
Pfeifengras-Streuwiese	N4	Pfeifengras-Streuwiese (Bestandsschutz)	-10	10	40	60
Bruchwald	N5	Bruchwald	-	-	30	40
trockene (Alt-)Grasbestände	N6a	trockene (Alt-) Grasbestände (Bestandsschutz)	30	50	-	-
wechselfeuchte (Alt-) Grasbestände	N6b	Kleinseggenried	-30	5	15	25
(Faulbaum-)Weidengebüsch	N7	Bruchwald	-	-	30	40
Kleingewässer, Graben- u. Teichränder	N8	Kleingewässer, Graben- u. Teichränder	-60	-50	-20	-10
Hochstauden- Ruderalfluren, Brachflächen	N9	Feuchtröhricht oder Großseggenried	-	-	70	80
Pionierstandorte (nach Entbuschung)	N10	freie Entwicklung	-	-	10	20

Tab. 5.2: *Eckpunkte der Zielfunktionen im land- und forstwirtschaftlich genutzten Umfeld (Pufferzone)*

Gegenwärtige Nutzungsform	Kartiereinheit	Zielnutzung	GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]
Grünland 1-schurig	U1	Pfeifengras-Streuwiese	-10	10	40	60
Grünland 2-3schurig	U2	Bestandsschutz	-10	10	70	80
Grünland 3-4schurig	U3	Grünland 2-3schurig	-10	10	70	80
Extensivweide	U4	Extensivweide	-10	10	70	80
Intensivweide	U5	Extensivweide	-10	10	70	80
Flachtümpel, Mulden, Grabenränder	U6	Bestandsschutz	-60	-50	-20	-10
Laubwald, Nadelwald, Gebüsch	U7	Bruchwald	-	-	30	40
Brachflächen, Stilllegung	U8	freie Entwicklung, extensive Grünlandnutzung möglich	-10	10	70	110

Gegenwärtige Nutzungsform	Kartiereinheit	Zielnutzung	GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]
Acker	A	freie Entwicklung, extensive Grünlandnutzung möglich	-10	10	70	110

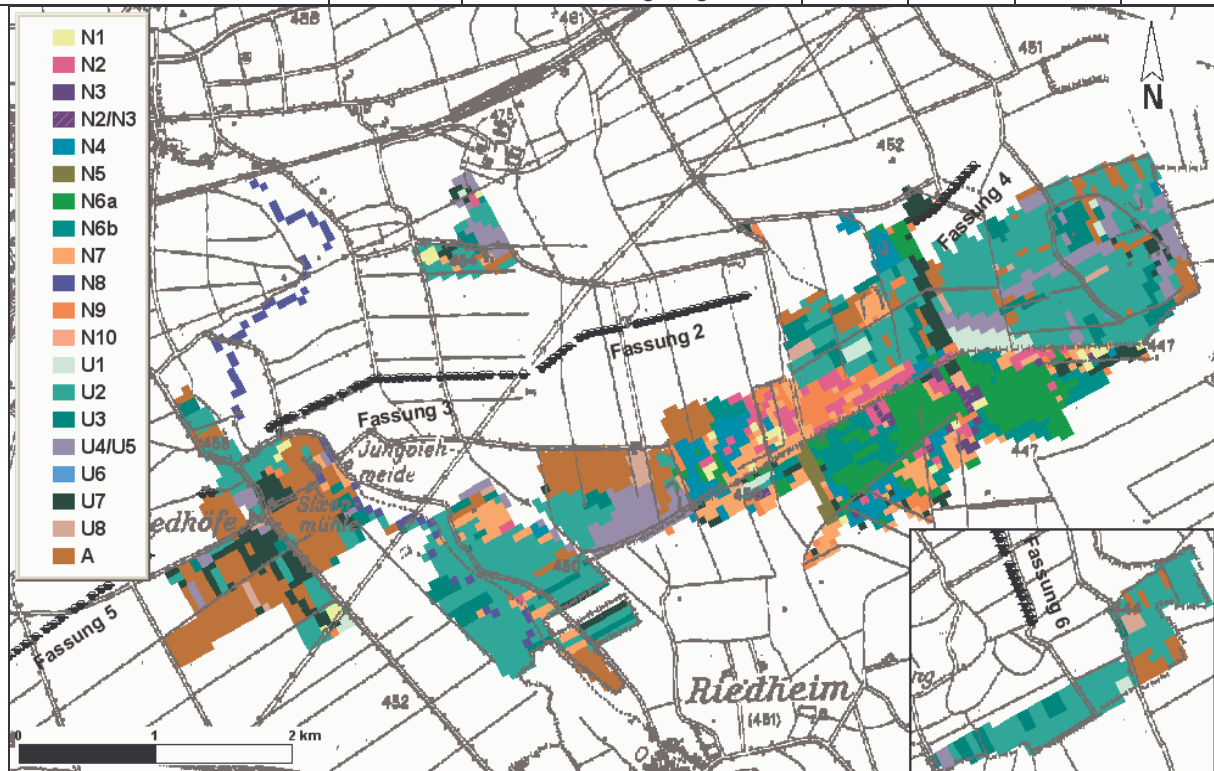


Abb. 5.1: Vegetation und Nutzung im Schwerpunktbereich des Naturschutzes

5.3.1.2 Zielfunktionen im Schwerpunktbereich Landwirtschaft

Für die Bewertung stationärer Verhältnisse im Schwerpunktbereich Landwirtschaft wird davon ausgegangen, dass der Versorgungsgrad des Bodens 40% nFK nicht unterschreitet. Die mineralisch-terrestrischen Böden benötigen in diesem Fall keinen kapillaren Anschluss an das Grundwasser (Abb. 4.1). Die Untersuchungen von BRIEMLE & LEHLE (1991) im Donauried zeigen, dass unter normalen Bedingungen auch in den Sommermonaten nur an einzelnen Tagen Saugspannungen unter -800 cmWS (pF 2,9) erreicht werden. Das Donauried weist bedingt durch die Niederschlagsverteilung im Sommer insgesamt günstige Bodenfeuchteverhältnisse auf (HUGGER, 2001). Problematischer stellt sich da die Vernässungsneigung der schweren Böden im Winter und Frühjahr dar.

Entsprechend den Ausführungen in Kap. 4.3.5 ist der Hauptwurzelraum der Pflanzen grundwasserfrei zu halten (GFA_{min}). Der optimale Flurabstandsbereich (GFA_{opt1}) beginnt dann, wenn auch der effektive Wurzelraum grundwasserfrei ist.

Die grundwasserabhängigen Böden (Anmoor und Niedermoor) benötigen aus Bodenschutzgründen unabhängig vom Versorgungsgrad immer einen kapillaren Anschluss an das Grundwasser. Für die Festlegung der Grenzflurabstände GFA_{opt2} und GFA_{max} wurden die Mittelwerte aus Tab. 3.1 für eine kapillare Aufstiegsrate von 5 bzw. 0,2 mm/d verwendet.

Tab. 5.1: Eckpunkte der Zielfunktionen im Vorrangbereich Landwirtschaft

	Bodenkartiereinheit	Acker				Grünland			
		GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]	GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]
Mineralische Böden	4	60	100	-	-	30	60	-	-
	5	60	100	-	-	30	60	-	-
	6	60	100	-	-	30	60	-	-
	7	60	100	-	-	30	60	-	-
	8	60	100	-	-	30	60	-	-
	9	60	100	-	-	30	60	-	-
	10	60	100	-	-	30	60	-	-
	11	60	100	-	-	30	60	-	-
	12	60	100	-	-	30	60	-	-
	13	60	100	-	-	30	60	-	-
	14	60	100	-	-	30	60	-	-
	15	60	100	-	-	30	60	-	-
	16	60	100	-	-	30	60	-	-
	17	60	100	-	-	30	60	-	-
Anmoorböden	18	70	110	150	230	40	70	110	210
	19	70	110	150	230	40	70	110	210
	20	70	110	130	170	40	70	100	170
	21	70	110	130	190	40	70	100	190
	22	70	110	120	200	40	70	100	180
	23	70	110	130	190	40	70	100	180
Niedermoorböden	24	70	110	110	110	40	70	110	110
	25	70	110	110	110	40	70	110	110
	26	70	110	110	110	40	70	110	110
	27	70	110	110	110	40	70	110	110
	28	70	110	110	110	40	70	110	110

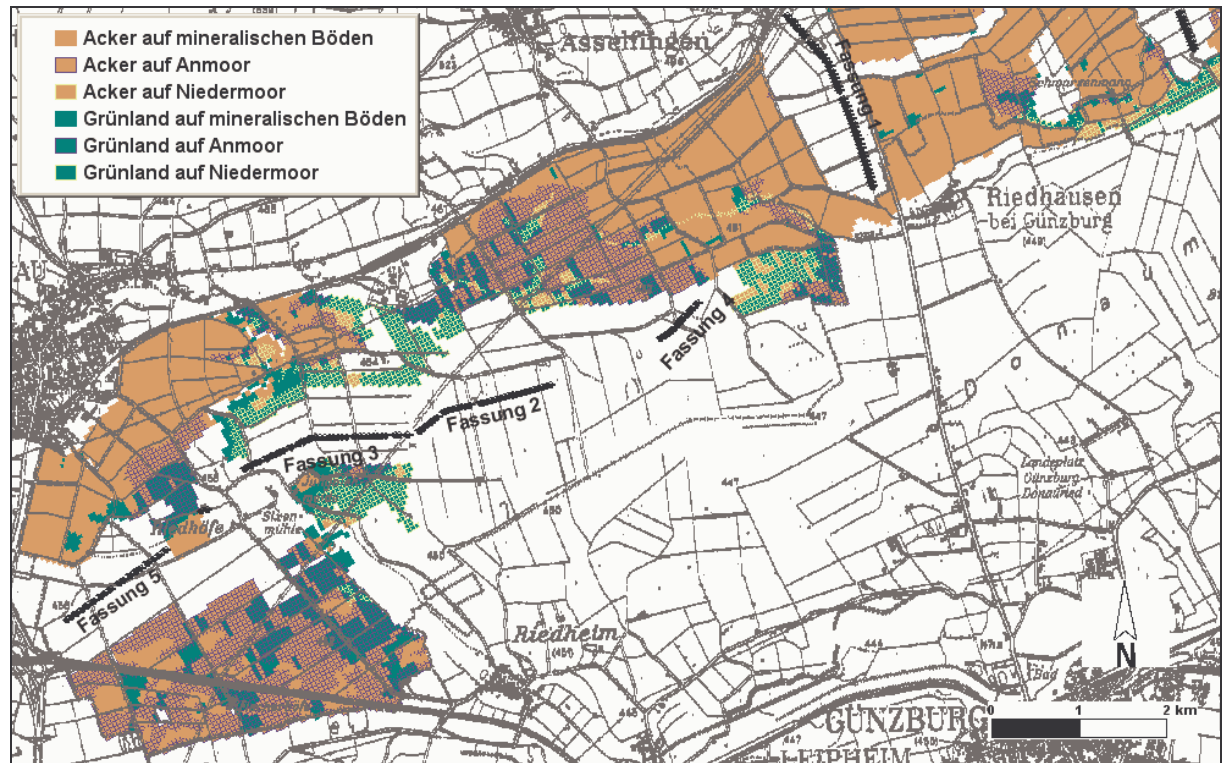


Abb. 5.1: Nutzung und Böden im Schwerpunktbereich Landwirtschaft

5.3.1.3 Zielfunktionen im Schwerpunktbereich Wasserwirtschaft

Wie in den Kap. 3.2.1 und 4.2.5.3 ausgeführt wurde, beeinträchtigen die nitratreichen Deckschichten im westlichen Donauried die Rohwasserqualität. Bedingt durch Mineralisierungsprozesse kommt es bei schnell ansteigenden Grundwasserständen zu Auswaschungseffekten und einem zusätzlichen Eintrag von Nitrat in das Grundwasser. Dieser Effekt ist prinzipiell davon abhängig, wie schnell das Grundwasser in die mineralisierten Bereiche des Bodens eindringt und sich wieder zurückzieht. Vollzieht sich dieser Vorgang langsam, dann stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Mineralisation und Denitrifikation ein. Bei den oftmals kurzfristig verlaufenden Grundwasseranstiegen wird dieser Mechanismus jedoch nicht schnell genug wirksam und es kommt zu extremen Nitratreinträgen in das Grundwasser (HAAKH & SCHMID, 1996).

Um diesen Prozess im Bewertungssystem berücksichtigen zu können, wurden Grundwasserstandsmessungen mit der Nitratkonzentration im Rohwasser verglichen (Abb. 3.2). Der Vergleich zeigt, dass bei Anmoorböden unterhalb eines Flurabstands von ca. 90 cm und bei Niedermoorböden unterhalb eines Flurabstands von ca. 120 cm ein starker Anstieg der Nitratkonzentration zu erwarten ist. Diese Flurabstände werden als einzuhaltenden Mindestflurabstände für stationäre Verhältnisse im Schwerpunktbereich Wasserwirtschaft entsprechend der Zielfunktion in Abb. 4.1 angesetzt.

Tab. 5.1: Eckpunkte der Zielfunktionen im Vorrangbereich Wasserwirtschaft

	Kartiereinheiten (vgl. Kap. 15.1)	GFA _{min} [cm]	GFA _{opt1} [cm]	GFA _{opt2} [cm]	GFA _{max} [cm]
Anmoorböden	17 – 23	90	90	-	-
Niedermoorböden	24 – 28	120	120	-	-

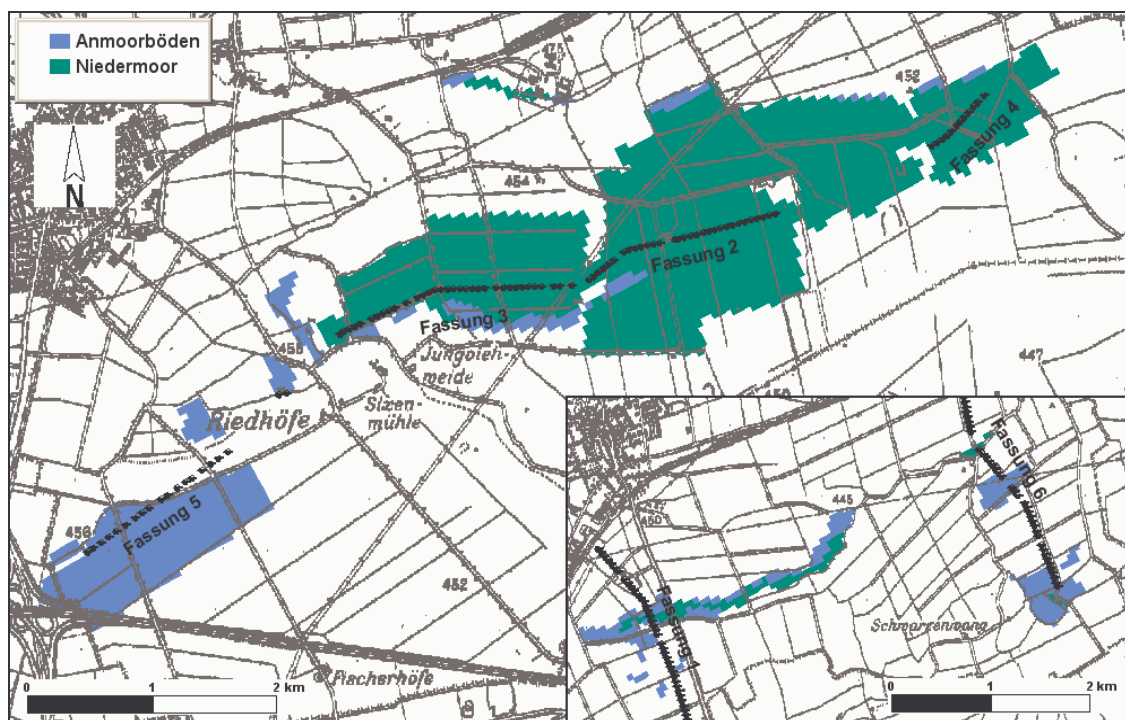


Abb. 5.1: Flächen mit Zielfunktionen für den Flurabstand im Schwerpunktbereich Wasserwirtschaft

5.3.2 Zielfunktionen für die Wassergüteparameter

Als wertbestimmende Wassergüteparameter für die Trinkwasserbereitstellung werden die Parameter Nitratkonzentration und Gesamthärte im Reinwasserbehälter des Wasserwerks Langenau angesehen. Die Festlegung der Eckpunkte der Zielfunktionen wurde anhand der Messwerte zwischen 1988 und 2001 vorgenommen (SCHNECK, 2002).

Tab. 5.1: Eckpunkte der Zielfunktionen für die Wassergüteparameter Nitrat und Gesamthärte

	ZEG = 100%	ZEG = 0%
Nitratkonzentration im Reinwasser	< 22 mg/l	> 27 mg/l
Gesamthärte im Reinwasser	< 13,5 °dH	> 13,8 °dH

Da es viele Möglichkeiten gibt, wie das Wasser aus den unterschiedlichen Gewinnungsanlagen im Wasserwerk Langenau geführt werden kann und zudem weitere Wassergewinnungsanlagen außerhalb des Untersuchungsgebiets mit berücksichtigt werden müssen (Abb. 3.1), mussten eine Reihe von Annahmen und Vereinfachungen für die Ermittlung der Gesamthärte und des Nitratgehalts im Reinwasser getroffen werden, um die Ergebnisse der Bewertung vergleichbar zu machen.

Annahmen für die Berechnung der Gesamthärte im Reinwasser:

1. Es wird von einer kontinuierlichen Gesamtbereitstellung von 2.162 l/s im Wasserwerk Langenau ausgegangen. Dieser Wert wurde anhand der mittleren Bereitstellung im Zeitraum 1998 bis 2002 festgelegt.
2. Es wird davon ausgegangen, dass im Vorpumpwerk Burgberg kontinuierlich 340 l/s gefördert werden (mittlere Förderrate im Zeitraum 1998 bis 2002).
3. Die Grundwasserentnahme im Donauried wurde entsprechend der zu untersuchenden Bewirtschaftungsstrategie angesetzt. Da in den Simulationen mit dem numerischen Grundwassermodell noch keine Karst-Grundwasserentnahme an der Fassung 5 berücksichtigt ist, wurden die Karstbrunnen bei der Berechnung der Gesamthärte vernachlässigt ($Q=0$ l/s).
4. Die Restmenge auf 2.162 l/s wird aus der Donau entnommen (Donauwasserentnahme = 2.162 l/s \cdot Grundwasserentnahme Donauried \cdot Karstgrundwasserentnahme Burgberg). Um den realen Verhältnissen Rechnung zu tragen, wird die maximale Aufbereitungsmenge über die Donauwasseraufbereitung auf max. 1.300 l/s beschränkt.
5. Der maximale Durchsatz durch die Entcarbonisierungsanlage (EC) beträgt 850 l/s. Die EC wird bei den unterschiedlichen Entnahmen immer so gefahren, dass so viel Grundwasser wie möglich über die EC geleitet wird (max. jedoch 850 l/s).
6. Das über die Donauwasseraufbereitung geführte Wasser wird teilentcarbonisiert. Dabei reduziert sich die Gesamthärte des Mischwassers aus Donauwasser und Wasser der Fassung 4 um 1 °dH.
7. Die Priorität, welches Wasser aus den Kies-Grundwasserfassungen zuerst über die EC geleitet wird, wurde in Absprache mit der Wasserwerksleitung folgendermaßen festgelegt:
 1. Priorität: Fassungen 3 und 5
 2. Priorität: Fassungen 1, 6 und Burgberg (wenn 1. Priorität <850 l/s)
 Das Rohwasser der Fassung 2 wird aufgrund des hohen Huminsäuregehalts nicht über die EC geführt. Wird mehr als 850 l/s aus den Fassungen 1,3,5 und 6 sowie Burgberg gefördert, dann wird die überschüssige Menge direkt in den Reinwasserbehälter eingeleitet. Das Wasser der Fassung 4 und das Donauwasser werden immer über die Donauwasseraufbereitung aufbereitet.
8. Die Entnahme an der Fassung 2 verteilt sich auf 50% Fassung 2 Ost, 50% Fassung 2 West.
9. Zur Berechnung der Gesamthärte im Reinwasserbehälter werden an den einzelnen Wassergewinnungsanlagen die mittleren Gesamthärten (1988-2000) angesetzt (Tab. 5.2).

Annahmen für die Berechnung der Nitratkonzentration im Reinwasser:

1. Es wird im WW Langenau kein Nitrat eliminiert und es kommt kein Nitrat hinzu. Damit handelt es sich bei der Nitratberechnung um eine einfache Mischungsrechnung.
2. Die Annahmen zur Entnahme in Burgberg und zur Donauwasserentnahme (Punkte 2 und 4 oben) werden für die Nitratberechnung übernommen.
3. Da der westliche und der östliche Zweig der Fassung 2 unterschiedliche Nitratgehalte aufweisen wird auch hier von einer Aufteilung der Entnahme im Verhältnis 50:50 ausgegangen.
4. Es werden die mittleren Nitratkonzentrationen (1988-2000) der einzelnen Wassergewinnungsanlagen verwendet.

Tab. 5.2: Fassungsspezifische Kenngrößen

	Fassung 1	Fassung 2	Fassung 3	Fassung 4	Fassung 5 Kies	Fassung 6	Donau	Burgberg
mittlere Nitratkonzentration im Rohwasser (1988-2000)	32,8 mg/l	29,0 mg/l	36,5 mg/l	1,3 mg/l	47,0 mg/l	33,0 mg/l	15,6 mg/l	24,1 mg/l
mittlere Gesamthärte im Rohwasser (1988-2000)	19,8 °dH	24,59 °dH	22,36 °dH	22,96 °dH	26,32 °dH	22,22 °dH	13,89 °dH	18,57 °dH

5.3.3 Zielfunktion für die Kosten der Wassergewinnung und -aufbereitung

Die Untersuchungen zu den bei der Wassergewinnung und -aufbereitung entstehenden Kosten haben gezeigt, dass sich die spezifischen Kosten der einzelnen Wassergewinnungsanlagen nur minimal unterscheiden (mit Ausnahme der Fassung 4). So unterscheiden sich die Kosten der anderen Fassungen erst in der zweiten Nachkommastelle. Da außerdem davon auszugehen ist, dass die berechneten Werte nicht fehlerfrei sind (ihnen liegen zahlreiche Annahmen zugrunde), ist anzunehmen, dass die spezifischen Kosten der Fassungen 1, 2, 3, 5 und 6 mehr oder minder gleich hoch sind, so dass eine Optimierung der Kosten hier nicht in Betracht gezogen werden kann.

Tab. 5.1: Spezifische Wasserbereitstellungskosten [ct/m³]

	Fassung 1	Fassung 2	Fassung 3	Fassung 4	Fassung 5	Fassung 6
2002	5,8452	6,0482	5,8893	8,3631	6,1052	5,9371
2001	5,8361	5,9461	5,8685	8,4810	5,9738	5,8784
2000	5,7681	5,7963	5,7377	8,3467	5,7949	5,7852
1999	5,8402	5,9626	5,8385	8,0682	5,9961	5,8931
1998	5,8349	5,6816	5,8173	8,2128	5,5414	5,7766
Mittelwert 98-02	5,8249	5,8870	5,8303	8,2943	5,8823	5,8541

Dennoch zeigt die Auswertung in Tab. 5.1, dass die Kosten des Wassers aus der Fassung 4 deutlich über denen der anderen Fassungen lagen. Dass die Differenz von über 2 ct/m³ zu den anderen Fassungen auf Rechenungenauigkeiten zurückzuführen ist, kann ausgeschlossen werden. Die Tabelle lässt somit in Bezug auf die Wassergewinnungsanlagen im Donauried nur eine verlässliche Schlussfolgerung zu, nämlich dass das Wasser der Fassung 4 deutlich teurer ist als das der anderen Fassungen.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass der spezifische Wasserpreis für das Donauriedwasser linear von der Förderrate an der Fassung 4 abhängig ist. Bei der Mindestentnahme an dieser Fassung von 50 l/s beträgt der spezifische Wasserpreis des Grundwassers aus dem Donauried weniger als 6 ct/m³, bei 100 l/s schon 6,1 ct/m³ und ab ca. 140 l/s über

6,2 ct/m³. 0,1 ct/m³ entsprechen knapp 30.000 €/a, die auf die Verbandsmitglieder der LW umgelegt werden müssten. Die Zielfunktion wird daher so gewählt, dass der Zielerfüllungsgrad ab 50 l/s Entnahme linear abnimmt und ab einer Entnahme von 100 l/s auf null zurückfällt.

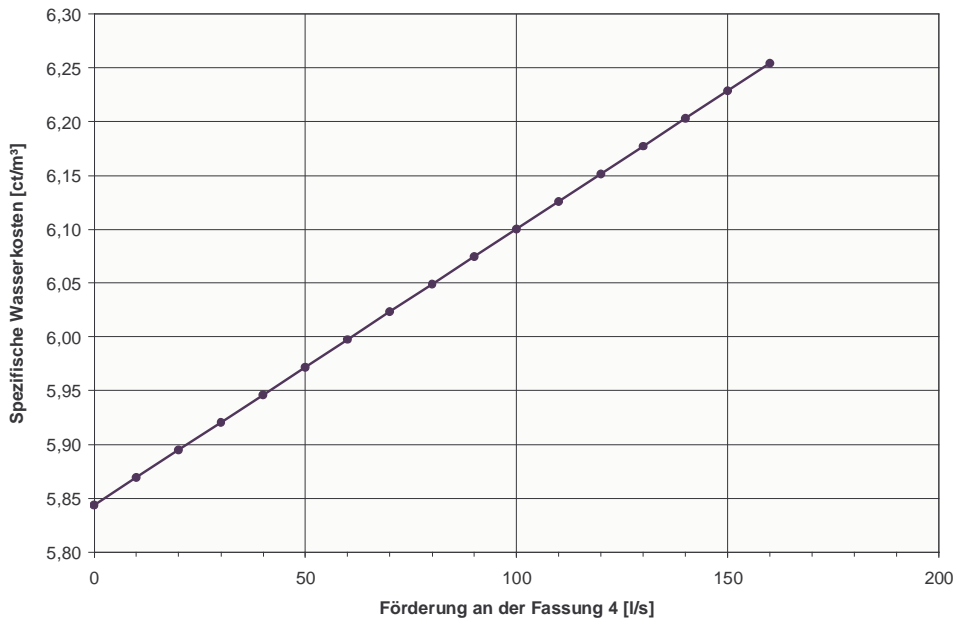


Abb. 5.1: Veränderung der spezifischen Wasserkosten "Donauried gesamt" bei einer ansteigenden Förderung an der Fassung 4 und gleichmäßiger Reduzierung an den anderen Fassungen (Gesamtförderung = 950 l/s)

Aus diesem Grund ist es aus Sicht der wasserwirtschaftlichen Bewertung der Entnahmen sinnvoll, zur Berücksichtigung des Kostenaspekts eine Art „Gegengewicht“ gegenüber der Entnahme an der Fassung 4 einzuführen. Dieses Gegengewicht wird in Form einer Zielfunktion für die Entnahme an dieser Fassung ausgestaltet, wobei der jeweiligen Förderrate ein Zielerfüllungsgrad zugewiesen wird.

Tab. 5.2: Eckpunkte der Zielfunktion zur Berücksichtigung des Kostenaspekts

	ZEG = 100%	ZEG = 0%
Förderrate an der Fassung 4	< 50 l/s	> 100 l/s

5.4 Zielsystem zur Beurteilung und Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung

Nachdem die räumliche Entflechtung der Nutzungsinteressen vollzogen ist und die Zielfunktionen für die Bewertungsgrößen definiert sind, muss nun das Zielsystem zur Beurteilung der Grundwasserbewirtschaftungsstrategien festgelegt werden. Die grundlegenden Anforderungen an das Zielsystem wurden in Kap. 2.4.2 formuliert.

Das Zielsystem muss die vorgegebene Fragestellung in geeigneter Weise auf die mess- und berechenbaren Bewertungsgrößen zurückführen. Dazu ist zunächst das übergeordnete Ziel

auf der Zielebene 1 zu formulieren und dieses Ziel dann schrittweise von Zielebene zu Zielebene zunächst in Unterziele und schließlich in Bewertungsgrößen aufzulösen.

Die charakteristischen Merkmale eines problemadäquaten Zielsystems sind dabei:

- **Vollständigkeit:** alle für die Beurteilung der Auswirkungen von Grundwasserentnahmen wesentlichen Kriterien sind berücksichtigt. Die Vollständigkeit ist das wichtigste Charakteristikum eines einwandfreien Zielsystems
- **Logischer Aufbau:** ein Zielsystem stellt prinzipiell die Visualisierung eines Bewertungsvorganges dar, wie ihn jeder Mensch – wenn er das Problem vollkommen überblicken würde – vornehmen könnte. Eine hierarchische Struktur des Zielsystems erleichtert dabei die Übersicht über das Bewertungssystem
- **Nachvollziehbarkeit:** das Zielsystem muss für die Beteiligten nachvollziehbar sein, da es ansonsten keine allgemeine Akzeptanz für das Bewertungsergebnis geben kann. Mit der Nachvollziehbarkeit ist in gewissem Maße auch die Einfachheit des Systems verbunden, da von Nicht-Experten nicht erwartet werden kann, dass sie sich in die Grundlagen von Bewertungsverfahren einarbeiten müssen, um das Zielsystem zu verstehen.

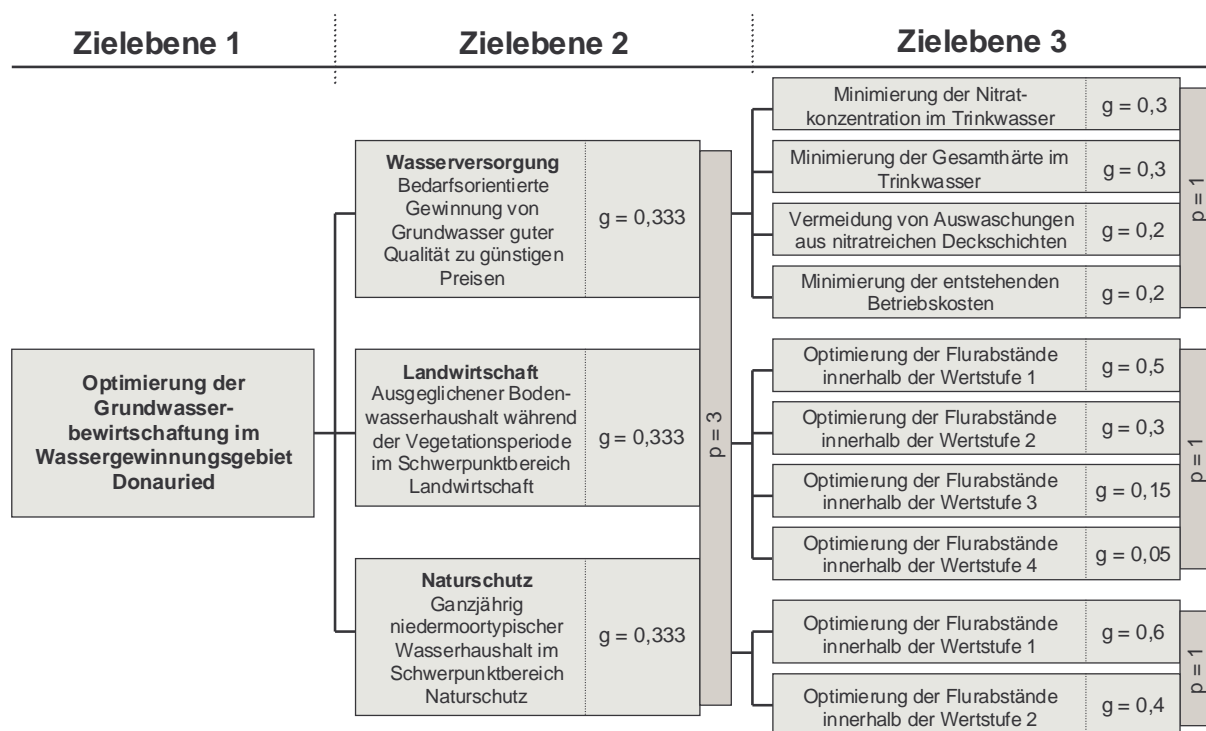


Abb. 5.1: Zielsystem zur Beurteilung von Grundwasserentnahmen (g = Gewichtungsfaktor; p = Kompensationsfaktor)

Unter Berücksichtigung dieser Punkte lässt sich die Frage nach der Optimierung des Gebietswasserhaushalts in Form eines Zielsystems formulieren. Auf der obersten Zielebene findet sich das Oberziel „Optimierung des Gebietswasserhaushalts“. Dieses Ziel gilt es zu erreichen und je höher die errechnete Bewertung für diese Zielebene ist (= Gesamtnutzwert), desto näher ist die gewählte Bewirtschaftungsstrategie dem Optimum. Ein Gesamtnutzwert von 1 bzw. 100% stellt die optimale Lösung dar, die in der Realität wohl nicht erreichbar sein wird.

Das genannte Oberziel ist dann erreicht, wenn die in den Kap. 4 beschriebenen Leitbilder für die drei Nutzergruppen erfüllt sind. In diesem Fall sind die Bedingungen für alle Nutzer optimal und die gewählte Bewirtschaftungsstrategie ist optimal im Sinne der Nachhaltigkeit. Daher ist es zweckdienlich, das Oberziel auf der Zielebene 2 durch die Ziele der drei Nutzer zu konkretisieren. Man erhält damit auf dieser Zielebene für jeden Nutzer eine separate Bewertung der Bewirtschaftungsstrategie. Diese Vorgehensweise dient insbesondere der Transparenz des Bewertungssystems, da der abstrakte Gesamtnutzwert differenziert bleibt und die Teilbewertungen einen direkten Vergleich der Auswirkungen zwischen den Nutzern erlauben. Solche Teilbewertungen werden in der Literatur hin und wieder in Form von Spinnendiagrammen neben dem Gesamtnutzwert mit in die Auswertung übernommen (TGU, 2002), da sie der Veranschaulichung des Ergebnisses dienen. Alleiniges Kriterium zur Gesamtbewertung der Bewirtschaftungsstrategie bleibt aber in jedem Fall der Gesamtnutzwert. Die Trennung der drei Nutzergruppen auf der Zielebene 2 bietet noch einen weiteren Vorteil: Der Flurabstand kann dreimal als Bewertungskriterium in das Zielsystem eingehen, ohne dass es zur Nutzenabhängigkeit kommt. Da das Bewertungskriterium Flurabstand räumlich eindeutig einer Nutzergruppe zugeordnet wird, werden bis zur Zielebene 2 voneinander unabhängige Bewertungen für die Teilbereiche Wasserversorgung, Landwirtschaft und Naturschutz durchgeführt, die dann in einem letzten Schritt zusammengefasst werden. Zur Gewichtung und Kompensierbarkeit auf der Zielebene 2 werden im Kap. 5.5 weitergehende Ausführungen gemacht.

Auf der dritten Zielebene werden die Unterziele der drei Nutzergruppen weiter spezifiziert, indem Teilziele formuliert werden, die dazu beitragen, die Ziele auf der Ebene 2 zu erreichen. Der Nutzwert dieser Teilziele wiederum ergibt sich aus den Zielerfüllungsgraden der Bewertungsgrößen. Die Gewichtungsfaktoren auf der Zielebene 3 wurden von der Landeswasserversorgung, dem Bauernverband Ulm-Ehingen und der Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos festgelegt.

Der Teilnutzwert für den Flurabstand berechnet sich aus dem arithmetischen Mittel der Zielerfüllungsgrade aller innerhalb einer Wertstufe liegenden Teilflächen, z.B.

$$ZEG_{\text{Naturschutz Wertstufe 1}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ZEG_i \quad \forall \quad i \in (\text{Schwerpunktbereich Naturschutz Wertstufe 1})$$

Gl. 5.1

mit:
 ZEG = Zielerfüllungsgrad [-]
 n = Gesamtzahl der bewerteten Teilflächen
 i = Teilflächen

Das Zielsystem stellt das Kernstück des Bewertungssystems dar. Eine konkrete Entnahmesituation wird stufenweise bewertet und zu einem einzigen dimensionslosen Gesamtnutzwert zusammengefasst. Der Gesamtnutzwert besitzt die Eigenschaft, dass sich mit seiner Hilfe verschiedene Entnahmesituationen in eine Rangfolge einordnen lassen, welche die Präferenz bezüglich der Auswahl einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung festlegt. Aus

einer Vielzahl unterschiedlicher Bewirtschaftungsszenarien lässt sich schließlich die beste Bewirtschaftungsstrategie identifizieren.

5.5 Gewichtungs- und Kompensationsfaktoren

Die Anwendung des Composite Programming erfordert die Festlegung von Gewichtung- und Kompensationsfaktoren für das Zielsystem. Mit den Gewichtungsfaktoren wird eine unterschiedlich starke Gewichtung der Kriterien innerhalb einer funktionellen Gruppe erreicht; der Kompensationsfaktor bewirkt, dass einer ausgeglichenen Lösung innerhalb der funktionellen Gruppe der Vorzug vor einer weniger ausgeglichenen gegeben wird.

Eine Gewichtung der drei Nutzer zu je einem Drittel scheint zunächst am ehesten dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung für das Gesamtgebiet zu entsprechen (HORSCH et al., 2001). Eine davon abweichende Verteilung der Gewichte kann jedoch zielführend sein, wenn beispielsweise ein Nutzer wesentlich weniger Platz im Gesamtgebiet einnimmt als die anderen. Dennoch darf die räumliche Verbreitung allein kein Kriterium für die Festlegung der Gewichtungsfaktoren auf der Zielebene 2 sein, da die Wasserversorgung nicht notwendigerweise Ansprüche an die Fläche haben muss (z.B. wenn die Kriterien Wasserqualität und Kosten zur Bewertung der Belange der Wasserversorgung ausreichen). Die Gewichtungsfaktoren sind ein Maß für die Bedeutung eines Kriteriums innerhalb einer funktionellen Gruppe und nicht für dessen Flächeninanspruchnahme.

Letztlich sollten die Gewichtungsfaktoren der Zielebene 2 aber in einem gemeinsamen Dialog unter Beteiligung aller Gruppen festgelegt werden, da nur dadurch die Akzeptanz des Bewertungssystems gesichert ist.

Auch der Kompensationsfaktor wirkt sich stark auf den sich ergebenden Gesamtnutzwert aus. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ab einem Kompensationsfaktor $p > 4$ der Gesamtnutzwert durch den Kompensationsfaktor dominiert wird und die Gewichtungsfaktoren praktisch bedeutungslos werden.

Bei hohen Kompensationsfaktoren gehen nicht ausgeglichene Alternativen automatisch mit einem Rückgang des Gesamtnutzwerts einher. Große Kompensationsfaktoren können beispielsweise dann zielführend sein, wenn die drei Parteien untereinander verstritten sind und Lösungen gesucht werden, die für alle Nutzer in etwa denselben Nutzen bringen sollen. Falls die drei Gruppen jedoch untereinander Verständnis für die Belange und Interessen des Anderen haben (Nachhaltigkeit!) und bereit sind, für deutliche Verbesserungen bei den anderen Nutzern geringfügige Verschlechterungen bei sich selbst in Kauf zu nehmen, dann wird ein Kompensationsfaktor von $2 < p < 4$ auf der Zielebene 2 vorgeschlagen. Wird ein Kompensationsfaktor $p > 4$ gewählt, dann besitzen die Gewichtungsfaktoren nur noch einen sehr geringen bis gar keinen Einfluss mehr auf das Gesamtergebnis. Eine Diskussion um die Gewichtungsfaktoren ist dann irrelevant. Im schlimmsten Fall kann der Kompensationsfaktor zur Lenkung des Ergebnisses missbraucht werden.

Die Zielerfüllungsgrade bzw. die Teilnutzwerte auf der Zielebene 3 sollen durch die Optimierung maximiert werden. Aus diesem Grund werden hier die Kompensationsfaktoren zu $p=1$ gesetzt.

Die folgende Tabelle soll daher die Bedeutung des Kompensationsfaktors noch einmal kurz verdeutlichen und eine Hilfestellung für dessen Festlegung bieten.

Tab. 5.1: *Bedeutung und praktische Auswirkungen des Kompensationsfaktors*

Kompensationsfaktor p	Bedeutung
1	<ul style="list-style-type: none"> vollkommene Kompensierbarkeit zwischen den Kriterien einer funktionalen Gruppe Gewichtungsfaktoren bestimmen die Gesamtbewertung Alternativen mit maximalen Teilnutzwerten werden bevorzugt für die Kriterien auf der Zielebenen 3 bevorzugt anzuwenden
2	<ul style="list-style-type: none"> eingeschränkte Kompensierbarkeit auf Zielebene 2: hohes Maß an Verständnis für die Belange der anderen Nutzer untereinander
3	<ul style="list-style-type: none"> mittlere Kompensierbarkeit auf Zielebene 2: mittleres Maß an Verständnis für die Belange der anderen Nutzer untereinander
4	<ul style="list-style-type: none"> geringe Kompensierbarkeit auf Zielebene 2: geringes Maß an Verständnis für die Belange der anderen Nutzer untereinander
>4	<ul style="list-style-type: none"> sehr geringe bis keine Kompensierbarkeit Kompensationsfaktor dominiert die Gesamtbewertung Gewichtungsfaktoren werden praktisch bedeutungslos von einer Verwendung im Zielsystem ist abzuraten

Gewichtungsfaktoren sollten von den Experten (Wasserwirtschaftler, Agrarwissenschaftler, Diplom-Biologen) innerhalb ihrer Fachbereiche festgelegt werden, während die Kompensationsfaktoren vom unabhängigen Bearbeiter festgelegt werden sollten, der über den notwendigen Sachverstand verfügt und einen Überblick über die Befindlichkeiten der drei Gruppen besitzt.

5.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Bewertungssystem zur Bewertung und Optimierung der Entnahmen im Donauried für stationäre Verhältnisse entwickelt. Die in Kap. 4 beschriebene Zeitabhängigkeit der Zielfunktionen für den Flurabstand bleibt hierbei unberücksichtigt.

Um die Chancen für eine erfolgreiche Optimierung zu erhöhen, ist es notwendig, vor Beginn der Bewertungen zu überprüfen, ob die aktuelle Landnutzung eine zielführende Optimierung überhaupt zulässt. Gegebenenfalls sollte die Landnutzung unter Berücksichtigung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Grundwasserströmung entflechtet und in Schwerpunktbereiche untergliedert werden.

Die Zielfunktionen für den Naturschutz wurden von der Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos für die „Zielvegetation“ und die „Zielnutzung“ im Schwerpunktbereich festgelegt. Ziel der Optimierung ist die Etablierung einer niedermoortypischeren Flora und Fauna und nicht die Konservierung des Ist-Zustands. Die optimalen Flurabstände liegen in der Kernzone des Naturschutzes um die Geländeoberkante, Überstauungen sind mit Ausnahme der trockenen Magerrasenbestände im Leipheimer Moos erwünscht. In der Pufferzone wird aus Naturschutzsicht ein Flurabstand zwischen 10 und 70 cm angestrebt, der weiterhin eine extensive Bewirtschaftung dieser Flächen erlaubt.

Der optimale Flurabstand für die Landwirtschaft beginnt je nach Nutzung (Acker oder Grünland) bei 60 bis 110 cm. Im Fall der stationären Bewertung wird davon ausgegangen, dass die mineralischen Böden keinen kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser benötigen, der Grundwasserstand kann hier theoretisch beliebig weit absinken. Für die empfindlichen Torfböden ist unabhängig vom Versorgungsgrad ein kapillarer Anschluss an das Grundwasser notwendig. Der Flurabstand sollte hier nicht größer als 100 bis 150 cm sein.

Zur Vermeidung der Nitratauswaschungen ist im Schwerpunktbereich der Wasserwirtschaft ein Mindestflurabstand von 90 cm (Anmoorböden) bzw. 120 cm (Niedermoorböden) einzuhalten. Die Nitratkonzentration im Reinwasserbehälter des Wasserwerks Langenau soll 22 mg/l nicht überschreiten, die Gesamthärte soll unter 13,5° dH bleiben. Bei der Berechnung der Zielerfüllungsgrade müssen die Wassergewinnungsanlagen Donauwasserentnahme und Vorpumpwerk Burgberg sowie die Entcarbonisierungsanlage im Wasserwerk Langenau berücksichtigt werden. Die spezifischen Kosten des Grundwassers aus dem Donauried hängen von der Entnahmerate an der Fassung 4 ab. Es wurde deshalb eine Zielfunktion gewählt, die der Förderrate an dieser Fassung einen Zielerfüllungsgrad zuweist.

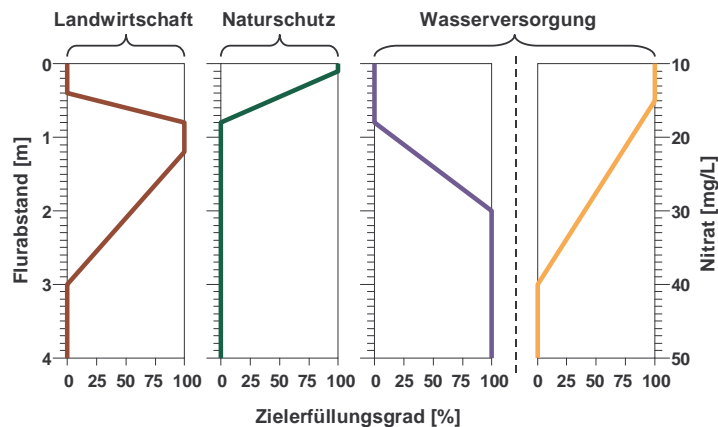
Die Interessen der Wasserversorgung, der Landwirtschaft und des Naturschutzes werden bei den Bewertungen und Optimierungen zu jeweils $\frac{1}{3}$ gewichtet. Damit wird der Wille, eine nachhaltige Lösung für das Donauried zu finden, unterstrichen. Um unausgewogene Lösungen zu vermeiden, wird zwischen den drei Gruppen ein Kompensationsfaktor von $p=3$ angewandt.

Berechnungsbeispiel II/IV (Fortsetzung von S. 71)

Bewertungskriterien und Zielfunktionen

Für die Bewertung wird von folgenden Annahmen bzw. Zielfunktionen ausgegangen:

- Die Naturschutzflächen sollen als feuchtgebietstypische Standorte erhalten bleiben. Die Zielerfüllung erreicht für Flurabstände < 0,1 m 100 % und geht bis 0,8 m auf Null zurück.
- Die landwirtschaftlichen Flächen sollen auf eine Wasserversorgung des Wurzelraumes mittels Kapillaraufstieg angewiesen sein (opt. Flurabstand bei 0,8 – 1,2 m), und die Befahrbarkeit der Flächen soll gewährleistet werden (Flurabstand mind. 0,4 m).
- Für die Wasserversorgung soll einerseits der Flurabstand mind. 0,8 m betragen (Nitrateintrag durch „leaching von unten“). Weiterhin wird als Bewertungskriterium die Nitratkonzentration des Mischwassers herangezogen.



Zielerfüllungsgrade und Bewertungssystem

Die mittleren Zielerfüllungsgrade e_i für die Flächen berechnen sich gemäß:

$$e_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}$$

- i = Landwirtschaftsflächen, Naturschutzflächen, Flächen der Wasserversorgung (1, 2, 3)
- n_i = Anzahl der Flächen des Nutzers „i“
- e_{ij} = Zielerfüllungsgrad auf den Einzelflächen „j“

Für den Zielerfüllungsgrad ohne Flächenbezug (Nitratkonzentration des geförderten Rohmischwassers) gilt:

$$e_{NO_3} = f(Q_i, C_i)$$

- Q_i = Entnahmen aus den drei Brunnen
- C_i = Nitratkonzentrationen des Rohwassers der Einzelbrunnen

Die mittleren Zielerfüllungsgrade der Flächen stellen für die Landwirtschaft und den Naturschutz bereits die Teilnutzwerte dar ($e_1 = I_L$, $e_2 = I_N$). Der Teilnutzwert für die Wasserversorgung berechnet sich gemäß:

$$I_W = \frac{1}{2}e_3 + \frac{1}{2}e_{NO_3}$$

Die drei Gruppen sollen die jeweiligen Nutzungsinteressen gleichberechtigt in den Gesamtnutzwert I einbringen (Gewichtungsfaktor $g_{\text{Naturschutz}} = g_{\text{Landwirtschaft}} = g_{\text{Wasserversorgung}} = 1$). Zwischen den Nutzungsinteressen soll eine eingeschränkte Kompensierbarkeit herrschen (Kompensationsfaktor $p = 2$).