

## 4 ANFORDERUNGEN AN DEN WASSERHAUSHALT

### 4.1 Übersicht

In diesem Kapitel werden die Anforderungen der Wasserversorgung, der Landwirtschaft und des Naturschutzes an den Wasserhaushalt in einem Wassergewinnungsgebiet untersucht. Ziel ist die Ermittlung der für die Bewertung und Optimierung der Grundwasserentnahmen relevanten Bewertungs- und Zielgrößen (Def. vgl. Kap. 2.2).

Dazu werden zunächst die allgemeinen Zusammenhänge zwischen dem natürlichen Wasserhaushalt und den Anforderungen durch die drei Wassernutzer dargestellt. Darauf aufbauend wird für jeden Nutzer ein Leitbild entwickelt, welches das anzustrebende Ziel für die Grundwasserbewirtschaftung darstellt.

Aus den Leitbildern können dann die relevanten Bewertungsgrößen abgeleitet werden. Die Zielgrößen sollen in Form der für das Bewertungssystem benötigten Zielfunktionen (Kap. 2.4.3) anhand von allgemein verfügbaren bzw. vergleichsweise einfach zu erhebenden objektiven Datengrundlagen ermittelt werden.

### 4.2 Wasserversorgung

#### 4.2.1 Allgemeines

Grundwasser stellt europaweit die bedeutendste Ressource zur Gewinnung von Trinkwasser für die öffentliche Wasserversorgung dar (Abb. 4.1).

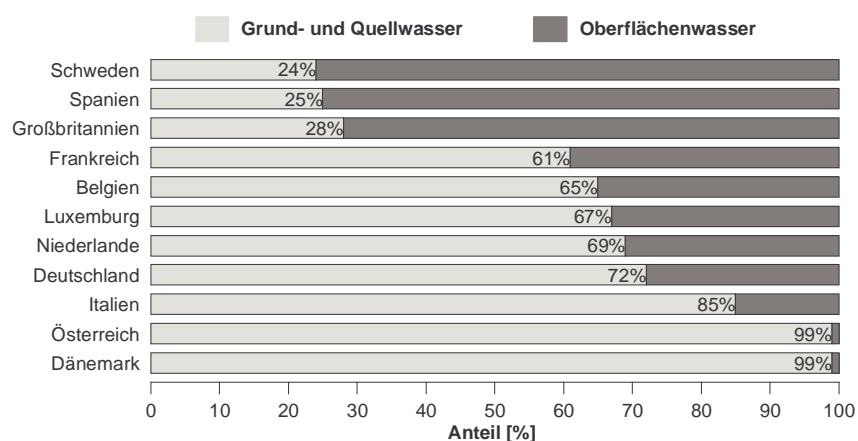


Abb. 4.1: Wasserbereitstellung für die öffentliche Wasserversorgung aus Grund- und Oberflächenwasser in Europa (Stand: 1993; Q: LANDESWASSERVERSORGUNG)

Im Jahr 2001 wurden 72,6 % des Wassers für die öffentliche Wasserversorgung in Baden-Württemberg aus Grund- und Quellwasser gewonnen (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, [www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)), in Deutschland waren es

74,1 % (STATISTISCHES BUNDESAMT, [www.destatis.de](http://www.destatis.de)). Der Anteil an Grundwasser für die Zwecke der öffentlichen Wasserversorgung betrug im Jahr 2000 bundesweit 65 %, der Anteil von Quellwasser lag bei 9% (BGW, [www.bundesverband-gas-und-wasser.de](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de)).

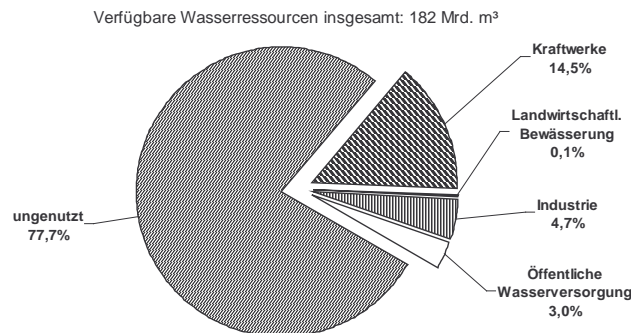


Abb. 4.2: Wassernutzung in Deutschland im Jahr 2000 (nach [www.bundesverband-gas-und-wasser.de](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de), 2002)

Die verfügbaren Wasserressourcen in Deutschland betragen 2001 182 Mrd. m<sup>3</sup>. Davon wurden 22,3 % (40,6 Mrd. m<sup>3</sup>) genutzt, der Anteil der öffentlichen Wasserversorgung lag bei 3,0% (5,5 Mrd. m<sup>3</sup>) (BGW, [www.bundesverband-gas-und-wasser.de](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de), 2002).

#### 4.2.2 Quantitative Aspekte der Grundwasserbewirtschaftung

Grundwasser dient dem Menschen bereits seit Jahrtausenden als Trinkwasserspender. Die Kunst des Brunnenbaus stammt vermutlich aus der Sahara (MÜLLER, 1988). Sehr gute Brunnen wurden schon in der Zeit von 3000 bis 2500 v. Chr. im Indus/Pakistan gebaut. Es handelte sich um einfache, gemauerte Brunnen, in denen sich das Grundwasser sammeln und aus denen es dann mit Hilfe von Gefäßen an die Erdoberfläche befördert werden konnte.

Solch geringe Entnahmen führten zu keinen nennenswerten Änderungen im natürlichen Wasserhaushalt und Wasserkreislauf. Doch mit Beginn der Industrialisierung stieg der Wasserbedarf der Bevölkerung und der Industrie stark an, so dass immer neue Gewinnungsgebiete erschlossen werden mussten und gleichzeitig die Entnahmen intensiviert wurden. Dadurch geriet der Wasserhaushalt aus seinem natürlichen Gleichgewicht, in manchen Gebieten bestand die Gefahr der Übernutzung der Ressource (Summe aller Entnahmen größer als die Neubildung). Aus diesem Grund trat am 1. März 1960 in der Bundesrepublik Deutschland das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz, WHG) in Kraft, mit dem Ziel, einen einheitlichen Rahmen für die Bewirtschaftung der Gewässer zu schaffen und Übernutzungen zu verhindern (§1a WHG, 2002). Dem WHG folgten die Wassergesetze der Bundesländer. Mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) wurde erstmals auch auf gesamteuropäischer Ebene ein einheitlicher und übergeordneter gesetzlicher Rahmen zur Ordnung der Wasserpolitik in den Ländern der Europäischen Union geschaffen. Mit der derzeit im Gesetzgebungsverfahren befindlichen EU-Grundwasserrichtlinie sollen darüber hinaus die Anforderungen der Richtlinie 80/68/EWG und der WRRL zusam-

mengeführt und ein umfassender Grundwasserschutz in der Europäischen Union gewährleistet werden.

Übergeordnete Ziele der WRRL sind (Art. 1 WRRL):

- die Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosystemen und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt,
- die Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen,
- das Anstreben des stärkeren Schutzes und einer Verbesserung der aquatischen Umwelt (...),
- die Sicherstellung der schrittweisen Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung seiner weiteren Verschmutzung und
- einen Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren zu leisten.

Die zur Trinkwassergewinnung genutzten Wasserkörper stehen dabei unter einem besonderen Schutz (WRRL, Art. 7 Abs. 3): „Die Mitgliedsstaaten sorgen für den Schutz der ermittelten Wasserkörper, um eine Verschlechterung ihrer Qualität zu verhindern und so den für die Gewinnung von Trinkwasser erforderlichen Umfang der Aufbereitung zu verringern. (...)“

KOBUS & MÖDINGER (2002) konstatieren, dass im Hinblick auf eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen der Entnahme von qualitativ hochwertigem Wasser in ausreichender Menge für die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser (i.S.d. Daseinsvorsorge) Vorrang vor allen anderen Nutzungen einzuräumen ist. Gleichzeitig wird aber festgestellt, dass den Wasserversorgungsunternehmen damit eine hohe Verantwortung im vernünftigen Umgang mit der Ressource Wasser zukommt. Weitere Nutzungen müssen bei der Bewirtschaftung ebenso berücksichtigt werden wie die Belange des aquatischen Ökosystems oder der vom Wasser abhängigen Ökosysteme.

Abb. 4.2 lässt vermuten, dass die Wassernutzung in Deutschland bereits nachhaltig ist. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Verfügbarkeit in Deutschland regional unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Insbesondere in Ballungszentren steht einem hohen Wasserbedarf für die Industrie und die privaten Haushalte oftmals ein geringes Wasserdargebot gegenüber (HAAKH, 2001).

Nach KOBUS & MÖDINGER (2002) sind Grundwasserentnahmen dann nachhaltig, wenn die Summe aller Entnahmen deutlich unter der halben Umsatzrate liegt, ein Orientierungsvorschlag hierzu liegt bei 20%. In diesem Wert ist der Wasserbedarf der Natur berücksichtigt. Dieser Wert ist jedoch teileinzugsgebietsbezogen zu überprüfen. Beispielsweise wird im Rhein-Neckar-Raum eine höhere Grundwasserentnahme durch eine verstärkte Infiltration aus den Oberflächengewässern vollkommen ausgeglichen.

Von besonderem Interesse für die vorliegende Fragestellung ist daher, wie viel Grundwasser an einem Standort für die Zwecke der Wasserversorgung entnommen werden kann, ohne dass die überregionale Nachhaltigkeit gefährdet ist. Diese Betrachtung muss auf der überregionalen Skala der Teileinzugsgebiete (i.S.d. WRRL) erfolgen. Bislang liegen solche Untersuchungen jedoch nicht vor bzw. sind derzeit erst im Entstehen. Aus diesem Grund kann der quantitative Aspekt (Gesamtentnahme) derzeit nicht als Bewertungsgröße für die Wasserversorgung im Bewertungssystem berücksichtigt werden, obwohl dies aus Vollständigkeitsgründen notwendig wäre.

#### 4.2.3 Qualitative Aspekte des Grundwasserschutzes

Grundwasser besitzt durch die langen Verweilzeiten und Selbstreinigungsprozesse im Untergrund natürlicherweise eine hohe Reinheit, eine konstante Temperatur und einen ausgezeichneten Geschmack. Anthropogen unbelastetes Grundwasser ist in der Regel ohne Einschränkungen und ohne die Notwendigkeit einer Aufbereitung für den menschlichen Genuss geeignet. Doch anthropogen un- oder gering belastetes Grundwasser ist mittlerweile ein seltenes Gut geworden. Das Grundwasser ist einer Vielzahl an punktuellen und diffusen Beeinträchtigungen und Belastungen ausgesetzt, die durch menschliche Tätigkeiten hervorgerufen werden:

- Nitrat- und Pflanzenschutzmitteleintrag aus der Landwirtschaft,
- Kontamination durch Verkehr,
- unsachgemäßer Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in der Industrie,
- Einträge von Altstandorten und Altablagerungen (z.B. CKWs),
- Abwassereintrag durch undichte Rohrleitungen und
- diffuse Einträge aus der Atmosphäre, Freizeitaktivitäten, usw.

Die natürliche Reinheit des Grundwassers wird von vielen Seiten bedroht und beeinträchtigt. Dies spiegelt sich beispielsweise in den jährlich veröffentlichten Messwerten der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung Baden-Württemberg wider. Insbesondere beim Parameter Nitrat, für dessen Eintrag in erster Linie die Landwirtschaft verantwortlich zu machen ist, verharrten die Werte seit Jahren auf einem hohen Niveau. 4% der im Jahr 2000 für die Grundwasserdatenbank Wasserversorgung beprobten Messstellen wiesen eine Nitratkonzentration auf, die über dem Trinkwasser-Grenzwert von 50 mg/L lag. Etwa 70% aller beprobten Messstellen wiesen einen Nitratgehalt oberhalb der natürlichen Grundbelastung von 10 mg/L auf (GRUNDWASSERDATENBANK WASSERVERSORGUNG, 2001). Den Wasserversorgungsunternehmen bleibt bei hoch nitratbelasteten Grundwasservorkommen nur die Alternative, die Rohwässer mit nitratärmeren Wässern zu mischen, kostenintensiver aufzubereiten (z.B. Membranfiltration) oder die kontaminierten Brunnen stillzulegen.

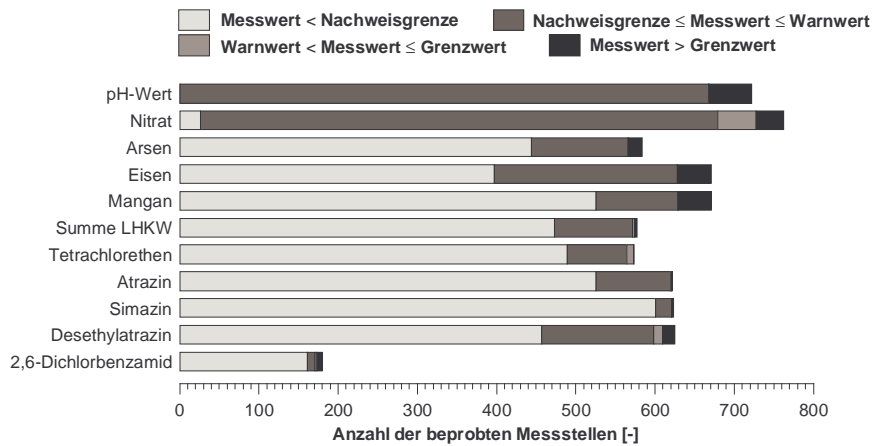


Abb. 4.1: Problematische Parameter in den Rohwassermessstellen Baden-Württembergs (Ergebnisse der Beprobung 2000; GWDB WASSERVERSORGUNG, 2001; verkürzt)

Pflanzenschutzmittel kommen natürlicherweise im Grundwasser gar nicht vor und sind deshalb ein eindeutiges Indiz für eine anthropogene Belastung. Bei den Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Zwar sind die Konzentrationen des deutschlandweit bis 1991 eingesetzten Pflanzenschutzmittels Atrazin durch dessen Verbot seither rückläufig, dennoch wurden im Jahr 2000 in Baden-Württemberg noch an 2% aller Messstellen Konzentrationen von über 1 µg/L von dessen Abbauprodukt Desethylatrazin gemessen. Hieran lässt sich deutlich das lange „Gedächtnis“ des Grundwassers erkennen, das aus den Verweilzeiten von mehreren Jahrzehnten im Untergrund resultiert. Bei den Pflanzenschutzmitteln (PSM) stellt sich zudem das Problem, dass nur diejenigen nachgewiesen werden können, nach denen auch gesucht wird. PSM sind hochkomplexe organische Verbindungen, über deren Abbauverhalten in aller Regel nur wenig bekannt ist bzw. die Abbaureaktionen von einer Vielzahl von Umwelteinflüssen abhängig sind. Daher besteht die Gefahr, dass potenziell gesundheitsgefährdende Substanzen im Grundwasser vorhanden sind, nach denen bislang aber nicht gesucht wird.

Tab. 4.1: Pflanzenschutzmittelwirkstoffe mit Positivbefunden (GWDB WV, 2001)

Parameter	Anzahl der Messstellen			Maximalwert [µg/L]
	beprobt	>Nachweisgrenze	>Grenzwert	
Desethylatrazin	625	168	15	0,29
Atrazin	622	96	2	0,17
Simazin	623	22	2	0,12
2,6-Dichlorbenzamid	180	19	7	0,49
Desiospropylatrazin	572	4	0	0,06
Haxazinon	299	4	0	0,09
Bromacil	260	4	0	0,08
Terbutylazin	621	2	0	0,04
Desethylterbutylazin	566	2	0	0,07
Isoproturon	101	1	0	0,03

Die Gesamthärte des Grundwassers ist anders als die oben genannten Parameter von den geogenen Randbedingungen abhängig. Bei der Passage durch den Untergrund löst das

Grundwasser Calcium- und Magnesiumionen aus dem umgebenden Gestein und verändert dabei seine Härte. Während in Baden-Württemberg im Bereich des Schwarzwalds und des Odenwalds weiche Wässer mit Gesamthärten von unter 7° dH (1,25 mmol/l) vorkommen, weist das Grundwasser der Schwäbischen Alb einen Härtegrad von 20° dH (3,58 mmol/l) und darüber auf. Die Härte des Trinkwassers hat keine negativen Auswirkungen für die Gesundheit der Konsumenten, hartes Wasser kann sich bei heranwachsenden Menschen sogar positiv auf das Knochenwachstum auswirken. Dennoch erwartet die Bevölkerung von ihrem Wasserversorger in zunehmendem Maße die Bereitstellung von weichem Wasser (Härtestufe  $\leq 2$ ). Dies liegt in den negativen Begleiterscheinungen bei der Erwärmung von hartem Wasser begründet. Bei diesem Vorgang fallen die Calcium- und Magnesiumionen aus und führen so nach und nach zu einer Verkalkung und einer beschleunigten Alterung von Warmwassergeräten (Bildung von Kesselstein).

Die Wasserversorgungsunternehmen müssen den Wünschen ihrer Kunden nach weicherem Wasser Rechnung tragen und sind deshalb vielfach gezwungen, das gewonnene Rohwasser vor der Abgabe zu entkarbonisieren. Da dies nur durch eine aufwändige Verfahrenstechnik möglich ist, ist die Entkarbonisierung teuer und hat in der Regel steigende Wasserpreise zur Folge.

Artikel 9 der EU-WRRL besagt, dass bis zum Jahre 2010 der Wasserpreis die tatsächlichen Kosten, die bei der Wasserbereitstellung entstehen, berücksichtigen muss. Dabei sind unter Zugrundelegung des Verursacherprinzips alle Kosten für Wasserdienstleistungen sowie die umwelt- und ressourcenbezogenen Kosten mit einzurechnen. Auf diese Weise soll ein Anreiz geschaffen werden, die Ressourcen effizient und umweltverträglich zu nutzen (WRRL, 2000). Durch die Berücksichtigung der Umweltauswirkungen der Entnahmen im Wasserpreis ist europaweit mit steigenden Wasserpreisen zu rechnen, was (wenn man die Erfahrungen in Deutschland zu Grunde legt) einen Rückgang des Pro-Kopf-Verbrauchs zur Folge haben dürfte.

Beim Wasserpreis [ $\text{€}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$ ] dominieren in der Regel die Fixkosten mit einem Anteil von ca. 80%. Bei rückläufiger Wasserabgabe steigt daher der spezifische Wasserpreis überproportional an.

Der Öffentlichkeit sind solche Preissteigerungen insbesondere in wirtschaftlich schwierigen Zeiten nur schwer zu vermitteln. Die Wasserversorgungsunternehmen werden daher in Zukunft in verstärktem Maße dazu übergehen, „günstiges“ Wasser zu fördern, um die Preissteigerungen wenigstens teilweise auszugleichen. „Günstiges“ Wasser kann beispielsweise aus denjenigen Wassergewinnungsanlagen gefördert werden, die bereits von Natur aus eine hohe Rohwasserqualität aufweisen und dementsprechend kein oder nur ein geringer Aufbereitungsbedarf besteht. Der gewinnungsanlagenbezogene Wasserpreis hängt außerdem von der Lage und der Entfernung der Anlage vom Wasserwerk ab. Je weiter eine Anlage vom Werk entfernt liegt bzw. je größer der zu überwindende Höhenunterschied ist, desto größer ist der notwendige Energieeinsatz für die Pumpen (hier spielt auch der Wirkungsgrad der Pumpen eine Rolle) und umso höher ist der spezifische Wasserpreis. Die Wirtschaftlichkeit der Wassergewinnung und -aufbereitung stellt für das Wasserversorgungsunternehmen eine wesentliche Größe für dessen wirtschaftliche Leistungsfähigkeit dar.



#### 4.2.4 Entwicklung des Leitbildes für die Wasserversorgung

Aus den oben beschriebenen Zusammenhängen wurde das Leitbild für die Wasserversorgung entwickelt, das für die Bestimmung und Festlegung der Bewertungsgrößen und die Optimierung von grundlegender Bedeutung ist.

##### *Leitbild der optimalen Grundwasserbewirtschaftung aus Sicht der Wasserversorgung*

**Nachhaltige und bedarfsorientierte Gewinnung von Grundwasser guter Qualität.  
Minimierung der durch die Förderung und Aufbereitung des Wassers entstehenden Kosten.**

Das Leitbild der Wasserversorgung umfasst den quantitativen Aspekt, qualitative Gesichtspunkte (die sich z.B. aus den Vorgaben der Trinkwasserverordnung ergeben) und ökonomische Belange (Trinkwasser ist kein Luxusgut, sondern ein Menschenrecht und muss deshalb auch bezahlbar bleiben).

Die langfristige Nutzbarkeit der Ressource ist dann gegeben, wenn die Summe aller Entnahmen im Gesamteinzugsgebiet ca. 20% der verfügbaren Wassermenge nicht überschreitet, da der Wasserbedarf von Flora und Fauna im Gebiet berücksichtigt werden muss (KO-BUS & MÖDINGER, 2002). Ein Wassergewinnungsgebiet stellt dabei nur einen kleinen Teil eines meist sehr viel größeren Teileinzugsgebiets dar. Im Rahmen des hier vorgestellten Bewertungssystems werden die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen auf die zu den Wassergewinnungsgebieten benachbarten Regionen nicht untersucht. Dies muss in einem größeren Rahmen auf einer überregionalen Ebene geschehen. In der Konsequenz ergibt sich daraus, dass die Gesamtentnahme im Wassergewinnungsgebiet nur dann als Bewertungsgröße verwendet werden kann, wenn zuvor auf einem kleineren Maßstab untersucht wurde, wie hoch die Gesamtentnahme maximal sein darf, damit die Wasserbilanz im Gesamteinzugsgebiet ausgeglichen ist. Solche Vorgaben werden in den kommenden Jahren im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie erarbeitet. Da diese Vorgaben aber bislang noch fehlen, wird die Gesamtentnahme im Bewertungssystem als Randbedingung integriert. Die Kopplung des hier entwickelten Bewertungs- und Optimierungssystems mit einem überregionalen Modell stellt eine sinnvolle Weiterentwicklung des Systems dar.

#### 4.2.5 Bewertungskriterien für die Wasserversorgung

Die Auswahl der Bewertungsgrößen für die Wasserversorgung ist von den spezifischen Problemen und Fragestellungen innerhalb des Wassergewinnungsgebiets und den Interessen der Wasserversorgungsunternehmen abhängig. Nach ihnen richten sich die im Bewertungssystem zu berücksichtigenden Bewertungskriterien.

Wie bereits in Kap. 2.4.2 beschrieben wurde, soll die Gesamtzahl der Bewertungskriterien gering gehalten werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, zunächst zu untersuchen, welche Wasserqualitätsparameter für den Wasserversorger die größte Bedeutung besitzen. Dabei kann die Beantwortung der folgenden Fragen wertvolle Hinweise liefern, ob ein Qualitätsparameter als Bewertungskriterium herangezogen werden soll:

- Besteht die Gefahr, dass Grenzwerte der Trinkwasserverordnung erreicht oder überschritten werden?
- Ist ein signifikant steigender Trend i.S.d. WRRL im Rohwasser erkennbar?
- Besteht eine Selbstverpflichtung des Wasserversorgers gegenüber seinen Kunden?
- Besteht ein Interesse der Öffentlichkeit an einem bestimmten Parameter (Außenwirkung)?
- Existieren Anlagenteile im Wasserwerk oder bei der Wasserverteilung, die bestimmte Anforderungen an die Wasserqualität stellen?

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Untersuchungen im Donauried wird ein Orientierungswert von maximal zwei zu berücksichtigenden Wasserqualitätsparametern vorgeschlagen, wenn der Kostenaspekt ebenfalls berücksichtigt werden soll.

#### 4.2.5.1 Wasserqualität

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) stellt eine wichtige gesetzliche Grundlage zur Beurteilung der Trinkwasserqualität dar. Sie legt durch Grenzwerte maximal zulässige Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen am Ausgang des Wasserwerks fest. Diese Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden, da ansonsten das Wasser nicht mehr an die Verbraucher abgegeben werden darf. Die TrinkwV gilt für Trinkwasser, eine Übertragung der Grenzwerte auf nicht zur Trinkwassernutzung bestimmtes Wasser oder Rohwasser ist rechtlich nicht zulässig. Die Anwendung der Grenzwerte entsprechend der TrinkwV im Bewertungssystem ist folglich nur für die Beurteilung der Wasserqualität am Werksausgang möglich. D.h. es muss die Wasserqualität des Mischwassers bewertet werden, die sich aus den Rohwasserqualitäten der Wassergewinnungsanlagen sowie den durchgeführten Aufbereitungsschritten ergibt.

Tab. 4.1: Grenzwerte der TrinkwV für ausgewählte Wassergüteparameter

Parameter	Dimension	Grenzwert
Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C	mS/m	250
pH-Wert	-	6,5 / 9,5
Oxidierbarkeit	mg/l O <sub>2</sub>	5
Ammonium	mg/l	0,5
Nitrat	mg/l	50
Nitrit	mg/l	0,1
Sulfat	mg/l	240
Chlorid	mg/l	250
Blei	mg/l	0,025
Cadmium	mg/l	0,005
Chrom, gesamt	mg/l	0,05
Nickel	mg/l	0,02
Quecksilber	mg/l	0,001
Eisen	mg/l	0,2
Mangan	mg/l	0,05
Aluminium	mg/l	0,2
Summe PAK	mg/l	0,0001
PSM und Biozidprodukte einzeln	mg/l	0,0001
Summe PSM und Biozidprodukte	mg/l	0,0005



Das Leitbild der Trinkwasserversorgung ist die Bereitstellung von anthropogen unbelastetem Trinkwasser. Im optimalen Fall entsprechen also die Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe des abgegebenen Trinkwassers denen des natürlichen Hintergrundwertes im Grundwasser. Die Hintergrundwerte unterscheiden sich von Gewinnungsgebiet zu Gewinnungsgebiet und sind von den natürlichen Gegebenheiten wie der Lithologie und der Geologie abhängig.

Im theoretischen Fall beginnen die Zielfunktionen der Wassergüteparameter somit bei der natürlichen Hintergrundkonzentration mit einem Zielerfüllungsgrad von 100% und enden beim Grenzwert der TrinkwV, wo sie einen Zielerfüllungsgrad von 0% annehmen. Der einfachste Verlauf der Zielfunktion zwischen den beiden Eckwerten ist linear fallend (Abb. 4.1, Kurve (1)). Mit der Linearität geht die Aussage einher, dass beispielsweise der Sprung von 10 mg/l Nitrat auf 25 mg/l für den Wasserversorger dieselbe Verschlechterung mit sich bringt wie der Sprung von 25 mg/l auf 40 mg/l. Andersartige Verläufe sind denkbar, müssen jedoch hinreichend und nachvollziehbar begründet werden. In der Abb. 4.1 drückt Kurve (2) eine hohe, Kurve (3) eine geringe Toleranz des Wasserversorgers gegenüber einer höheren Nitratkonzentration im Mischwasser aus.

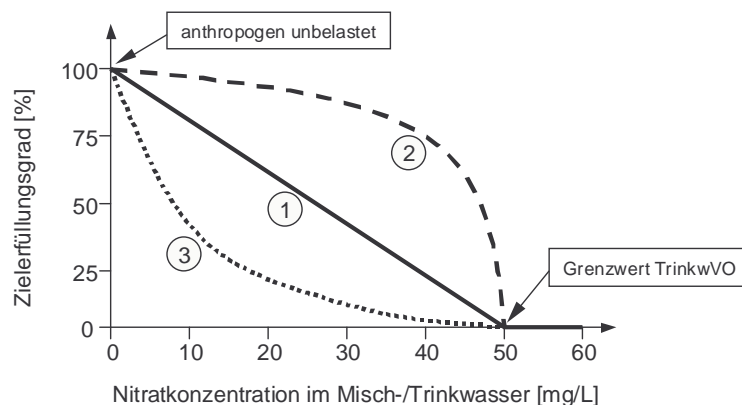


Abb. 4.1: Verschiedene Verläufe der Zielfunktion für den Wassergüteparameter Nitrat

In der praktischen Anwendung sollten die Zielfunktionen an die realen Gegebenheiten und Möglichkeiten angepasst werden. Einerseits kann ein anthropogen unbelastetes Trinkwasser in der heutigen Zeit durch die Vielzahl menschlicher Aktivitäten im Einzugsbereich der Wassergewinnungsgebiete praktisch nicht mehr gewonnen werden, andererseits sind Konzentrationen knapp unterhalb des Trinkwassergrenzwerts für Wasserversorgungsunternehmen problematisch. Die Zielfunktionen sollten sich an den tatsächlichen Konzentrationen im Rohwasser und der angestrebten Konzentration im Misch-/Trinkwasser orientieren (Abb. 4.2).

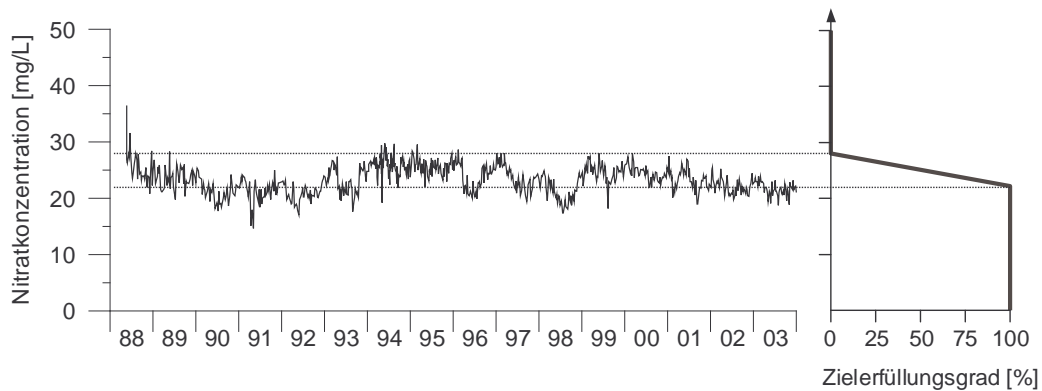


Abb. 4.2: Den realen Gegebenheiten angepasste Zielfunktion (Nitratkonzentration im Reinwasserbehälter des WW Langenau)

#### 4.2.5.2 Kosten durch Wassergewinnung und Wasseraufbereitung

Die gewinnungsanlagen-spezifischen Kosten des Rohwassers, die durch die Wassergewinnung und -aufbereitung entstehen, stellen sich im wesentlichen wie die Wassergüteparameter dar. Bewertet werden die Gesamtkosten, die sich aus dem Zusammenspiel aller Wassergewinnungsanlagen ergeben. Die Kosten müssen daher für jede Wassergewinnungsanlage separat berechnet und auf die jeweils gewonnene Wassermenge bezogen werden. In die Betriebskosten müssen dabei all jene Kosten eingehen, die direkt dem Rohwasser der Gewinnungsanlagen zugerechnet werden können, bis dieses das Wasserwerk als Trinkwasser verlässt (Abb. 4.1).

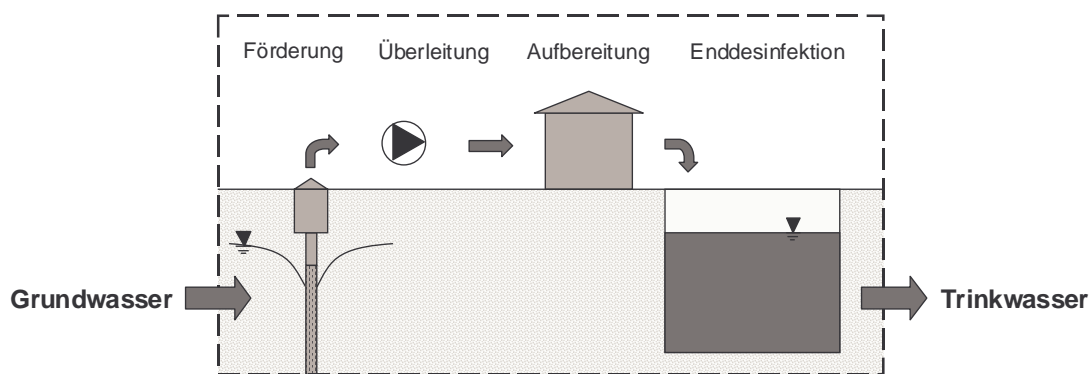


Abb. 4.1: Kontrollraum für die zu berücksichtigenden Kostenfaktoren

Im einzelnen sind dies:

- die Energiekosten, die durch das Zutagefördern des Grundwassers und die Überleitung vom Förderwerk zum Wasserwerk entstehen,
- die Kosten, die durch die Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser entstehen (z.B. Stoffe zur Wasseraufbereitung und Desinfektionsmittelzugabe) und
- Wassersteuern (Wasserentnahmeentgelt).

Die spezifischen Kosten für die Wassergewinnung und Wasseraufbereitung pro Gewinnungsanlage berechnen sich dann nach folgender Gleichung:

$$K_{spez} = \frac{K_E + K_A + WSt}{Q} \quad \left[ \frac{EUR}{m^3} \right] \quad Gl. 4.1$$

$K_{spez}$	= gewinnungsanlagenspezifische Kosten zur Herstellung von Trinkwasser aus Grundwasser [EUR/m <sup>3</sup> ]
$K_E$	= Energiekosten [EUR]
$K_A$	= Aufbereitungskosten [EUR]
$WSt$	= Wassersteuer [EUR]
$Q$	= gewonnene Wassermenge [m <sup>3</sup> ]

Je geringer die Gesamtkosten der gewählten Bewirtschaftungsstrategie sind, desto vorteilhafter ist dies für das Wasserversorgungsunternehmen. Aus diesem Grund ähnelt der Verlauf der Zielfunktion für die Kosten dem der Wassergüteparameter. Auch hier gilt, dass die Zielfunktion in einem realistischen und den realen Gegebenheiten angepassten Bereich liegen soll. Der Zielerfüllungsgrad von 100% wird erreicht, wenn das gesamte Wasser aus der „günstigsten“ Gewinnungsanlage entnommen wird, ein Zielerfüllungsgrad von 0% dann, wenn alles aus der „teuersten“ Gewinnungsanlage gefördert wird. Hierbei sind wasserrechtliche Einschränkungen (z.B. maximal zulässige Fördermenge) und technische Randbedingungen (z.B. Aufbereitungskapazitäten und Pumpenleistungen) zu berücksichtigen.

#### 4.2.5.3 Flurabstand

Schließlich ist der Zustrombereich zu den Wassergewinnungsanlagen einer genaueren Betrachtung zu unterziehen, innerhalb dessen sich Anforderungen an den Flurabstand ergeben können. Hierbei sind all diejenigen Flächen zu berücksichtigen, die Auswirkungen auf die Grundwasserqualität haben können, wenn der Grundwasserstand in einen bestimmten Bereich eindringt. Dazu zählen beispielsweise Altlastenstandorte, von denen eine Grundwassergefährdung ausgeht, wenn das Grundwasser in Kontakt mit der Altlast kommt (Mobilisierung von Schadstoffen). Für solche Flächen eignen sich Zielfunktionen, die dem Flurabstand bis zur maximalen Tiefe der Altlast (ggf. zzgl. eines Sicherheitszuschlages) einen Zielerfüllungsgrad von 0% zuweisen (Abb. 4.1), da solche Flurabstände aus Sicht der Wasserversorgung unerwünscht sind. Altlastenkataster und Altlastenerkundungen stellen die notwendigen Informationen zur Abschätzung der Gefährdung bereit. Je nachdem, wie hoch die von der Altlast ausgehende Gefährdung ist, können vertiefte Untersuchungen zur Bestimmung der Grenzflurabstände notwendig werden. Das Wassergefährdungspotenzial kann bei Kenntnis der Art der Altlast über die Angaben in der Verwaltungsvorschrift für wassergefährdende Stoffe (VwVwS) abgeschätzt werden.

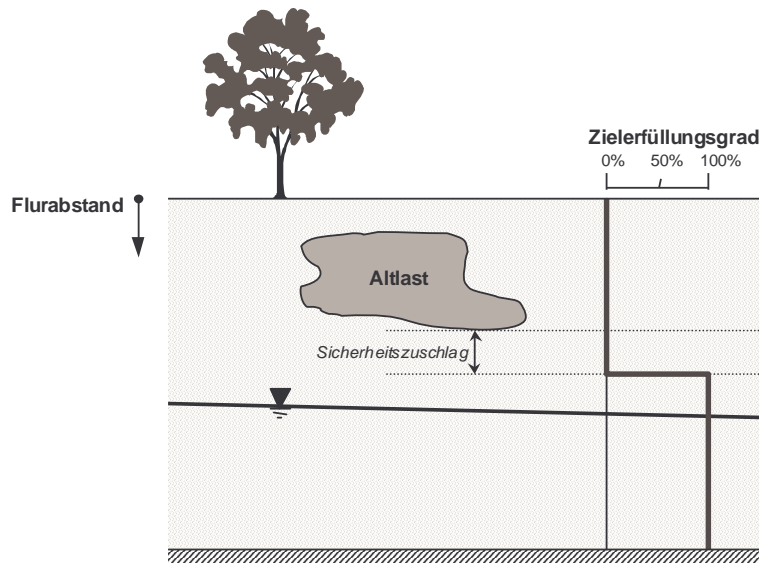


Abb. 4.1: Zielfunktion des Flurabstands bei Altlasten

Auch natürliche Bodeneigenschaften können bei zu geringen Flurabständen eine erhöhte Grundwasserbelastung zur Folge haben. In ursprünglichen Feuchtgebieten sind meist sehr nährstoffreiche Bodenschichten zu erwarten. Die Absenkung des Grundwasserspiegels führt hier zu einer Mineralisation. Das dabei entstehende Nitrat kann bei einem wiederansteigenden Grundwasserstand mobilisiert und ausgewaschen werden. Die Folge ist eine Erhöhung der Nitratkonzentration im Rohwasser der Grundwassergewinnungsanlagen. Die Zielfunktionen sind für die Bereiche mit nitratreichen Deckschichten so festzulegen, dass dieser Umstand berücksichtigt wird. Dabei spielt das Denitrifikationspotenzial der Böden eine wichtige Rolle. Dieses verändert sich mit zunehmender Tiefe und wächst umso stärker nach unten hin an, je länger die entsprechende Bodenzone im Jahresverlauf wassergesättigt ist (HAAKH & SCHMID, 1996). Informationen darüber, wo solche Bodentypen vorhanden sind, können den Bodenkarten entnommen werden. Die Entwicklung des Denitrifikationspotenzials über die Tiefe ist jedoch stark von lokalen Einflüssen und Gegebenheiten abhängig. Detaillierte Bodenuntersuchungen sind deshalb bei der Existenz von nitratreichen Deckschichten in jedem Fall anzuraten. Die Form der Zielfunktion kann dann dem Verlauf des Denitrifikationspotenzials angepasst werden.

### 4.3 Landwirtschaft

Für die Landwirtschaft ist das Wasser in erster Linie als Wachstumsfaktor für die Kulturpflanzen von Bedeutung. Wasser zählt neben der Temperatur und dem Licht zu den dominierenden äußeren Wachstumsfaktoren und ist an allen pflanzenphysiologischen Prozessen beteiligt. Wasser hat in der Pflanze eine Vielzahl an chemischen (Bildung von organischer Substanz aus Wasser und  $\text{CO}_2$  durch Photosynthese) und physikalischen Aufgaben (Transport von Nährsalzen aus den Wurzeln in die Blätter, Aufrechterhaltung des Turgeszens und Reduzierung des Wärmestresses durch Transpiration) zu erfüllen (LINDNER, 1983).

Die Pflanzen nehmen das von ihnen zum Wachstum benötigte Wasser über ihre Wurzeln, hauptsächlich über die feinen Wurzelhaare auf. Der Fluss des Wassers folgt dabei dem osmotischen Druckgefälle, hervorgerufen durch Konzentrationsunterschiede zwischen dem freien Bodenwasser und dem Zellsaft, das sich auch im Inneren der Wurzel von Zelle zu Zelle fortsetzt. Durch das Öffnen ihrer Stomata an den Unterseiten der Blätter erfahren die Pflanzen einen Wasserentzug, der durch das Wassersättigungsdefizit der Luft hervorgerufen wird. Dadurch bildet sich in der Pflanze zwischen Wurzeln und Blättern ein Potenzialunterschied aus, wobei das hydraulische Potenzial von den Wurzeln zu den Blättern hin abnimmt. Aufgrund des Potenzialgefälles vom Bodenwasser bis zum Wasserdampf in der Luft (Soil-Plant-Atmosphere-Continuum, SPAC) ist sichergestellt, dass die Pflanze unter günstigen Umweltbedingungen stets ausreichend mit Wasser versorgt wird.

Die Wasseraufnahmerate der Pflanzen hängt einerseits von der potenziellen Evapotranspiration (Wasserdampfdefizit der Luft) und der pflanzeigenen Größe Blattflächenindex (Blattfläche pro Bodenfläche) ab. Diese beiden Größen bestimmen, wie viel Wasser von der Pflanze an die Umgebung abgegeben wird. Andererseits kann über das Blätterdach nur so viel Wasser abgegeben, wie zuvor von den Wurzeln insgesamt aufgenommen wurde. Damit hängt die Wasseraufnahmerate auch vom Wassergehalt und der Wasserleitfähigkeit des Bodens ab (EHLERS, 1996).

#### **4.3.1 Wasserverbrauch von Kulturpflanzen**

Der Blattflächenindex lässt sich aus dem phänologischen Entwicklungsstadium der Pflanze ableiten. Mit dem von BLEIHOLDER et al. (1989) vorgestellten BBCH-Code (BBCH: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie) zur einheitlichen Codierung der phänologischen Stadien bei Kultur- und Schädnpflanzen wurde ein den gesamten Lebenszyklus der Pflanze umfassender Beitrag zur Beschreibung von Entwicklungsstadien bei unterschiedlichen Kulturpflanzen geleistet. Der Aufbau wurde an die von Zadoks entwickelte Getreide-Skala angelehnt und auf einen zweistelligen Dezimalcode erweitert. Dabei beschreibt die erste Ziffer das Makrostadium, die zweite Ziffer das Mikrostadium der Pflanze (Abb. 4.1). Der BBCH-Code ist so angelegt, dass dieselbe Nummerierung demselben Entwicklungsstadium bei allen Kultur- und Schädnpflanzen entspricht. Der BBCH-Code ist mit dem von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft entwickelten BBA-Code weitgehend identisch, innerhalb der Makrostadien ist der BBCH-Code deutlich detaillierter ausgeführt.

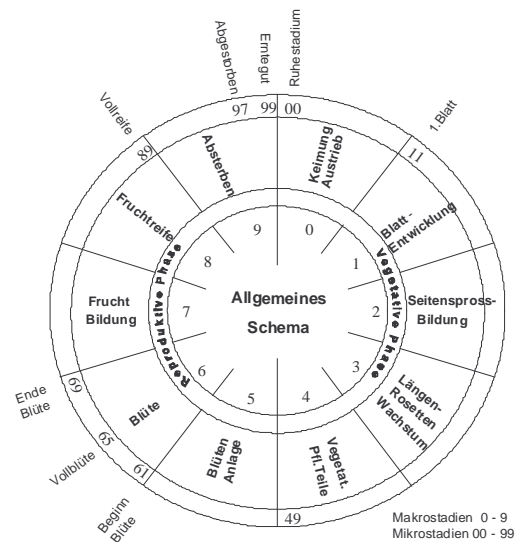


Abb. 4.1: Der BBCH-Code – Allgemeines Schema

Aufbauend auf dem BBCH-Code wurden Kulturartenkoeffizienten für den Wasserbedarf ( $C_{KAW}$ ) ermittelt, die einem bestimmten Entwicklungsstadium einen definierten Wasserverbrauch zuweisen (ITCF, 1993; ITCF & AGPM, 2000). Der Wasserverbrauch der Pflanze ist demnach nur von der potenziellen Evapotranspiration und dem Kulturartenkoeffizienten entsprechend des phänologischen Stadiums abhängig:

$$W = C_{KAW} \cdot ET_{POT} \quad [mm] \quad \text{Gl. 4.1}$$

W = Wasserverbrauch [mm]  
 $C_{KAW}$  = Kulturartenkoeffizient für den Wasserverbrauch [-]  
 $ET_{pot}$  = potenzielle Evapotranspiration [mm]



Tab. 4.1: Kulturartenkoeffizienten für den Wasserbedarf verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom phänologischen Entwicklungsstadium (entsprechend BBCH-Code) (Q: HUGGER, 2001)

$C_{KAW}$	phän. Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	$C_{KAW}$	phän. Entwicklungsstadium (BBCH-Code)
Sommer-/Winterweizen; Sommer-/Wintergerste		Raps	
0,5	bis Bestockungsbeginn (22)	0,5	bis 9. Blatt (19)
1,0	bis 2. Knoten (32)	0,7	bis Beginn des Längenwachstums (30)
1,2	bis Ährenschieben (55)	1,0	bis Ende des Längenwachstums (39)
1,0	bis Milchreife (75)	1,1	bis Ende der Blüte (69)
0,5	bis Gelbreife (87)	1,0	bis Milchreife (73)
		0,7	bis Reifebeginn (81)
<i>Mais</i>			
0,35	bis 3. Blatt (13)	<i>Kartoffeln</i>	
0,5	bis 6. Blatt (15)	0,5	bis Beginn der Knollenanlage (40)
0,7	bis 9. Blatt (19)	1,0	bis Blüte (59)
0,9	bis 4. Knoten (34)	1,0	bis Blattvergilbung (91)
1,05	bis Schossen (51)	0,5	bis Ernte (99)
1,15	bis Blüte (65)		
1,1	bis Nachblüte (69)	<i>Erbsen</i>	
1,05	bis Kornbildung (71)	0,5	bis 5. Blatt (14)
1,0	bis frühe Milchreife (75)	0,7	bis 7. Blatt (17)
0,9	bis Teigreife (83)	0,9	bis 9. Blatt (19)
0,6	bis Druschreife (87)	1,0	bis Blühbeginn (61)
		1,2	bis frühe Milchreife (73)
<i>Zuckerrüben</i>		1,0	bis Reife (87)
0,5	bis 4. Blatt (14)		
0,7	bis 9. Blatt (19)	<i>Grünland</i>	
1,1	bis Bestandesschluss (31)	1,0	ganzjährig
1,0	bis Erntereife (89)		

Der Wasserverbrauch von Grünland kann der potenziellen Evapotranspiration gleichgesetzt werden, der  $C_{KAW}$  beträgt damit ganzjährig 1,0 (ITCF, 1993). Für Getreide- und Gemüsearten müssen die Entwicklungsstadien für das jeweilige Gebiet ermittelt werden. Da die Entwicklungsstadien stark von den herrschenden klimatischen Bedingungen abhängig sind, ist ihre zeitliche Übertragung auf andere Gebiete ohne eine vorherige Überprüfung der lokalen Verhältnisse unzulässig. Auskunft über die lokalen Bedingungen und die Zeitpunkte, wann im Mittel mit den verschiedenen Entwicklungsstufen zu rechnen ist, geben die zuständigen Landwirtschaftsämter.

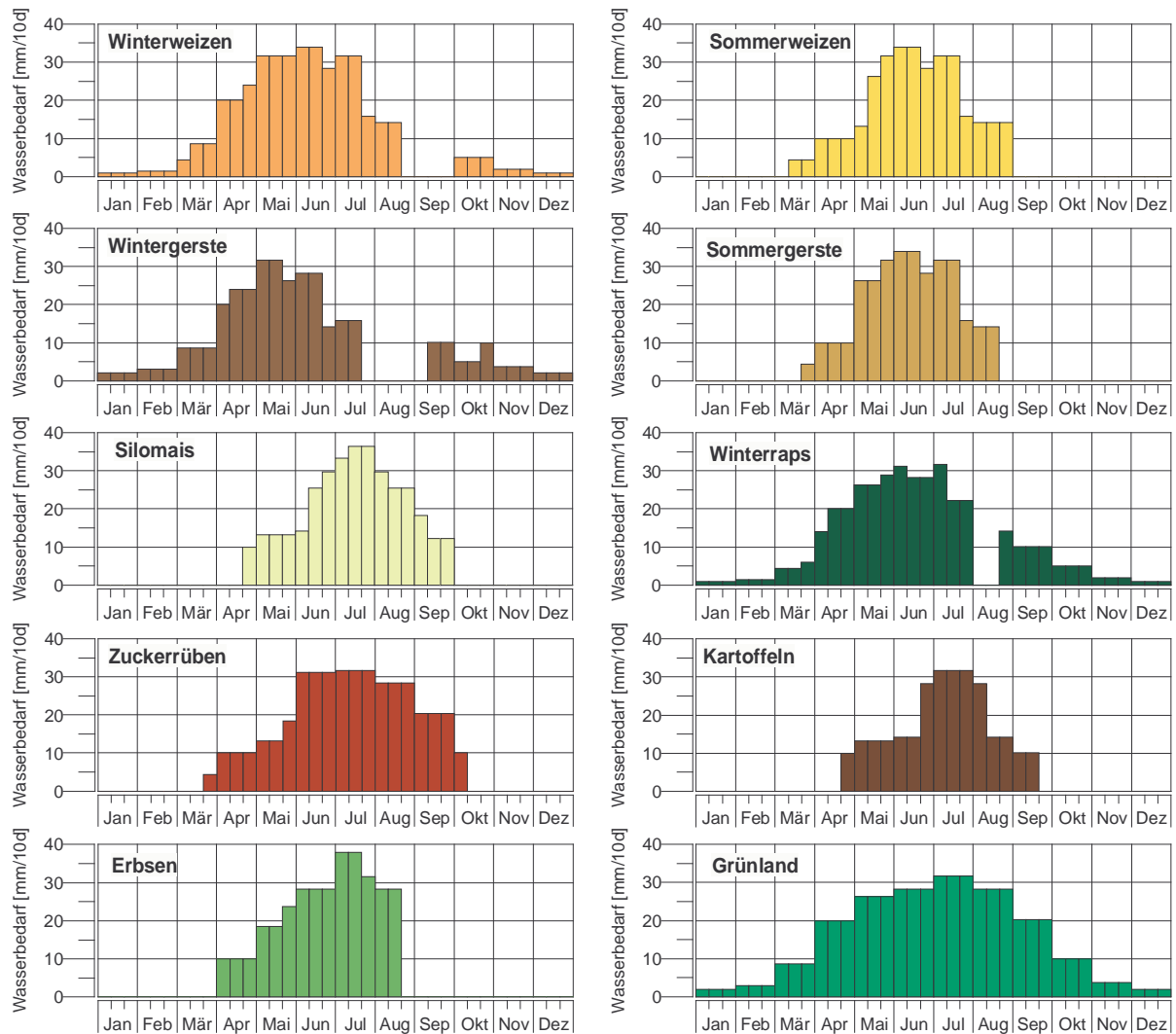


Abb. 4.1: *Mittlerer Wasserverbrauch verschiedener Kulturpflanzenbestände im Donauried pro Dekade bei mittlerer Evapotranspiration*

Aus Abb. 4.1 ist ersichtlich, dass der Wasserbrauch der verschiedenen Kulturpflanzen zeitlich unterschiedlich verläuft. Während beispielsweise Zuckerrüben im August einen sehr hohen Wasserverbrauch aufweisen, benötigt der Sommerweizen zu dieser Zeit trockenere Bedingungen, da er sich bereits in der Reifephase befindet. Geht man davon aus, dass der Niederschlag im Gebiet mehr oder weniger gleichmäßig verteilt ist, so kann ein Wasserdefizit nur durch eine künstliche Beregnung ausgeglichen werden. Diese ist aber nicht Bestandteil der hier diskutierten Optimierung. Darüber hinaus wechseln die Kulturarten jährlich entsprechend der praktizierten Fruchtfolge. Eine genaue Bestimmung des Wasserverbrauchs im Untersuchungsgebiet ist daher ohne aufwändige Erhebungen der räumlichen Verteilung der verschiedenen Kulturarten nicht möglich. Solche Erhebungen sind teuer und zeitintensiv und damit in der Praxis kaum zu verwirklichen. Für die Optimierung der Belange der Landwirtschaft ist es daher zweckdienlicher, dorthin zu schauen, wo die Pflanzen das Wasser aufnehmen, das sie verbrauchen: in den Boden.

### 4.3.2 Wasseraufnahme aus dem Boden

Böden sind in der Lage, in ihren Mittelporen (äquivalenter Porendurchmesser 0,2-50  $\mu\text{m}$ ) pflanzenverfügbares Wasser entgegen der Schwerkraft zu halten. Diese Eigenschaft verdanken sie dem Wechselspiel zwischen der flüssigen und der festen Phase des Bodens. Je trockener ein Boden ist, desto stärker wird das Wasser an die Bodenmatrix gebunden. Den Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Matrixpotenzial (bzw. als Betrag: die Saugspannung) beschreibt die Saugspannungs- oder Retentionskurve (auch pF-Kurve). Ab einem pF-Wert (= dekadischer Logarithmus der Wasserspannung) von 4,2 ist das Wasser so stark an die Bodenteilchen gebunden, dass die Wurzeln nicht mehr in der Lage sind, dieses aufzunehmen. Das oberhalb dieses Wertes im Boden verbleibende Wasser wird daher auch als Totwasser bezeichnet. Versuche mit Sonnenblumen hatten gezeigt, dass diese ab pF 4,2 irreversibel zu welken beginnen, der Wert wird daher als Permanenter Welkepunkt (PWP) bezeichnet.

Bei zunehmendem Wassergehalt im Boden lässt die Saugspannung nach und es kommt bei grundwasserfernen Böden (Flurabstand > 3 m) unterhalb von pF 2,5 zu einer Sickerbewegung des Wassers. Dieser Punkt wird als Feldkapazität (FK) des Bodens bezeichnet und kennzeichnet die Wassermenge, die der Boden maximal entgegen der Schwerkraft zu halten imstande ist. Bei grundwasserbeeinflussten Böden (Flurabstand < 3 m) ist die Feldkapazität vom Flurabstand abhängig und stellt sich je nach Grundwasserstand im Bereich zwischen pF 1,8 und 2,5 ein. Der pflanzenverfügbare Wasseranteil im Boden ist die Wassermenge zwischen dem Wassergehalt am PWP und der FK und wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet.

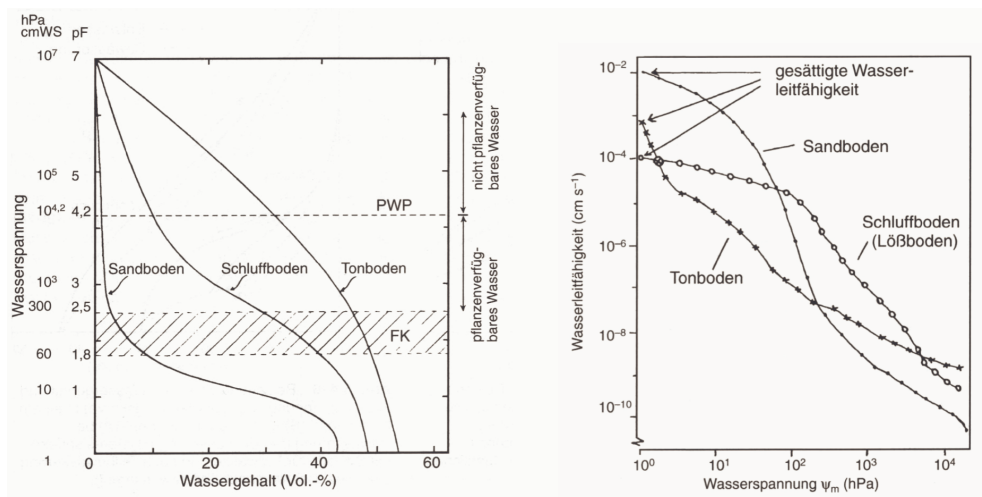


Abb. 4.1: Die Retentionskurve (links) und der Zusammenhang zwischen Wasserleitfähigkeit und Wasserspannung bei unterschiedlichen Bodenarten (SCHEFFER & SCHACHT-SCHABEL, 1998)

Mit der Saugspannung ändert sich auch die Wasserleitfähigkeit des Bodens. Bei geringen Saugspannungen sind die Fein- und Mittelporen des Bodens wassergefüllt. Damit ist ein guter Wasserfluss gewährleistet und die Wasserleitfähigkeit ist entsprechend hoch. Nimmt die Saugspannung zu, so verringert sich der zur Verfügung stehende Fließquerschnitt, da nun immer weniger Mittelporen wassergefüllt sind. Da außerdem die Feinporen meist deutlich tortuoser als Mittelporen sind, fällt die Wasserleitfähigkeit ab.

Der Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Saugspannung sowie zwischen Saugspannung und Wasserleitfähigkeit ist stark von der Körnung des Bodens (Bodenart) abhängig. Sandböden bestehen zu einem großen Teil aus schnell dränierenden Grobporen (äquivalenter Porendurchmesser  $> 50 \mu\text{m}$ ). Diese sind wie oben beschrieben nicht in der Lage, Wasser entgegen der Schwerkraft zu halten und so zeichnen sich Sandböden durch eine sehr geringe nFK aus. Sie sind daher als Pflanzenstandorte in der Regel nicht besonders geeignet. Tonböden hingegen bestehen zu einem hohen Anteil aus Feinporen (äquivalenter Porendurchmesser  $< 0,2 \mu\text{m}$ ). Diese binden das Wasser durch ihrer große spezifische Oberfläche so stark, dass ebenfalls nur ein geringer Teil (wenn auch größer als bei Sandböden) des Bodenwassers pflanzennutzbar ist. Weiterhin sind die Feinporen für die Pflanzenwurzeln kaum zu durchdringen, so dass reine Tonböden ebenfalls schlechte Pflanzenstandorte darstellen. Eine Mittelstellung nehmen die Schluffböden (z.B. Lössböden) ein. Bei ihnen sind die Mittelporen mit ca. 20% stark am Wasserhaushalt beteiligt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). Da diese pflanzenverfügbares Wasser enthalten und zudem gut durchwurzelbar sind, stellen Schluffböden die höchstwertigen Pflanzenstandorte dar (vgl. z.B. Lössböden der Magdeburger Börde).

Bei grundwasserfernen Böden lässt sich die pflanzenverfügbare Wassermenge des Bodens nach folgender Gleichung berechnen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998):

$$W_{\text{pfl}} = nFK \cdot W_e \quad [mm] \quad \text{Gl. 4.1}$$

$W_{\text{pfl}}$ : pflanzenverfügbare Wassermenge [mm]  
 $nFK$ : nutzbare Feldkapazität [mm/dm]  
 $W_e$ : effektiver Wurzelraum [dm]

Der effektive Wurzelraum  $W_e$  ist dabei der Bodenbereich, den die Pflanze in niederschlagsarmen Jahren entwässern kann. Er kann aus Tabellenwerken (z.B. AG BODEN, 1994; DVWK, 1984) entnommen werden.

Tab. 4.1: Mittlere effektive Durchwurzelungstiefe homogener Böden in Abhängigkeit von der Rohdichte trocken ( $\rho$ ) und der Lagerungsdichte ( $L_d$ ) für Ackerkulturen sowie für Torfe bei Substanzvolumen (SV) der Stufe 3 (Q: AG BODEN, 1994)

Bodenarten- hauptgruppe	Bodenart Kurzzeichen	mittlere effektive Durchwurzelungstiefe $W_e$ in dm		
		pt1 – pt2 Ld1 – Ld2	pt3 Ld3	pt4 – pt5 Ld4 – Ld5
Sand	gS	7	5	5
	mS, fS	8	6	6
	Sl2, Su2, Su3, Su4	9	7	6
	Sl3, St2	11 – 9	8	7
Schluff	Uu, Us	14 – 12	10	8
	Ul1, Ut2, Ut3, Ut4, Lu	15 – 13	11	9
Lehm	Sl4, St3, Slu	13	9	8
	Ls2, Ls3, Ls4, Lt2, Lts	14 – 12	10	8
Ton	Lt3	14 – 12	10	8
	Tu3, Tu4	15 – 13	11	9
	Tu2, Tl, Tt	14 – 12	10	8

Torf		bei SV 3
	Hh	2
	Hn	4

Bei grundwasserbeeinflussten Böden ist neben der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum auch der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser zu berücksichtigen. Der kapillare Aufstieg ist der umgekehrte Vorgang der Sickerung. Wasser wird dabei entgegen der Schwerkraft von der Grundwasseroberfläche nach oben gesogen. Diese Bewegung kommt dann zustande, wenn das hydraulische Potenzial oberhalb der Grundwasseroberfläche kleiner als null, d.h. die Saugspannung (= Betrag des Matrixpotenzials) größer als das Gravitationspotenzial ist. Dieser Fall tritt dann ein, wenn Wasser durch Verdunstung oder Pflanzenentzug aus dem Boden entnommen wird.

Der kapillare Aufstieg ist ebenfalls stark von der Boden- bzw. der Torfart abhängig (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). Ist die Bodenart bekannt, so lässt sich der maximale Grenzflurabstand ( $GFA_{max}$ ) berechnen, bei dem die Pflanze noch vom Grundwasser profitieren kann. Als untere Grenze für einen pflanzennutzbaren kapillaren Aufstieg gilt eine Aufstiegsrate von 0,3 mm/d (AG BODEN, 1994). Der maximale Grenzflurabstand ergibt sich aus der Summe des effektiven Wurzelraums und der kapillaren Steighöhe bei einer Aufstiegsrate von 0,3 mm/d.

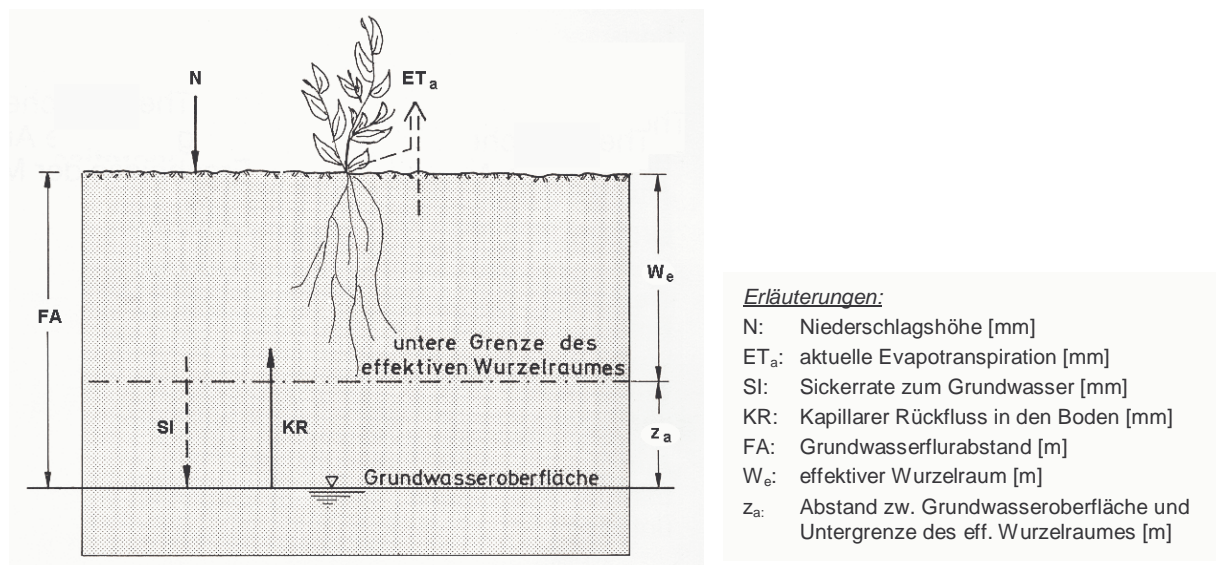


Abb. 4.2: Schema zur Bodenwasserbilanz (nach DVWK, 1984; verändert)

Bei höheren Grundwasserständen erhöht sich die kapillare Aufstiegsrate, das Grundwasser kann also in verstärktem Maße zu einer Verbesserung der Wasserversorgung der Pflanzen beitragen. Eine optimale Wasserversorgung aus dem Grundwasser ist bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 5 mm/d in den effektiven Wurzelraum gegeben (AG BODEN, 1994).

Tab. 4.2: Mittlere kapillare Aufstiegsrate aus dem Grundwasser bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraums in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte (Ld) bzw. Torfart, Zersetzungsstufe (z) und Substanzvolumen (Q: AG BODEN, 1994)

Bodenart Kurzzeichen	Ld (Stufen)	Abstand (z <sub>a</sub> ) zwischen der Grundwasseroberfläche und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes (W <sub>e</sub> ) in dm													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20	
		kapillare Aufstiegsrate in den effektiven Wurzelraum in mm/d													
Sande															
mSgs	2-3	>5,0	5,0	1,5	0,5	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-5	>5,0	5,0	1,2	0,3	0,2	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-
mS	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	3,0	1,2	0,5	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	2,5	1,0	0,2	<0,2	-	-	-	-	-	-	-
fS	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	3,0	1,5	0,7	0,3	0,15	<0,1	-	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	2,5	1,0	0,4	0,1	<0,1	-	-	-	-	-
Sl2, St2, Su2	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	2,5	1,5	0,7	0,4	0,1	<0,1	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,0	2,0	1,0	0,5	0,2	<0,1	-	-	-	-
Sl3, Su3	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	5,0	3,5	2,0	1,5	0,8	0,3	0,1	<0,1	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	3,0	1,5	1,0	0,5	0,1	<0,1	-	-	-
Su4, Slu	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	5,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,15	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	2,5	1,5	0,7	0,3	<0,1	-	-
St3, Sl4	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	3,0	2,0	1,0	0,7	0,4	0,15	<0,1	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	2,5	1,5	0,7	0,5	0,2	<0,1	-	-	-	-
Schluffe															
Uu, Us	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	5,0	3,5	2,0	1,0	0,5	0,15	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	3,5	3,0	3,0	2,5	1,0	0,7	0,3	<0,1	-
Ut2, Ut3, Uls	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	3,0	2,5	1,5	0,7	0,3	0,1	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	3,5	2,5	2,0	1,5	0,8	0,4	0,2	<0,1	-
Lehme															
Ls2, Ls3, Ls4	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	3,5	2,0	1,3	0,8	0,5	0,3	0,15	<0,1	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	2,5	1,0	0,7	0,4	0,3	0,15	<0,1	-	-	-	-
Lu, Ut4, Tu4	2-3	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	3,5	2,5	2,0	1,5	0,8	0,4	0,2	<0,1	-
	4-5	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	3,5	2,5	1,2	1,0	0,7	0,4	0,2	0,1	<0,1	-
Lt2, Tu 3	2-3	>5,0	>5,0	4,0	2,0	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	2,0	1,0	0,5	0,4	0,3	0,15	0,1	<0,1	-	-	-	-
Lts, Lt3	2-3	>5,0	>5,0	2,5	1,2	0,7	0,5	0,3	0,2	0,15	<0,1	-	-	-	-
	4-5	>5,0	>5,0	1,2	0,6	0,35	0,25	0,15	0,1	0,1	<0,1	-	-	-	-
Tone															
Tt, Tl, Tu2	2-3	4,0	2,0	1,1	0,7	0,5	0,4	0,35	0,3	0,22	0,17	0,14	0,10	<0,1	-
	4-5	1,5	0,7	0,4	0,3	0,25	0,18	0,15	0,12	0,10	<0,1	-	-	-	-
Torfart und Zersetzungsstufe															
	SV (Stufen)														
Hh z1, Hh z2	1-2	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	5,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,2	<0,1	-	-
Hh z1, Hh z2	3	>5,0	>5,0	>5,0	4,5	2,5	1,5	1,0	0,5	0,3	0,1	<0,1	-	-	-
Hh z1, Hh z2	4-5	4,0	2,0	1,0	0,5	0,1	0,2	0,7	<0,1	-	-	-	-	-	-
Hh z3	3	5,0	3,0	2,0	1,3	0,8	0,4	0,3	0,2	0,2	<0,1	-	-	-	-
Hh z3	5	2,0	1,0	0,5	3,0	2,0	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-
Hh z4, Hh z5	3	5,0	3,0	2,0	1,2	0,7	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-	-
Hn z1, Hn z2	4	>5,0	>5,0	5,0	2,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-
Hn z3	3	>5,0	5,0	3,0	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-	-
Hn z3	4	5,0	3,0	1,5	1,0	0,7	0,4	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-
Hn z3	5	3,5	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-
Hn z4, Hn z5	4-5	4,0	2,2	1,1	0,6	0,3	0,2	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-



### 4.3.3 Versorgungsgrad des Bodens

Eine wichtige Größe zur Beurteilung der Bodenwasserverhältnisse aus landwirtschaftlicher Sicht ist der Versorgungsgrad (VG) des Bodens. Dieser beschreibt prozentual den Bodenwassergehalt in den wichtigen Mittelporen im Hauptwurzelraum. Er wird in der Dimension Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben. Ein Versorgungsgrad von 100% nFK entspricht der FK des Bodens, 0% nFK entsprechen dem Wassergehalt bei Erreichen des PWP. Voraussetzung zur Bestimmung des VG ist somit die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Wassergehalt und Wasserspannung (Retentionskurve).

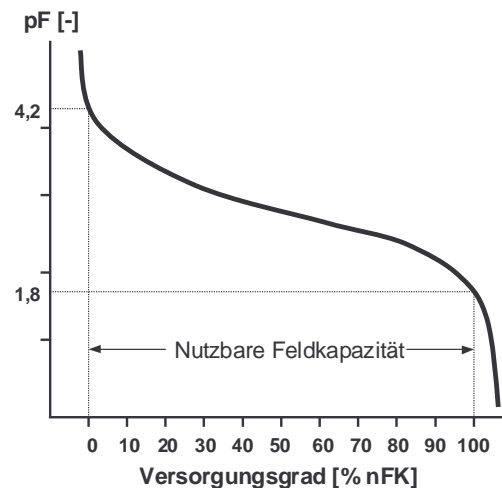


Abb. 4.1: Der Versorgungsgrad des Bodens

Anhand des VG lassen sich die Wasserverhältnisse für die Pflanzen einordnen. Bei FK (= 100% nFK) sind nur die für die Pflanzenversorgung unbedeutenden Grobporen nicht wassererfüllt. Der Gasaustausch ist bei diesen Verhältnissen stark eingeschränkt und das an den Pflanzenwurzeln durch mikrobiologische Prozesse entstehende  $\text{CO}_2$  kann nicht ausreichend schnell entweichen (BAEUMER, 1992). *Sauerstoffmangel* kann daher bei FK zum limitierenden Faktor werden und die Pflanzenwurzeln können zu faulen beginnen. Hält dieser Zustand längere Zeit an, stirbt die Pflanze ab. Aus diesem Grund ist ein VG von maximal 80% nFK anzustreben (HYDRO AGRI, 1993). Unter diesen Umständen können eventuell eintretende Starkregenereignisse ohne nachteilige Auswirkungen auf die Pflanze kompensiert werden.

Ertragseinbußen aufgrund von *Wassermangel* treten bereits vor Erreichen des PWP (= 0% nFK) ein (BAEMER, 1992, HYDRO AGRI, 1993). Die Wasserleitfähigkeit des Bodens ist ab ca. 40% nFK eingeschränkt (BAEUMER, 1992: 50% nFK; HYDRO AGRI: 30% nFK; DVWK, 1984: 30-50% nFK), so dass unter diesen Bedingungen Wassermangel zum limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum werden kann. In der landwirtschaftlichen Praxis wird bei Erreichen dieses Wertes der Einsatz einer künstlichen Beregnung angeraten. Der Bodenwassergehalt kann aber wie oben beschrieben auch durch die Anhebung des Grundwasserspiegels und damit einer erhöhten kapillaren Nachlieferung aus dem Grundwasser verbessert werden, sozusagen durch eine „Beregnung von unten“.

#### 4.3.4 Entwicklung eines Leitbildes für die Landwirtschaft

Damit lässt sich im Hinblick auf die Optimierung der Standortbedingungen (nur Wasserhaushalt) für die Kulturpflanzen ein Leitbild für die Landwirtschaft formulieren:

##### *Leitbild der optimalen Grundwasserbewirtschaftung aus Sicht der Landwirtschaft*

**Schaffung eines ausgeglichenen Bodenwasser/Bodenluft-Verhältnisses  
in der Vegetationsperiode.  
Vermeidung von Vernässungsschäden im Frühjahr und kapillare Nachlieferung aus dem Grundwasser im Sommer.**

#### 4.3.5 Bewertungskriterien für die Landwirtschaft

Die Forderung nach einem ausgeglichenen Bodenwasserhaushalt bedarf im Hinblick auf das hier betrachtete Optimierungsverfahren einer weitergehenden Betrachtung. Durch die Steuerung der Entnahmeraten an Fassungen kann kein direkter Einfluss auf den Wassergehalt des Bodens ausgeübt werden, da der Bodenwasserhaushalt nur indirekt mit dem Grundwasserhaushalt zusammenhängt. Der Boden stellt wie oben gezeigt einen weitgehend unabhängigen Wasserspeicher dar, der Pflanzen mit Wasser versorgen kann. Der optimale Versorgungsgrad zwischen 40 und 80% nFK impliziert aber bestimmte Anforderungen an den Grundwasserstand:

1. Der Grundwasserstand darf *ganzjährig* nicht in den *Hauptwurzelraum* (Acker: 60 cm unter GOK, Grünland: 20 cm; STASCH, 1996) eindringen. In den Wassergewinnungsgebieten Baden-Württembergs müssen die Äcker im Winter aufgrund der Vorgaben der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) begrünt werden. Dies bedeutet den Anbau einer Zwischenfrucht oder einer Winterkultur. Obwohl Winterkulturen im allgemeinen unempfindlicher gegenüber Vernässungen reagieren als Sommerkulturen, soll auch außerhalb der Vegetationsperiode gewährleistet sein, dass die Jungpflanzen nicht durch anstehendes Grundwasser in ihrer Entwicklung beeinträchtigt werden. Darüber hinaus sinkt durch hohe Grundwasserstände die Tragfähigkeit der Böden stark ab, so dass dem Bodengefüge durch das Befahren der Felder mit schweren Geräten im zeitigen Frühjahr irreparable Schäden zugefügt werden können (AG BODEN, 1994).
2. Fällt der Versorgungsgrad im Sommer unter 40% nFK ab, soll der Grundwasserstand so „eingestellt“ werden, dass es zu einem pflanzennutzbaren kapillaren Aufstieg in den effektiven Wurzelraum kommen kann. LUCKNER et al. (2002) belegen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Flurabstand im Sommer und dem landwirtschaftlichen Ertrag gegeben ist (Abb. 4.1).

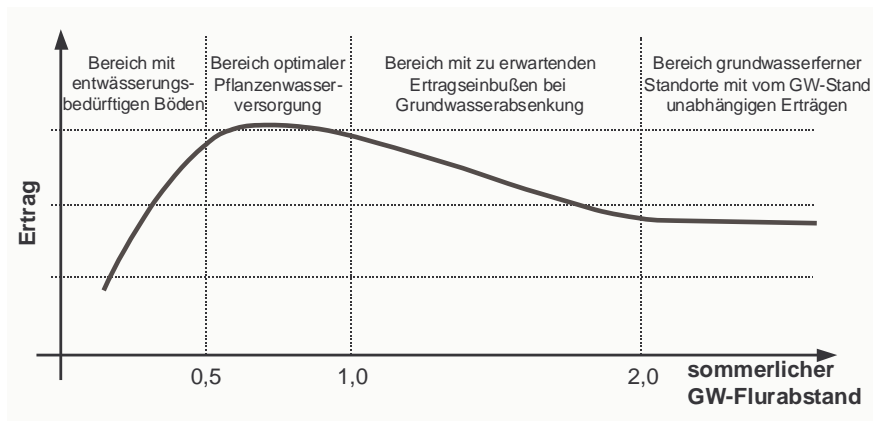


Abb. 4.1: Schema zur exemplarischen Ertragsseinschätzung in Abhängigkeit vom sommerlichen Grundwasserflurabstand (nach LUCKNER et al., 2002; leicht verändert)

### 4.3.5.1 Flurabstand

In Anlehnung an HAARHOFF (1990) lassen sich damit vier Grenzflurabstände (GFA) für landwirtschaftliche Flächen definieren:

- **GFA<sub>min</sub>**: minimaler Grenzflurabstand; kleinere Flurabstände lassen eine Bewirtschaftung der Fläche in ihrer aktuellen Nutzung nicht mehr zu. Der GFA<sub>min</sub> nimmt in der Reihenfolge extensives Grünland < intensives Grünland/Weide < Acker zu und entspricht im wesentlichen dem Hauptwurzelsraum
- **GFA<sub>opt1</sub>**: unterer optimaler Grenzflurabstand; dieser entspricht dem maximalen effektiven Wurzelraum.
- **GFA<sub>opt2</sub>**: oberer optimaler Grenzflurabstand für eine gute Wasserversorgung der Pflanzen aus dem Grundwasser (kapillare Aufstiegsrate 5 mm/d).
- **GFA<sub>max</sub>**: maximaler Grenzflurabstand für minimale Wasserversorgung der Pflanzen aus dem Grundwasser (kapillare Aufstiegsrate 0,3 mm/d); größere Flurabstände ermöglichen keine Wasserversorgung der Pflanzen aus dem Kapillarwasser mehr.

Die Grenzflurabstände lassen sich im Sinne des Bewertungssystems als Eckpunkte für die Formulierung der Zielfunktionen verwenden.

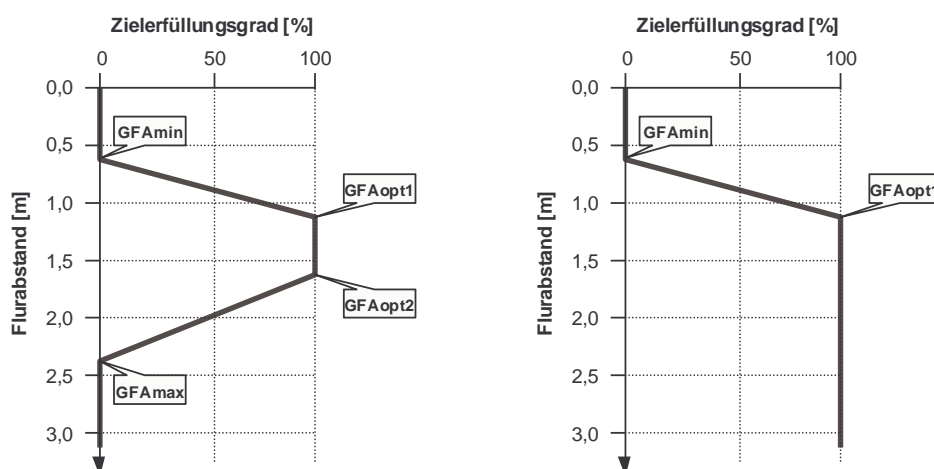


Abb. 4.1: Beispiele für Zielfunktionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Links: mit der Notwendigkeit eines kapillaren Anschlusses an das Grundwasser; rechts: ohne Notwendigkeit eines kapillaren Anschlusses an das Grundwasser

Die *Form der Zielfunktion* hängt dabei von verschiedenen Randbedingungen ab, die im Vorfeld der Optimierung ermittelt werden müssen:

- **Realnutzung:** in der landwirtschaftlichen Praxis ist Dauergrünland üblicherweise überall dort zu finden, wo Ackerbau aufgrund ungünstiger Standortbedingungen (dazu zählt v.a. der Wasserhaushalt des Bodens) nicht rentabel ist. Gräser kommen mit den feuchten Bedingungen und geringen Flurabständen besser zurecht als Kulturpflanzen (Getreide, Hackfrüchte, Gemüse). Dies hängt einerseits mit der hohen Transpirationsleistung von Grünland zusammen ( $C_{KAUW}$  ganzjährig 1,0, vgl. Tab. 4.1), andererseits kann sich das Wurzelsystem flexibler an wechselnde Grundwasserstände anpassen als dies bei Ackerkulturen der Fall ist. Die Hauptwurzelmasse der Grasnarbe ( $\geq 90\%$ ) befindet sich im Bereich bis 20 cm unter Flur (LINDNER, 1984; STASCH, 1996).
- **Bodenart:** wie oben beschrieben, stellt die Bodenart die entscheidende Größe für die kapillare Aufstiegsrate in Abhängigkeit vom Flurabstand sowie die effektive Durchwurzelungstiefe dar. Die Kenntnis der Bodenarten ist daher für die Festlegung der Grenzflurabstände von herausragender Bedeutung.
- **Bodentyp:** Bodenschutz ist ebenfalls ein Bestandteil der Definition für Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Aus diesem Grund muss im Rahmen des Bewertungssystem Rücksicht auf die besonders empfindlichen Bodentypen genommen werden. Dies betrifft insbesondere die ökologisch sensiblen landwirtschaftlich genutzten Anmoor- und Niedermoorstandorte. Hier sind allgemein geringere Flurabstände anzustreben als bei mineralisch-terrestrischen Böden, da bei diesen Bodentypen neben dem Pflanzenertrag auch die Torfmineralisation und die Gasemission zu berücksichtigen sind (RENGER et al., 2003; Abb. 4.2).

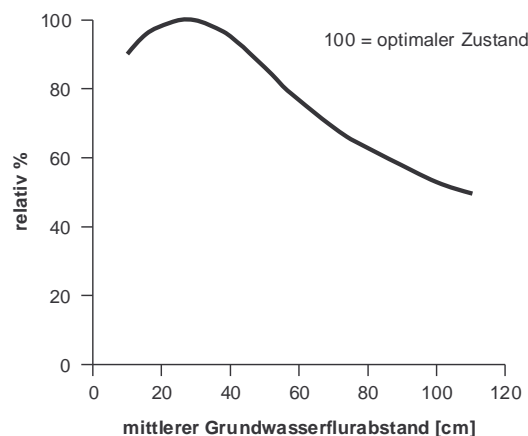


Abb. 4.2: Bewertung des anzustrebenden Grundwasserflurabstands bei gleichrangiger Berücksichtigung des Trockenmasseertrages (Intensivgrünland), der Torfmineralisation und der Spurengasemission (RENGER et al., 2003)

- **Versorgungsgrad:** der Versorgungsgrad im Hauptwurzelraum legt fest, ob (bei mineralisch-terrestrischen Böden) überhaupt ein hydraulischer Anschluss des Bodens an das Grundwasser notwendig ist. Bei Versorgungsgraden von mehr als 40% nFK ist kein kapillarer Anschluss des Bodens an das Grundwasser notwendig, da im Boden selbst ausreichend Wasser für die Versorgung der Pflanzen zur Verfügung steht. Die aktuelle Bodenfeuchte kann mittels Wägung gravimetrisch oder mit Hilfe von Bodenfeuchtesonden

(TDR – time domain reflectory) im Feld gemessen werden. Der Deutsche Wetterdienst bietet Versorgungsgradprognosen für sieben Tage im Voraus in seinem „Wetterfax“ an.

#### 4.4 Naturschutz

Der Zusammenhang zwischen Grundwasserabsenkung durch Entnahmen und Verlust von Feuchtgebietsbiotopen ist seit langem bekannt. Die Minimierung der Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf solche Biotope war daher in der Vergangenheit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Forschungsvorhaben (LINDNER, 1984; HAARHOFF, 1990). Dabei ist Wasserversorgungsunternehmen bewusst, dass eine einwandfreie Trinkwasserversorgung auf Dauer nur dann gewährleistet werden kann, wenn das natürliche Gefüge in den Wassergewinnungsgebieten intakt ist (FLINSPACH, 1993).

Feuchtgebiete stellen in unserer heutigen durch Meliorationsmaßnahmen geprägten Kulturlandschaft selten gewordene Lebensräume für spezialisierte Tier- und Pflanzenarten dar. Von den 649 höheren Tierarten der alten BRD ist fast jede zweite auf Feuchtgebiete angewiesen (13% der Säuger, 46% der Vögel, 23% der Reptilien und fast alle Lurch- und 150 Fischarten; WWW.UMWELTLEXIKON-ONLINE.DE). Besondere Bedeutung besitzen Feuchtgebiete für Wat- und Wasservögel wie den Großen Brachvogel, die Bekassine, den Kiebitz oder den Wachtelkönig, die sich an die extremen Lebens- und Umweltbedingungen hervorragend angepasst haben. 1971 wurde in Ramsar/Iran eine internationale Konvention über den Schutz von Feuchtgebieten abgeschlossen. 1976 trat die Ramsar-Konvention in der Bundesrepublik Deutschland in Kraft, 17 Feuchtgebiete wurden als international bedeutende Rast- und Überwinterungsgebiete für Wat- und Wasservögel unter Schutz gestellt. Das Naturschutzgebiet „Leipheimer Moos“ gehört zum Ramsargebiet „Donauauen und Donaumoos“ (ZETTLER et al., 1999).

Gleichzeitig fungieren intakte Feuchtgebiete im Landschaftshaushalt als Stoffsenken für Nähr- und Feststoffe, indem sie Stickstoff und Kohlenstoff akkumulieren und fixieren. Im Wasserhaushalt wirken sie ausgleichend, indem sie überschüssiges Wasser nach Starkniederschlägen erst mit Verzögerung wieder abgeben und somit einen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten (KRATZ & PFADENHAUER, 2001).

Feuchtgebiete sind Flächen, die zum Teil ständig von seichtem Wasser bedeckt sind. Darunter fallen Auenlandschaften, Feuchtwiesen, Moor- und Sumpfgebiete sowie im weiteren Sinne auch Gewässer (WWW.UMWELTLEXIKON-ONLINE.DE). Art. 1 der Ramsar-Konvention definiert Feuchtgebiete als „(...) Feuchtwiesen, Moor- und Sumpfgebiete oder Gewässer, die natürlich oder künstlich, dauernd oder zeitweilig, stehend oder fließend, Süß-, Brack- oder Salzwasser sind (...)“. Charakteristisch für Feuchtgebiete ist, dass sie im Vergleich zu anderen Biotopen rasch zerstört werden können und so ihre ökologischen Funktionen verlieren (KRATZ & PFADENHAUER, 2001).

#### 4.4.1 Entwicklung eines Leitbildes für den Naturschutz

Für den Schwerpunktbereich Naturschutz wurde ein Leitbild entwickelt, das die Wiedervernässung des Niedermoorkörpers in den Mittelpunkt stellt, so dass dieser seine ursprüngliche Umweltfunktion wieder ausfüllen kann:

##### *Leitbild der optimalen Grundwasserbewirtschaftung aus Sicht des Naturschutzes*

**Erhaltung und Entwicklung einer ökologisch intakten Riedlandschaft mit einem niedermoortypischen Wasserhaushalt.**

#### 4.4.2 Bewertungskriterien für den Naturschutz

##### 4.4.2.1 Flurabstand

LENKENHOFF & ROSE (2003) haben aus einer Vielzahl an Arbeiten minimale und maximale Grundwasserflurabstände für grundwasserabhängige Ökosysteme abgeleitet, ab deren Erreichen eine signifikante Schädigung des Ökosystems im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie gegeben ist (Tab. 4.1). Bei (obligat) grundwasserabhängigen Biotopen (Grundwasserabhängigkeitsklasse 1, vgl. Tab. 4.1) gilt dann eine Biotoptypänderung als wahrscheinlich. Der Grundwasserstand selbst einschließlich dessen Schwankungsdynamik wird hierbei als Ursache für eine Biotoptypenänderung betrachtet. Die äußeren Grenzen des Grundwasserflurabstands dürfen im Jahresmittel nicht über- oder unterschritten werden, da dies – wenn auch mit zeitlicher Verzögerung – einen Biotopwechsel nach sich ziehen würde. Das System ist auf die Konservierung des Ist-Zustands ausgelegt, eine mögliche Verbesserung durch einen Biotopwechsel im Sinne der Schaffung eines feuchtgebietstypischeren Biotops (Rückgang der Hemerobie) wird nicht berücksichtigt. Durch die Konservierung des Ist-Zustands wird ein System geschützt, das in den allermeisten Fällen bereits zuvor durch anthropogene Einflüsse verändert wurde (LINDNER, 1984). Die im Gebiet vorkommende Vegetation hat sich an veränderte Standortbedingungen angepasst und entspricht nicht mehr der natürlich vorkommenden Vegetation (potenzielle natürliche Vegetation).

Tab. 4.1: Äußere Grenzen des Grundwasserflurabstands für grundwasserabhängige Ökosysteme (LENKENHOFF & ROSE, 2003; gekürzt; negative Werte kennzeichnen Überstau)

Standardbiotoptyp (gem. BfN-Liste, überarb. Entwurf der 2. Fassung)	Code	Gw- Abh.	äußere Grenze des Flurabstands [cm]	
			untere	obere
<b>Röhrichte</b>				
Teichsimsenröhricht	38.01	1°	-200	10
Schilfröhricht	38.02		-160	50
Rohrkolbenröhricht	38.03		-150	20
Schneidenröhricht	38.04		-80	0
Wasserschwadenröhricht	38.05		-50	70
Rohrglanzgrasröhricht	38.06		-20	90
sonstige Röhrichte	38.07		-100	20



<b>Moore</b>				
Hochmoore	36.01	1#	-10	50
Übergangs- oder Zwischenmoore	36.02	1	-20	20
Moordegenerationsstadien	36.03	2	0	120
Torfabbaubereiche	36.04			
Handtorfstich	36.04.01			
Abtorfungsflächen im Fräsverfahren	36.04.02			
Regenerationsflächen von Hochmooren	36.05			
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe	35.01	1	-30	60
Großseggenriede	37.	1	-40	60
<b>Grünland</b>				
artenreiches Grünland frischer Standorte	34.07	2	10	160
artenreiche frisches Grünland der montanen bis hochmontanen Stufe	34.07.02			
artenarmes Intensivgrünland frischer Standorte	34.08			
Grünland nasser bis (wechsel-) feuchter Standorte	35.02	1	0	120
Pfeifengraswiesen	35.02.01			
Brenndolden-Auwiesen	35.02.02			
nährstoffreiches , extensives Feucht- u. Nassgrünland	35.02.03	1	-10	140
Nassgrünland	35.02.04		(-10)	60
Flutrasen	35.02.05	1°	(-40)	140
artenarmes, intensiv genutztes Feuchtgrünland	35.02.06	1	10	140
	35.02.07			
Salzgrünländer des Binnenlands	35.03	1	-10	50 [110]
<b>Hochstaudenfluren und Waldsäume</b>				
Wald- u. Gehölzsäume	39.01	2	0	150
Krautige Säume oligo- bis mesotropher Standorte	39.03.01			
Krautige Säume eutropher Standorte	39.03.02			
krautige Ufersäume und -fluren an Gewässern	39.04			
Neophyten-Staudenfluren	39.05			
frische und nasse Ruderalstandorte	39.06.03			
<b>Gebüsche und Hecken</b>				
Gebüsche mit überwiegend autochthonen Arten	41.01	2	0	500
Gebüsch nasser bis feuchter mineralischer Standorte	41.01.01	1	(-20)	60 [200]
Gebüsch nasser bis feuchter organischer Standorte	41.01.03			
Auweidengebüsch	41.01.02	1°	(-20)	50
Gebüsch frischer Standorte	41.01.04	2	0	500
Gebüsch stickstoffreicher Standorte	41.01.06			
Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte	41.02.01	1	(-20)	60
Feldgehölz frischer Standorte	41.02.02	2	0	500
Hecken mit überwiegend autochthonen Arten	41.03			
Gehölzanpflanzungen und Hecken aus überwiegend nicht autochthonen Arten	41.04			
Einzelbäume, Baumreihen, Baumgruppen	41.05			
<b>Wälder</b>				
Laub-Moorwälder	43.01	1	(-20)	60
Nadel-Moorwälder	44.01			
Bruchwälder	43.02			
Sumpfwälder	43.03		(-30)	70
Auenwälder	43.04	1°		
Bachgaleriewälder	43.04.01		<0	90 [120]
Weichholzaunenwälder	43.04.02			
Hartholzaunenwälder	43.04.03		50	280
Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder	43.06	2		500
Eschen-Ahorn-Schlucht- bzw. -Hangwald (feucht-kühle Standorte)	43.06.01			
Ahorn-Linden-Hangschuttwald (wärmere Standorte)	43.06.03			

Erläuterungen:

Gw-Abh.

1: grundwasserabhängig

2: je nach Ausprägung grundwasserabhängig

°: wechselnder Einfluss von Grund- und Oberflächenwasser möglich

Flurabstände #: überwiegend regenwassergespeist mit eigenem Grundwasserkörper  
(xy): Überflutung möglich, ununterbrochene Überflutung führt zu Änderung des Biotops  
[xy]: unterer Grenzwert einzelner biotopspezifischer Pflanzengesellschaften

Die oberen und unteren äußeren Grenzen des Flurabstands nach Tab. 4.1 können nicht per se als obere und untere Ausschlusswerte ( $GFA_{max}$ ,  $GFA_{min}$ ) i.S.d. Bewertungssystems verstanden werden. Vielmehr handelt es sich hierbei um äußere Schranken, die nach Möglichkeit im Jahresmittel erst gar nicht erreicht werden sollten (LENKENHOFF & ROSE, 2003). Die Grenzflurabstände müssen biotops- und gebietsspezifisch unter Beteiligung von Fachleuten ermittelt werden, da neben dem Grundwasserstand weitere äußere Einflussfaktoren auf die Biotoptypen einwirken und deren Vorkommen bestimmen (Licht, Temperatur). Auch durch Pflegemaßnahmen wird in die natürliche Sukzession von Biotopen eingegriffen, wodurch konkurrenzschwächere Arten bevorzugt werden.

Die Messung der Flurabstände unter den Biotoptypen im Felde ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Ableitung von belastbaren Zahlen für jeden spezifischen Biotoptyp. Dabei sollte für jeden Biotoptyp mindestens eine repräsentative Grundwassermessstelle vorhanden sein oder, falls dies nicht der Fall ist, neu gesetzt werden. Je länger die Messperiode ist und je mehr Messstellen für einen Biotoptyp vorhanden sind, desto besser lassen sich die Aussagen absichern. Bei zu kurzen Messzeiträumen ist die Gefahr gegeben, dass der Grundwasserstand in Jahren gemessen wurde, die nicht als repräsentativ für das mittlere hydrologische Regime betrachtet werden können. Ein gutes Werkzeug zur Ergänzung von Grundwasserstandsmessungen bilden numerische Grundwassermodelle (PETERSEN & SÜTERING, 2003). Die Überlagerung der Messungen für mehrere Jahre erlaubt eine statistisch abgesicherte Beurteilung der biotopspezifischen Grundwasserverhältnisse.

Im folgenden soll ein Verfahren vorgestellt werden, mit dessen Hilfe die Grenzflurabstände  $GFA_{min}$ ,  $GFA_{opt1}$ ,  $GFA_{opt2}$  und  $GFA_{max}$  für grundwasserabhängige Biotoptypen anhand von Grundwasserstandsbeobachtungen in der Vergangenheit ermittelt werden können. Dem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass sich der Biotoptyp allein aufgrund der Grundwasserverhältnisse entwickeln konnte und diese Verhältnisse auch in Zukunft erhalten bleiben sollen. In Abb. 4.1 ist der Grundwasserflurabstand unter einer grundwasserabhängigen Hochstaudenfläche im Donauried dargestellt.

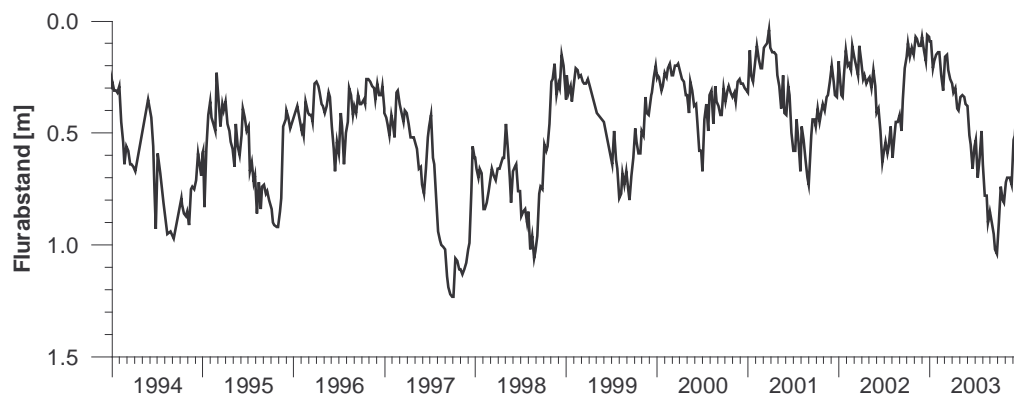


Abb. 4.1: Flurabstandsganglinie der Messstelle 4316

Die Messwerte weisen vereinzelt mehrwöchige Lücken auf, teilweise wurde der Grundwasserstand zweimal pro Woche gemessen. Um eine konsistente Datengrundlage für die anschließende Auswertung zu erhalten, wird daher auf Monatsmittelwerte übergegangen (Abb. 4.2). Die Mittelung bewirkt eine geringfügige, jedoch vernachlässigbare Glättung der Ganglinie. Wurden die Werte im Messzeitraum durchgängig im gleichen Messintervall bestimmt (z.B. wöchentlich), sollten auf jeden Fall alle Messwerte für die Auswertung verwendet werden.

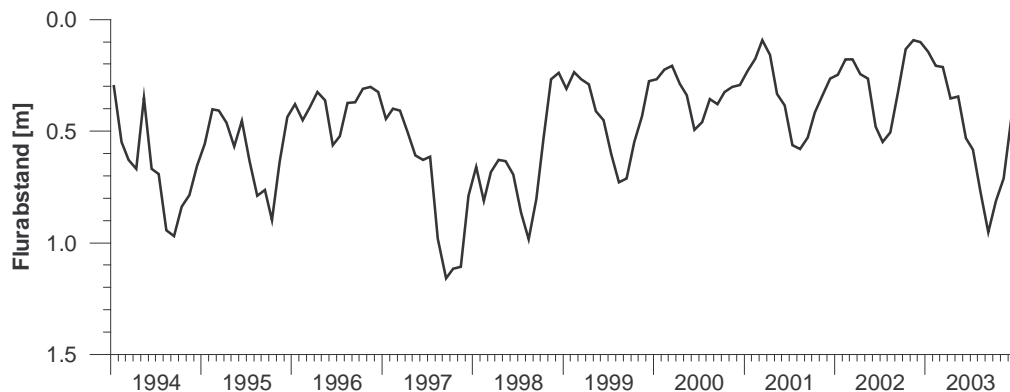


Abb. 4.2: Monatsmittelwerte des Flurabstands an der Messstelle 4316

Die Darstellung lässt bereits den charakteristischen und für diesen Biotoptyp typischen Jahresgang des Flurabstands erkennen, der nun explizit herausgearbeitet werden muss. Dazu werden alle Januarwerte, Februarwerte u.s.w. dem jeweiligen Monat zugeordnet und statistisch ausgewertet. Dazu wird die Auswertung über Perzentile gewählt, die sich insbesondere bei kleiner Stichprobenanzahl ohne erkennbare Verteilungsfunktion gut für statistisch abgesicherte Aussage eignen (Abb. 4.3).

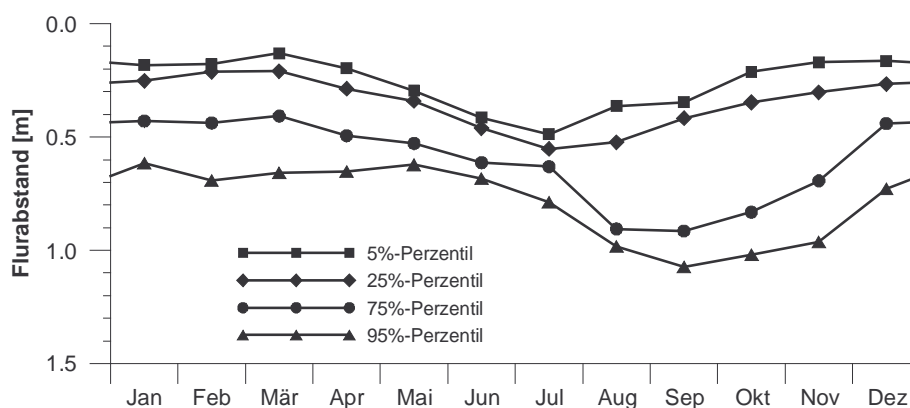


Abb. 4.3: Perzentile der Monatmittelwerte an der Messstelle 4316

Die Grenzflurabstände werden nun folgendermaßen festgelegt:

- GFAMin = 5%-Perzentil, um Ausreißer nach unten auszuschließen,
- GFAopt1 = 25%-Perzentil = unteres Quartil,
- GFAopt2 = 75%-Perzentil = oberes Quartil,

- $GFA_{max}$  = 95%-Perzentil, um Ausreißer nach oben auszuschließen.

Die zentralen 50% der Werte werden demnach als optimaler Flurabstandsbereich für den Biotoptyp angesehen (Abb. 4.4). Dieser Bereich repräsentiert die Bedingungen, unter denen sich das Biotop entwickeln konnte und der auch zukünftig das Optimum für dessen Fortbestand darstellt.

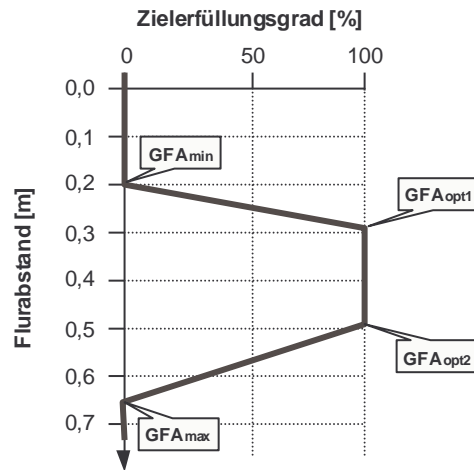


Abb. 4.4: Zielfunktion der Hochstaudenfläche im Monat April

Die ermittelten Grenzflurabstände müssen mit den Werten in Tab. 4.1 abgeglichen werden, um die Gefahr einer signifikanten Schädigung des Biotoptyps auszuschließen. Tab. 4.1 weist für den untersuchten Biotoptyp eine untere äußere Grenze des Flurabstands von 0 cm im Jahresmittel und eine obere äußere Grenze von 150 cm aus. Abb. 4.3 verdeutlicht, dass diese Grenzen durch die gewählten Grenzflurabstände eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, müssen die Grenzflurabstände angepasst werden, so dass die äußeren Grenzen im Jahresmittel nicht unter- oder überschritten werden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die Werte für  $GFA_{max}$  im Herbst nach unten korrigiert werden, so dass der arithmetische Mittelwert der zwölf Monatswerte die obere äußere Grenze des Flurabstands nicht überschreitet (LENKENHOFF & ROSE, 2003). Die Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie werden auf diese Weise im Bewertungssystem berücksichtigt.

Weiterhin sind die maximal zulässigen Überflutungsdauern für Biotoptypen bei der Festlegung der Grenzflurabstände zu berücksichtigen. Hinweise auf die typischen Überflutungshäufigkeiten und -dauern können Grundwasserstands-Dauerlinien liefern (SCHOLLE & SCHRAUTZER, 1993, LEDERBOGEN, 2003). Eine Festlegung kann nur anhand der lokalen Verhältnisse und unter Einbeziehung von Spezialisten vorgenommen werden.

#### Flora vs. Fauna

Die oben beschriebene Herleitung von optimalen Flurabständen sowie den Ausschlusswerten erfolgt ausschließlich anhand der im Gebiet vorhandenen Vegetation. Tierarten, die in ihrer Existenz ebenfalls auf oberflächennahe Grundwasserstände angewiesen sind, wurden bislang nicht berücksichtigt. Es stellt sich daher die Frage, ob die Beschreibung von Feuchtgebieten tatsächlich allein anhand der Vegetation vorgenommen werden kann.

Die Vorteile der Klassifikation von naturschutzrelevanten Flächen anhand der Vegetation liegen auf der Hand:

- Einfachere Kartierung der standortgebundenen Vegetation im Vergleich zu den mobilen Tierarten; insbesondere die für Feuchtgebiete typischen Wat- und Wiesenvögel zeichnen sich durch eine hohe Mobilität aus
- Es existieren deutlich mehr und exaktere Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Vegetation und Grundwasser als über den Zusammenhang zwischen Tierarten und Grundwasser

Charakteristische Arten für Feuchtgebiete sind die *Wat- und Wiesenvögel*. Als Wiesenvögel werden dabei diejenigen Arten bezeichnet, die überwiegend Feuchtgrünland besiedeln (ROSENTHAL et al., 1998). Darunter sind zahlreiche Rote-Liste-Arten (RL) zu finden, wie beispielsweise Kampfläufer, Wachtelkönig und Wiesenweihe (RL 1), Bekassine, Großer Brachvogel, Uferschnepfe (RL 2), Braunkehlchen, Kiebitz, Wiesenpieper und Rotschenkel (RL 3). Feuchte Böden sind für die Wiesenvögel von entscheidender Bedeutung, um mit ihren langen Schnäbeln im Boden nach Nahrung stochern zu können. Regelmäßige Überflutungen von Flächen sind für das Vorkommen der Wiesenvogel-Leitarten bedeutsam. So zeigt die Überlagerung der Brutstätten des Wachtelkönigs eine gute Übereinstimmung mit regelmäßig überschwemmten Gebieten im Winter und Frühjahr (ROSENTHAL et al., 1998). Dabei sind Dauer, Ausdehnung und Jahreszeit der Überschwemmungen von entscheidender Bedeutung für das Vorkommen und die Anzahl der Wiesenvögel. Es darf allerdings nicht übersehen werden, dass außer dem Wasser noch weitere Faktoren auf die Abundanz dieser Arten einwirken. Als wertbildende Parameter sind hierbei zu nennen (FLADE, 1994):

- das Vorhandensein von offenen, weiträumigen und nahezu gehölzfreien Flächen von mind. 100 ha,
- ein bewegtes Bodenrelief,
- kurzrasige und lückige Vegetation sowie
- extensive Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Dadurch wird die Ableitung eines direkten Zusammenhangs zwischen Grundwasserstand und Vogelvorkommen erschwert. Verbesserte Wasserverhältnisse für Wiesenvögel (lange und großflächige Vernässungen) müssen demnach nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Population derselben führen.

ROSENTHAL et al. (1998) schlagen eine idealisierte Wasserganglinie für die Bedürfnisse von Rast- und Wiesenbrutvögeln in niedermoorgeprägten Feuchtgrünlandgebieten vor (Abb. 4.5), die eine gute Übereinstimmung mit den idealisierten Ganglinien für die feuchteren Ausbildungen der Niedermoor-Vegetation aufweist.

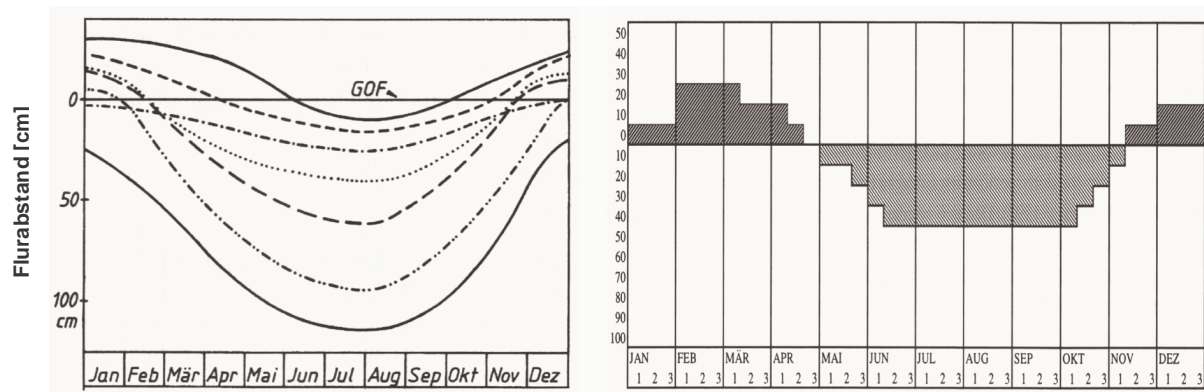


Abb. 4.5: Mittlere Grundwassergänge unter Niedermoor (links) und idealisierte Ganglinie für die Bedürfnisse von Rast- und Wiesenbrutvögeln (rechts) (ROSENTHAL et al., 1998)

Die in Deutschland heimischen *Amphibienarten* sind bezüglich ihrer Fortpflanzung auf offene Wasserflächen angewiesen (ROSENTHAL et al., 1998). Zur Übersommerung oder Überwinterung ziehen sie sich aber auf terrestrische Standorte zurück. Für das Überleben der Amphibienarten ist eine enge räumliche Verzahnung dieser beiden Lebensräume erforderlich. Die Amphibienarten Laubfrosch, Moorfrosch und Rotbauchunke konzentrieren ihr Auftreten auf Feuchtgrünland und sind heute fast ausschließlich auf diesen Standorten zu finden. Der Laubfrosch benötigt sonnenbeschienene Gewässer (Temperatur  $> 15^{\circ}\text{C}$ ), in deren Umgebung Knicks, Strauchvegetation o.ä. zu finden ist. Der Moorfrosch hingegen ist ein typischer Bewohner von Hoch- und Niedermooren, der hohe Grundwasserstände und sonnenbeschienene, vegetationsreiche, flache Laichgewässer benötigt. Mit einer maximalen Migrationsleistung von ca. 1 km ist er nahezu standortgebunden und kann im Falle zu trockener Bedingungen nicht auf Ersatzbiotope ausweichen. Gleiches gilt für die Rotbauchunke, die fast ganzjährig an das Laichgewässer gebunden ist. Sie bevorzugt dabei wasserführende Grünlandsenken mit einer dichten, niedrigen Vegetation, die beispielsweise durch hohe Grundwasserstände oder Stauwasser im Feuchtgrünland entstehen können. Die drei genannten Arten können durch langanhaltende Vernässungen in ihrem Vorkommen gefördert werden. Dadurch kann verhindert werden, dass ihr Laich vor dem Schlüpfen der Brut austrocknet.



**Es bleibt abschließend festzustellen, dass die Vegetation die geeignetste Grundlage zur Ableitung feuchtgebietstypischer Grundwasserflurabstände darstellt. Sie steht mit den sie besiedelnden Tierarten in einem engen ökologischen Zusammenhang mit zahlreichen Abhängigkeiten und Rückkopplungen. Die Optimierung des Flurabstands für die grundwasserabhängigen Biotoptypen führt gleichzeitig zu einer Verbesserung der Lebensbedingungen für die feuchtgebietstypischen Tierarten.**

## 4.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die allgemeinen Anforderungen der drei Wassernutzer Wasserversorgung, Landwirtschaft und Natur an den Wasserhaushalt dargestellt. Dabei wurde für jede Gruppe ein Leitbild entwickelt, das das jeweilige Optimum im Sinne der anzustrebenden Grundwasserbewirtschaftung repräsentiert. Aus diesen Leitbildern wurden die für die Bewertung und Optimierung der Grundwasserentnahmen relevanten Bewertungsgrößen abgeleitet. Die Zielfunktionen, die jedem Beobachtungswert eine Bewertung zwischen 0% (schlecht) und 100% (optimal) zuweisen, können auf der Basis objektiver Datengrundlagen ermittelt werden (Abb. 4.1).

Der Flurabstand stellt die zentrale Bewertungsgröße im Raum dar. Die Zielfunktionen für den Flurabstand variieren räumlich in Abhängigkeit von:

- dem Nutzer, dem die betreffende Fläche zugeordnet ist,
- dem Bodentyp und der Bodenart und
- der Nutzung bzw. der Vegetation an der Oberfläche.

Für den Naturschutz und die Landwirtschaft wurde zudem eine zeitliche Variabilität der Zielfunktionen erkannt. So sind die Zielfunktionen des Naturschutzes an den natürlichen Jahresgang des Grundwasserstands angepasst, im Falle der Landwirtschaft benötigen die mineralisch-terrestrischen Böden einen kapillaren Anschluss an das Grundwasser, wenn der Versorgungsgrad dieser Böden 40% der nutzbaren Feldkapazität unterschreitet.

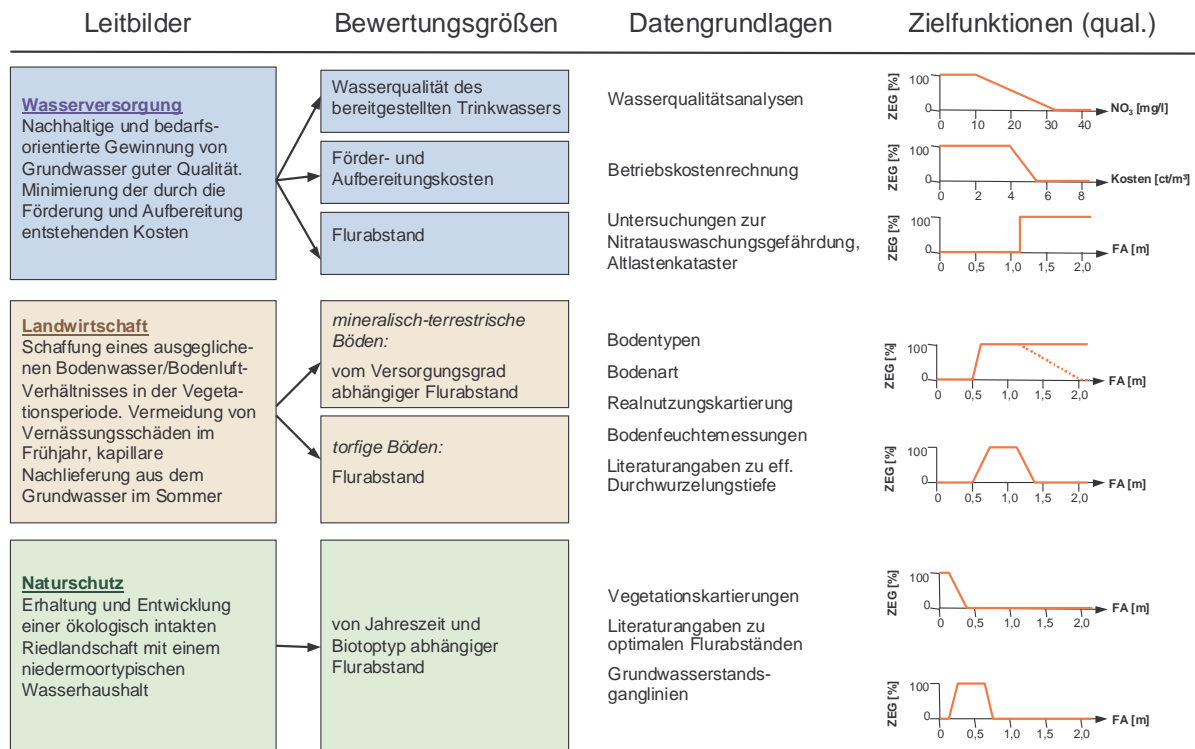


Abb. 4.1: Leitbilder, Bewertungsgrößen, Datengrundlagen und Zielfunktionen

Die Zielfunktionen des Flurabstands werden über vier Eckpunkte aufgebaut:

- $GFA_{\min}$ : minimaler Grenzflurabstand, der nicht unterschritten werden darf (ZEG = 0%),
- $GFA_{\text{opt1}}$ : unterer optimaler Grenzflurabstand, ab dem optimale Bedingungen vorherrschen (ZEG = 100%)
- $GFA_{\text{opt2}}$ : oberer optimaler Grenzflurabstand, bis zu dem optimale Bedingungen vorherrschen (ZEG = 100%) und
- $GFA_{\max}$ : maximaler Grenzflurabstand, der nicht überschritten werden darf (ZEG = 0%)

Zwischen den Grenzflurabständen werden die Zielfunktionen linear interpoliert.