



Niedrigwassermanagement zur Steuerung von Grundwasserentnahmen am Beispiel der landwirtschaftlichen Bewässerung

Informationsband

August 2020



Impressum

Niedrigwassermanagement zur Steuerung von Grundwasserentnahmen am Beispiel der landwirtschaftlichen Bewässerung - Abschlussbericht und Diskussionspapier -

Informationsband

Herausgeber:

Regierung von Unterfranken

Projektleitung

Regierung von Unterfranken

Peterplatz 9

97070 Würzburg

Tel.: 0931 380-0

E-Mail: poststelle@reg-ufr.bayern.de

Internet: www.regierung.unterfranken.bayern.de

Bearbeitung/Text/Redaktion:

Manfred Forst, Dr. Markus Kämpf

BGS Umwelt GmbH, Darmstadt

Axel Bauer, Christian Guschker, Frederik Zumkeller

Regierung von Unterfranken, Würzburg

Unter Mitarbeit von:

Wasserwirtschaftsämter Aschaffenburg und Bad Kissingen

Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Kitzingen, Schweinfurt und Würzburg

Bildnachweis Titelbilder:

Oben links: Michael Krebs

Oben rechts: Energieversorgung Miltenberg-Bürgstadt GmbH

Unten links: Frederik Zumkeller

Unten rechts: Regierung von Unterfranken

Stand:

August 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	6
2	Grundsätze des Niedrigwassermanagements	7
3	Rahmenbedingungen für ein Niedrigwassermanagement	9
3.1	Begriffsbestimmungen	9
3.2	Landwirtschaftliche Bewässerung	10
3.2.1	Situation in Bayern	10
3.2.2	Fachliche Grundlagen	12
3.2.3	Zusatzwasserbedarf der Kulturen	16
3.2.4	Wassereinsparung	20
3.2.5	Betriebsinternes Wasser- und Risikomanagement	24
3.2.6	Wasserqualität	26
3.3	Rechtlicher Rahmen	27
3.3.1	Wasserwirtschaft	27
3.3.2	Naturschutz	29
3.3.3	Umweltverträglichkeitsprüfung	31
3.4	Ableitung des nutzbaren Dargebotes	33
3.5	Hydrologische Sensitivität von Bewässerungsgebieten	34
3.5.1	Einfluss der Hydrogeologie	34
3.5.2	Rückgang der Grundwasserneubildung in Trockenphasen	35
3.5.3	Besonderheiten landwirtschaftlicher Wasserentnahmen	36
3.6	Entwicklungsphasen von Bewässerungsgebieten	41
3.7	Auswirkungen des Klimawandels	42
3.7.1	Bisherige Veränderung klimatischer und wasserwirtschaftlicher Parameter	42
3.7.2	Zukünftige Auswirkungen des Klimawandels	46
3.7.3	Konsequenzen für die landwirtschaftliche Bewässerung	48
3.7.4	Konsequenzen für das Niedrigwassermanagement	49
4	Identifizierung und Bewertung von Risikogebieten	51
4.1	Risikobewertung von Nutzungskonflikten in Bilanzgebieten	51
4.1.1	Abgrenzung von Bilanzgebieten	53
4.1.2	Wasserbilanz mit Risikobewertung	54
4.1.3	Bewertung der finalen Risikoklasse	61
4.2	Risikobewertung von Einzelanträgen	67
4.3	Konsequenzen aus den Risikoklassen	69
4.4	Numerische Grundwassermodelle	71
5	Bewirtschaftung von Bewässerungsgebieten	73
5.1	Steuerung bei Bohranzeigen	73
5.2	Steuerung bei Anträgen auf Grundwasserentnahmen	76
5.2.1	Wasserbedarfsnachweis	76

5.2.2	Flächenbindung der wasserrechtlichen Gestattung	78
5.2.3	Vorsorgende Maßnahmen	81
5.2.4	Inhaltliche Anforderungen an die wasserrechtliche Gestattung	86
5.2.5	Nutzung von Oberflächenwasser und Uferfiltrat	90
5.3	Aktive Grundwasserbewirtschaftung in Bilanzgebieten	92
5.3.1	Situationsanalyse und hydrologische Schwellenwerte	92
5.3.2	Maßnahmen zur Bewirtschaftung von Bilanzgebieten	96
5.4	Monitoring	98
5.4.1	Entnahmemengen und Bewässerungsflächen	99
5.4.2	Hydrologisches Monitoring	100
5.4.3	Monitoring Naturschutz und Forstwirtschaft	102
5.4.4	Ergebnisse und Fortschreibung	103
5.4.5	Datenmanagement	103
6	Bewältigung akuter Niedrigwasserphasen	105
6.1	Organisatorische und technische Strukturen	105
6.1.1	Aufbau einer Niedrigwasser-Organisationsstruktur	105
6.1.2	Einführung von Meldestufen	106
6.1.3	Technische Frühwarn-, Informations- und Prognosesysteme	107
6.2	Operative Maßnahmen in akuten Trockenphasen	112
6.3	Nachsorge	116
7	Managementpläne	118
8	Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit	124
9	Gemeinschaftlich organisierte Bewässerung	125
10	Verzeichnisse	127
10.1	Abkürzungsverzeichnis	127
10.2	Abbildungsverzeichnis	128
10.3	Tabellenverzeichnis	130
11	Literaturverzeichnis	132
12	Anhang	138
	Anhang A: Zusatzwasserbedarf ausgewählter Feldgemüsekulturen	138
	Anhang B: Einsparungspotenzial der Tropfbewässerung im Trockenjahr 2018 laut Berechnungen der Bayern-App	140

Lesehinweise

Der vorliegende **Informationsband** bildet eine fachliche Ergänzung für den **Abschlussbericht** „Niedrigwassermanagement zur Steuerung von Grundwasserentnahmen am Beispiel der landwirtschaftlichen Bewässerung“, die als eigenes Dokument erschienen ist. Der Informationsband beinhaltet die vielfältigen Erkenntnisse und Informationen, die im Zuge der Projektbearbeitung gewonnen werden konnten und die letztlich zum Diskussionspapier geführt haben.

Der Abschlussbericht beschreibt, wie die Ziele des Niedrigwassermanagements, beginnend bei der Bohranzeige, in den Wasserrechtsverfahren und schließlich bei der Steuerung ganzer Bewässerungsgebiete berücksichtigt werden können.

1 Einführung

Die Notwendigkeit eines Niedrigwassermanagements (nachfolgend: NW-Management) ergibt sich besonders dort, wo sich die Auswirkungen des Klimawandels mit einem schnell steigenden Wasserbedarf überlagern.

Im Bereich des Grundwassers sind landwirtschaftliche Bewässerungsgebiete hierfür ein markantes Beispiel. Der durch den Klimawandel ansteigende Bewässerungsbedarf fällt aktuell mit einer dynamischen Zunahme bewässerter Flächen und Kulturen zusammen. Entsprechend schnell steigt der Wasserbedarf zur Bewässerung in Bayern und anderen Bundesländern an. Die extrem trocken-heißen Jahre 2003, 2015, 2018 und 2019 haben außerdem gezeigt, dass die Gefahr von Trockenschäden oder Nutzungskonflikten auch außerhalb der Landwirtschaft stark zugenommen hat.

Um Schäden und Nutzungskonflikte in Trockenphasen zu verhindern oder zumindest abzumildern, ist ein aktives, vorsorgendes NW-Management erforderlich, das ein frühzeitiges Steuern der Nutzungen und der Wasserressourcen umfasst. Hierfür müssen bestehende Steuerungsmöglichkeiten (Bohranzeige, Wasserrechtsverfahren) um einen systematischen „Blick auf das Ganze“ (Bewässerungs- bzw. Bilanzgebiete) erweitert werden.

Der vorliegende Informationsband stellt ein Nachschlagewerk ergänzend zum Abschlussbericht „Niedrigwassermanagement zur Steuerung von Grundwasserentnahmen am Beispiel der landwirtschaftlichen Bewässerung“ dar, die als eigenes Dokument zur Verfügung steht. Er enthält zahlreiche Hintergrundinformationen, die im Zuge der Projektbearbeitung gewonnen wurden und die für das NW-Management allgemein und im Zusammenspiel mit landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen von Bedeutung sind. Im Vergleich zum Abschlussbericht enthält er zusätzliche Themen wie z.B.:

- Klimawandel und seine Auswirkungen auf Wasser- und Landwirtschaft,
- Grundlagen und Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewässerung,
- Hydrologische Sensitivität von Bewässerungsgebieten,
- Bewältigung akuter Niedrigwasserphasen,
- Bedeutung einer gemeinschaftlich organisierten Bewässerung.

Gleichzeitig werden die Kernelemente des Abschlussberichts eingehend behandelt:

- Ermittlung des Risikos von Nutzungskonflikten für größere (Bilanz-) Gebiete,
- Steuerung bei Bohranzeigen (von Lage und Höhe geplanter Entnahmen),
- Steuerungsmöglichkeiten im Wasserrechtsverfahren,
- Aktive Grundwasserbewirtschaftung ganzer Gebiete
- Monitoringkonzepte,
- Grundwassermanagement-Pläne für Niedrigwasserphasen.

Der Informationsband richtet sich wie das Diskussionspapier an die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung, verstärkt aber auch an Fachleute und Interessierte aus den Bereichen Land- und Wasserwirtschaft, Naturschutz sowie die Öffentlichkeit.

Abschlussbericht und Informationsband erläutern die Notwendigkeit eines aktiven NW-Managements zum Schutz des Grundwassers.

2 Grundsätze des Niedrigwassermanagements

Aus den fachlichen Grundlagen und den bestehenden Rahmenbedingungen lassen sich folgende Grundsätze für das Niedrigwassermanagement ableiten:

1. Wasser ist **Allgemeingut**. Das öffentliche Interesse und hier insbesondere die dauerhafte Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung haben Vorrang vor privaten Nutzungswünschen. Aus dem Besitz an Land und Boden lässt sich kein Anspruch auf eine Wassernutzung in bestimmter Höhe ableiten.
2. Oberstes Prinzip des Niedrigwassermanagements ist die **Nachhaltigkeit**. Eine nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen entsprechend § 1 WHG dient dem Menschen, der Umwelt und der Landwirtschaft. Der Schutz von Tiefengrundwasser gehört in besonderem Maße dazu.
3. Aufgrund der hohen Trägheit von Grundwassersystemen sind kurzfristige, **operative Maßnahmen** oftmals wenig effizient. Sie allein können Beeinträchtigungen oder Schäden i.d.R. weder verhindern noch relevant abmildern.
4. Entscheidend für das Niedrigwassermanagement sind daher alle **Vorsorgemaßnahmen**, die zu einer Stabilisierung des Wasserhaushaltes beitragen. Hierzu gehören z.B. eine frühzeitige räumliche Steuerung und bei Bedarf auch Begrenzung der Wasserentnahmen. Vorsorgemaßnahmen nehmen im Abschlussbericht und im Informationsband entsprechend großen Raum ein.
5. Der **Klimawandel** beeinflusst schon heute die landwirtschaftliche Bewässerung, seine Wirksamkeit wird sich zukünftig deutlich beschleunigen. Er muss, trotz aller Fragen im Detail, frühzeitig berücksichtigt werden. Die Folgen des Klimawandels können dennoch nur abgemildert, aber nicht vollständig verhindert werden.
6. Die als Folge des Klimawandels potenziell starke Ausbreitung der Bewässerungsflächen und die innerhalb Bayerns sehr unterschiedlich verteilten Wasserressourcen erfordern eine **räumlich differenzierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen**. Hierzu gehört u.a. die Diskussion über eine dargebotsabhängige Bewässerungswürdigkeit, die die Bewässerung aus Grundwasser zumindest in Trockengebieten auf mit der Landwirtschaftsverwaltung abgestimmte Kulturen begrenzt.
7. Trotz aller notwendigen Steuerung oder evtl. Begrenzung der Entnahmen: Das Diskussionspapier hat ebenso eine **Absicherung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bewässerung** zum Ziel. Nur langfristig gesicherte wasserrechtliche Gestattungen rechtfertigen die hohen Investitionskosten der Landwirtschaft.
8. Das Niedrigwassermanagement benötigt belastbare Daten aus Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz. Ein systematisches **Monitoring** ist hierfür eine grundlegende Voraussetzung.
9. Aufgrund der ausgeprägten Wechselwirkungen und gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz können praxisnahe Lösungen nur durch eine **aktive Kommunikation** zwischen diesen und weiteren Akteuren gefunden werden.
10. Durch steigende Entnahmen und den Klimawandel verändern sich die Rahmenbedingungen fortwährend. Das **Niedrigwassermanagement** ist daher als ein **zyklischer Prozess** zu verstehen. Insbesondere nach neuen Niedrigwasserphasen ist eine Überprüfung und ggf. Fortschreibung bisheriger Annahmen, Methoden und Maßnahmen erforderlich (Abb. 1).

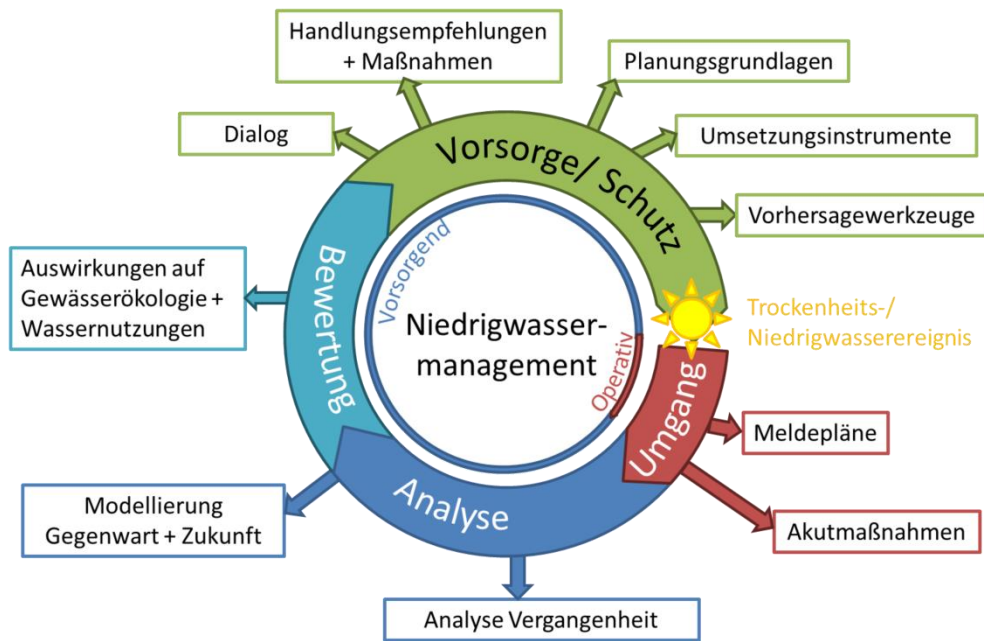


Abb. 1: Bereiche des Niedrigwassermanagements (Kreiselemente) und damit zusammenhängende Bausteine (Kästen; Quelle: LfU 2016)

3 Rahmenbedingungen für ein Niedrigwassermanagement

Um ein effizientes Niedrigwassermanagement entwickeln zu können, müssen verschiedene Rahmenbedingungen beachtet werden. Hierzu gehört in erster Linie ein Verständnis der landwirtschaftlichen Bewässerung selbst, inkl. der Bemessung des Wasserbedarfs und der Einsparungsmöglichkeiten (Kap. 3.2). Kapitel 3.3 (Rechtlicher Rahmen) und 3.4 (Ableitung des nutzbaren Dargebotes) zeigen prinzipiell auf, welche Wassermengen unter Berücksichtigung der Umweltvorsorge überhaupt für die landwirtschaftliche Bewässerung oder andere Wasserentnahmen zur Verfügung stehen. Bei der Bewertung der Wasserrechtsanträge müssen die wechselnde hydrogeologische Sensitivität der Bewässerungsgebiete, ihre Neigung zu Verdichtung und Ausweitung sowie die sommerlichen Spitzenverbräuche in der Landwirtschaft berücksichtigt werden (Kap. 3.5 - 3.6). Von besonderer Bedeutung sind schließlich die Auswirkungen und Konsequenzen des Klimawandels (Kap. 3.7).

3.1 Begriffsbestimmungen

Die nachfolgenden Begriffsbestimmungen beruhen auf LfU (2016).

Für den Bereich der quantitativen Hydrologie sind im Wesentlichen die Begriffsdefinitionen des Deutschen Instituts für Normung e. V. (DIN), insbesondere die DIN 4049 maßgebend.

Niedrigwasser ist ein natürliches Ereignis, in dessen Folge die Wasservorräte in Seen und die Abflüsse in Fließgewässern stark reduziert sind. Der Begriff Niedrigwasser ist daher definiert als „ein Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder unterschritten hat“ (DIN 4049). Für den Bereich Grundwasser gibt es in diesem Zusammenhang bisher keine einheitliche Definition. Niedrigwasser entsteht durch die Überlagerung von meteorologischen und hydrologischen Ereignissen, wobei meist eine länger andauernde Trockenperiode diesen Zustand hervorruft. Zusammengefasst sind die Ursachen natürlicher Niedrigwasserphasen:

- Niederschlagsmangel
- Hohe Verdunstung (in Kombination mit Niederschlagsmangel)
- Rückhalt des Niederschlags in der Schneedecke, in Gletschern und im gefrorenen Untergrund

Bei ausbleibenden Niederschlägen und ohne den ausgleichenden Einfluss von Schmelzwasser wird der Abfluss in einem Vorfluter in zunehmendem Maße aus den angrenzenden Grundwasserleitern gespeist (Trockenwetterganglinie). Das bedeutet, dass die klimatischen Bedingungen der Wochen und Monate, eventuell sogar Jahre vor einer aktuellen Trockenphase ausschlaggebend für den Verlauf einer eventuell auftretenden Niedrigwasserperiode sind.

Die Kriterien, die zur Definition des Begriffs Trockenperiode verwendet werden, unterscheiden sich je nach dem speziellen Anwendungszweck. Eine allgemein gültige Definition gibt es daher nicht. Die LAWA beschreibt die Trockenperiode beispielsweise als einen Zeitraum, in dem die Wasservorräte zeitweilig durch Ausschöpfung, Verdunstung und Abfluss reduziert werden und Wassermangel hinsichtlich des Wasserbedarfs der Gesellschaft und / oder der Natur auftritt (LAWA 2007). Der Hydrologische Atlas Deutschland (HAD) bezieht sich bei seiner Definition der meteorologischen Trockenperioden auf einen konkreten Zeitraum von mindestens 11 aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Tagesniederschlagshöhen kleiner oder gleich 1,0 mm sein müssen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003). Im Gegensatz zur Trockenperiode ist der Begriff Trockenheit die rein meteorologische Definition eines zeitweiligen Niederschlagsdefizits. Eine rein meteorologische Bedeutung hat auch der Begriff Trockenjahr. Das Trockenjahr ist definiert als ein Jahr, in dem die Niederschlagshöhe den Mittelwert einer zugehörigen Niederschlagsreihe um mehr als die Stan-

dardabweichung unterschreitet. Dürre hingegen beschreibt die Auswirkung von Trockenheit auf die Vegetation, insbesondere auf die Landwirtschaft.

Abweichend von LAWA (2007) umfasst der Begriff Niedrigwassermanagement im vorliegenden Informationsband und dem zugehörigen Abschlussbericht beide Strategien zur Verminderung der Auswirkungen von Niedrigwasser: die Vorsorge und operative Maßnahmen in akuten Niedrigwasserphasen (Kap. 6).

Hinweise zum Begriff des „nutzbaren Dargebotes“ erfolgen in Kap. 3.4, zum Begriff der „dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit“ in Kap. 3.2.2.

3.2 Landwirtschaftliche Bewässerung

3.2.1 Situation in Bayern

Bewässerte Fläche

Nach Auskunft des Bayerischen Landesamtes für Statistik (LfStat) wurden 2009 in Bayern ca. 14.378 Hektar (ha) bewässert, also weniger als 1 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche. In den Folgejahren war ein schneller Anstieg auf 16.800 ha (2012) und – verstärkt durch die extreme Trockenheit – 28.100 ha im Jahr 2015 zu beobachten (Abb. 4). Laut Agrarstatistik des LfStat stieg die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe mit Bewässerung im gleichen Zeitraum von 1.830 (2009) auf 2.650 (2015) an.

Die landwirtschaftliche Bewässerung konzentriert sich in Bayern auf Flächen in Unter- und Mittelfranken sowie entlang von Donau, Lech und Isar (Abb. 2). Die beiden Gebiete „Donau-Isar“ und „Lech-Donau-Paar“ umfassen deutlich mehr als die Hälfte der in Bayern insgesamt bewässerten Flächen (Triebswetter und Wackerbauer 2010). In diesen beiden Gebieten spielen der Kartoffel- und Freilandgemüseanbau eine wichtige Rolle. Weitere Bewässerungsgebiete mit regionaler Bedeutung liegen in der Münchener Schotterebene (850 ha in Durchschnittsjahren und bis zu 2.300 ha in Trockenjahren; Kartoffel- und Gemüseanbauflächen), in der Hallertau (ca. 900 ha Hopfen), im Mittelfränkischen Knoblauchland (ca. 1.000 ha Freilandgemüse), im Maintal (ca. 1.700 ha in Durchschnittsjahren und bis 2.500 ha in Trockenjahren) sowie im Schwäbischen Donautal (Bewässerung von ca. 500 ha Freilandgemüse und 200 ha Kartoffeln). Die übrigen Bewässerungsflächen verteilen sich auf kleinere Gebiete, können aber lokal große Bedeutung erlangen. Beispielsweise ist in der Gemeinde Kitzingen nahezu das gesamte Ackerland bewässerungsbedürftige Gartenbaufläche (LfU 2016). Zum Vergleich: In Nordostniedersachsen, dem mit Abstand größten Bewässerungsgebiet Deutschlands, werden jährlich mehr als 320.000 ha bewässert (vorwiegend Kartoffeln und Getreide).

Die angegebenen Flächengrößen sind aufgrund der aktuell hohen Entwicklungsdynamik nur als Momentaufnahme zu verstehen. Systematische Auswertungen, z.B. über die Daten der Landwirtschaftsverwaltung (InVeKoS-Datenbank) oder Satellitenbilder, liegen bislang nicht vor.

Bei den bewässerten Kulturen hatten 2009 laut LfStat in Bayern Gemüse (inkl. Erdbeeren), Kartoffeln, Zuckerrüben und Getreide die größten Flächenanteile (Abb. 3).

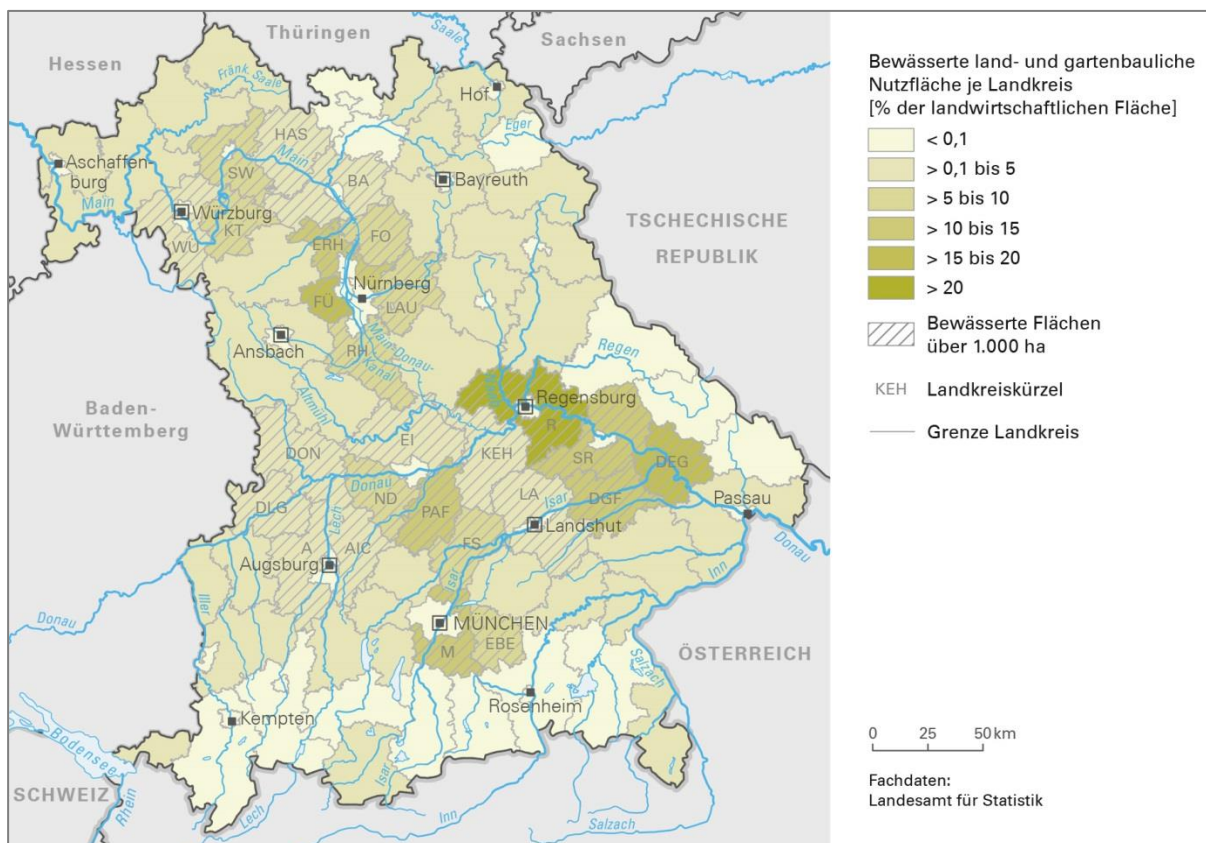


Abb. 2: Prozentualer Anteil bewässerter land- und gartenbaulicher Flächen, bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche je Landkreis. In schraffierten Landkreisen liegt die bewässerte Flächengröße über 1.000 ha (Stand: 2009, Datengrundlage: LfStat, Quelle: LfU)

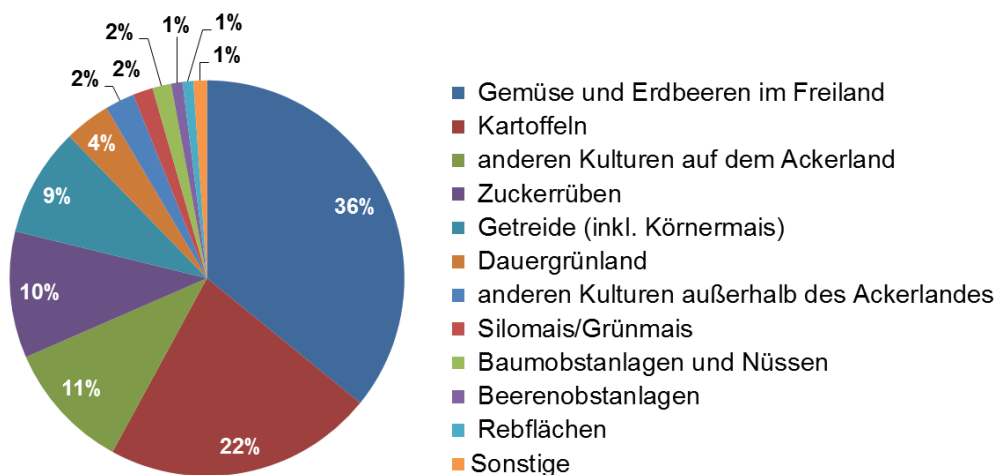


Abb. 3: Flächenanteil bewässerter Kulturen in Bayern im Jahr 2009 (Quelle: LfStat)

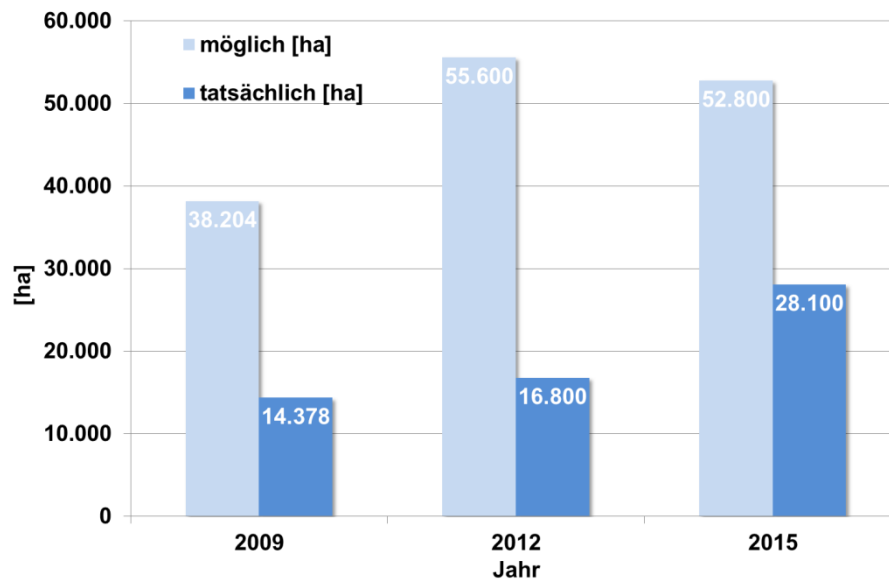


Abb. 4: Bewässerte Flächen in Bayern, getrennt nach möglicher und tatsächlicher Bewässerung (Quelle: Angaben des LfStat)

Gesamtwasserverbrauch

Laut dem LfStat wurden 2009, einem in der Vegetationsperiode eher feuchten Jahr, in Bayern ca. 8,8 Mio. m³ zur landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt. Dies entspricht bei 14.378 ha einer durchschnittlichen Intensität von 61 mm bzw. 610 m³/ha (geringe Menge).

Für das ausgeprägte Trockenjahr 2015 liegen die entsprechenden Auswertungen des LfStat bislang nicht vor. Nimmt man nur 150 mm an (bei Gemüse sind 200-400 mm zu erwarten, Anhang A), so ergibt sich bei einer Fläche von 28.100 ha ein Wasserverbrauch von 42,2 Mio. m³/a. Dies entspricht etwa 4 % der Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung in Bayern (ca. 1,0 Mrd. m³/a). Laut LfStat stammten 2009 etwa 58 % des Wassers direkt aus dem Grundwasser (inkl. Quellen und Uferfiltrat). Insgesamt dürfte der Grundwasseranteil etwas höher liegen, da auch in der LfStat-Kategorie „öffentliche oder private Versorgungsnetze“ (ca. 27 %) Grundwasser enthalten sein dürfte. Die restlichen 15 % stammen aus Oberflächenwasser (Flüsse, Seen, Teiche, Staubecken, etc.).

Laut Statistischem Bundesamt¹ hat sich die bundesweit für landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzte Wassermenge in nur sechs Jahren von 0,1 Mrd. m³ (2007) auf 0,3 Mrd. m³ (2013) etwa verdreifacht.

Um belastbare Zahlen für wasserwirtschaftliche Bewertungen zu erhalten, sind zukünftig systematische Erfassungen und Meldungen der Verbrauchszahlen von den Betrieben an die KVB bzw. WWA erforderlich.

3.2.2 Fachliche Grundlagen

Gründe für Bewässerung

Die Notwendigkeit der Bewässerung ergibt sich vorrangig aus dem Wasserbedarf der angebauten Kulturen. Kopfsalat welkt bei trocken-heißer Witterung schon nach einzelnen Tagen. Die Erzeugung qualitativ hochwertiger Ware ist bei vielen Produkten, z.B. bei Gemüse und Obst, ohne eine ausglei-

¹ Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, R. 2.1.1 und 2.2, Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge

chende Bewässerung nicht möglich. Oftmals, aber nicht zwingend, liegen die Anbauggebiete zusätzlich in (warmen) Trockengebieten mit Niederschlägen von weniger als 650 mm, so z.B. in Unterfranken, in der Knoblauchsau bei Nürnberg, bei Regensburg, in der Vorder- und Südpfalz in Rheinland-Pfalz, im Hessischen Ried oder in Nordostniedersachsen, dem mit Abstand größten Bewässerungsgebiet Deutschlands (ca. 320.000 ha). Aber selbst bei höheren Niederschlägen müssen längere Trockenphasen mittels Bewässerung überbrückt werden. Hinzu kommt, dass z.B. der Feldgemüseanbau leichte Böden bevorzugt (schnelle Erwärmung, leichtere Reinigung der Produkte), diese aber deutlich weniger Wasser speichern können.

Die Bewässerung dient der **Absicherung einer bezüglich Quantität und Qualität hochwertigen Ware**. Sie ist damit insbesondere bei Sonderkulturen **Notwendigkeit und Risikoversicherung** in einem. Aufgrund der innerdeutschen und europaweiten Konkurrenzsituation und der steigenden Marktmacht der Lebensmittelkonzerne mit ihren hohen Qualitätsnormen ist in den letzten Jahren die Bedeutung der Bewässerung zur Qualitätssicherung nochmals angestiegen (s. Infobox). Dies hat auch, neben dem Klimawandel, einen zusätzlichen Anstieg des Wasserbedarfs ausgelöst.

Die aktuell **schnelle Zunahme bewässerter Flächen** (Abb. 4) beruht auf der deutlich besseren Ertragslage des Sonderkulturanbaus gegenüber dem konventionellen Ackerbau, der bundesweit deutlich angestiegenen Nachfrage nach „regionalen Produkten“ und dem Klimawandel, in dessen Folge zumindest die Unbeständigkeit der Witterung und damit die Anbaurisiken bereits spürbar zugenommen haben (z.B. vermehrte Trockenphasen im April, lange Sommertrockenheit).

„Kein Fleckchen“: Marktdruck am Beispiel Frischgemüse

Die Erzeuger von Frischgemüse, darunter auch Großbetriebe oder Verbände mit mehr als 500 ha Anbaufläche, haben oftmals keine festen Verträge mit Großhändlern oder den Lebensmittelkonzernen. Die Betriebe stehen in Konkurrenz mit innerdeutschen Anbaugebieten, aber auch mit dem Ausland. Angebot und Nachfrage regeln Preis und Lieferung. Die strengen Konzernanforderungen bezüglich Aussehen, Größe, Gewicht oder bei Rückständen von Pflanzenschutzmitteln (weit unter den gesetzlichen Werten) erfordern höchste Qualität von den Betrieben. Ware mit geringen Mängeln wird evtl. nicht oder nur zu deutlich reduzierten Preisen abgenommen. Wer z.B. aufgrund von extremer Trockenheit (2015) nicht termingerecht liefern kann, muss mit einer Auslistung über Monate rechnen – die auf dem Feld bereits wachsende Ware wird nicht mehr abgenommen. Ohne ausreichende Bewässerung kann kein marktfähiges Frischgemüse erzeugt werden.

Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungswürdigkeit

Laut DWA (2019) beruht die **Bewässerungsbedürftigkeit** einer Kultur auf dem jeweiligen Standort vorwiegend auf unzureichender Versorgung der angebauten Kulturpflanzen mit Wasser aus Niederschlägen und dem nutzbaren Bodenwasservorrat im effektiv durchwurzelter Bodenraum (nFKwe) während der Vegetationsperiode in Abhängigkeit des Grundwasserstands. Unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse, der regionalen Niederschläge und der jeweiligen Grundwasserverhältnisse können folgende grundsätzliche Aussagen getroffen werden:

- je geringer die nFK eines Bodens, desto höher ist die Bewässerungsbedürftigkeit in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe,
- je flacher die Durchwurzelungstiefe der angebauten Kulturart, desto höher ist die Notwendigkeit der Bewässerung – die Bedürftigkeit besteht unabhängig von der Bodenart,
- je länger die Vegetationsperiode und umso negativer die klimatische Wasserbilanz ist, desto höher ist die Menge des eventuell benötigten Zusatzwassers.

Der Begriff der **Bewässerungswürdigkeit** bezieht bei rein betriebswirtschaftlicher Betrachtung neben der Bewässerungsbedürftigkeit und der Bewässerungseignung die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung mit ein, also die Frage, ob durch die Bewässerung ein Mehrertrag erzielt wird, der (deutlich) über dem mit der Bewässerung verursachten Zusatzaufwand liegt. Unter Berücksichtigung der Kosten-Erlös-Relationen lässt sich im Allgemeinen folgende **Rangfolge** der Bewässerungswürdigkeit der wichtigsten Kulturpflanzen aufstellen (DWA 2019):

- Gemüse > Frühkartoffeln (Reifegruppe 1 und 2) > Zuckerrüben, Kartoffeln (RG 3 und RG 4) > Leguminosen > Ackerfutter > Intensivweiden und Getreide

Bei einer Beschränkung auf diese ertragskundliche Sichtweise kann auch der subventionierte Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Energieerzeugung eine Bewässerungswürdigkeit erlangen.

Vor dem Hintergrund des steigenden landwirtschaftlichen Wasserbedarfs, der begrenzten Wasserressourcen und der vom Klimawandel ausgehenden Risiken ist eine solche, rein wirtschaftliche Definition des Begriffs Bewässerungswürdigkeit aus wasserwirtschaftlicher Sicht unzureichend. Für das Diskussionspapier zum Niedrigwassermanagement wird der Begriff der Bewässerungswürdigkeit daher erweitert zu einer **dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit**, um die Frage zu berücksichtigen, in welchem Umfang die Ressource Wasser zur Verfügung steht. Es wird daher aus wasserwirtschaftlicher Sicht empfohlen, dass zwischen WWA und AELF frühzeitig eine Vereinbarung je Bilanzgebiet, Landkreis bzw. für den Amtsbereich getroffen wird, ob ggf. einzelne Kulturen als nicht bewässerungswürdig eingestuft werden. Die Zuordnung kann in Abhängigkeit der jeweils gegebenen Randbedingungen je Bilanzgebiet/ Landkreis/ Amtsbereich unterschiedlich sein. In jedem Fall sind bei zunehmender Wasserknappheit die Maßstäbe strenger anzulegen (z.B. keine Bewässerung von Energiepflanzen). Bei der Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Bewässerungswürdigkeit müssen die Prioritäten der Nutzungen richtig gesetzt werden. Der langfristigen Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung als Daseinsversorgung für die Bürgerinnen und Bürger muss stets Vorrang eingeräumt werden. Die Bewässerung von Kulturen aus Grundwasser darf deshalb nur angepasst an die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse zugelassen werden (Kap. 5.2.3).

Bewässerungstechnik

Die in Deutschland relevanten Bewässerungsverfahren sind den Hauptgruppen mobile Beregnungsmaschinen, Reihenregner und teilmobile Beregnungsmaschinen (zusammen: Beregnungsverfahren) sowie der Mikrobewässerung zuzuordnen (Abb. 5). Der Wasserausnutzungsgrad der Bewässerungstechnik wird durch Rohrleitungsverluste, Verluste bei der Wasserverteilung (Wind) und Interzeption reduziert. Bei der unterirdischen Mikrobewässerung fallen lediglich die Rohrleitungsverluste an.

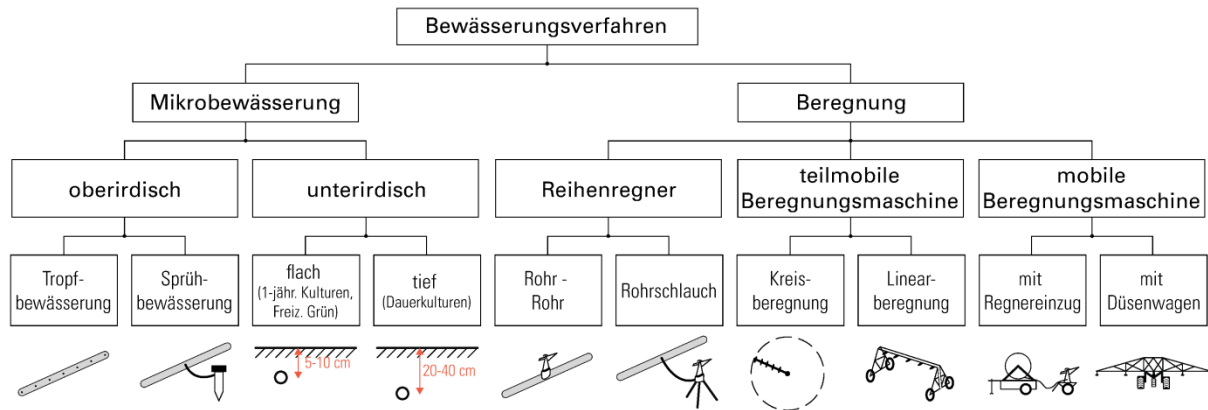


Abb. 5: Verschiedene Verfahren der Feldbewässerung mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Wasserverbrauch bzw. Wasserverlust (Quelle: Lüttger et al. 2005)

Bewegliche Beregnungsanlagen müssen während der Beregnungsperiode auf- und abgebaut werden. Hieraus ergibt sich auch ein hoher Arbeitszeitbedarf. Ortsfeste Anlagen bestehen von der Pumpstation bis hin zum Regner aus festverlegten Rohrleitungen. In der Beregnungssaison brauchen jeweils nur die Regner aufgesetzt zu werden, der Betrieb kann weitgehend automatisiert erfolgen. Daher ist auch der Arbeitszeitbedarf gering. Allerdings sind solche Anlagen kapitalintensiv.

Bei beweglichen Beregnungsanlagen werden häufig mobile Beregnungsmaschinen mit Großflächenregnern eingesetzt. Als Alternativen zu Großflächenregnern wurden Düsenwagen entwickelt, die jedoch trotz besserer Wasserverteilung (Reduzierung der Windverluste) bisher kaum eingesetzt werden. Die Investitionskosten sind geringer als bei anderen Anlagenarten.

Die **Rohrberegnung** als ein Verfahren der Reihenregner ist vorwiegend bei empfindlichen Kulturen im Gemüsebau anzutreffen. Gegenüber mobilen Beregnungsmaschinen wird ein um ca. 10 % verbesserter Wirkungsgrad angenommen. Weitere Effizienzsteigerung erscheint kaum möglich (Sourell 2009).

Teilmobile Beregnungsmaschinen sind im Betrieb beweglich, aber an einen Einsatzort gebunden. Sie setzen eine großstrukturierte Landwirtschaft voraus (Schlaggröße ab ca. 25 ha). Die bekanntesten Vertreter dieses Verfahrens sind Linear- und Kreisberegnungsmaschinen. Eine Weiterentwicklung stellt die mobile Tropfbewässerung dar, bei der die Regner durch Tropfrohren mit entsprechend reduzierten Wasserverlusten ersetzt werden.

Tropfbewässerungsverfahren zeichnen sich dadurch aus, dass bei geringem Betriebsüberdruck (Energieeinsparung) das Wasser in Form einzelner Tropfen abgegeben wird mit dem Ziel, den Wassergehalt des Bodens nahe der Feldkapazität zu halten. Die Tropfbewässerung stellt in der Regel höhere Anforderungen an die Wasserqualität. Als weiter nachteilig müssen grundsätzlich der hohe Investitionsbedarf und der hohe Arbeitskräftebedarf für Auf- und Abbau der Systeme betrachtet werden. Die mit der Tropfbewässerung verbundenen Möglichkeiten zur Wassereinsparung werden in Kapitel 3.2.4 behandelt.

Weitere Hinweise zur Beregnungstechnik, tlw. auch zu deren Kosten, bieten Tab. 1 und folgende Quellen: DWA (2019), Michel und Sourell (2014), Paschold (2010), Sourell (2009), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2008) sowie die DIN 19655 „Bewässerung – Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren“.

Tab. 1: Ausgewählte Kenndaten verschiedener Bewässerungsverfahren (nach Michel und Sourell 2014)

Kenndaten	Tropfbewässerung	Rohrberegnung	Kreis-, Linear- maschinen	Mobile Beregnungs- maschinen
Wassernutzung	hoch	mittel	hoch	niedrig
Arbeit h/(ha x Gabe)	10	2	0,1	0,5
Betriebsdruck am Hydrant bar	2	5	5	8
Energiebedarf kWh/m ³	0,2	0,4	0,4	0,5-0,7
Durchschnittliche Bewässerungshöhe mm	10	15-20	15-20	25-30
Bewässerungsintensität mm/h	2	5-8	7-12	15-25
Optimale Flächenzuordnung ha	ab 0,2	ab 0,5	ab 25	5 bis 50
Handhabung	schlecht	schlecht	gut (besonders Kreismaschinen)	mittel

3.2.3 Zusatzwasserbedarf der Kulturen

Beim Wasserbedarf landwirtschaftlicher Bewässerungskulturen ist zwischen dem Gesamtwasserbedarf einer Kultur (inkl. Niederschlag) und dem Zusatzwasserbedarf zu unterscheiden. Der Zusatzwasserbedarf stellt die „fehlende“ Wassermenge dar, die die jeweilige Kultur an ihrem Standort (insbesondere Boden) unter den jeweiligen Witterungsbedingungen im Jahresverlauf für ein optimales Wachstum benötigt.

Die Höhe des jährlichen Zusatzwasserbedarfs ist maßgeblich von folgenden Faktoren abhängig:

- Kulturart in ihrer jeweiligen Wachstumsphase,
- Niederschlagshöhe und innerjährliche Verteilung,
- Verdunstung, z.B. abhängig von Globalstrahlung, Temperatur, Wind, Pflanzenwachstum,
- klimatische Wasserbilanz als integriertes Maß für Niederschlag und Verdunstung,
- Wasserspeichervermögen des Bodens als nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFKwe, evtl. zusätzlich kapillarer Grundwasseraufstieg).

Kennwerte zum Zusatzwasserbedarf

Trotz einer Vielzahl von Veröffentlichungen zum Wasserbedarf einzelner Kulturen und damit verbundener Erträge oder Qualitäten liegen relativ wenige Tabellen mit pauschalen Angaben zum Wasserbedarf vor. Dies ergibt sich aus der oben genannten Variabilität der zahlreichen Einflussfaktoren. Tabellen können daher nur Orientierungswerte angeben, die unter den jeweils angegebenen Rahmenbedingungen ihre Gültigkeit besitzen. Beispiele finden sich z.B. in Hartmann et al. 2000, Brinkjans 2003, Paschold 2010 oder ÖWAV 2016. Eine aktuelle, systematische Übersicht für Freilandgemüsekulturen, jeweils getrennt für Sand- und Lehmböden an Klimastationen im ganzen Bundesgebiet für den Zeitraum 1962-2016 bieten Zinkernagel et al. (2017). Die Werte für die Städte Augsburg und Nürnberg sind in Anhang A enthalten. Auch die Angaben im DWA-Merkblatt M 590 sind zu berücksichtigen (DWA 2019, s.u.).

Tab. 2 zeigt anhand einiger Kennwerte für **Freilandgemüsekulturen**, in welcher Größenordnung der Zusatzwasserbedarf der Pflanzen liegt. Im langjährigen Mittel ergeben sich über alle Kulturen bzw. Anbauzeiten – bei sehr großer Schwankungsbreite – etwa 150 mm, in extremen Trockenjahren 280 mm. Bei der Ermittlung des Gesamtwasserbedarfs ist zusätzlich zu beachten, dass oftmals **zwei und**

mehr Kulturen hintereinander im Jahresverlauf angebaut werden, z.B. Kopfsalat im Frühling (im Mittel auf Sand 111 mm) und nachfolgend Knollensellerie (320 mm, Summe 431 mm). Bedeutsam für das Niedrigwassermanagement ist der starke Anstieg des Zusatzwasserbedarfs in ausgeprägten Trockenjahren (Kap. 3.5.3).

Tab. 2: Statistische Kennwerte zum Zusatzwasserbedarf von Freilandgemüsekulturen in Millimeter für den Zeitraum 1962-2016 am Standort Nürnberg für Sand- und Lehmböden (nach Zinkernagel et al. 2017, vgl. Anhang A)

Kennzahl	Kultur	Sandboden [mm]	Lehmboden [mm]
geringster Bedarf in Nassjahren	0 mm: diverse max.: Rosenkohl	0 178	0 95
mittlerer Bedarf über alle Kulturen 1962-2016	alle	163	138
hoher Bedarf unter mittleren Bedingungen	Gurken, Einlege-	300	241
	Porree, früh	329	298
	Rosenkohl	440	400
	Sellerie, Knollen-	320	267
	Zucchini, früh	290	251
	Zwiebel	259	216
max. Bedarf im extremsten Trockenjahr im Zeitraum 1962-2016 (Mittel über alle Kulturen)	alle	285	273
max. Bedarf im extremsten Trockenjahr im Zeitraum 1962-2016	min: Endivien max.: Rosenkohl	133 687	128 665

Beispielwerte für den Zusatzwasserbedarf **landwirtschaftlicher Hauptkulturen** zeigt Tab. 3. Berechnungsmethoden für andere Standorte und Werte für zahlreiche weitere Kulturen können DWA (2019) entnommen werden.

Tab. 3 Berechnungsspannen landwirtschaftlicher Hauptkulturen im „Klimaraum E“ (z.B. Trockengebiete in Unterfranken) laut DWA (2019) für Sand- und Lehmböden

Fruchtart	mittlere Jahre		mittlere Trockenjahre*	
	Sand (nFKwe-Kl. 2)	Lehm (nFKwe-Kl. 4)	Sand (nFKwe-Kl. 2)	Lehm (nFKwe-Kl. 4)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Kartoffel	125 - 100	60 - 30	140 - 115	75 - 45
Zuckerrübe	110 - 85	40 - 15	130 - 105	60 - 30
Silomais	75 - 55	15 - 0	90 - 70	30 - 0
Winterweizen	120 - 95	55 - 25	145 - 120	80 - 45
Sommerbraugerste	95 - 80	45 - 15	120 - 100	65 - 30
Sonstiges Getreide	90 - 70	30 - 0	105 - 85	50 - 25
Winterraps	60 - 40	20 - 0	80 - 60	30 - 10

* entspricht laut DWA (2019) einer 80 %-Versorgungssicherheit

Für **Gewächshäuser** schwanken die Angaben zum jährlichen Wasserbedarf von 0,4 bis 2,4 m³ pro Quadratmeter Gewächshausfläche (Tab. 4).

Für **Folienhäuser** können ca. 0,8 m³/m²*a angesetzt werden, wobei mit entsprechenden Zuschlägen für die jeweiligen Bewässerungstypen bis zu 1,5 m³/m²*a erreicht werden können (Mitteilung AELF Kitzingen).

Tab. 4: Durchschnittlicher Wasserverbrauch in verschiedenen Produktionsbereichen des Zierpflanzenbaus (nach Göhler et al. 2002 aus Paschold 2010)

Bewässerungsverfahren	Wasserverbrauch [m ³ /m ² *a]
Unterglasbereich – Topfkulturen ¹⁾	
Traditionelle offene Kultur mit Handgießverfahren	1,2 bis 2,4
Offene Kultur mit Tropfbewässerung	0,8 bis 1,6
Rezirkulierende Bewässerung: Anstauverfahren, Fließrinnen, Flutmatte	0,4 bis 0,8
Unterglasbereich – Beetkulturen (Schnittblumen) ²⁾	
Traditionelle offene Kultur im Boden	0,8 bis 1,5
Offene erdelose Kultur	0,8 bis 1,5
Rezirkulierende erdelose Kulturverfahren	0,6 bis 1,1

1) Ganzjährige Nutzung mit verschiedenen Topfkulturen

2) Niedrige Werte beziehen sich auf eine ganzjährige *Chrysanthemen*-Kultur, höhere Werte entsprechen den Verbrauchswerten bei *Gerbera* und *Rosa*

Die zuvor angegebenen Kennzahlen beziehen sich auf den Zusatzwasserbedarf der Pflanzen. Folgende Faktoren bewirken einen **zusätzlichen Wasserbedarf**:

- zusätzliche Verdunstungsverluste, die z.B. in Anhang A (Basis Rohrberechnung) nicht enthalten sind (z.B. +10 % bei Rohrtrommelmaschinen mit Starkregner),
- Leitungsverluste,
- Auflaufbewässerung zu trockener Böden für Aussaat und Pflanzung (z.B. 20-30 mm pro Gabe),
- Zusatzgabe bei Zwischenfrüchten in Trockenjahren (z.B. 10 mm/a),
- Waschwasser für Gemüsekulturen,
- Frostschutzberechnung.

Der maximale Tagesspitzenbedarf ergibt sich bei Obstkulturen oftmals nicht im Sommer, sondern bei der **Frostschutzberechnung** (Obst, Erdbeeren, Kartoffeln). Sie bestimmt auch die technische Auslegung hiervon betroffener Bewässerungssysteme. Die Frostschutzberechnung muss beim Wasserbedarf dieser Kulturen zusätzlich berücksichtigt werden.

Der sommerliche **Tages- und Stundenspitzenbedarf** ist für geplante Entnahmen aus Oberflächengewässern oder Uferfiltrat von Bedeutung. Bei großen Verbänden oder in der Summe aller Entnahmen an einem Fließgewässerabschnitt kann eine Größenordnung von **1-5 m³/Sekunde** erreicht werden. In Niedrigwasserphasen können solche Werte in kleineren und mittleren Fließgewässern schnell zu Beeinträchtigungen führen.

Reduzierend auf den Wasserbedarf können sich z.B. zu gering dimensionierte Bewässerungssysteme (Wassermangel bei Spitzenbedarf) und wasserrechtliche Limitierungen auswirken.

Berechnungsprogramme

Die Vielfalt der Einflussfaktoren, die den Zusatzwasserbedarf beeinflussen, kann besser modelltechnisch bzw. mittels Software abgebildet werden. Die hierfür bereitstehenden Programme ermöglichen den landwirtschaftlichen Betrieben eine schlag- und tagesgenaue Steuerung der Bewässerungsgaben. Das dahinter liegende Fachwissen beruht meist auf der sogenannten „Geisenheimer Bewässerungssteuerung“ des Instituts für Gemüsebau an der Hochschule Geisenheim (Paschold 2010, Zinkernagel und Olberz 2014, Beck und Kleber 2014). Für Bayern erfolgte eine Anpassung durch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern (ALB, LWG). Das entwickelte „Bodenwasser-Modell Weihenstephan“ wird von der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. weiter gepflegt und im Internet bereitgestellt. Eine Online-Version findet sich unter <https://www.alb-bayern.de/app>. Seit 2019 ist auch die personalisierte Version (inkl. Smartphone-App) mit stark erweiterten Funktionen, wie z.B. schlaggenauen Daten oder lokalen Niederschlagskorrekturen, bundesweit kostenlos verfügbar (Müller et al. 2018). Hierfür wurden zahlreiche Stationen des Deutschen Wetterdienstes, auch außerhalb Bayerns, in den Dienst integriert.

Abb. 6 zeigt ein Beispiel, wie anhand der Bodenfeuchte bzw. der nutzbaren Feldkapazität der Zeitpunkt der Bewässerung ermittelt wird. Die Bewässerungshöhe ist z.B. abhängig vom Wachstumsstadium der Pflanze (geringe Raten zu Beginn) und dem Boden (Gefahr der Bodenerosion und Auswaschung von Nährstoffen).

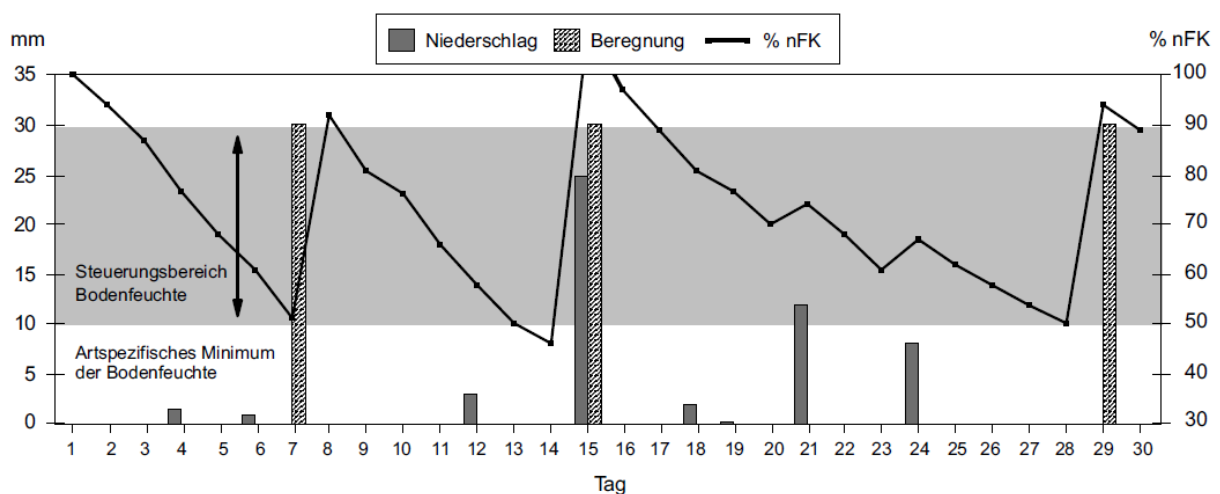


Abb. 6 Beispiel des Verlaufs der Bodenfeuchte (% nFK) im Freiland bei gesteuerter Bewässerung mit Einzelgaben vom 30 mm (Quelle: Paschold et al. 2009)

DWA-Merkblatt M 590

Mit dem DWA-Merkblatt M 590 *Wasserwirtschaftliche Bewertung zur Entnahme von Wasser zur Bewässerung* (DWA 2019) steht ein systematischer Rahmen zur Ermittlung des Zusatzwasserbedarfs zur Verfügung. Das Merkblatt erlaubt bundesweit die Berechnung des Zusatzwasserbedarfs für verschiedenste Kulturen. Zusätzlich enthält es Hinweise zur wasserwirtschaftlichen Bewertung landwirtschaftlicher Grundwasserentnahmen sowie zur Bewässerungstechnik. Beim Zusatzwasserbedarf wird u.a. der Einfluss folgender Faktoren berücksichtigt:

- Bodeneigenschaften,
- Klimadaten wie die klimatische Wasserbilanz,
- statistische Bemessungsgrundlagen, z.B. für mittlere Trockenjahre,
- Wasserbedarf für zahlreiche Kulturen.

Der Wasserbedarf der Kulturen beruht u.a. auf älteren, aber wissenschaftlichen Versuchsergebnissen aus Ostdeutschland und jüngeren Entwicklungen, z.B. die zur Qualitätssicherung heute höheren Wassergaben.

Bei der klimatischen Wasserbilanz wird die Zeitreihe 1981 bis 2010 verwendet, womit bisherige Veränderungen des Klimawandels wie z.B. der signifikante Temperaturanstieg ab Beginn der 1990er Jahre teilweise integriert sind. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass der Boden in seiner gesamten Mächtigkeit – entgegen früherer Annahmen – zu Beginn der Kultursaison im Frühjahr nicht mehr wassergesättigt ist (z.B. aufgrund fehlenden Schnees oder noch wachsender Gründüngung). Zukünftige Auswirkungen des Klimawandels werden allerdings methodisch nicht berücksichtigt.

3.2.4 Wassereinsparung

Mit Blick auf den Klimawandel und die zukünftig knapper werdenden Wasserreserven steigt die Notwendigkeit einer möglichst effizienten landwirtschaftlichen Wassernutzung kontinuierlich an. Eine sparsame, den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechende Bewässerung ist daher in jedem Wasserrechtsverfahren erneut zu thematisieren, z.B. als fester Bestandteil des Wasserbedarfsnachweises und als Auflage bzw. Nebenbestimmung im Wasserrechtsbescheid.

Gleichzeitig ist unverkennbar, dass Effizienzsteigerungen in der Bewässerung die schnelle Zunahme der Bewässerungsflächen und die Wirkungen des Klimawandels zwar abmildern, aber nicht kompensieren können. Dies gilt auch für die „Tropfbewässerung“, die gerne als eine relevante Lösung bei knappen Wasserressourcen ins Spiel gebracht wird. Das mit ihr verbundene Einsparpotenzial ist oftmals geringer als allgemein angenommen (s.u.).

Laut dem Projekt „Effiziente Bewässerung im Gemüsebau“ können bei der Bewässerung große Energiemengen (z.B. Umstellung auf Niederdrucksysteme), aber nur begrenzt Wasser eingespart werden (BLE 2017). Dagegen zeigen zahlreiche Forschungsvorhaben, u.a. der LfL und der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), dass nennenswerte Mengenreduzierungen möglich sind. Insgesamt ist davon auszugehen, dass mittel- bis langfristig, über alle Bewässerungsflächen gesehen, Einsparungspotenziale von 10-30 % bestehen. Dies gilt insbesondere für solche Naturräume, in denen bisher kein Wassermangel herrschte und von daher die Ressource Wasser eher großzügig verwendet wurde.

Eine Reduzierung des Gesamtwasserbedarfs ist vorwiegend in folgenden Bereichen möglich:

1. Optimierung der Bewässerung (z.B. Technik, Steuerung),
2. Optimierung der Anbaumethoden (z.B. Humuspflge, Mulchen, Direktsaat, Sortenwahl),
3. Steuerung über die Flächenanteile der Kulturen mit ihrem spezifischen Wasserbedarf.

Nachfolgend werden ausgewählte Beispiele der ersten beiden Punkte erläutert und Hinweise zu Gewächshäusern gegeben. Die Steuerung des Wasserbedarfs über die jeweiligen Anbauflächen der Kulturen, insbesondere solche mit hohem Zusatzwasserbedarf, ist Teil eines betriebsinternen Wasser- und Risikomanagements, das in Kapitel 3.2.5 erläutert wird. Es beinhaltet auch Maßnahmen, die in ausgeprägten Trockenphasen von den Betrieben durchgeführt werden können. Alternative Wasserressourcen wie die Nutzung von Oberflächenwasser (statt Grundwasser) werden in Kap. 5.2.5 behandelt.

Optimierung der Bewässerungstechnik

Die Auswahl der Bewässerungstechnik sollte das Ziel einer effizienten Bewässerung berücksichtigen. Hierbei sind z.B. die hohen Verdunstungsverluste bei Rohrtrommelmaschinen mit Starkregnern zu berücksichtigen. Eine **Umstellung von Regnern auf Düsentechnik** ermöglicht eine zielgenauere Ausbringung und senkt die Wasserverluste infolge Windverdriftung. Ebenso sind **Leitungsverluste** auf ein Minimum zu begrenzen.

Bei der **Tropfbewässerung** wird das Wasser über dauerhaft (z.B. Obst- und Weinbau) oder temporär verlegte Leitungen (z.B. Gemüse, Kartoffeln, Erdbeeren) gezielt an den Pflanzen bzw. im Wurzelbereich zur Versickerung gebracht. Besonders geeignet sind Kulturen mit ausreichend großem Reihenabstand wie Spargel, Kürbis, Zucchini, Gurken, Kartoffeln oder Kohl, bei denen die Fahrspuren außerhalb der Schlauchreihen liegen können. Saatkulturen sind weniger geeignet.

Da nur etwa ein Drittel der Bodenfläche bewässert wird und zusätzlich die Verdunstung durch Wind einfluss und Windabdrift entfallen, kann die Wassereffizienz mit Tropfbewässerung gesteigert werden. Während die Hersteller von Tropfberegnungsanlagen gegenüber Großflächenregnern z.B. eine Einsparung von bis zu 40 % versprechen, gehen Paschold (2010) und Herr Hageneder (LWG, 2017 mündlich) von ca. 20-30 %, andere Fachleute für den **Gemüse- und Kartoffelbau** von 5 % bis max. 15/20 % aus (Herr Brandhuber, LfL, Herr Dr. Kleber, Hochschule Geisenheim, 2017 mündlich, Herr Dr. Weinheimer, DLR Rhld.-Pf., 2016 mündlich). Ursache hierfür sind z.B. erhöhte Leitungsverluste durch Befahrung oder Nagerschäden. In **Dauerkulturen** wie Hopfen, Spargel, Obst oder Wein bestehen **höhere Einsparpotenziale**.

Eine bessere Differenzierung erlauben aktuelle Zahlen der „Bewässerungs-App“ des ALB-Bayern (online unter www.alb-bayern.de/app), die den aktuellen Kenntnisstand zur Bewässerungssteuerung beinhaltet. Demnach ist das **Einsparpotenzial der Tropfbewässerung** stark von der Korngrößenverteilung des Bodens und der jeweiligen Kultur abhängig. Deutliche Reduzierungen des Bewässerungsbedarfs von ca. 10-50 % ergeben sich fast nur auf **(reinen) Sandböden** und hier nur bei **ausgewählten Kulturen** wie z.B. Erdbeeren, Einlegegurken, Kartoffeln und Zucchini (Tab. 5 und Anlage B für das Trockenjahr 2018). Im Mittel über die ausgewählten Kulturen und Böden der Tab. 5 sowie den sechs über Bayern verteilten Klimastationen aus den Landkreisen Würzburg, Kitzingen, Nürnberg, Regensburg, Deggendorf und Ebersberg (vgl. Anlage B) ergibt sich nur eine Reduzierung durch Tropfbewässerung von 10 % bzw. 24 mm.

Tab. 5: Mittlere prozentuale Reduzierung des Bewässerungsbedarfs durch Tropfbewässerung bei verschiedenen Kulturen an sechs ausgewählten Klimastationen in Bayern im extremen Trockenjahr 2018 auf der Basis von Berechnungsergebnissen der Bewässerungs-App des ALB-Bayern, Werte über 5 % farblich hinterlegt (Abruf 15.11.2018, alle Voreinstellungen des „Standardmodus“ übernommen, vgl. Anlage B)

	Sand (S)	schwach lehmiger Sand (IS)	stark lehmiger Sand (IIS)	schluffiger Lehm (uL)
Blumenkohl	7,7%	0,4%	1,2%	1,3%
Brokkoli	7,6%	2,3%	4,4%	0,0%
Bundzwiebeln	10,0%	4,2%	2,2%	4,6%
Erdbeeren	39,0%	27,0%	15,2%	6,3%
Gurken (Einlege-)	48,3%	7,5%	0,0%	0,3%
Kartoffeln	28,0%	8,7%	8,8%	4,7%
Zucchini	30,5%	3,7%	0,0%	0,0%
Mittel	24,4%	7,7%	4,5%	2,5%

Die Tropfbewässerung ist allerdings nicht nur vom Wasserbedarf abhängig. Sie ist mit größeren Investitionen und einem erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Dies rechnet sich nur bei Kulturen mit einem hohen Deckungsbeitrag. Für die Betriebe sind zusätzlich Faktoren wie z.B. die Unkrautbekämpfung mittels Folien (Tropfbewässerung darunter liegend), der Pflanzenschutz (Pilzvermeidung bei Zucchini und Gurken) und die gezielte Gabe von Nährstoffen über das Bewässerungssystem wichtige Faktoren. Die Nährstoffsteuerung kann für eine gezielte Reduzierung von Auswaschungsverlusten genutzt werden. Nachteilig ist die erhöhte Erosionsgefahr bei Starkregen zwischen den Folienreihen.

Fazit: Bezogen auf einzelne Kulturen wie Obst, Hopfen, Kartoffeln, Gurken oder Zucchini kann die Tropfbewässerung relevante Wassereinsparungen auf sehr leichten Böden erbringen, kaum aber bei bindigen Lehmen. Besondere Vorteile ergeben sich bei Dauerkulturen. Ein zusätzlicher Vorteil ist aufgrund des geringeren Betriebsdrucks (0,5-3 bar) die deutliche Energieeinsparung gegenüber Rohrtrommelmaschinen (5-8 bar, 6-10 bar am Hydranten). Ein Entwicklungspotenzial wird in der mobilen Tropfbewässerung gesehen (Teichert 2009).

Optimierung der Bewässerungssteuerung

Bislang beruht die Bewässerungssteuerung der Betriebe oftmals rein auf Erfahrung, kombiniert mit einfachen Methoden wie Spatenproben des Bodens oder der Berücksichtigung leicht zugänglicher meteorologischer Daten (Niederschlagsmengen, Wetterprognose). Hieraus können sich sowohl zu geringe Bewässerungsmengen (Wachstumsverluste) als auch zu hohe Gaben (Arbeits- und Energiekosten) ergeben.

Eine zielgenaue, an die tagesaktuellen Bedingungen angepasste Bewässerung des jeweiligen Schlags mit seinem Bodenwassergehalt, dem Zustand der Kultur und der prognostizierten Witterung dient zunächst einer betriebswirtschaftlichen Optimierung der Bewässerung. Sie kann aber ebenso zur Vermeidung überhöhter Wassergaben oder – aufgrund der detaillierten Informationsbasis – für eine bewusste Wassereinsparung verwendet werden. Im Hinblick auf eine wassersparende Bewässerung sind auch niedrigere Einschaltpunkte, d.h. dass die Bewässerung erst bei einer geringeren Bodenfeuchte einsetzt, zu prüfen (z.B. 45 % statt 50 % nutzbarer Feldkapazität).

Moderne, **softwarebasierte Steuerungssysteme** berücksichtigen hierzu u.a.:

- Bodeneigenschaften aller bewirtschafteten Schläge,
- Wachstumsphasen der jeweiligen Kultur auf den Schlägen,
- zurückliegende Tageswerte für Niederschlag und Verdunstung,
- Wetterprognosen.

Aus den Werten kann der aktuelle Bodenwassergehalt und der Zusatzwasserbedarf in Form von Bewässerungsgaben berechnet werden. Insofern spielt auch eine genaue Erfassung der Bewässerungsmengen eine große Rolle. Probleme ergeben sich z.B. aus kleinräumigen Variationen der Bodeneigenschaften und der Notwendigkeit, die reale Bodenfeuchte vor Ort immer wieder mit den berechneten Werten abzugleichen. Automatisierte Bodenfeuchtemessungen, z.B. über Tensiometer, sind bislang aufwendig und störungsanfällig. Zusätzlich spielen lokale Niederschlagsereignisse eine Rolle, die von den Wetterdiensten oder eigenen Messungen nicht erfasst werden. Insofern sind Intuition sowie Spaten- und Handprobe weiterhin erforderlich.

Ein Hindernis bei der Einführung solcher Systeme ist neben den Anschaffungskosten der Aufwand zur Datenpflege. Hersteller, Forschungsinstitute und Landesanstalten wie LfL und LWG arbeiten daher an einer Verbesserung der Datengrundlagen und einer weiteren Automatisierung. Die Steuerungssysteme können sukzessive bis zur automatisierten Datenerfassung und Fernsteuerung der Bewässerungsmaschinen ausgebaut werden. Alle zentralen Daten sind per Smartphone erreichbar. Ein online verfügbares System findet sich unter www.alb-bayern.de/app.

Weitere Hinweise zur Bewässerungssteuerung und -optimierung finden sich in BLE (2017), Müller et al. (2016), Vandieken et al. (2017), Kleber (2014), Michel und Sourell (2014), Paschold et al. (2009) und LfL (2008).

Eine Möglichkeit zur Wassereinsparung bietet auch die **Verlagerung der Bewässerung** in die verdunstungsärmeren **Morgen- und Abendstunden**. Insbesondere in Trockengebieten wie Unterfranken verbieten viele Wasserrechtsbescheide eine Bewässerung zwischen 10:00-16:00 Uhr. Ausnahmen, z.B. zur Ansaat oder zur Rettung sensibler Kulturen an extrem heißen Tagen (Abkühlung), sollten berücksichtigt werden. Die Verlagerung der Beregnungszeiten ausschließlich in die verdunstungsärmeren Abend- und Nachtstunden führt zu einer Einsparung von einzelnen Prozenten. Eine Nachtberegnung erhöht bei einzelnen Kulturen die Gefahr eines Pilzbefalls. Die Beregnungskapazitäten sind an die verkürzten Bewässerungszeiten anzupassen.

Starke Winde erhöhen deutlich die Verdriftungs- und Verdunstungsverluste. Soweit technisch (Schlagkraft der Bewässerungssysteme) und organisatorisch möglich, sind windarme Zeiten zur Bewässerung zu nutzen.

Eine **verminderte Beregnungsintensität** (mm Bewässerungshöhe pro Stunde) reduziert die Gefahr von Bodenerosion und eines Oberflächenabflusses.

Optimierung der Anbaumethoden

Das gesamte Gefüge der Anbaumethoden von der Bodenvorbereitung über die Saattechnik und Sortenauswahl bis zum Zwischenfruchtanbau beeinflusst letztlich auch den Bodenwasserhaushalt. Höhere Humusgehalte verbessern z.B. die Strukturstabilität des Bodens, dies ermöglicht eine größere Niederschlagsinfiltration bei gleichzeitig erhöhter Wasserspeicherkapazität des Bodens. Über Zwischenfrüchte, Mulchen, Direktsaat oder die Auswahl stärker beschattender Sorten kann die Oberflächenverdunstung des Bodens (Evaporation) reduziert werden. Bodenschonende Bearbeitungsverfahren verringern die Gefahr von Bodenverdichtungen.

Im Hinblick auf die angestrebte Reduzierung des Wasserbedarfs sind folgende Ziele der Anbaumethoden von Bedeutung:

- Steigerung des Speichervermögens im Boden,
- Verringerung unproduktiver Wasserverluste,
- langfristige Bodenbedeckung,
- Erschließung vorhandenen Bodenwassers mit intensiver Durchwurzelung,
- Reduzierung der Bodenerosion,
- Einsatz trockenheitstoleranter Sorten.

Die Umsetzung derartiger Maßnahmen stellt für die Betriebe oftmals eine Herausforderung dar, da sich nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile wie ein erhöhter Aufwand oder veränderte Produktqualitäten ergeben können. Nach Michel und Sourell (2014) sind solche und weitere dort beschriebene Maßnahmen sinnvoll, ihre Wirkungen aber oftmals begrenzt.

Für die Wasserwirtschaft ergeben sich bei diesem Thema keine direkten Handlungsoptionen. Eine nachhaltige Bodenbearbeitung bleibt eine Kernaufgabe der Landwirtschaft.

Gewächshäuser

Laut Molitor (2009) ist der Anbau von Gemüse und Zierpflanzen im geschützten Anbau vergleichsweise gut auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet. Geschlossene Bewässerungsverfahren in Verbindung mit der erdelosen Kultur haben zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz der Wassernutzung beigetragen. Weitere Einsparungen sind dort möglich, wo noch nicht alle Produktionsbereiche mit **geschlossenen Bewässerungssystemen** versehen sind, sowie bei den Betrieben, die in dieser Richtung aus unterschiedlichen Gründen noch keine Anstrengungen unternommen haben. Eine gesetzliche Verpflichtung dazu besteht bisher nicht. Für die Kultur im Boden zeichnet sich weiterhin keine durchgreifende Lösung ab, außer die der konsequenten Umstellung auf **erdelose Kultur**. Die Einsparungsmöglichkeiten erdeloser bzw. geschlossener Systeme liegen nach Paschold (2010) in einer Größenordnung von 50 %.

Entwicklungsbedarf sieht Molitor (2009) bei der Ausweitung der **Regenwassernutzung**. Unter dem Eindruck der sich abzeichnenden Klimaveränderung sind dabei eine **Erweiterung der Auffangflächen und der Speichervolumina vorrangig**, um eine weitgehende Vollversorgung auch in trockenen Jahren zu gewährleisten. Aus ökologischen Gründen sollte die Nutzung von natürlich anfallendem Regenwasser Vorrang vor der technischen Wasseraufbereitung haben. Die Regenwassernutzung macht zudem unabhängig von möglichen zukünftigen Kostensteigerungen bei Brunnen- und Leitungswasser.

3.2.5 Betriebsinternes Wasser- und Risikomanagement

Der Spitzenwasserbedarf in ausgeprägten Trockenphasen wird durch den Klimawandel weiter ansteigen. Dieser Bedarf kann wasserrechtlich (z.B. Jahresbedarf) und/oder technisch (Stunden- oder Tagesbedarf) oftmals nicht vollständig abgedeckt werden (Abb. 7). Es liegt damit in der Eigenverantwortung der Betriebe, wie sie mit diesen Risiken, mit denen in extremen Trockenjahren massive Ertrags- einbußen verbunden sein können, umgehen möchten.

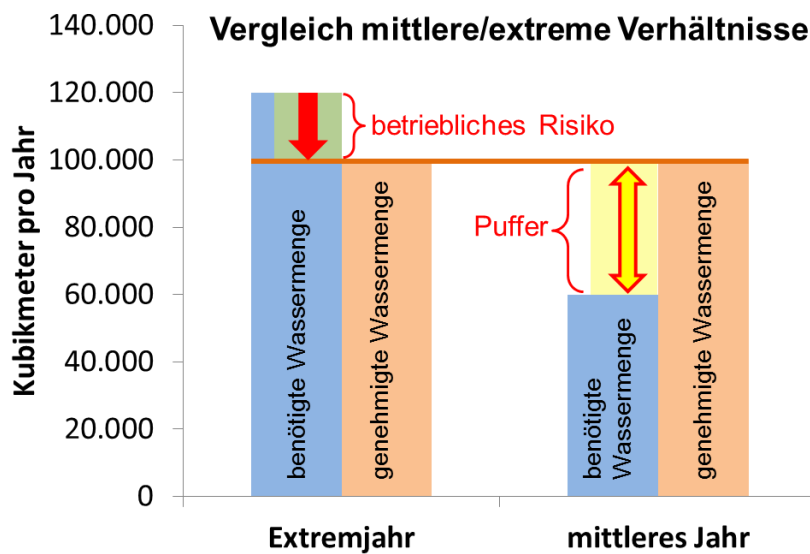


Abb. 7: Berücksichtigung des witterungsbedingt stark schwankenden Bewässerungsbedarfs in der landwirtschaftlichen Bewässerung

Mit einem Wasser- und Risikomanagement können sich die Betriebe darauf vorbereiten. Es kann u.a. die Bereiche Anbau (z.B. Senkung des Anteils von Kulturen mit hohem Wasserbedarf, Trockenresistenz, Humuspflüge), Technik (z.B. Beregnungsablauf bei hohem Wasserbedarf, Einsatz zusätzlicher Bewässerungstechnik, Wasserspeicher) und Notfallmaßnahmen (z.B. Einstellung der Bewässerung bei Kulturen mit geringem Deckungsbeitrag) umfassen (Tab. 6). Dazu kann auch eine frühzeitige Warnung vor einer drohenden Wasserknappheit hilfreich sein.

Es bleibt den Betrieben überlassen, wie sie sich auf das Risiko eines deutlich erhöhten Wasserbedarfs in Trockenjahren vorbereiten. Im Grundsatz gibt es hierzu zwei gegensätzliche Ansätze:

1. Der Bewässerungsbedarf wird im Mittel soweit reduziert (über Anbaufläche und Kulturen), dass der Spitzenbedarf im Trockenjahr technisch und wasserrechtlich zulässig vollständig abgedeckt werden kann. Alle Kulturen können in guter Menge und Qualität geerntet werden.
2. Die genehmigte Entnahmemenge wird im Mittel in einem hohen Maße ausgenutzt. Der dann in Trockenjahren zwangsweise auftretende Wassermangel wird bewusst in Kauf genommen. Es kommt zu Schäden in den Kulturen, ein teilweiser Totalverlust ist nicht ausgeschlossen.

In der Praxis kommt es aus betriebswirtschaftlichen Gründen meist zu einer Mischung beider Ansätze. Allerdings müssen dann auch die Konsequenzen in Trockenjahren getragen werden. Betriebe, die bewusst ein hohes Risiko in Trockenjahren eingehen, müssen zukünftig bei einer Überschreitung ihrer genehmigten Entnahmemenge aus Gründen des NW-Managements mit stärkeren Restriktionen (z.B. Bußgelder bis hin zum Entnahmeverbot bzw. (Teil-)Widerruf von Bescheiden) rechnen.

Als organisatorische Grundlage wird empfohlen, dass die Betriebe ihre Wasserentnahmen monatlich erfassen und dokumentieren. Ab einer Fördermenge von 100.000 m³/a fallen die Betriebe unter die Eigenüberwachungsverordnung². Umfangreiche technische Maßnahmen wie die Beileitung von Wasser oder der Bau großer Speicherbecken können i.d.R. oftmals erst durch betriebliche Kooperationen

² Eigenüberwachungsverordnung (EÜV): Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-bayern.de>

(gemeinschaftliche Organisationsstruktur) umgesetzt werden. Mittel- bis langfristig ist zu prüfen, ob größere Anbaurisiken über Versicherungen abgedeckt werden können. Aufgrund der hohen Kosten sind ihre Einsatzmöglichkeiten bislang begrenzt.

Weitere Hinweise zu agrarrelevanten Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen finden sich in Gömann (2015).

Tab. 6: Mögliche Vorsorge- und Akutmaßnahmen eines betriebsinternen Wasser- und Risikomanagements

Vorsorgemaßnahmen	Akutmaßnahmen
Technik	
Effiziente Bewässerungstechnik	Pumpzeiten erhöhen für die Abdeckung des Spitzenbedarfs
Abdeckung des Spitzenbedarfs sicherstellen	Zusatzpumpen für die Abdeckung des Spitzenbedarfs
Wasserspeicher bauen	Wasserspeicher nutzen
Brunnen verbinden, Verteilungsnetz aufbauen	Umverteilung innerhalb des Netzes, zwischen Brunnen
Anbau	
Vielfalt an Kulturen	Bewässerungsmenge auf ein Minimum reduzieren
Kulturen mit geringerem Wasserbedarf	Aufgabe von Kulturen mit geringem Deckungsbeitrag
Bodenpflege	Verzicht auf Folgekultur
Organisation	
Kontrolle des Wasserverbrauchs	Kontrolle des Wasserverbrauchs
Notfallplan erstellen	Umsetzung eines Notfallplans
Gemeinschaftliche Organisationsform	Kooperation, gegenseitige Hilfe
Betriebswirtschaft	
Verträge mit Berücksichtigung höherer Gewalt	Anmeldung höherer Gewalt
Rücklagen bilden	Nutzung von Rücklagen
(Versicherung)	(Anmeldung von Schäden)

3.2.6 Wasserqualität

Qualität des Beregnungswassers

Bislang existieren keine bundesweit einheitlichen Standards zur erforderlichen Qualität des Bewässerungswassers. Bei der Planung und Überwachung von Bewässerungsanlagen sollten dennoch die folgenden Normen und Empfehlungen berücksichtigt werden:

- DIN 19684-10 Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen³,
- DIN 19650 Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser⁴
- Empfehlungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL 2004),
- branchenspezifische Qualitätsanforderungen, z.B. der QS Fachgesellschaft Obst-Gemüse-Kartoffeln GmbH.

Eine zusammenfassende Bewertung der genannten Literaturquellen inkl. Tabellen findet sich in Umweltbundesamt (2016). Umfangreiche Hinweise zur notwendigen Wasserqualität erhält auch das Regelblatt 407 des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV 2016). Hier werden

³ DIN 19684-10 (2009) Bodenbeschaffenheit-Chemische Laboruntersuchungen - Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen.

⁴ DIN 19650 (1999) Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser.

neben hygienischen Anforderungen auch sogenannte Hauptbestandteile wie z.B. Calcium, Kalium und Sulfat sowie zahlreiche Nebenbestandteile von Aluminium bis Zink behandelt. Zusätzlich ist auf entsprechende Kapitel in Paschold (2010) hinzuweisen.

Qualität des Sickerwassers, Grundwasserschutz

Durch die **Bewässerung** werden z.B. das Wurzelwachstum und die Nährstoffaufnahme der Pflanzen gefördert. Die Ausnutzung vorhandener Nährstoffe wird verbessert, der **Nährstoffaustrag** in tiefere Bodenschichten bzw. ins Grundwasser wird **reduziert**. Diese positive Wirkung einer Bewässerung gilt für alle Kulturen. Hierfür sind gezielte, an die aktuelle Bodenfeuchte und die Kultur angepasste Bewässerungsgaben erforderlich. Insbesondere sind zu hohe Gaben zu vermeiden, die eine verstärkte Absickerung von Bodenwasser bewirken können (Fricke 2009). Eine erhöhte Nährstoffauswaschung kann bei einer Tropfbewässerung auch nach ausgeprägten Trockenjahren auftreten, wenn sich nur kleine Wurzeln im Nahbereich der Tropfstellen ausbilden und diese nur dort Nährstoffe aufnehmen. Im Herbst kann es dann zu erhöhten Auswaschungsraten ungenutzter Nährstoffe in der Fläche kommen.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist bei der Entwicklung von Bewässerungsgebieten zu berücksichtigen, dass bei **Sonderkulturen** wie dem **Feldgemüsebau** gegenüber anderen Feldfrüchten wie z.B. Getreide von deutlich **höheren Nitratauswaschungsraten** auszugehen ist (Brinkjans 2003, Kolbe 2000). Für die erhöhte Gefahr der Nitratauswaschung gibt es hauptsächlich die folgenden Gründe (Brinkjans 2003):

- hoher Stickstoffbedarf,
- flaches Wurzelsystem,
- für optimalen Ertrag häufig hoher Mindestgehalt an löslichem Stickstoff im Boden (Nmin-Rest) nötig, da Ernte oft in physiologisch unreifem Stadium,
- hohe Mengen an stickstoffreichen Ernterückständen, die nach Einarbeitung schnell mineralisiert werden,
- erschwerte Düngerbedarfsermittlung durch Vielfalt an Kulturen und aufwendige Bodenanalyse,
- häufig Sicherheitszuschläge,
- häufig Winterbrache.

Durch gezielte Beachtung auswaschungsmindernder Kulturmaßnahmen oder Änderungen in der Fruchtfolge lässt sich die Auswaschungsgefahr wesentlich verringern.

3.3 Rechtlicher Rahmen

3.3.1 Wasserwirtschaft

Die nachfolgenden Ausführungen folgen LfU (2016).

Das vorrangige Ziel des Gewässerschutzes ist es, Oberflächengewässer und das Grundwasser vor schädlichen Einwirkungen und Beeinträchtigungen zu schützen und die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Dementsprechend zielt das Wasserrecht darauf ab, durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen (§ 1 WHG).

Jede Person ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf das Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine nachteilige Verän-

derung der Gewässereigenschaften zu vermeiden, eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sicherzustellen, die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten und eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden (§ 5 Abs. 1 WHG).

Die Gewässer sind nachhaltig zu bewirtschaften, insbesondere mit dem Ziel, die Funktions- und Leistungsfähigkeit als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu erhalten und zu verbessern, insbesondere durch Schutz vor nachteiligen Veränderungen von Gewässereigenschaften und möglichen Folgen des Klimawandels vorzubeugen (§ 6 Abs. 1 WHG).

Die nachhaltige Gewässerbewirtschaftung hat ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu gewährleisten. Dabei sind die Erfordernisse des Klimaschutzes zu berücksichtigen (§ 6 Abs. 2 WHG).

Damit verbunden ist die Aufgabe, das ökologische Gleichgewicht der Gewässer zu bewahren oder wiederherzustellen, die Trink- und Brauchwasserversorgung zu gewährleisten und alle anderen Wassernutzungen, die dem Wohl der Allgemeinheit dienen, langfristig zu garantieren. Diese Maßgaben gelten gemäß §§ 5, 6, 6a WHG allgemein und schließen demnach alle natürlichen Rahmenbedingungen – insbesondere die hier untersuchten Trockenperioden und Niedrigwasserereignisse – kategorisch mit ein.

Ein nachhaltiges Wassermanagement zielt somit auf einen sparsamen und ökologischen Umgang mit der knappen Ressource Wasser ab.

Da die Nutzungsansprüche der Gesellschaft an das Wasser vielfältig und unter Umständen auch konkurrierend sind, müssen alle menschlichen Einwirkungen auf das ober- und unterirdische Wasser durch die Wasserwirtschaft und Gewässeraufsicht zielbewusst geordnet und überwacht werden.

Das Wasserrecht setzt sich aus Rechtsnormen des Bundes und des Freistaates Bayern zusammen. Zudem gibt es wasserrechtlich relevante Europäische Richtlinien, die in nationales Recht umgesetzt wurden (Tab. 7). Konkrete rechtliche Vorgaben, die für die unterschiedlichen Gewässerbenutzungen und im weiteren Sinne auch für das Wassermanagement – insbesondere für ein Niedrigwassermanagement – von Bedeutung sind, ergeben sich vor allem aus den nachstehend genannten Rechtsnormen:

Tab. 7: Aufbau des Wasserrechts aus den Rechtsnormen der Europäischen Gemeinschaft, des Bundes und des Freistaats Bayern

Europäisches Recht	
• Richtlinie 2000/60/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; Wasserrahmenrichtlinie, kurz <i>WRRL</i>
• Richtlinie 2006/118/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung; Grundwasserrichtlinie; kurz <i>GWRL</i>
Bundesrecht	
• Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (<i>WHG</i>) vom 31. Juli 2009	
• Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - <i>OGewV</i>) vom 20. Juni 2016	
• Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - <i>GrwV</i>) vom 09. November 2010	
• Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - <i>AbwV</i>) vom 21. März 1997, Neufassung vom 17.06.2004	
Bayerisches Recht	
• Bayerisches Wassergesetz (<i>BayWG</i>) vom 25. Februar 2010	

Grundsätzlich bedarf die Benutzung eines Gewässers der Erlaubnis oder der Bewilligung (§ 8 WHG). Benutzungen sind insbesondere das Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern oder von Grundwasser und das Einleiten von Stoffen ins Gewässer.

Es besteht kein Eigentum an fließenden, oberirdischen Gewässern oder am Grundwasser (§ 4 Abs. 2 WHG). Insofern berechtigt auch ein Grundeigentum nicht zur Gewässerbenutzung, die einer behördlichen Zulassung bedarf (§ 4 Abs. 3 WHG). Und auch behördliche Zulassungen zur Gewässerbenutzung geben keinen Anspruch auf Zufluss von Wasser in einer bestimmten Menge und Beschaffenheit (§ 10 Abs. 2 WHG).

Keiner Zulassung bedarf insbesondere die erlaubnisfreie Benutzung des Grundwassers nach § 46 WHG und Art. 29 BayWG für den Haushalt, für den landwirtschaftlichen Hofbetrieb, für das Tränken von Vieh außerhalb des Hofbetriebs oder in geringen Mengen zu einem vorübergehenden Zweck sowie für Zwecke der gewöhnlichen Bodenentwässerung landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzter Grundstücke, soweit keine signifikante nachteilige Auswirkung auf den Wasserhaushalt zu besorgen ist (§ 46 WHG). Zudem ist die Entnahme von Grundwasser in geringen Mengen für Zwecke der Land- und Forstwirtschaft und des Gartenbaus zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit erlaubnisfrei (Art. 29 BayWG). Um eine erlaubnisfreie Benutzung (geringe Entnahme) handelt es sich hierbei regelmäßig nicht mehr, wenn eine landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Fläche von über 1 ha Größe oder mit mehr als 50 m³ pro Tag berechnet werden sollen oder andere – auch erlaubnisfreie – Wasserbenutzungen, insbesondere für Trinkwasserzwecke, beeinträchtigt werden können. Das bedeutet allerdings nicht, dass eine Entnahme unterhalb der Obergrenze von 50 m³ pro Tag immer erlaubnisfrei ist. Vielmehr ist fachlich nach regionalen hydrogeologischen Gegebenheiten zu differenzieren. Während im niederschlagsarmen Nordbayern und weniger höffigen Gebieten wohl 50 m³/d nicht mehr grundsätzlich als gering zu beurteilen sind, kann in Gebieten mit höffigen Porengrundwasserleitern eine 50 m³/d Entnahme ohne nähere Prüfung als gering beurteilt werden. Das heißt, es kommt auf die örtlichen Gegebenheiten an. Hierbei ist das Verhältnis der Entnahme zum nutzbaren Grundwasserdargebot im Bereich der Entnahme und die bereits bestehenden Benutzungen zu würdigen. Diese Beurteilung obliegt im Einzelfall dem amtlichen Sachverständigen.

In Bayern kann das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) durch eine entsprechende Rechtsverordnung die erlaubnisfreien Benutzungen für einzelne Gebiete einschränken, „wenn es der Grundwasservorrat nach Menge und Güte erfordert“ (Art. 29 Abs. 2 BayWG).

Wie erläutert, bedarf jede Einwirkung auf ein Gewässer, die nicht von völlig untergeordneter Bedeutung ist, grundsätzlich einer behördlichen Zulassung und unterliegt einer behördlichen Entscheidung und Kontrolle. Sämtliche auf ein Gewässer bezogene Vorhaben sollten deshalb von den zuständigen Wasserbehörden zunächst geprüft und bewertet werden. Am Ende der behördlichen Prüfung steht die Feststellung der Erlaubnisfreiheit, die Erteilung eines wasserrechtlichen Bescheides oder die Versagung der Gewässerbenutzung. Die Erlaubnis oder Bewilligung zur Gewässerbenutzung gewähren dem Antragsteller die beantragte Nutzung – ggf. unter Beachtung von Auflagen. Welche Behörde im Bereich der bayerischen Wasserwirtschaft jeweils zuständig ist, regelt der Art. 63 BayWG. Weiterführende Regelungen finden sich in der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Wasserrechts – VVWas.

3.3.2 Naturschutz

Neben den allgemeinen Schutzvorgaben des Naturschutzrechtes sind für die vorliegende Aufgabenstellung insbesondere folgende Rechtsbereiche von Bedeutung:

Europäisches Schutzgebietssystem Natura 2000

Die größte rechtliche und praktische Wirksamkeit entfaltet aktuell das europäische Schutzgebietssystem „Natura 2000“, das sich aus EU-Vogelschutzgebieten⁵ und Fauna-Flora-Habitatgebieten (FFH-Gebieten⁶) zusammensetzt. Für die jeweiligen Schutzziele der Schutzgebiete (Pflanzen- und Tierarten, Lebensraumtypen bzw. Habitate), die in der Bayerischen Natura 2000-Verordnung vom 1. April 2016 (BayNat2000V)⁷ benannt sind, besteht ein **generelles Verschlechterungsverbot**, das sich aus § 33 und § 34 Abs. 2 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), Art. 20 Bayerisches Naturschutzgesetz (BayNatSchG) und der aktuellen Rechtsprechung ergibt. Soweit Lebensraumtypen oder Arten sich aktuell in einem schlechten Erhaltungszustand befinden und die Erhaltungsziele eine zukünftige Entwicklung beinhalten, müssen darüber hinaus auch bestehende **Entwicklungspotenziale** zur Wiederherstellung eines guten Erhaltungszustandes erhalten bleiben („Verbesserungsgebot“).

Besonderer Artenschutz

§ 44 BNatSchG enthält „Vorschriften für besonders geschützte und bestimmte andere Tier- und Pflanzenarten“. Zu den hier relevanten der besonders geschützten Arten zählen

- Tier- und Pflanzenarten, die in Anhang IV der FFH-Richtlinie (92/43/EWG) aufgeführt sind und
- alle europäischen Vogelarten (nach Artikel 1 der Vogelschutz-Richtlinie).

Die Verbotstatbestände des § 44 Abs. 1 Nr. 1-4 beziehen sich direkt auf die Lebewesen bzw. Pflanzen (z.B. fangen, verletzen, töten, erheblich stören), aber auch auf die Fortpflanzungs- und Ruhestätten der Tiere und ihrer Populationen bzw. die Standorte der Pflanzen. Die strikten Regelungen des besonderen Artenschutzes haben Planungsverfahren wiederholt deutlich beeinflusst.

Eingriffsregelung

In § 14 BNatSchG wird auf den „mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegel“ Bezug genommen:

„(1) Eingriffe in Natur und Landschaft sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können.“

Veränderungen des Grundwasserspiegels sind demnach dann als Eingriff zu werten, wenn der Naturhaushalt oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigt werden. Die Beurteilung einer land-, forst- oder fischereiwirtschaftlichen Bodennutzung als Eingriff in Natur und Landschaft bedarf des Einvernehmens mit der jeweiligen Fachbehörde der vergleichbaren Verwaltungsstufe (Art. 11/2 Bay-NatSchG).

Gesetzlich geschützte Biotope

Nach § 30 BNatSchG bzw. Art. 23 BayNatSchG sind *„bestimmte Teile von Natur und Landschaft, die eine besondere Bedeutung als Biotope haben, [...] gesetzlich geschützt (allgemeiner Grundsatz).“* Unter diesen, ohne weitere Rechtsverordnungen oder kartografische Festlegungen gültigen **Pauschalschutz** fallen u.a. zahlreiche Feuchtbiotoptypen wie natürliche oder naturnahe Bereiche fließen-

⁵ entsprechend der Vogelschutzrichtlinie der EU (Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979)

⁶ entsprechend der „Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“ vom 21. Mai 1992, auch als „Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie“ (kurz FFH-Richtlinie) oder „Habitatrichtlinie“ bezeichnet

⁷ Weitere Konkretisierungen zu den Erhaltungszielen enthält die Bekanntmachung über die Vollzugshinweise zur gebietsbezogenen Konkretisierung der Erhaltungsziele der bayerischen Natura 2000-Gebiete vom 29. Februar 2016.

der und stehender Binnengewässer, Moore, Sümpfe, Röhrichte, Großseggenrieder, seggen- und bin-senreiche Nasswiesen, Quellbereiche oder Bruch-, Sumpf- und Auenwälder. Sie werden im Rahmen der bayerischen Biotopkartierung gezielt erfasst.

Aus den genannten Europäischen Richtlinien und den deutschen Naturschutzgesetzen ergibt sich letztlich in allen Fällen, dass eine **„erhebliche“ Beeinträchtigung** der Biotope oder Arten nicht zulässig ist. Aus der aktuellen Rechtsprechung geht gleichzeitig hervor, dass das Wort „erheblich“ hierbei nicht im umgangssprachlichen Sinne von „besonders schwerwiegend“ zu verstehen ist, sondern – und hier insbesondere beim Natura 2000-Recht und dem besonderen Artenschutz – im Sinne von „ersten nachweisbaren bzw. zu befürchtenden negativen Veränderungen“ für die Lebensräume und Arten. Durch die Einbeziehung aller europäischen Vogelarten in den besonderen Artenschutz entsteht zugleich eine nahezu flächendeckende Prüfpflicht.

3.3.3 Umweltverträglichkeitsprüfung

Das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) hat das Ziel, die erheblichen Auswirkungen auf die Schutzgüter des UVPG (§ 2), insbesondere die menschliche Gesundheit, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft und Klima zu ermitteln, beschreiben und zu bewerten. Das Gesetz dient einer wirksamen Umweltvorsorge (§ 3 UVPG).

Die zuständige Behörde stellt auf Grundlage geeigneter Angaben des Vorhabensträgers sowie eigener Informationen unverzüglich fest, ob für das Vorhaben eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-Pflicht) besteht oder nicht (§ 5 UVPG). Sofern eine sog. Vorprüfung vorgenommen worden ist, gibt die Behörde die Feststellung der Öffentlichkeit bekannt. Daneben gibt es Vorhaben, bei denen eine Vorprüfung entbehrlich ist, da bereits aufgrund der Größe- oder Leistungswerte des Vorhabens eine unbedingte UVP-Pflicht vom Gesetzgeber vorgesehen ist. Dies ist der Fall, wenn das Vorhaben in der Anlage 1 Spalte 1 des UVPG mit dem Buchstaben „X“ gekennzeichnet ist.

Bei Vorhaben, die in der Anlage 1 Spalte 2 des UVPG mit dem Buchstaben „A“ gekennzeichnet sind, führt die zuständige Behörde hingegen eine allgemeine Vorprüfung durch (§ 7 UVPG). Hierbei besteht eine UVP-Pflicht, wenn das Vorhaben nach Einschätzung der Behörde aufgrund einer summarischen Prüfung der in Anlage 3 aufgeführten Kriterien erhebliche Umweltauswirkungen haben kann (§ 7 Abs. 1 S. 3 UVPG).

Bei Vorhaben, die in der Anlage 1 Spalte 2 des UVPG mit dem Buchstaben „S“ gekennzeichnet sind, führt die zuständige Behörde eine standortbezogene Vorprüfung zur Feststellung der UVP-Pflicht durch. Hierbei prüft die Behörde in einer ersten Stufe, ob besondere örtliche Gegebenheiten gemäß den in Anlage 3 Nr. 2.3 aufgeführten Schutzkriterien (Natur- und Wasserschutzgebiete etc.) vorliegen. Ergibt diese Prüfung, dass keine besonderen örtlichen Gegebenheiten vorliegen, so besteht keine UVP-Pflicht. Ergibt die Prüfung hingegen, dass besondere örtliche Gegebenheiten vorliegen, so prüft die Behörde in einer zweiten Stufe unter Berücksichtigung der in Anlage 3 aufgeführten Kriterien, ob das Vorhaben erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann, die die besondere Empfindlichkeit oder die Schutzziele des Gebiets betreffen (§ 7 Abs. 2 UVPG).

Für Änderungsvorhaben bestehen daneben Sonderregelungen gemäß § 9 UVPG.

Steht danach die UVP-Pflicht des Vorhabens fest, muss der Vorhabensträger der zuständigen Behörde einen Bericht zu den voraussichtlichen Umweltauswirkungen des Vorhabens vorlegen (UVP-Bericht, § 16 UVPG).

Für wasserwirtschaftliche Vorhaben ist Ziffer 13 der Anlage 1 des UVPG anzuwenden. Im Zusammenhang mit dem Niedrigwassermanagement sind hierbei insbesondere die Ziffern 13.3 und 13.5 von Bedeutung:

Nr.	Vorhaben	Spalte 1	Spalte 2
13.3	<i>Entnehmen, Zutagefördern oder Zutageleiten von Grundwasser oder Einleiten von Oberflächenwasser zum Zwecke der Grundwasseranreicherung, jeweils mit einem jährlichen Volumen an Wasser von</i>		
13.3.1	<i>10 Mio. m³ oder mehr,</i>	X	
13.3.2	<i>100 000 m³ bis weniger als 10 Mio. m³,</i>		A
13.3.3	<i>5 000 m³ bis weniger als 100 000 m³, wenn durch die Gewässerbenutzung erhebliche nachteilige Auswirkungen auf das grundwasserabhängige Ökosystem zu erwarten sind;</i>		S
13.5	<i>Wasserwirtschaftliches Projekt in der Landwirtschaft [...], einschließlich Bodenbe- oder -entwässerung, mit einem jährlichen Volumen an Wasser von</i>		
13.5.1	<i>100 000 m³ oder mehr,</i>		A
13.5.2	<i>5 000 m³ bis weniger als 100 000 m³, wenn durch die Gewässerbenutzung erhebliche nachteilige Auswirkungen auf grundwasserabhängige Ökosysteme zu erwarten sind</i>		S

Demnach besteht bei entsprechenden wasserwirtschaftlichen Projekten in der Landwirtschaft keine unbedingte UVP-Pflicht (kein „X“ in Spalte 1 bei 13.5). Allerdings ist bereits ab einer jährlichen Gewinnungsmenge von 5.000 m³ eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls erforderlich (s.o.). Ab einem jährlichen Volumen von 100.000 m³ ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls erforderlich (s.o.).

Das 2017 überarbeitete UVPG berücksichtigt verstärkt die kumulierende Wirkung zwischen mehreren Vorhaben (z.B. Grundwasserabsenkungen durch benachbarte Brunnen). Kumulierende Vorhaben sind mehrere Vorhaben derselben Art, die von einem oder mehreren Vorhabensträgern durchgeführt werden und in einem engen Zusammenhang stehen (§ 10 Abs. 4 UVPG). Dabei sind nicht nur laufende Verfahren zu berücksichtigen (z.B. gleichzeitig laufende, benachbarte Wasserrechtsverfahren), sondern u.U. auch bereits abgeschlossene Verfahren (§ 11 UVPG). In den §§ 10-12 ist geregelt, unter welchen Bedingungen eine UVP-Pflicht inkl. Beteiligung der Öffentlichkeit bei kumulierenden Verfahren besteht. Hierbei kann z.B. der Fall eintreten, dass die Fördermengen bestehender und neu beantragter Wasserentnahmen als Summe betrachtet werden und erst hieraus z.B. die Notwendigkeit einer allgemeinen Vorprüfung entsteht. Im Ergebnis bedeutet dies, dass bei Anträgen zur Bewässerung (inkl. Änderungsanträgen), die in verdichteten Bewässerungsgebieten liegen, oftmals zumindest eine Vorprüfung erforderlich ist.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist ein unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die Zulassungsentscheidungen dienen (§ 4 UVPG). Die UVP ist also Verfahrensbestandteil und ein der behördlichen Entscheidung vorgeschalteter Zwischenschritt. Die UVP dient der Ermittlung, Beschreibung und Bewertung des entscheidungserheblichen Sachverhalts. Eine nicht oder unsachgemäß durchgeführte UVP kann zur Rechtswidrigkeit einer behördlichen Entscheidung (z.B. Planfeststellungsbeschluss, Wasserrechtsbescheid) führen.

Das Ergebnis der Vorprüfung ist der Öffentlichkeit bekanntzumachen (§ 5 Abs. 2 UVPG). Bei einer UVP ist die Öffentlichkeit gezielt zu beteiligen (§ 18 UVPG) und über die Ergebnisse der Prüfung zu unterrichten (§ 19 UVPG).

3.4 Ableitung des nutzbaren Dargebotes

Das Niedrigwassermanagement soll nutzungsbedingte Beeinträchtigungen diverser ökologischer oder rechtlicher Schutzgüter verhindern. Es steht damit in einem engen Zusammenhang mit dem wasserwirtschaftlichen Begriff des „nutzbaren Dargebotes“. Nach DIN 4049-3 ist er wie folgt definiert:

Nutzbare Dargebot: Teil des gewinnbaren Dargebotes, der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann.

Hinter der etwas allgemein und abstrakt formulierten Definition verbergen sich mehrere relevante Einschränkungen des vollständigen Grundwasserdargebotes, dass laut DIN 4049-3 alle „positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt darstellt“ (z.B. Grundwasserneubildung, Züsickerung aus oberirdischen Gewässern).

Die erste Einschränkung ergibt sich mit dem „gewinnbaren Dargebot“, dass die Grundwassermenge umfasst, die mit technischen Mitteln entnehmbar ist. Ja nach Hydrogeologie des Grundwasserleiters lassen sich, mit einem vertretbaren technischen Aufwand, wechselnde Anteile des gesamten Dargebotes gewinnen – größere Anteile in Porengrundwasserleitern, geringere in Karst- und Kluftgrundwasserleitern.

Das nutzbare Dargebot liegt i.d.R. noch deutlich unter dem gewinnbaren Dargebot, da verschiedene Randbedingungen eingehalten bzw. berücksichtigt werden müssen. Zu diesen zählen z.B.:

- Hydrogeologie des Bilanzgebietes,
- wasserwirtschaftliche und ökologische Grundsätze (z.B. Vorsorge, Nachhaltigkeit, Schonung Tiefengrundwasser, Mindestwasserführung in Fließgewässern, Sicherung wasserabhängiger Ökosysteme),
- Vorrang der öffentlichen Trinkwasserversorgung vor anderen Nutzungen,
- potenzielle oder reale Nutzungskonflikte vor Ort (z.B. Schäden in Gewässern, Feuchtbiotopen und in der Land- und Forstwirtschaft, Setzungsschäden an Gebäuden, Beeinträchtigung der Wasserqualität),
- alle Richtlinien, Gesetze und Verordnungen sowie Verwaltungsvorschriften, die Einfluss auf den Umfang der wasserrechtlichen Gestattung haben können (z.B. WHG, BayWG, VWWas, BNatSchG, UVPG, Normen mit Bezug zur WRRL).

Das nutzbare Dargebot entspricht daher etwa der **maximalen Gesamtentnahmemenge für ein Bilanzgebiet, die theoretisch** unter Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher und ökologischer Grundsätze, allen rechtlichen Rahmenbedingungen und der jeweiligen **konkreten Situation vor Ort** (z.B. Hydrogeologie, Lage der Entnahmestellen, Schutzgüter) **wasserrechtlich genehmigt werden könnten** und gleichzeitig technisch gewinnbar wäre. Es liegt damit weit unterhalb der mittleren Grundwasserneubildungsrate. Insgesamt ist in Abhängigkeit von den Datengrundlagen, der Untersuchungstiefe und den sich wandelnden Vorgaben immer nur eine Annäherung an das nutzbare Dargebot möglich. Es stellt keine absolute Größe dar, sondern kann nur für die konkreten Verhältnisse vor Ort abgeleitet werden.

Für die **Höhe des nutzbaren Dargebotes** in einem Bilanzgebiet wird als Obergrenze ein **Orientierungswert von max. 30 %** der mittleren, flächenhaften Grundwasserneubildung empfohlen. Auch nach den aktuellen bayerischen Bewirtschaftungsplänen nach EU-Wasserrahmenrichtlinie ist bei einem Grundwasserkörper die Summe der Grundwasserentnahmen in der Regel dann als unkritisch anzusehen, wenn sie unter 30 % der mittleren Grundwasserneubildung liegt. Bei Werten über 30 % hat eine weitergehende Betrachtung zur konkreten Situation im jeweiligen Grundwasserkörper zu

erfolgen. Auch nach maßgebenden LAWA-Papieren (LAWA 2011, 2013) sollen bei der Zustandsbewertung die Entnahmen weniger als 30 % der Grundwasserneubildung ausmachen. Für eine überschlägige Wasserbilanz ist ein Orientierungswert von 30 % der langfristigen mittleren Grundwasserneubildung maßgebend (z.B. in einer Bewertungsmatrix zur Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands). Zusätzlich sind für eine abschließende Bewertung des mengenmäßigen Zustandes weitere Indikatoren, wie z.B. eine Trendanalyse oder eine detaillierte Wasserbilanz, zu betrachten.

Auch wenn ein Bilanzgebiet i.d.R. kleiner abgegrenzt ist als ein Grundwasserkörper und damit für eine evtl. Übernutzung des Grundwassers im Bilanzgebiet weitere Einflussfaktoren bedeutend sein können, wird diese Obergrenze als fachlicher Orientierungswert angesetzt, der mit Detailkenntnissen und weiteren Indikatoren an die jeweilige örtliche Situation angepasst werden kann. Sind bereits bei dem Orientierungswert Nutzungskonflikte abzusehen, so ist das nutzbare Dargebot entsprechend geringer anzusetzen. Lokale Entnahmeverdichtungen oder sonstige Risiken sind bei der Bewertung der Verträglichkeit zu berücksichtigen. Zu den Risiken zählen auch die langfristigen Auswirkungen des Klimawandels. Ein höherer Wert als der genannte kann möglich sein, wenn z.B. der Grundwasserleiter deutlich durch Uferfiltrat stabilisiert wird.

Niedersachsen berücksichtigt ebenfalls „Ökoabschläge“ von 70-90 % (gegenüber dem Trockenwet-terdargebot), nimmt aber die bisher über wasserrechtliche Gestattungen vergebenen Wassermengen hiervon aus (Niedersächsisches Min. für Umwelt, Energie und Klimaschutz 2015; LBEG 2014).

Abb. 8 zeigt schematisch, in welchem Verhältnis das nutzbare Dargebot zum gewinnbaren Dargebot und zum Gesamtdargebot stehen kann. Ältere, aber umfangreiche Hinweise zur Ableitung des nutzba- ren Dargebots enthält DVWK (1982).

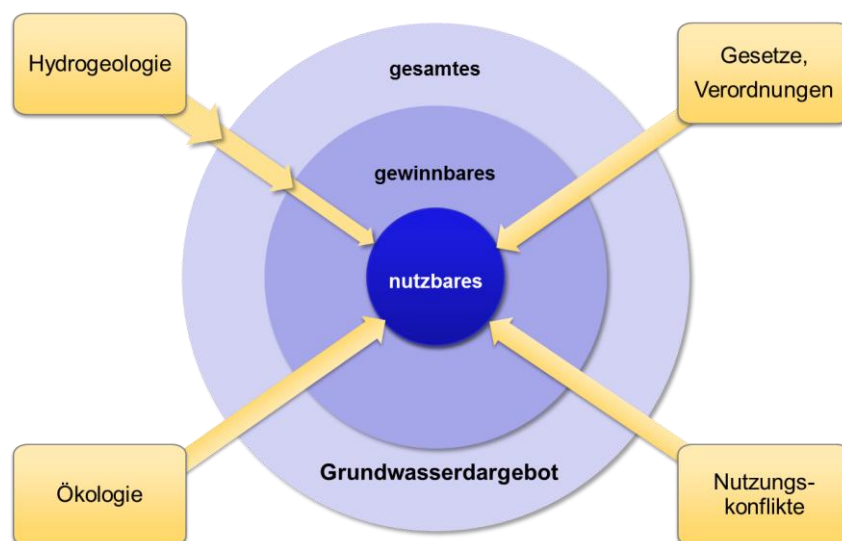


Abb. 8: Rahmenbedingungen, die das nutzbare Dargebot eines Bilanzgebietes einschränken

3.5 Hydrologische Sensitivität von Bewässerungsgebieten

3.5.1 Einfluss der Hydrogeologie

Die Sensitivität der genutzten Grundwasserleiter gegenüber Trockenphasen und Grundwasserentnahmen hängt zunächst in hohem Maße von ihren grundsätzlichen Eigenschaften ab, also ob es sich um Poren-, Kluft- oder Karstgrundwasserleiter handelt. Porengrundwasserleiter stellen bei ausreichender Mächtigkeit aufgrund ihrer hohen nutzbaren Porosität (Verhältnis von Hohlraumvolumen zu

Gesamtvolumen) von etwa 10 % bis 25 % einen großen Wasserspeicher dar. Dies gilt in besonderem Maße, wenn der so vorhandene Puffer über Fließgewässer stabilisiert wird. Kluftgrundwasserleiter weisen dagegen oftmals nur eine nutzbare Porosität von ca. 1-2 % auf. Entsprechend stärker und schneller reagieren Kluftgrundwasserleiter auf Grundwasserentnahmen.

Als ein vereinfachtes Maß für die hydrogeologische Sensitivität von Bewässerungsgebieten kann die Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Bayern herangezogen werden (Abb. 9). Der Begriff Ergiebigkeit bezieht sich hier auf die Leistungsfähigkeit von Brunnen in Liter pro Sekunde.

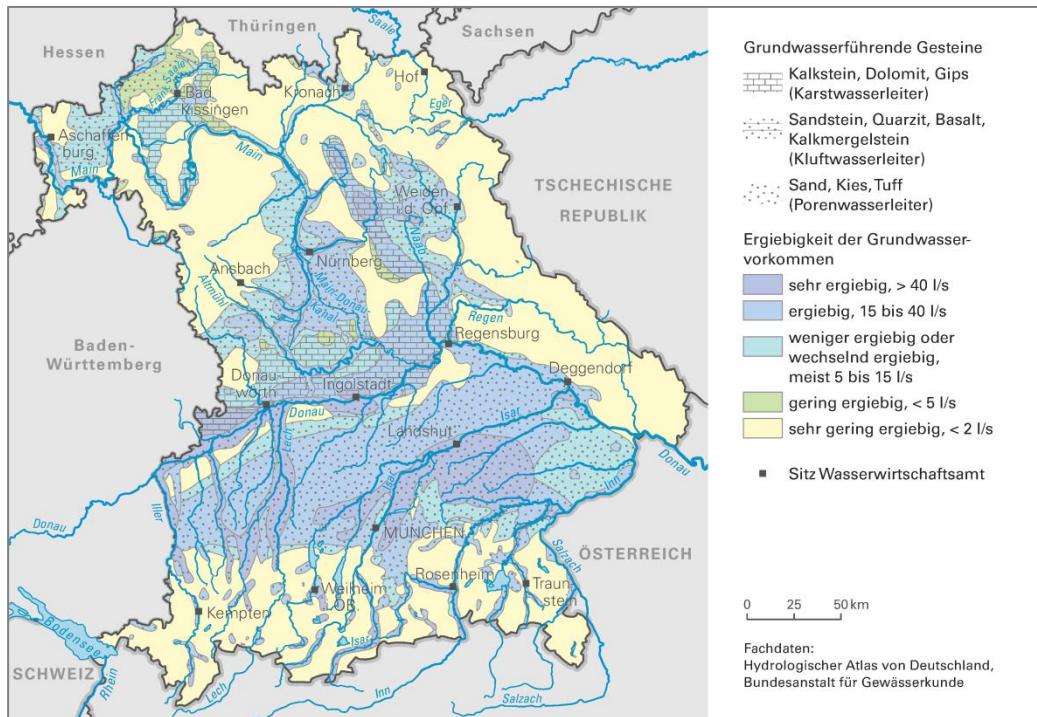


Abb. 9: Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Bayern (Quelle: LfU 2017)

3.5.2 Rückgang der Grundwasserneubildung in Trockenphasen

Aufgrund der abweichenden Hydrogeologie, Morphologie und des Klimas reagieren die verschiedenen Naturräume Bayerns unterschiedlich auf ausgeprägte Trockenphasen. Im Projekt KLIWA wurde untersucht, wie hoch der maximale Rückgang der Grundwasserneubildung in Trockenphasen gegenüber dem Mittel der Jahre 1951 bis 2010 ausgefallen ist. Dabei wurde für jeden Naturraum die Dekade zwischen 1951 und 2010 gesucht (fließend), in der der Rückgang am stärksten war (KLIWA 2017).

Während in den Alpen in der dortigen Trockendekade (2003-2012) noch annähernd 90 % der mittleren Grundwasserneubildung erreicht wurden, waren es im Bereich der fluvioglazialen Schotter nur knapp 80 %. Es zeigen sich zwei Zeiträume, in denen die meisten Naturräume die geringste Neubildung aufwiesen: 1953/55 - 1962/65 und 2003/06-2012/15.

Noch markanter sind die Unterschiede in der Neubildung bei einem Bezug auf die ausgeprägten Trockenjahre 2003, 2015 und 2018, in denen über den gesamten Naturraum teilweise nur 50 % der langjährigen Grundwasserneubildung erreicht wurde. In trockenen Teilflächen mit ungünstigen Bodenbedingungen oder hohen Evapotranspirationsraten (z.B. Wald mit Grundwasserkontakt) sind noch tiefere Werte möglich.

Auch in den klassischen Bewässerungsgebieten mit ihren eher geringen Niederschlägen und höheren Temperaturen bricht die Grundwasserneubildung in Trockenphasen noch stärker ein. Hier kann die Grundwasserneubildung in ausgeprägten Trockenjahren oder -phasen (z.B. 1971-73) auch ganz zum Erliegen kommen. Das Ausmaß, mit dem die Grundwasserneubildung in Trockenphasen zurückgeht, kann als ein Indikator für die Sensitivität von Bewässerungsgebieten herangezogen werden (Kap. 4.1.2).

Entsprechend des Rückgangs der Grundwasserneubildung reagieren auch Quellschüttungen und Fließgewässer mit Niedrigwasserabflüssen.

3.5.3 Besonderheiten landwirtschaftlicher Wasserentnahmen

Hinsichtlich der hydrologischen Wirkung, die von der landwirtschaftlichen Bewässerung ausgehen kann, sollten insbesondere drei Besonderheiten bei der Prüfung berücksichtigt werden:

1. die diskontinuierliche Förderung mit ihrer ausgeprägt instationären Wirkung,
2. das zeitliche Zusammenfallen eines extremen Spitzenbedarfs mit extremen Trockenphasen,
3. die kumulierende Wirkung, die bei zunehmender Verdichtung und steigenden Fördermengen wirksam wird.

Diskontinuierliche Förderung

Aufgrund der starken Abhängigkeit von der Witterung und den betriebsinternen Abläufen kommt es bei der landwirtschaftlichen Bewässerung zu einem häufigen Wechsel von Betriebs- und Ruhephasen. Die Wechsel treten z.B. zwischen Nacht und Tag (Arbeitsrhythmus) oder über mehrere Tage auf (Verteilung der Niederschläge, Wachstumsphasen der Kulturen). Die Brunnen wechseln dabei meist zwischen Stillstand und Maximalleistung. Drehzahlgeregelte Brunnen sind selten, u.a. weil die Beregnung mit Rohrtrommelmaschinen große Wassermengen mit hohem Druck benötigt. Diese Betriebsweise steht im Kontrast zur öffentlichen Trinkwasserversorgung, bei der eine vergleichbar konstante Förderung über das ganze Jahr erfolgt.

Abb. 10 zeigt eine Grundwasserstandsganglinie aus der unterfränkischen Gemeinde Bergtheim. Die Messstelle liegt ca. 320 m vom nächsten Bewässerungsbrunnen entfernt, sie ist im Werksandstein (Unterer Keuper) verfiltert. Der Werksandstein bildet eine nur wenige Meter mächtige Schicht innerhalb des Unteren Keupers, der meist einen gering ergiebigen Kluftgrundwasserleiter darstellt. Deutlich erkennbar sind die Druckentlastungen des gespannten Grundwasserleiters, die innerhalb kürzester Zeit Werte von 15 m erreichen können. In den Trockenjahren 2015 und 2018 waren die Brunnen im Sommer über Wochen nahezu im Dauerbetrieb. Im Winter stellt sich weitgehend wieder der Ausgangsgrundwasserstand ein. Es bleibt kein großräumiger Absenktrichter zurück, wie er bei einer dauerhaften Förderung entstehen würde. In ergiebigen Grundwasserleitern, wie z.B. fluviatilen Sanden und Schottern, fallen die Schwankungen des Grundwasserspiegels aus hydraulischen Gründen deutlich geringer und kürzer aus (Abb. 11).

Die diskontinuierliche Förderung bewirkt aus hydraulischer Sicht ein ausgeprägt instationäres Verhalten der Grundwasserstände mit kurzzeitigen Schwankungen. Wie die Abbildungen zeigen, sind diese in Grundwassergeringleitern stärker ausgeprägt als z.B. in Porengrundwasserleitern.

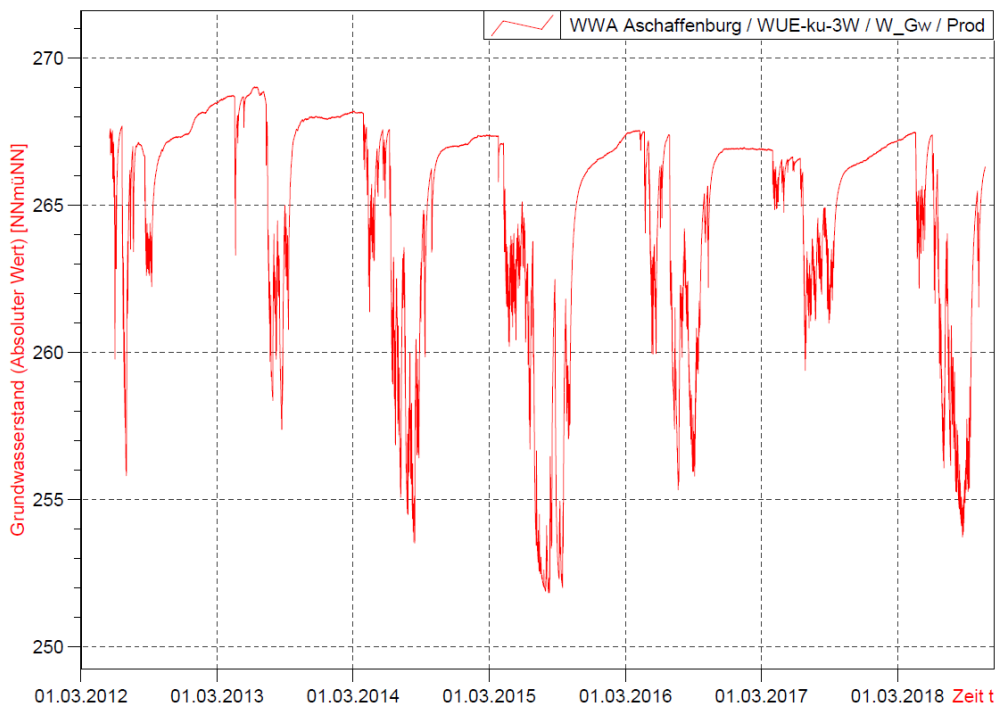


Abb. 10: Grundwasserganglinie der Sondermessstelle 3W in der unterfränkischen Gemeinde Bergtheim (Unter Keuper, Werksandstein); die plötzlichen Absenkungen beruhen allein auf der Entnahme von Bewässerungswasser; die Entfernung zum nächsten Brunnen beträgt ca. 320 m (Quelle: WWA AB)



Abb. 11: Grundwasserganglinie der Messstelle 544266 im Hessischen Ried; trotz der geringen Entfernung von ca. 50 m zum nächsten Beregnungsbrunnen eines Bewässerungsverbandes mit etwa 45 Brunnen überwiegen in dem mächtigen Porengrundwasserleiter die witterungsbedingten bzw. jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserstandes (Quelle: Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)

Zeitliches Zusammenfallen des Spitzenbedarfs mit Trocken- und Niedrigwasserphasen

Aufgrund der direkten Verbindung zwischen Witterung und Bewässerung fällt der landwirtschaftliche Spitzenwasserbedarf (Ausnahme Frostschutzberegnung) zeitlich zusammen mit heiß-trockenen Phasen – sowohl innerhalb des Jahres als auch über lange Zeiträume hinweg. Diese Eigenschaft der landwirtschaftlichen Bewässerung ist von besonderer Bedeutung für das Niedrigwassermanagement.

Abb. 12 zeigt die innerjährliche Verteilung der Bewässerungsmengen für den Wasserverband Knoblauchsland im Städtedreieck Nürnberg-Fürth-Erlangen (Gesamtfläche ca. 2.100 ha, ca. 880 ha bewässert). Vorwiegend wird Gemüse angebaut. Die höchsten Mengen werden von Mai bis August erreicht. Es gibt aber auch große Abweichungen zwischen den Jahren. Im insgesamt feuchten Jahr 2007 wurden z.B. die höchsten Mengen im April gefördert.

Beim Wasserverband Knoblauchsland mit seinem Feldgemüsebau entfallen im Mittel der Jahre 2005-2017 etwa 45 % des Jahresbedarfs alleine auf die Monate Juni und Juli, mit dem August sind es über 60 % (Abb. 13). Dieser hohe Sommerbedarf ist z.B. bei der Dimensionierung von Speicherbecken zu beachten, wenn diese der Niedrigwasservorsorge dienen sollen.

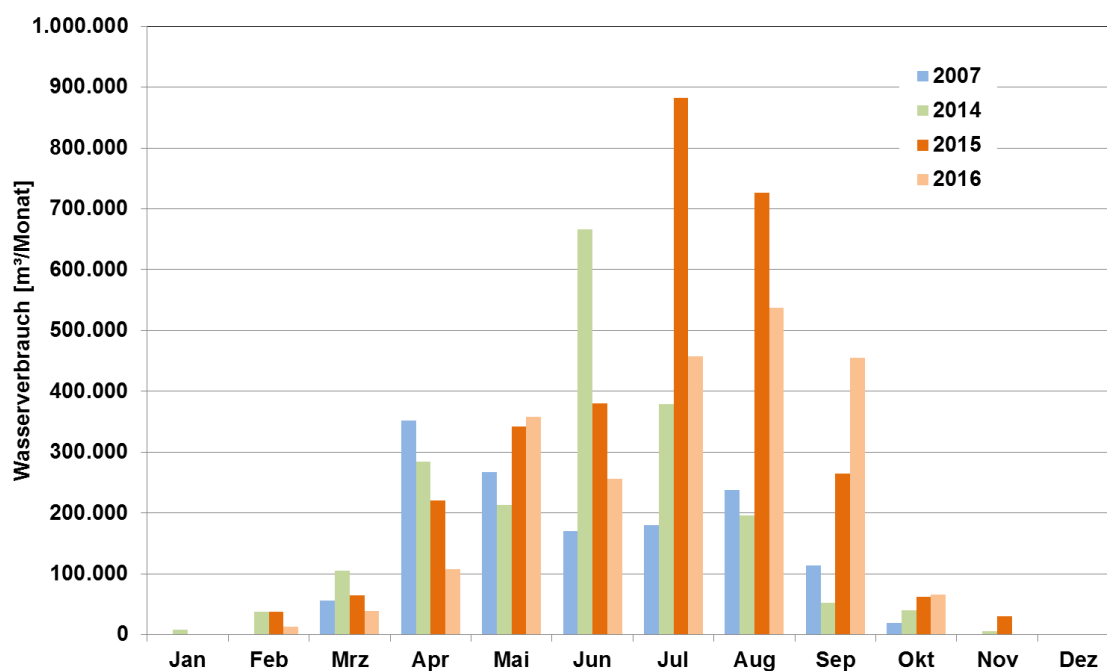


Abb. 12: Monatliche Beregnungsmengen aus dem zentral mit Wasser versorgten Beregnungsgebiet des Wasserverbandes Knoblauchsland für Jahre mit sehr geringem (2007), mittlerem (2014), leicht erhöhtem (2016) sowie mit sehr hohem Bedarf im ausgeprägten Trockenjahr 2015 (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

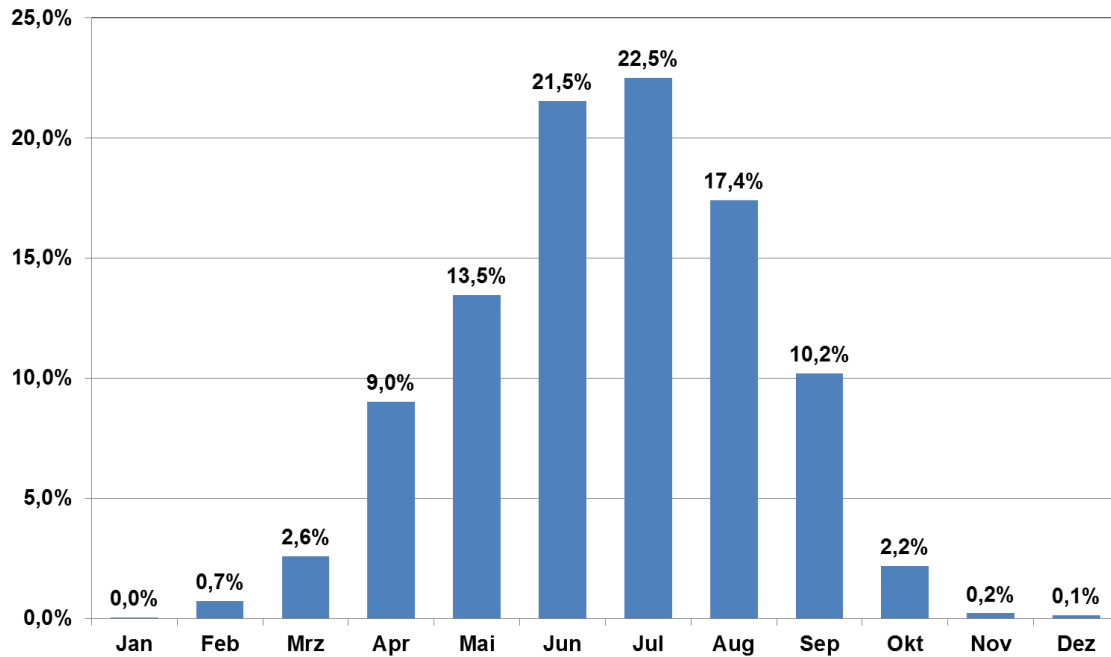


Abb. 13: Mittlerer Anteil der Monatsmengen am Gesamtjahresbedarf für den Zeitraum 2005-2017 beim Wasserverband Knoblachland (Quelle: Wasserverband Knoblachland)

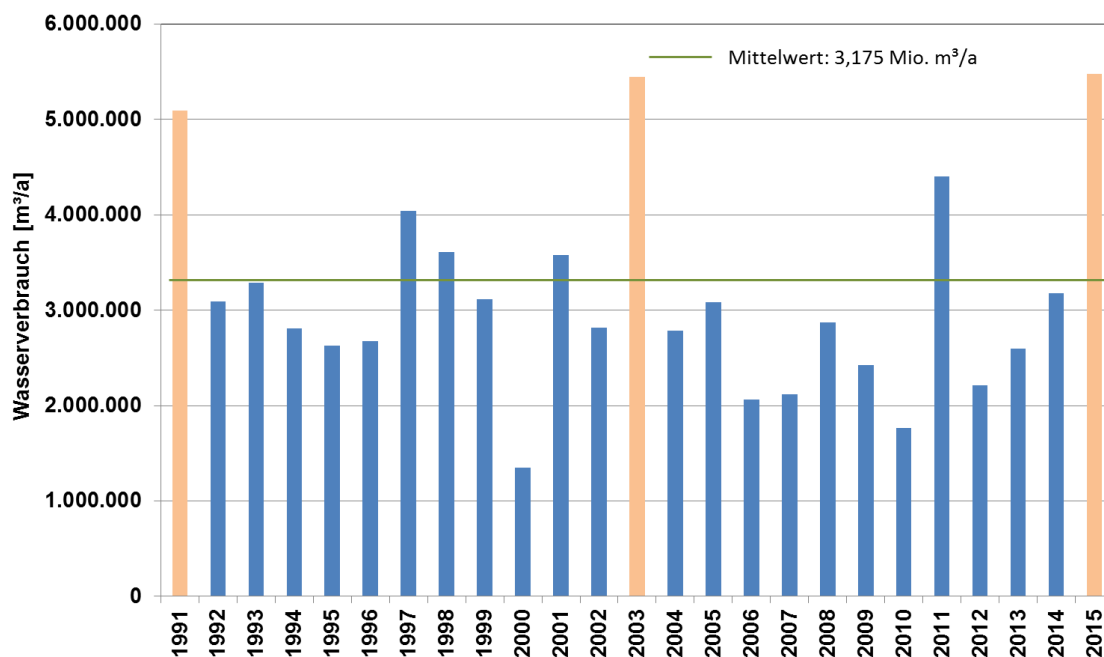


Abb. 14: Jährliche Bewässerungsmengen im Beregnungsgebiet „mittleres Hessisches Ried“ (Gesamtfläche 5.400 ha, nur Teile davon bewässert) mit den farblich hervorgehobenen, ausgeprägten Trockenjahren 1991, 2003 und 2015, Fördermenge abhängig von Witterung und bewässerter Fläche (Quelle: Wasserverband Hessisches Ried)

In extremen Trockenjahren kann der Wasserbedarf gegenüber dem Mittel um über 100 % ansteigen, sich also verdoppeln. Dieser Bedarfsanstieg ergibt sich aus dem höheren Zusatzwasserbedarf der Kulturen (Anhang A), im Trockenjahr oftmals aber auch aus einer Zunahme der bewässerten Flächen. Aus Abb. 14 geht hervor, dass markante Bedarfssteigerungen nicht nur in einzelnen Betrieben oder Kulturen auftreten, sondern dass selbst über große Beregnungsgebiete wie das mittlere Hessische Ried (Gesamtfläche 5.400 ha) Steigerungen von 70 % gegenüber dem langjährigen Mittel zu erwarten sind. Voraussetzung für solch einen Verbrauchsanstieg ist die Verfügbarkeit ausreichender Wassermengen.

Der **Tagesspitzenbedarf** ist zunächst bei der technischen Dimensionierung von Bewässerungsanlagen zu berücksichtigen. Extremwerte können dabei sowohl an heißen Sommertagen als auch bei der Frostschutzberegnung auftreten (z.B. Erdbeer-, Obstblüte). Aus Sicht des Niedrigwassermanagements kann die Höhe des Tagesspitzenbedarfs dann eine Bedeutung erlangen, wenn es sich um Wasserentnahmen aus **Fließgewässern** handelt, insbesondere bei direkten Entnahmen, abgeschwächt bei Uferfiltrat. Der Tagesspitzenbedarf liegt z.B. um den Faktor 10 über dem des mittleren Tagesbedarfs (auf Basis der Jahresmenge und 365 Tagen). Bei großen Verbänden oder Bewässerungsgebieten sind z.B. Spitzenwerte von 0,5-2,0 m³/Sekunde möglich. In der Summe aller Bewässerungsentnahmen können solche Mengen selbst bei größeren Fließgewässern für das Niedrigwassermanagement von Bedeutung sein. Wie die Trockenjahre 2015 und 2018 mit ihren langen Phasen geringer Pegelstände gezeigt haben, steigt die Gefahr von Nutzungskonflikten auch bei den Fließgewässern mit dem Klimawandel deutlich an. Für Fließgewässer, die aktuell oder zukünftig stärker für die landwirtschaftliche Bewässerung genutzt werden, sind entsprechende Mengenbilanzierungen und Steuerungsinstrumente zu entwickeln.

Das Zusammenfallen maximaler Fördermengen mit Trockenphasen bedeutet nicht zwingend, dass zeitgleich auch Grundwassertiefstände, minimale Quellschüttungen oder geringe Abflüsse auftreten. Je nach örtlicher Hydrogeologie können diese verzögert bzw. zu einem späteren Zeitpunkt im Herbst oder im Folgejahr auftreten. Meist sind aber bereits in den sommerlichen, trocken-heißen Phasen mit ihren Bedarfsspitzen Auswirkungen der Witterung und der Grundwasserentnahmen auf das Grundwasserniveau und die Fließgewässer zu beobachten.

Kumulierende Wirkung

Bewässerungsgebiete entstehen nicht von heute auf morgen, sie entwickeln sich über längere Zeiträume. In der wasserwirtschaftlichen Praxis bedeutet dies, dass in loser Folge getrennte Einzelanträge für neue Brunnen oder Erhöhungen des Umfangs bestehender wasserrechtlicher Gestattungen zu prüfen sind, eine Gesamtschau aber nur schwer möglich ist. Bei zunehmender Verdichtung kommt es jedoch zu einer gegenseitigen Beeinflussung der Brunnen (Kap. 3.6), die sich „schleichend“ und weitgehend unbemerkt über Jahre aufbauen kann. Diese ist im Wasserrechtsverfahren mit zu bewerten.

Aus rechtlicher Sicht (vgl. Kap. 3.3) ergeben sich entsprechende Anforderungen zur Prüfung kumulierender Wirkungen z.B. aus dem Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) und dem Verschlechterungsverbot bei Natura 2000-Gebieten (Berücksichtigung der Vorbelastung). Dies bedeutet, dass Einzelanträge, die alleine keine erheblichen Beeinträchtigungen von Schutzgütern bewirken, in Verdichtungsgebieten auf ihre kumulierenden Wirkungen mit benachbarten Entnahmen zu untersuchen sind.

Diese gemeinsame, kumulierende Wirkung der Grundwasserentnahmen vergrößert sich mit

- zunehmender Dichte der Brunnen,
- zunehmender Höhe der Fördermengen,
- abnehmender Grundwasserneubildung in Trockenphasen,
- geringerem Speichervermögen des Grundwasserleiters.

Bei vereinfachter Betrachtung gilt: Je weniger Wasser im Grundwasserleiter „vorhanden“ ist, desto stärker ist die absenkende Wirkung einzelner Brunnen und ihre kumulierende Wirkung.

In der Praxis ist es schwierig, kumulierende Wirkungen abzugrenzen. Grundwasserganglinien können dann Hinweise geben, wenn sie lange Zeiträume umfassen und in diesen keine starke Entwicklung bezüglich der Brunnen und ihrer Fördermengen stattgefunden hat. Solche Daten liegen oftmals nicht oder nicht über ausreichende Zeiträume vor. Belastbare Aussagen können evtl. über Vergleiche mit unbeeinflussten Referenzmessstellen (zu Verfahren zur Analyse anthropogener Einflüsse auf die Grundwasserstandsentwicklung vgl. z.B. Wriedt 2017, Grossmann und Skowronek 2005) oder auf Basis numerischer Modellrechnungen (Kap. 4.4) getroffen werden.

Kumulierende Wirkungen können vielerlei Auswirkungen haben, z.B. im Grundwasser selbst, in Feuchtbiotopen oder in Still- und Fließgewässern.

3.6 Entwicklungsphasen von Bewässerungsgebieten

Gebiete mit landwirtschaftlicher Bewässerung zeigen eine ausgeprägte Tendenz

- zur räumlichen Konzentration bewässernder Betriebe und
- zur Ausdehnung der bewässerten Fläche pro Betrieb.

Ursachen hierfür sind z.B. die lokale Verbreitung leichter Böden, günstige Klimabedingungen oder traditionelle Vermarktungswege. Es spielen aber auch „weiche“ Faktoren wie Vorbilder, Konkurrenz oder Wissenstransfer eine Rolle. In den 2000er und 2010er Jahren haben die vermehrte Nachfrage nach regionalen Produkten und die bessere Ertragslage der Bewässerungsbetriebe dieser Entwicklung eine zusätzliche Dynamik verliehen.

Mit zunehmender Verdichtung steigt die Gefahr von **Agglomerationsproblemen**. Vergleichbar mit urbanen Agglomerationen trägt die Verdichtung der Bewässerung maßgeblich zu Konflikten bei und erschwert gleichzeitig deren Lösung. Ohne die Konzentration der Bewässerungsbetriebe wären die Probleme wesentlich kleiner und besser lösbar. Ein übermäßiges Absinken des Grundwasserspiegels inklusive Folgeschäden in ausgeprägten Trockenphasen kann eine direkte Wirkung der Verdichtung sein. Ein weiteres Thema bei einer Ausweitung des Sonderkulturanbaus in der Fläche kann der qualitative Grundwasserschutz sein (Kap. 3.2.6).

Im Rahmen des Niedrigwassermanagements können modellhaft vier verschiedene **Entwicklungsphasen mit zunehmender Verdichtung** der landwirtschaftlichen Wasserentnahmen unterschieden werden:

- Einzelbrunnenphase,
- initiale Verdichtungsphase,
- fortgeschrittene Verdichtungsphase,
- Konfliktphase.

Diesen Phasen lassen sich – hier nur exemplarisch – verschiedene hydrologische Wirkungen und Risiken zuordnen (Tab. 8).

Tab. 8: Phasenmodell der räumlichen Verdichtung landwirtschaftlicher Bewässerungsbrunnen

Phase (Nr.)	I	II	III	IV
Phase (Name)	Einzelbrunnenphase	initiale Verdichtungsphase	fortgeschrittene Verdichtungsphase	Konfliktphase
Anzahl und Lage der Brunnen	einzelne, zerstreut	steigend, erste lose Gruppen	hoch, verdichtete Gruppen	sehr hoch, (st.) verdichtete Gruppen
Hydrologische Wirkung	nur Einflussbereich der einzelnen Brunnen	kleinräumig gegenseitige Beeinflussung der Brunnen	wiederholt Bereiche gegenseitiger Brunnenbeeinflussung	großräumige Absenkung des Grundwassers
Alle Grundwasserentnahmen im Verhältnis zur GW-Neubildung	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Risiko von Nutzungskonflikten				

In der Praxis müssen Bewässerungsgebiete nicht unbedingt einer einzigen dieser Phasen entsprechen, Teilgebiete können sich in unterschiedlichen Entwicklungsphasen befinden.

Tab. 8 macht deutlich, dass

- zur Vermeidung von Nutzungskonflikten eine frühzeitige Steuerung und bei Bedarf auch Begrenzung der Wasserentnahmen notwendig ist,
- bei beginnender Verdichtung auch die kumulativen Wirkungen berücksichtigt werden müssen,
- die Daten zur Bewertung von Wasserrechtsanträgen zunehmend genauer werden müssen,
- die Intensität des Monitorings den Verdichtungsphasen und Risiken entsprechen sollte.

3.7 Auswirkungen des Klimawandels

Der Klimawandel stellt aufgrund seines Einflusses auf Wasser- und Landwirtschaft einen Hauptfaktor für die Notwendigkeit eines Niedrigwassermanagements dar. Daher werden nachfolgend die bisherigen und die zukünftigen Auswirkungen der Klimaerwärmung auf wichtige klimatische und wasserwirtschaftliche Parameter in Bayern beschrieben sowie daraus resultierende Konsequenzen für die landwirtschaftliche Bewässerung und das Niedrigwassermanagement erörtert.

Bundesweit sind bisher folgende Veränderungen sichtbar (Deutsches Klimakonsortium 2017):

- Anstieg der mittleren Lufttemperatur um 1,4 °C seit dem Jahr 1881,
- Anstieg der Anzahl heißer Tage (Tagesmaximum ≥ 30 °C) seit den 1950er-Jahren im Mittel von drei auf neun Tage,
- Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen sind angestiegen,
- die Tagesanzahl für Großwetterlagen mit hohem Hochwassergefahrenpotenzial hat sich in Deutschland um den Faktor zwei bis drei gegenüber Anfang des letzten Jahrhunderts erhöht,
- der Meeresspiegel an deutschen Küsten steigt jährlich um 1,6-1,8 mm mit einem Gesamtzuwachs von 10-20 cm in den letzten 100 Jahren.

3.7.1 Bisherige Veränderung klimatischer und wasserwirtschaftlicher Parameter

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen weitgehend auf den Ergebnissen des Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA, www.kliwa.de). Um

die Veränderung der einzelnen Parameter zu veranschaulichen, werden als Bezugsgröße die Durchschnittswerte des Zeitraums 1951-2010 herangezogen (KLIWA 2016, 2017, LfU).

Temperatur

Die bayernweite Durchschnittstemperatur der Referenzperiode 1951-2010 beträgt 7,8 °C. In der Dekade 2001-2010 stieg sie auf 8,5 °C, wobei die stärkste Erwärmung in den Monaten April bis August beobachtet werden konnte (+1,1 °C). Der Trend zunehmender Temperaturen dauerte auch im Zeitraum 2011-2015 weiter an, die größte Erwärmung fand hier allerdings im Winterhalbjahr statt (+1,4 °C). Im Jahr 2018 wurde ein erneuter bayernweiter Rekordwert der Durchschnittstemperatur von 10,0 °C erreicht.

Fazit: Wie Abb. 15 verdeutlicht, zeigt sich seit 1988 ein statistisch signifikanter Erwärmungstrend, der in etwa gleichmäßig über die Fläche Bayerns verläuft und sich in den Jahren 2014-2018 noch einmal verstärkt hat.

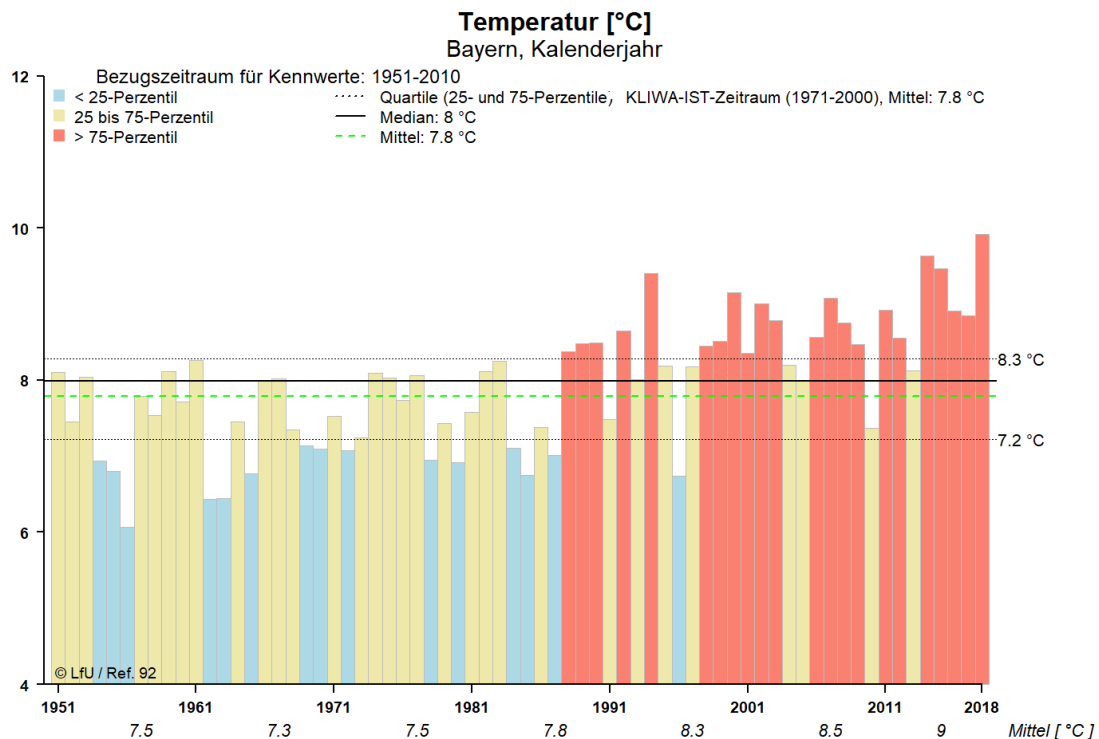


Abb. 15: Entwicklung der Jahrestemperatur in Bayern für den Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)

Niederschlag und Verdunstung

Im Zeitraum 1951-2010 fielen in Bayern durchschnittlich 939 mm Niederschlag pro Jahr. Während zwischen 2001 und 2010 aufgrund höherer Winterniederschläge (+19 mm) ein leichter Anstieg der Jahresmenge verzeichnet werden konnte, nahm in den Jahren 2011-2015, insbesondere wegen des Winterhalbjahres (-75,1 mm), der durchschnittliche Jahresniederschlag deutlich ab (Abb. 16). Auch die Jahre 2016-2018 waren durch besonders trockene Phasen gekennzeichnet, weshalb die durchschnittliche Niederschlagsmenge zwischen 2011 und 2018 bayernweit nur 861 mm betrug.

Fazit: Für die Periode 1951-2018 zeigen die Niederschlagsmengen und ihre Verteilung keine statistisch signifikanten Trends, obwohl sich tendenziell steigende Niederschlagsmengen im Winter- und sinkende im Sommerhalbjahr abzeichnen.

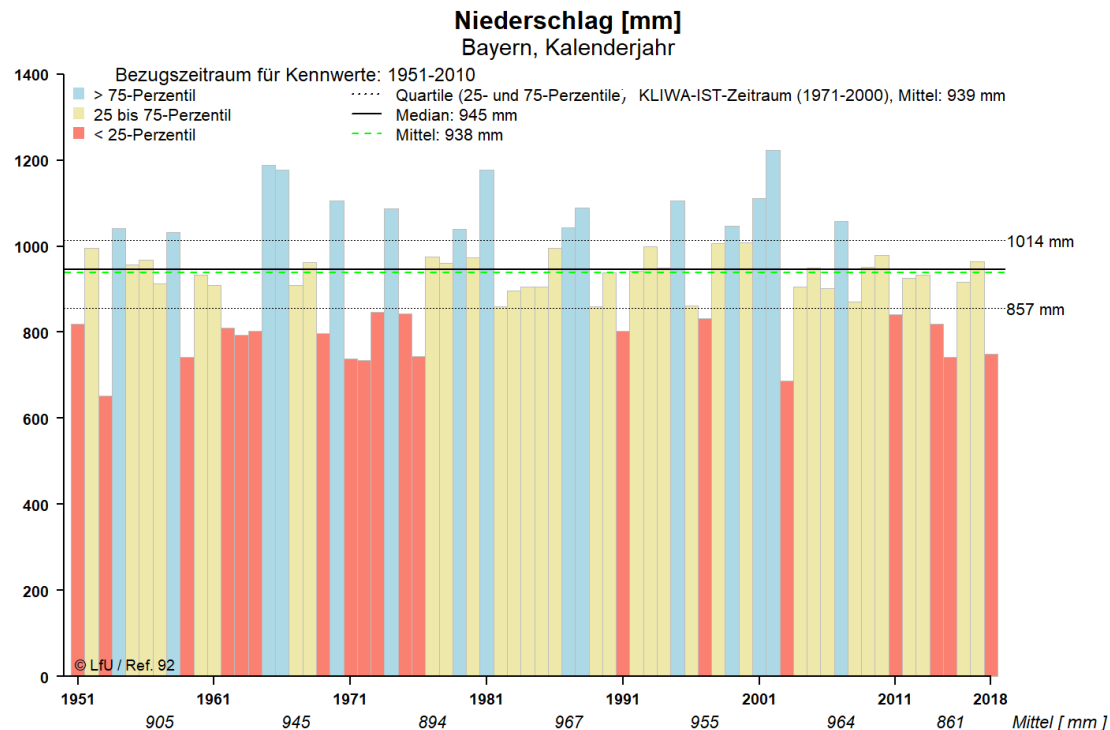


Abb. 16: Entwicklung des Jahresniederschlags in Bayern für den Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)

Die tatsächliche Verdunstung (nicht potenzielle) in Bayern liegt bei durchschnittlich 528 mm pro Jahr. Seit den 1990er Jahren führen steigende Temperaturen zu einem statistisch signifikanten Trend höherer tatsächlicher Verdunstungsmengen (z.B. +19 mm/a von 2001-2010 in Bayern). In den Jahren 2011-2015 führte die limitierte Wasserverfügbarkeit, die vor allem während der Sommermonate in den Trockenregionen nördlich der Donau auftrat, jedoch zu einer Abnahme (-7 mm).

Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Im Zeitraum 1951-2010 betrug die mittlere, flächenhafte Grundwasserneubildung in Bayern 207 mm. Trotz mehrerer Jahre mit deutlich geringeren Werten kann derzeit sowohl zeitlich als auch räumlich kein statistisch signifikanter Trend der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung festgestellt werden (vgl. nachfolgendes Kapitel). Auffallend und für die Wasserwirtschaft bedeutsam ist jedoch, dass seit 2002 kein Jahr mit einer hohen Grundwasserneubildung aufgetreten ist und die durchschnittliche Grundwasserneubildung zwischen 2011 und 2018 mit 171 mm deutlich geringer war, als im Referenzzeitraum 1951-2010 (Abb. 17).

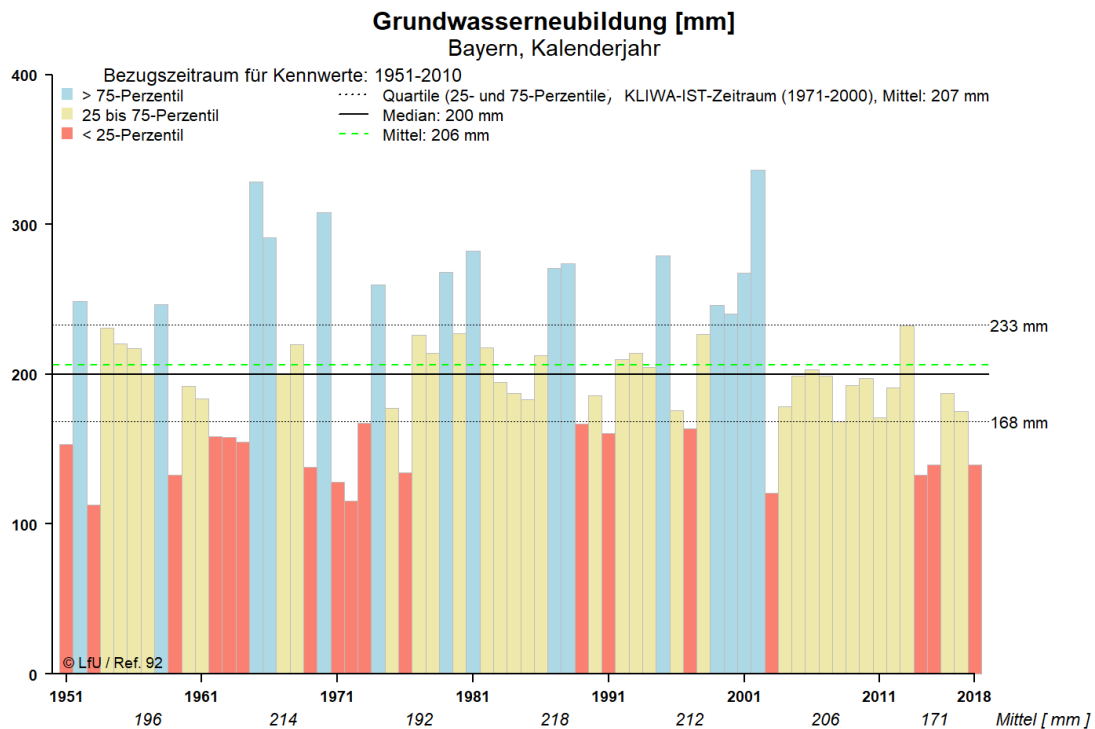


Abb. 17: Entwicklung der Grundwasserneubildung in Bayern im Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)

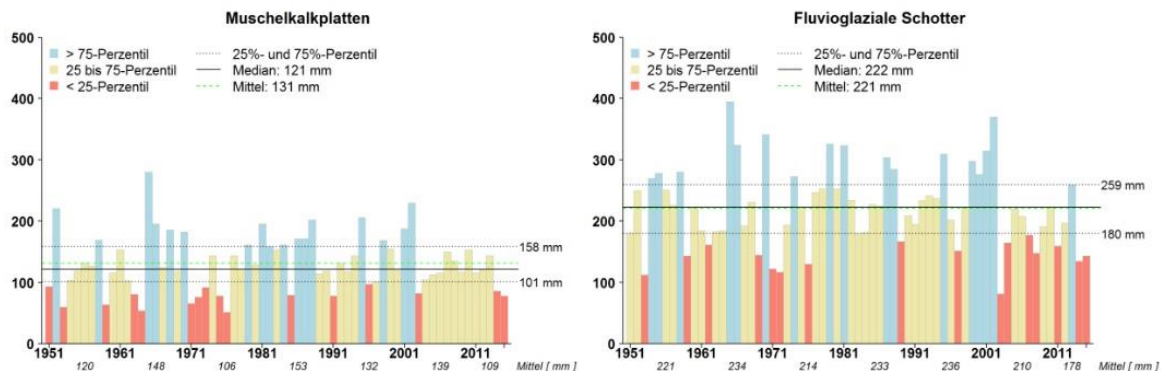


Abb. 18: Entwicklung der jährlichen Grundwasserneubildung in den geologischen Teilräumen der nordbayerischen Muschelkalkplatten und der südbayerischen Fluvioglazialen Schotter im Zeitraum 1951-2015 (Quelle: KLIWA-Monitoringbericht 2016)

Abb. 18 zeigt die Grundwasserneubildung für zwei hydrogeologisch und klimatisch differierenden Teilräume der Muschelkalkplatten im Norden und der Fluvioglazialen Schotter im Süden Bayerns. Deutlich sichtbar sind die regionalen quantitativen Unterschiede der Grundwasserneubildungsraten.

Die Auswertungen belegen eindeutig, dass der Klimawandel bereits seit ca. 30 Jahren wirksam ist. Dies gilt insbesondere für die Temperaturentwicklung. Der klimatisch bedingte Zusatzwasserbedarf landwirtschaftlicher Kulturen ist bereits heute höher als vor wenigen Jahrzehnten.

3.7.2 Zukünftige Auswirkungen des Klimawandels

Die zukünftige Veränderung der in 3.7.1 angesprochenen Klimaparameter wird mit Hilfe der regionalen Klimaprojektion WETTREG2010 dargestellt, die vom Globalmodell ECHAM5 angetrieben wird. Sie verwendet das Treibhausgas-Szenario A1B, das bezüglich der klimatischen Einflussgrößen als mittleres Szenario angesehen wird. Das wärmere und trockenere Prognosen ausgebende Klimamodell WETTREG2010 wird in diesem Leitfaden dem kühleren und feuchteren WETTREG2006 vorgezogen, da die gemessenen Temperaturen und Niederschlagsmengen der letzten Jahre sowie die in der jüngeren Vergangenheit tatsächlich verursachten Treibhausgasemissionen auf eine eher ungünstige Entwicklung des Klimas hindeuten (LfU 2012). Selbst wenn die „trockene“ Projektion WETTREG2010 die Veränderungen überzeichnen sollte, ist sie als eine vorsorgende Prognose im Sinne des Niedrigwassermanagements sinnvoll.

Temperatur steigt

Im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 (8,2 °C) wird die Durchschnittstemperatur in Bayern im Zeitraum 2021-2050 voraussichtlich um 1,1 °C auf 9,3 °C ansteigen. Dabei wird die Erwärmung in den Wintermonaten deutlicher ausfallen als im Sommer. Das Auftreten von ausgeprägten Hitzeperioden mit lange andauernder Trockenheit und extremen Temperaturen wird immer wahrscheinlicher.

Niederschlag sinkt

Gegenüber der Referenzperiode 1981-2010 (962 mm) wird sich die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in Bayern im Zeitraum 2021-2050 laut WETTREG2010 um 85 mm auf 877 mm reduzieren. Insbesondere in den Sommermonaten werden geringere Regenmengen erwartet.

Tatsächliche Verdunstung steigt

Verglichen mit der Periode 1981-2010 (539 mm) wird die tatsächliche Verdunstung im Zeitraum 2021-2050 in Bayern mutmaßlich um 20 mm auf 559 mm/a zunehmen. Steigende Verdunstungsraten im Winter aufgrund der Erwärmung werden einer geringeren Verdunstung im Sommer, die vor allem die Folge einer reduzierten Wasserverfügbarkeit im Norden Bayerns ist, gegenüberstehen (vgl. KLIWA-Hefte 12 und 21).

Grundwasserneubildung aus Niederschlag sinkt

Gegenüber dem Referenzzeitraum 1981-2010 (212 mm) wird sich laut der „trockenen“ Klimaprojektion WETTREG2010 die Grundwasserneubildung im Zeitraum 2021-2050 um drastische 53 mm auf 159 mm/a reduzieren, wobei der absolute Rückgang in Südbayern deutlich stärker ausfallen wird als in Nordbayern (Abb. 19). Andere Projektionen kommen zu geringeren Abnahmen oder stabilen Verhältnissen. Dennoch muss vorsorglich davon ausgegangen werden, dass sinkende sommerliche Gesamtabfluss- und Grundwasserneubildungshöhen sowie daraus resultierende, sich verlängernde Niedrigwasserperioden in Zukunft deutlich verstärkt auftreten werden (LfU 2016).

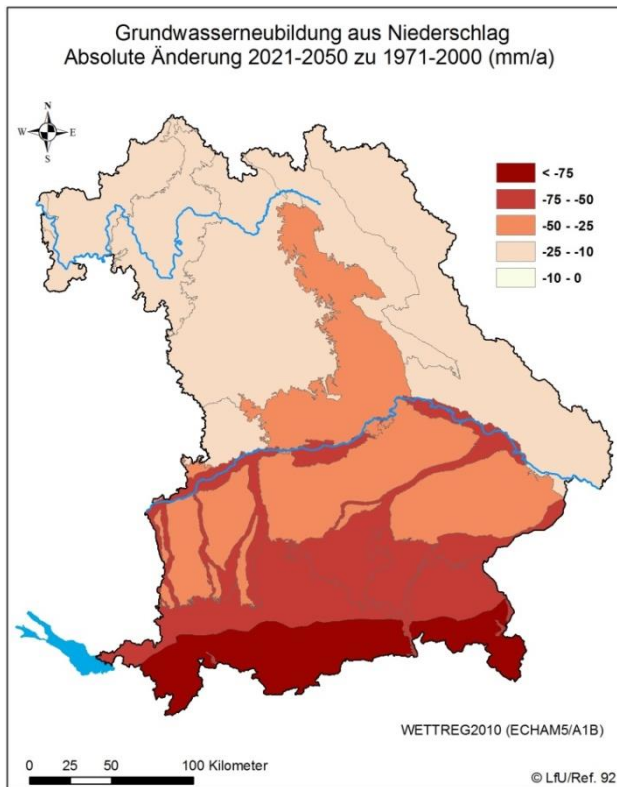


Abb. 19: Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 nach Klimaprojektion WETTREG2010 (Quelle: LfU/Ref. 92)

Trockenheitsindex steigt

Im Vergleich zur Periode 1981-2010 (49 Tage) wird sich der Trockenheitsindex (Anzahl der Tage mit einer Füllung des Bodenwasserspeichers < 30 % der nutzbaren Feldkapazität) in Bayern für den Zeitraum 2021-2050 voraussichtlich um 17 Tage auf 66 Tage erhöhen. Das könnte vor allem im Sommerhalbjahr zu verstärktem Trockenstress und Wassermangel der Vegetation führen, woraus sich unter anderem auch ein erheblich größerer Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft ergeben würde.

Beispiele für klimabedingte wasserwirtschaftliche Veränderungen, die auch für die landwirtschaftliche Bewässerung von Bedeutung sein können, sind z.B.:

- Zunahme der Schwankungsamplitude im Grundwasser und in Oberflächengewässern,
- vermehrtes Auftreten sommerlicher Niedrigwasserstände,
- höherer Anteil von geklärtem Abwasser in Fließgewässern während Niedrigwasserphasen,
- höhere Wassertemperaturen in Fließgewässern,
- steigendes Risiko bakteriologischer Belastungen in Oberflächengewässern und im Uferfiltrat.
- vermehrtes Trockenfallen kleiner Fließgewässer.

Weitere Auswirkungen des Niedrigwassers auf Grund- und Oberflächengewässer sowie die verschiedenen Nutzungen werden im Bericht „Niedrigwasser in Bayern“ beschrieben (LfU 2016).

Für das Niedrigwassermanagement und die Wassernutzer zeichnet sich mittel- bis langfristig bei allen hydrologischen Parametern eine zunehmende Verschlechterung ab.

3.7.3 Konsequenzen für die landwirtschaftliche Bewässerung

Sowohl die Wasser- als auch die Landwirtschaft werden Wege finden müssen, sich an die beschriebenen Klimaveränderungen anzupassen. Folgendes Flussdiagramm veranschaulicht exemplarisch mögliche negative Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Wasserdargebot und Landwirtschaft. Vor allem der Aspekt, dass zukünftig ein erhöhter Bewässerungsbedarf einem sinkenden nutzbaren Wasserdargebot gegenüberstehen wird, zeigt die Notwendigkeit eines nachhaltigen Niedrigwassermanagements.

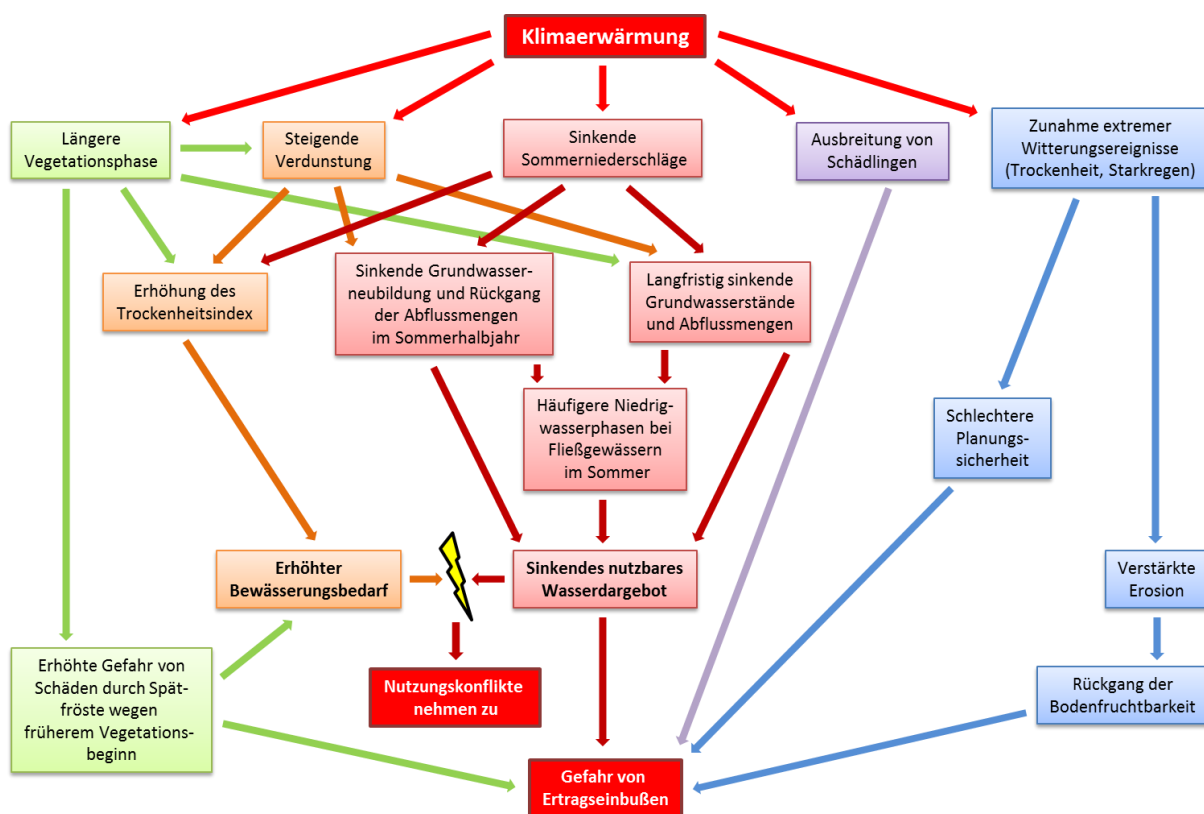


Abb. 20: Flussdiagramm über negative Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserdargebot und Landwirtschaft

Alle Prognosen gehen davon aus, dass sich die bisherigen Veränderungen zukünftig deutlich verstärken werden. Die zeitliche Nähe der Extremjahre 2015, 2018 und 2019 weist ebenfalls in diese Richtung. Deshalb muss u.a. von folgenden Punkten ausgegangen werden:

- Der mittlere Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft wird sich langfristig deutlich erhöhen.
- Der tägliche und der jährliche Spitzenbedarf in der Landwirtschaft werden in extremen Trockenphasen weiter ansteigen.
- Die Instabilität der Witterung wird sich verstärken (z.B. Wechsel von Nass- und Trockenphasen, anhaltende Hitzeperioden, Extremniederschläge).
- Die Gewässerökologie von Flüssen und Bächen kann sich verschlechtern, wodurch die Nutzung dieser Gewässer künftig ggf. eingeschränkt werden muss.

Hieraus ergeben sich u.a. Konsequenzen bei der Wassergewinnung und -verteilung, der Abdeckung des Spitzenbedarfs (Dargebot, Zwischenspeicher, Bewässerungstechnik), der Wahl der Kulturen und Sorten, der Bodenbearbeitung und beim Nährstoffhaushalt (Dirksmeyer und Sourell 2009). Ein Kernpunkt muss aus wasserwirtschaftlicher Sicht die konsequente Ausnutzung aller Möglichkeiten der Wassereinsparung sein (Kap. 3.2.4).

Anstieg des Wasserbedarfs der Kulturen

Untersuchungen für die Anbauggebiete „Hessisches Ried“ und „Vorderpfalz“ zeigen, dass von einem Anstieg des Zusatzwasserbedarfs beim Feldgemüseanbau auszugehen ist. Die Berechnungen für das Hessische Ried weisen auf eine deutliche Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz und damit auf einen höheren Beregnungsbedarf innerhalb der Vegetationsperiode hin (Schmidt und Zinkernagel 2014). Die Ressource Wasser müsse „zunehmend als limitierender Faktor betrachtet werden“. Daraus resultiere die unabdingbare Notwendigkeit einer Bewässerungssteuerung nach klimatischer Wasserbilanz, eine höhere Nutzungseffizienz sowie der umweltschonende Einsatz des Produktionsfaktors Wasser (Schmidt et al. 2012).

Für den Landkreis Uelzen, einem Zentrum der Bewässerung im nordöstlichen Niedersachsen, wird ein Anstieg des Bewässerungsbedarfs von 70-80 mm/a (1961-90) auf 90-100 mm/a im Zeitraum 2011-2040 und auf 110-120 mm/a zum Ende des Jahrhunderts erwartet (2071-2100, Klimaszenario WETTREG 2010). Dies entspricht im Landkreis Uelzen einem Bedarfsanstieg von 47 Mio. m³/a (Referenz) über 65 Mio. m³/a (2011-40) auf 82 Mio. m³/a zum Ende des Jahrhunderts. Die klimatische Wasserbilanz werde sich bis zum Zeitraum 2011-2040 um ca. 50 mm/a verschlechtern (Heidt und Müller 2012, Engel et al. 2014)

Ebenfalls deutliche Verschiebungen des Wasserbedarfs – mit sinkender oder steigender Tendenz – können sich zukünftig aus einem Wechsel der Kulturen (z.B. Rückgang des Gurkenanbaus mit hohem Wasserbedarf aufgrund steigender Personalkosten oder Wassermangel) oder der Verlängerung der Vegetationsperiode ergeben (steigender Wasserbedarf).

Ausweitung der Bewässerung auf konventionelle Ackerkulturen

Der Klimawandel wird die Anbaubedingungen für die gesamte Landwirtschaft nachhaltig verändern, nicht nur für den Sonderkulturanbau. Höhere Temperaturen und anhaltende Trockenphasen können auch bei konventionellen Ackerkulturen wie Getreide, Raps oder Mais empfindliche Ertragseinbußen bewirken. Die betriebswirtschaftlichen Gründe für die Bewässerung der Sonderkulturen – die Ertrags- und Qualitätssicherung – sind zunehmend auch bei Feldfrüchten von Bedeutung. In Bayern und anderen Bundesländern laufen bereits Planungen zur Bewässerung von Steillagen im Weinbau, einer Kultur, die in Mitteleuropa über Jahrhunderte nicht bewässert wurde.

Weltmarktpreise und Trockenphasen bzw. letztlich die (wirtschaftliche) „Bewässerungswürdigkeit“ sind Faktoren, die den Umfang bewässerter Flächen und Kulturen beeinflussen. Bei ausreichend hohen Marktpreisen kann z.B. in Trockenphasen eine Bewässerung von Getreide oder Energiemais bereits heute lohnend sein.

Die Ausdehnung der Bewässerung auf zusätzliche Kulturen und Flächen kann – bei ungesteuerter Entwicklung – einen massiven Anstieg des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs verursachen. Auch wenn aktuell keine konkreten Prognosen vorliegen: eine Vervielfachung der heutigen Bewässerungsmengen wäre innerhalb kurzer Zeiträume möglich.

3.7.4 Konsequenzen für das Niedrigwassermanagement

Bislang lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels nicht immer eindeutig quantifizieren. In die Entscheidungen ist aber einzubeziehen, dass mittel- bis langfristig

- der Wasserbedarf der Landwirtschaft wesentlich steigt,
- das nutzbare Dargebot zukünftig sinken kann,
- das Risiko von Nutzungskonflikten steigt und
- die Risiken für die Landwirtschaft größer werden (Abb. 21).

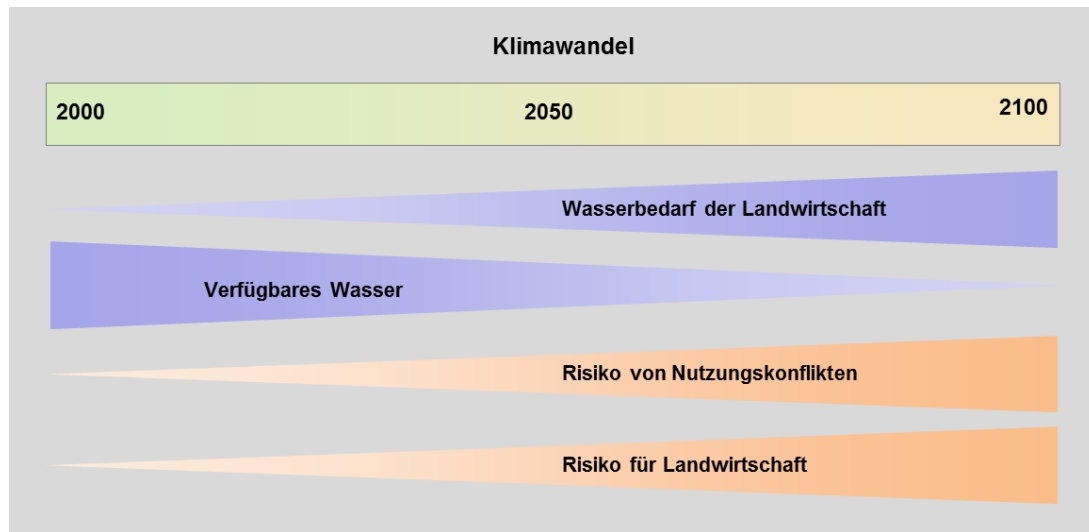


Abb. 21: Auswirkungen des Klimawandels auf das Risiko von Nutzungskonflikten

Sowohl die bereits existierenden als auch die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels müssen im Niedrigwassermanagement systematisch berücksichtigt werden, z.B. bei:

- Entwicklung des Wasserbedarfs,
- Ermittlung des nutzbaren Dargebotes,
- Risikobewertung von Bewässerungsgebieten,
- vorsorgenden Maßnahmen,
- Monitoring.

Da die Messungen und Prognosen zum Klimawandel sich fortwährend weiterentwickeln, ist eine kontinuierliche Überprüfung und Fortschreibung der gewählten Ansätze notwendig. Bezüglich des klimabedingten Anstiegs des Bewässerungsbedarfs (s.o.) kommt dem Begriff der „dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit“ (Kap. 3.2.2) eine besondere Bedeutung zu, also der Frage, wie die Ausweitung der landwirtschaftlichen Bewässerung auf konventionelle Ackerkulturen bzw. der damit verbundene schnelle Anstieg des Wasserbedarfs im Sinne des Niedrigwassermanagements auf Basis des Dargebotes nachhaltig gesteuert werden kann. Hinweise hierzu erfolgen in Kapitel 5.2.3.

4 Identifizierung und Bewertung von Risikogebieten

Wasserentnahmen sind, z.B. in der landwirtschaftlichen Bewässerung, als Einzelfall oder bei zerstreuter Lage i.d.R. unproblematisch. Erst mit zunehmender Verdichtung der Bewässerungsflächen und Entnahmen kann ihr Einfluss auf den Wasserhaushalt eine relevante Größenordnung erreichen (Kap. 3.6). Im Sinne der Vorsorge und der angestrebten Nachhaltigkeit müssen solche „Verdichtungsgebiete“ frühzeitig erkannt, bewertet und gezielt bewirtschaftet werden.

Verdichtungsgebiete mit höheren Entnahmemengen sind auch „Risikogebiete“, da

- mit steigenden Wasserentnahmen die Wahrscheinlichkeit von Nutzungskonflikten zunimmt,
- diese Konfliktfelder sich über längere Zeiträume eher unbemerkt entwickeln können und
- die Datenlage zur ihrer Bewertung derzeit oftmals noch unzureichend ist.

Der Schwerpunkt von Kapitel 4 liegt auf der Abgrenzung und Risikobewertung ganzer Bewässerungsgebiete. Zusammen mit der Risikobewertung von Einzelanträgen ergeben sich hieraus wichtige Rahmenbedingungen für die gezielte Prüfung und Steuerung der Wasserentnahmen innerhalb der Wasserrechtsverfahren (Kap. 5).

4.1 Risikobewertung von Nutzungskonflikten in Bilanzgebieten

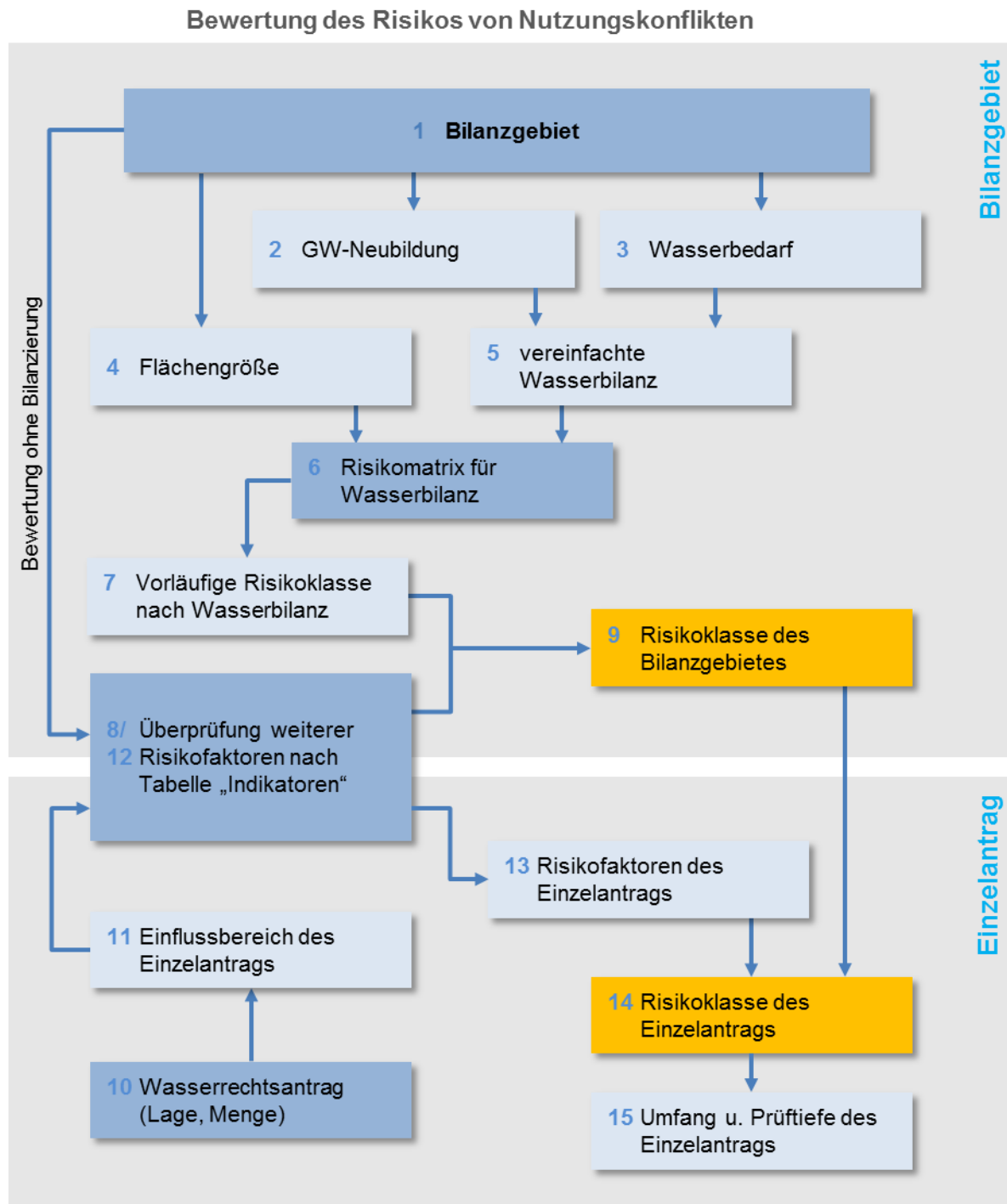
Die bisherige wasserrechtliche Verwaltungspraxis ist davon geprägt, dass die nach und nach eingehenden Anträge auf wasserrechtliche Gestattungen einzeln und getrennt voneinander bearbeitet werden. Meist handelt es sich um Anträge für Einzelbrunnen, die z.B. aufgrund einer Erweiterung der Bewässerungsflächen oder eines allgemein gestiegenen Wasserbedarfs notwendig werden. Diese isolierte Einzelfallbetrachtung kommt bei einer zunehmenden Verdichtung der Bewässerungsgebiete schnell an ihre fachlichen Grenzen, da die **kumulierenden Wirkungen** der Grundwasserentnahmen, die maßgeblich für das NW-Management sind, schnell zunehmen (Kap. 3.5.3 u. 3.6). So kann es z.B. verstärkt zu Überlappungen der Brunneneinflussbereiche oder großflächigen Druckentlastungen in gespannten Grundwasserleitern kommen. Nutzungskonflikte ergeben sich meist aus solch kumulativen Wirkungen, weniger aus Einzelentnahmen.

Für das Niedrigwassermanagement ist daher sowohl eine **räumliche Gesamtschau von zentraler Bedeutung** als auch eine **Betrachtung der einzelnen Wasserentnahme**. Die räumliche Gesamtschau gewährleistet, dass Hinweise auf drohende Nutzungskonflikte bzw. die Notwendigkeit steuern-der Eingriffe frühzeitig erkannt werden. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht handelt es sich um **Bilanzgebiete**, die möglichst nach hydrogeologischen Aspekten abgegrenzt werden. Sind für eine derartige Abgrenzung die hydrogeologischen Verhältnisse zu wenig bekannt, kann ersatzweise auch eine Abgrenzung z.B. nach Verwaltungsgrenzen (z.B. Gemeindegebiete) vorgenommen werden, innerhalb der die Wasserentnahmen liegen (s.u.). In den Bilanzgebieten wird flächig das **Risiko von Nutzungskonflikten** bewertet.

Abb. 22 zeigt schematisch den Ablauf der kombinierten Risikobewertung für das gesamte Bilanzgebiet und den wasserrechtlichen Einzelantrag. Methodische Kernpunkte für das Bilanzgebiet sind

- die Abgrenzung des Bilanzgebietes (Kap. 4.1.1),
- die Bilanzierung mit vorläufiger Risikobewertung (Kap. 4.1.2) und
- die gutachterliche Festlegung einer finalen Risikoklasse für das Bilanzgebiet (Kap. 4.1.3).

Die Risikobewertung des Einzelantrages erfolgt zunächst getrennt davon, wird aber letztlich von der Risikoklasse des Bilanzgebietes mit beeinflusst. Die Risikoklassen dienen in der Praxis vorwiegend dazu, Steuerungsmaßnahmen für die Bilanzgebiete abzuleiten. Auf der Ebene der Einzelanträge sind



Informationsband

4.1.1 Abgrenzung von Bilanzgebieten

In der Wasserbilanz wird der langjährigen, flächenhaften Grundwasserneubildung aus Niederschlag der Wasserbedarf in diesem Raum gegenübergestellt (Kap. 4.1.2). Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist daher eine **hydrogeologische Abgrenzung** des Bilanzgebietes anzustreben. Kriterien für eine derartige Abgrenzung sind z.B.:

- ein möglichst homogener Grundwasserleiter,
- keine/geringe/bekannte Zu- und Abströme an den Rändern,
- keine/geringe/bekannte Absickerung in tiefere Grundwasserleiter.

Zur Ableitung solcher Gebiete können z.B. hydrogeologische Karten (z.B. HÜK200), sofern erforderlich strukturgeologische Informationen, Ortskenntnisse (inkl. Bohrprofile) oder Grundwassergleichpläne eingesetzt werden. Weitere methodische Hinweise können auch den einschlägigen LAWA-Papieren zur WRRL entnommen werden (z.B. LAWA 2013).

Eine rein hydrogeologisch begründete Abgrenzung ist oftmals aber nicht oder nur bedingt möglich. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Mangels Daten sind eindeutige Aussagen zu den Grundwasserleitern, ihren „natürlichen“ Grenzen oder ihren Zu- und Abströmen nur schwer möglich. Zusätzlich muss das Bilanzgebiet einen Bezug zur Aufgabenstellung, d.h. der landwirtschaftlichen Bewässerung bzw. allen Grundwasserentnahmen haben. Diese können sich in Teilen eines größeren Grundwasserkörpers konzentrieren oder über hydrogeologische Grenzen hinweggehen.

Für die Praxis wird daher eine Abgrenzung empfohlen, die auf einer **Kombination verschiedener Kriterien** wie z.B. Hydrogeologie, Entnahmeschwerpunkten und Konfliktpotenzialen beruht. Da die Datengrundlagen relativ einfach verfügbar sind, können im gleichen Bilanzgebiet auch **mehrere Teilgebiete unterschiedlicher Abgrenzung oder Größe** zum Einsatz kommen, z.B. ein Gesamtgebiet mit einer hydrogeologischen Abgrenzung und Teilgebiete mit den Entnahmeschwerpunkten. Der Einsatz mehrerer oder weiter unterteilter Bilanzgebiete hat den Vorteil, dass lokale Risiken (z.B. bei hoher Brunnendichte) besser erkannt werden können, ohne dass der Blick auf größere, hydrogeologisch homogene Räume verloren geht (Tab. 9). Letztlich sollen die Bilanzen das Verständnis des hydrologischen Systems und seiner aktuellen Belastung durch Grundwasserentnahmen vertiefen.

In einigen Fällen wird eine rein hydrogeologische Abgrenzung von Bilanzgebieten nicht ausreichend sein. Hierzu gehören insbesondere Gebiete, in denen der Grundwasserhaushalt nicht primär von der flächenhaften Grundwasserneubildung, sondern von horizontalen und vertikalen Zu- oder Abströmen gesteuert wird. Beispiele hierfür sind:

- Porengrundwasserleiter in der Nähe größerer Fließgewässer,
- Grundwasserleiter mit ausgeprägten lateralen oder vertikalen Zu- oder Abströmen (z.B. Karst),
- Bewässerungsgebiete mit überwiegender Nutzung von Oberflächenwasser bzw. Uferfiltrat.

In diesen Fällen ist eine Bilanzierung auf der Basis vereinfachter Annahmen und Daten kaum möglich. Hier muss die Bilanzierung um entsprechende Bilanzglieder erweitert (Kap. 4.1.2) oder ganz darauf verzichtet werden. Als Ersatz bleibt die gutachterliche Bewertung der Risikoklasse (Kap. 4.1.3) oder – bei ausreichend großen Bewässerungsgebieten mit Nutzungskonflikten – der Weg über ein numerisches Grundwassermodell (Kap. 4.4).

In den Abgrenzungsprozess sollten alle relevanten Daten einfließen. Hierzu gehören z.B. die Lage aller Brunnen und Quellen (Trink- und Brauchwasserentnahmen) mit dem Umfang ihrer Entnahmegenehmigung bzw. Förder- oder Ableitungsmengen, Daten zur Hydrogeologie, oberirdische Einzugsgebiete, Schutzgebiete (Wasser, Naturschutz), Wasserkörper nach WRRL, Verwaltungsgrenzen, Lage

von Messstellen, etc. Der Einsatz geographischer Informationssysteme (GIS) erleichtert die Verschneidung und Darstellung verschiedener Datensätze.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Abgrenzung des Bilanzgebietes neben den Nutzungen bevorzugt nach hydrogeologischen Kriterien erfolgen sollte, weil dann die Bilanzierung mit der Grundwasserneubildung am ehesten realitätsnah vorgenommen werden kann. Nachdem häufig die dazu benötigten Daten nur unzureichend vorliegen, kann ersatzweise eine Abgrenzung insbesondere nach topografischen Kriterien (z.B. Gewässerläufe, Quellaustritte, Bruchkanten, Wasserscheiden, Feuchtfächen) vorgenommen werden. Im einfachsten Fall wäre eine Abgrenzung nach Verwaltungsgrenzen (Gemeinden, Gemarkungen) möglich, wobei dann die Ungenauigkeit bei der Bilanzierung entsprechend beachtet werden muss.

Das Ziel ist, das Risiko potenzieller Nutzungskonflikte im Bilanzgebiet zu bewerten. Hierzu müssen die allgemeine Sensitivität des Gebietes (z.B. anhand der Hydrogeologie), aber auch die – meist lokal – drohenden Nutzungskonflikte konkret beurteilt werden. Viele Indikatoren werden je nach Lage im Bilanzgebiet ein unterschiedliches Risiko zeigen.

Tab. 9: Beispiele für homogene und inhomogene Bilanzgebiete mit methodischen Konsequenzen

Indikatoren	Homogenes Bilanzgebiet	Inhomogenes Bilanzgebiet
Hydrogeologie	Porengrundwasserleiter mit geringer räumlicher Differenzierung und hohem Speichervermögen	Kluftgrundwasserleiter mit gespanntem GW im Muldenzentrum, lokal kleine und geringmächtige Porengrundwasserleiter (Fließgewässer)
Verteilung landwirtschaftlicher Entnahmen	flache Einzelbrunnen in den Beregnungsflächen mit relativ homogener Verteilung	leistungsfähige Brunnen entlang der Fließgewässer (-auen), lokal mit ausgeprägter Verdichtung, an den Rändern des hydrogeologischen Bilanzgebietes wenige oder keine Brunnen
Wasserverteilung	kurze fliegende Leitungen (Brunnen homogener verteilt)	fest verlegte Leitungssysteme zur Erschließung größerer Beregnungsflächen kombiniert mit fliegenden Leitungen (Brunnen konzentriert)
Schwankungsamplitude der GW-Stände	durch Porengrundwasserleiter gleichmäßig und eher gering im ganzen Bilanzgebiet	im Bereich der Druckentlastung starke Absenkungen von mehreren Metern während der Beregnungszeit, in den Bachauen evtl. geringer
Feuchtgebiete	aufgrund geringer Flurabstände im ganzen Gebiet möglich	aus hydrogeologischen Gründen konzentriert in den Bachauen, außerhalb keine
Nutzungskonflikte	in der Tendenz geringer ohne ausgeprägte räumliche Differenzierung	konzentrieren sich in den Bachauen (Feuchtgebiete) und entlang kleinerer Fließgewässer und Quellen (Druckentlastung)
Konsequenzen	Homogenes Bilanzgebiet	Inhomogenes Bilanzgebiet
Bilanzierung / Risikobewertung	ein gemeinsames Bilanzgebiet ausreichend	hydrogeologisches Gesamtgebiet weiter aufspalten in Teilgebiete; Teilgebiete separat bilanzieren und bewerten

4.1.2 Wasserbilanz mit Risikobewertung

Für ein vorsorgendes NW-Management müssen potenzielle Nutzungskonflikte und mögliche Schäden von Niedrigwasserständen frühzeitig erkannt werden. Mit der nachfolgenden Methodik soll der Ausnutzungsgrad der aktuellen oder beantragten Grundwassernutzung systematisch hinsichtlich damit verbundener Risiken bewertet werden.

Da belastbare Grundlagendaten wie Pumpversuche oder langjährige Ganglinien in landwirtschaftlichen Bewässerungsgebieten bislang oft fehlen, wird als einfacher Indikator eine **vereinfachte Wasserbilanz** empfohlen, die mittels einer Matrix eine vorläufige Risikobewertung erlaubt.

Die in Kapitel 4.1.3 erläuterte endgültige Festlegung der Risikoklasse erfolgt auf **gutachterlicher Basis**, da sie stark von der Hydrogeologie (Risiko z.B. geringer in mächtigen Porengrundwasserleitern) und anderen örtlichen Verhältnissen abhängig ist. Hinweise zur Bewertung können einer **Tabelle mit Risikoindikatoren** entnommen werden.

Bei der Wasserbilanz wird im Grundsatz der jährliche Wasserbedarf im Bilanzgebiet ins Verhältnis gesetzt zur dortigen Grundwasserneubildung:

$$\text{Bilanzergebnis [\%]} = \frac{\text{Wasserbedarf [m}^3/\text{a}]}{\text{Grundwasserneubildung [m}^3/\text{a]}}$$

Das Bilanzergebnis entspricht dem Ausnutzungsgrad der Wassergewinnung an der Grundwasserneubildung. Es werden unterschieden:

- **vereinfachte Wasserbilanz,**
- verschiedene, +/- **detaillierte Wasserbilanzen.**

Tab. 10 beschreibt verschiedene Bilanzierungsmethoden, auf die nachfolgend näher eingegangen wird. Da die Eingangsdaten für die vereinfachte Wasserbilanz flächendeckend für Bayern vorliegen, wird die vorläufige Risikobewertung des Bilanzgebietes an diese gekoppelt. Ist eine weitere Präzisierung der Wasserbilanz mit genaueren Eingangsdaten notwendig bzw. möglich (z.B. Nutzung von Uferfiltrat), sollten detailliertere Bilanzierungen erstellt werden, da sie eine genauere Ableitung des nutzbares Dargebotes erlauben. In diesem Fall erfolgt die Risikobewertung allein auf gutachterlicher Basis (Kap. 4.1.3).

Tab. 10: Datengrundlagen der vereinfachten und möglichen Inhalte einer detaillierten Wasserbilanz

Parameter	Wasserbilanz			
	vereinfachte	+/- detaillierte Beispiele, verschiedene Kombinationen möglich		
Räumliche Abgrenzung	Varianten: Hydrogeologische Einheit, Hydrologisches Einzugsgebiet, Verdichtungsraum, Modellgebiet, Kommunale Grenzen			
Grundwasserneubildung	flächenhafte Neubildung nach LfU langjährig mittlere	pauschale gutachterliche Anpassung • z.B. Abschätzung lateraler Zu- und Abflüsse (inkl. Austausch mit Fließgewässern) • z.B. pauschale Reduzierung aufgrund erhöhter Absickerung in tieferen GW-Leiter • z.B. im Sinne eines „technisch gewinnbaren Dargebotes“	detaillierte gutachterliche Bewertung - z.B. anhand • Trockenwetterspende • langjährigen GW-Messreihen • Berücksichtigung Klimawandel	GW-Modell hochauflösend • stationär (mittlere Bedingungen) • instationär (Trockenphasen) • mit/ ohne Berücksichtigung Klimawandel
Wasserbedarf	Genehmigte Entnahmen Summe aller wasserrechtlichen Gestattungen und der aktuell bekannten Wasserrechtsanträge (inkl. öffentliche Trinkwasserversorgung und Brauchwasser)	pauschale Ableitung des mittleren Wasserbedarfs* aus dem Umfang der wasserrechtlichen Gestattungen, Summe mittlerer Bedarf (inkl. öffentliche Trinkwasserversorgung und Brauchwasser),	Bedarfsermittlung (vereinfacht) beregnete Fläche und mittlerer Bedarf über alle Kulturen für mittlere Jahre (z.B. 200 mm) zzgl. öffentliche Trinkwasserversorgung und sonstiges Brauchwasser <u>Fläche</u> z.B. über Wasserrechtsantrag, Umfrage bei Betrieben, InVeKos-Daten (summarisch für Bilanzgebiete, räumliche Fehler durch Bezug der Daten auf den Betriebsstandort).	Bedarfsermittlung (detailliert) Flächen und Bedarf der Einzelkulturen für • mittlere Jahre • extreme Trockenjahre • mit Klimawandel, zzgl. öffentliche Trinkwasserversorgung und sonstiges Brauchwasser <u>Fläche</u> z.B. über Wasserrechtsantrag, Umfrage bei Betrieben, InVeKos-Daten (summarisch für Bilanzgebiete, räumliche Fehler durch Bezug auf Betriebsstandort), Kartierung, Satellitenbilddauswertung, <u>Bedarf</u> z.B. über Angaben der Betriebe, AELF, DWA Merkblatt M-590
		Fördermengen belastbare Zeitreihen aus den landwirtschaftlichen Betrieben zur Ermittlung des mittleren Bedarfs zzgl. öffentliche Trinkwasserversorgung und sonstiges Brauchwasser		
Ergebnis	Bilanz [%] = Wasserbedarf im Verhältnis zu GW-Neubildung			

* Langjährige landwirtschaftliche Fördermengen zur Ableitung des mittleren Bedarfs sind bislang kaum vorhanden. Ersatzweise kann der Umfang der wasserrechtlichen Gestattungen (maximaler Bedarf) für eine Ableitung eines mittleren Bedarfs genutzt werden, z.B. durch eine pauschale Reduzierung auf 65-75 %. Vergleichbare Anpassungen können bei Bedarf für die öffentliche Trinkwasserversorgung (langjährige Mittelwerte liegen vor) und andere Brauchwasserentnahmen erfolgen.

Vereinfachte Bilanzierung mit vorläufiger Risikobewertung

Für die vereinfachte Bilanzierung werden Eingangsdaten verwendet, die bayernweit vorliegen (flächenhafte Grundwasserneubildung nach LfU) bzw. die schnell und einfach in die Fläche übertragen werden können (Umfang der wasserrechtlichen Gestattungen bzw. genehmigte Grundwasserentnahmen):

$$\text{Bilanzergebnis [\%]} = \frac{\text{genehmigte Grundwasserentnahmen [m}^3/\text{a]}}{\text{mittlere flächenhafte Grundwasserneubildung (LfU) [m}^3/\text{a]}}$$

Als (mittlerer) Wasserbedarf wird die **Summe aller im Bilanzgebiet genehmigten Grundwasserentnahmen** verwendet, d.h. neben den landwirtschaftlichen Entnahmegenehmigungen werden auch die der öffentlichen Trinkwasserversorgung und sonstiger (relevanter) Brauchwasserentnahmen berücksichtigt. Kleinstmengen von Hausbrunnen etc. sind dabei in der Regel vernachlässigbar. Bei Bedarf sind auch die aktuell vorliegenden Wasserrechtsanträge entsprechend zu berücksichtigen. Der Rückgriff auf die genehmigten Grundwasserentnahmen soll eine vollständige Bilanzierung ermöglichen. Insbesondere bei den landwirtschaftlichen Entnahmen zur Bewässerung liegen bislang in vielen Fällen nur unvollständige oder nicht belastbare Förderdaten vor. Wo plausible Daten weitgehend vollständig zugänglich sind, können diese in die Bilanzierung eingehen. In diesem Fall handelt es sich aber bereits um eine detaillierte Bilanzierung (Tab. 10).

Bei der **Grundwasserneubildung** sind die jeweils aktuell verfügbaren Daten des LfU zur langjährig mittleren, flächenhaften Grundwasserneubildung zu verwenden. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels sind möglichst aktuelle Kenntnisse über die Grundwasserneubildung zu berücksichtigen (z.B. aktuelle Karten, Vor-Ort-Kenntnisse). Sofern vorhanden sollten numerische Grundwassermodelle oder Landschaftswasserhaushaltsmodelle verwendet werden. Grundsätzlich ist das für die öffentliche Trinkwasserversorgung benötigte Grundwasserdargebot – auch unter Berücksichtigung künftiger Entwicklungen – prioritär vor allen anderen Nutzungen zu sichern. Die für die Bilanzierung notwendige Berechnung von Mittelwerten über die Bilanzflächen kann mit gängiger GIS-Software, darunter auch Freeware-Produkten wie z.B. QGIS, durchgeführt werden.



Abb. 23: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971-2000 in mm/a (Quelle: LfU)

Das **Bilanzergebnis**, d.h. der **Nutzungsgrad des Grundwassers** (%) ist von Bedeutung, da es oftmals die einzige **integrierende Bewertung für das gesamte Bilanzgebiet** oder von Teilgebieten darstellt. Darüber hinaus liegen meist nur punktuelle oder lokale Daten vor (GW-Messstellen, Brunnen). Durch die Verwendung der genehmigten Grundwasserentnahmen fällt das Bilanzergebnis i.d.R. etwas zu ungünstig aus, da die Bescheide die zugelassenen Maximalmengen enthalten, die zumindest im Durchschnitt aller Entnahmen i.d.R. nicht erreicht werden (extreme Trockenjahre können hiervon eine Ausnahme bilden). Das Bilanzergebnis der vereinfachten Bilanzierung entspricht demnach bei der Betrachtung mittlerer Bedingungen (Wasserentnahmen, Grundwasserneubildung) einer eher konservativen Schätzung.

Das Bilanzergebnis dient einer ersten, zunächst noch **vorläufigen Risikobewertung** des Bilanzgebietes (vgl. Punkte 4-7 im Ablaufschema auf S. 52). Neben dem Bilanzergebnis in Prozent wird zur Ableitung einer Risikoklasse auch die Flächengröße des Bilanzgebietes in Hektar berücksichtigt. Abb. 24 zeigt die aus beiden Parametern aufgebaute Risikomatrix mit den vorläufigen Risikoklassen. Die vorläufige Risikoklasse bietet eine wichtige, aber eher pauschale Einschätzung des Risikos von Nutzungskonflikten. Für eine abschließende Bewertung der Risikoklasse des Bilanzgebietes sind dessen hydrogeologische Eigenschaften und sonstige Rahmenbedingungen gutachterlich mit einzubeziehen (Kap. 4.1.3).

Fläche BG	= Kreisradius	Anteil aller Grundwasserentnahmen an der Grundwasserneubildung									
		Ergebnis Wasserbilanz bis zu [%]*									
bis.... [ha]	[m]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
50	399										
100	564										
500	1.262										
1.000	1.784										
2.500	2.821										
5.000	3.989										
10.000	5.642										
25.000	8.921										
50.000	12.616										
Risikoklassen:											
											gering
											mittel
											hoch
											sehr hoch

Abb. 24: Risikomatrix zur Ableitung einer vorläufigen Risikoklasse des Bilanzgebietes für mittlere Bedingungen (Witterung, GW-Neubildung, Wasserbedarf) auf der Basis einer vereinfachten Wasserbilanz

Beispiele für eine mittlere Grundwasserneubildung von 100 mm:

a) **Großes Bilanzgebiet in der Größenordnung eines GWK nach WRRL**

Größe Bilanzgebiet: 20.000 ha
 GW-Neubildung: 20,0 Mio. m³/a
 Gesamter Umfang der
 wasserrechtlichen Gestattungen: 5,0 Mio. m³/a
 Wasserbilanz: 25 %
 Risikoklasse: hoch

b) **Kleines Bilanzgebiet**

Größe Bilanzgebiet: 300 ha
 GW-Neubildung: 300.000 m³/a
 Gesamter Umfang der
 wasserrechtlichen Gestattungen: 105.000 m³/a
 Wasserbilanz: 35 %
 Risikoklasse: mittel

Hinweise zur Risikomatrix

Die Matrix kann insbesondere dort die Risikobewertung unterstützen, wo andere belastbare Daten wie reale Fördermengen oder langjährige Grundwasserganglinien fehlen.

Die Matrix berücksichtigt das Risiko von Nutzungskonflikten, wie es sich

- a) aus der Höhe des Förderanteils an der flächenhaften Grundwasserneubildung,
- b) aus der Größe der Bilanzgebiete ergibt.

Beide Eingangsgrößen werden miteinander kombiniert.

zu a) Förderanteil:

Das Risiko steigt grundsätzlich mit den Gewinnungsmengen an. Die LAWA (2011, 2013) empfiehlt – bei einer vereinfachten Bilanzierung wie hier – als Eingangskriterium für eine potenzielle Gefährdung des Grundwasserkörpers (GWK) nach WRRL eine Risikoschwelle von 10 %. Bei über 30 % ist eine weitergehende kritische Betrachtung zur konkreten Situation hinsichtlich des Einhaltens des guten mengenmäßigen Zustandes eines GWK erforderlich. Insofern stellt der 30 %-Wert ein wesentliches Beurteilungskriterium dar. Bei Bilanzgebieten wird daher ab einem Bilanzwert >30 % die Risikoklasse „(sehr) hoch“ vergeben. Bei kleineren Bilanzwerten wird eine „mittlere“ bis „geringe“ Risikoklasse zugeordnet.

zu b) Flächengröße:

Kleine Bilanzgebiete stellen i.d.R. keine hydrogeologisch abgegrenzten GWK dar, sondern nur Teilflächen davon. Die hier erfolgenden Entnahmen können zumindest teilweise durch einen Zustrom von außen ausgeglichen werden. In einem vollständigen Grundwasserkörper ist dies nicht oder, im Verhältnis zu den Gewinnungsmengen, nur sehr begrenzt möglich. Mit abnehmender Flächengröße sinkt, bei gleichem Bilanzwert, das Risiko daher ab.

Mit der Flächengröße steigt allgemein auch die Wahrscheinlichkeit lokaler Nutzungskonflikte, d.h. das Risiko solcher Konflikte ist bei einem Bilanzgebiet von 25.000 ha (Radius ca. 8,9 km) größer als bei einem von 100 ha (Radius < 600 m). Hierbei spielen auch lokale Häufungen von Grundwasserentnahmen eine Rolle. Bei kleineren Bilanzgebieten ist in der Einzelfallprüfung allgemein ein besserer Überblick gegeben.

Bei der Einstufung der Risikoklassen wird zusätzlich berücksichtigt, dass bei der vereinfachten Wasserbilanz für mittlere Bedingungen (Tab. 10) die genehmigten Entnahmemengen und nicht die tatsächlichen mittleren Fördermengen eingesetzt werden. Die daraus resultierende Überschätzung des Ausnutzungsgrades wird mit einer Verschiebung der Risikoklassen kompensiert (z.B. nur „hoch“ statt „sehr hoch“ bei >30 %). Die pauschale Gültigkeit der Risikomatrix ist zunächst beschränkt auf die vereinfachte Bilanzierung der Tab. 10, da andere Bilanzierungsmethoden zu abweichenden Bilanzergebnissen kommen.

Der asymptotische Verlauf der Klassengrenzen ergibt sich aus der halblogarithmischen Abstufung der Flächengrößen. Bezüglich der **Hydrogeologie** stellt die Matrix ein mittleres Risiko dar. In gering ergiebigen Kluftgrundwasserleitern ist das Risiko eher höher, in mächtigen Porengrundwasserleitern mit stützenden Fließgewässern eher geringer anzusetzen. Weitere Kriterien zur gutachterlichen Anpassung nach Experteneinschätzung enthält Tab. 11.

Detailliertere Bilanzierungen

Bei steigenden Bilanzwerten (z.B. >20-30 %) oder sich abzeichnenden Nutzungskonflikten kann eine detailliertere Bilanzierung notwendig werden. Tab. 10 (S. 56) zeigt hierzu verschiedene Beispiele zur Bewertung der Grundwasserneubildung und des Wasserbedarfs. Hierbei können, je nach Datenlage, verschiedene Ansätze auf der Bedarfs- und der Grundwasserneubildungsseite miteinander kombiniert werden.

Detailliertere Bilanzen erlauben eine zunehmende Annäherung an das nutzbare Dargebot entsprechend der DIN 4049, wenn gleichzeitig die potenziellen Nutzungskonflikte, die eine Einschränkung

des nutzbaren Dargebotes bewirken, mit geprüft werden (Kap. 3.4). Eine detaillierte Ableitung des nutzbaren bzw. konfliktfrei gewinnbaren Dargebotes ist insbesondere über numerische Grundwassermodelle möglich (Kap. 4.4).

Die Risikomatrix der Abb. 24 hat bei einer detaillierteren Bilanzierung keine pauschale Gültigkeit. Sie kann aber, bei entsprechender Anpassung bzw. Verschiebung der Klassengrenzen, eine Orientierung für die vorläufige Risikobewertung bieten.

Berücksichtigung des Klimawandels in der Wasserbilanz

In die vereinfachte Wasserbilanz geht die langjährige **mittlere Grundwasserneubildung** auf Basis der Daten des LfU ein. Es erfolgt eine regelmäßige Fortschreibung dieses Datensatzes, um klimatisch bedingte Veränderungen der Neubildung zu berücksichtigen. Die bis 2016 vorliegenden, 30-jährigen Mittelwerte zeigen laut LfU bislang keinen Rückgang der Grundwasserneubildung an, da in ihnen noch zahlreiche Nassjahre enthalten sind. Langjährige Mittelwerte sollten mit Blick auf den Klimawandel regelmäßig darauf geprüft werden, ob sie jüngere Entwicklungen angemessen repräsentieren.

Der Zeitraum ab dem Jahr 2003 zeigt z.B. einen signifikanten Rückgang der mittleren Grundwasserneubildung. Ursache ist das vollständige Ausbleiben deutlich nasser Jahre (Stand 2018, Kap. 3.7.1). Einen methodischen Ansatz zur Berücksichtigung bereits gemessener Trockendekaden bei der Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes enthält Kap. 5.3 im KLIWA-Heft 21 (KLIWA 2017).

Sofern sich, z.B. aufgrund langjähriger Messreihen vor Ort, zeigen sollte, dass mit einer reduzierten Grundwasserneubildung zu rechnen ist, muss ein entsprechend höherer Abschlag beim nutzbaren Dargebot eingerechnet werden. Die Höhe des Abschlages kann nur durch eine Experteneinschätzung festgelegt werden. Ebenso sollten Hinweise des LfU und aktuelle Forschungsergebnisse, z.B. aus KLIWA, berücksichtigt werden. Nach den Klimaprognosen sind Veränderungen vorwiegend in Südbayern zu erwarten.

Auf der Seite des **Wasserbedarfs** erfolgt mit der Verwendung der genehmigten Grundwasserentnahmen (und nicht der tatsächlichen Fördermengen) in der vereinfachten Wasserbilanz bereits eine Überschätzung. Zur langfristigen Absicherung bestehender Bewässerungsbetriebe sollte der erwartete zukünftige Anstieg des Wasserbedarfs bereits heute als Reserve vorgehalten werden.

4.1.3 Bewertung der finalen Risikoklasse

Die vorläufige Risikoeinstufung über die Größe des Bilanzgebietes und die vereinfachte Wasserbilanz (Kap. 4.1.2) bedürfen einer Überprüfung und evtl. Anpassung an die örtlichen, insbesondere hydrogeologischen und ökologischen Verhältnisse (vgl. Punkt 8 im Ablaufschema auf S.52). Bei sehr sensiblen hydrogeologischen Verhältnissen ist es ggf. angezeigt, schneller in eine höhere Risikoklasse einzustufen. Dagegen kann bei sehr stabilen Grundwasserverhältnissen ggf. eine Abstufung der Risikoklasse zweckmäßig sein. Diese Entscheidung liegt in der Einschätzung des amtlichen Sachverständigen bzw. der zuständigen Fachkraft des WWA. Für ökologische und naturschutzfachliche Fragen sollte die Naturschutzfachkraft der KVB eingebunden werden. In jedem Fall sollte für alle Anträge in einem Bilanzgebiet eine identische Risikomatrix verwendet werden. Ein strenger schematischer Ablauf ist mit Blick auf die Vielzahl und Komplexität der möglichen Einflussgrößen nicht zielführend. Nachfolgend wird eine Übersicht über Risikoindikatoren und dazugehörige Parameter gegeben. Die Bewertung der weiteren Einflussfaktoren für die Festlegung der Risikoklasse ist zu dokumentieren.

Eine gutachterliche Festlegung der Risikoklasse ist auch für solche Bilanzgebiete sinnvoll, bei denen eine vorläufige Risikobewertung nach Kap. 4.1.2 nicht möglich ist (z.B. bei ausgeprägter Wechselwirkung zu Fließgewässern, detaillierteren Bilanzierungen).

Risikoindikatoren

Das Risiko von Nutzungskonflikten mit der landwirtschaftlichen Bewässerung (und anderen Grundwasserentnahmen) steigt allgemein mit

- der hydrogeologischen Sensitivität des Bilanzgebietes (Kap. 3.5),
- abnehmenden Grundwasserflurabständen,
- wachsendem Flächenanteil hydromorpher Böden oder grundwasserabhängiger Landökosysteme,
- steigenden Grundwasserentnahmen,
- der Fläche und Qualität rechtlicher Schutzgüter (WRRL, Wasserschutzgebiete, Naturschutz) und
- der generellen oder lokalen Intensität konkurrierender Nutzungen (z.B. öffentliche Trinkwasserversorgung, Freizeitnutzung, Förderdichte).

Tab. 11 listet Indikatoren auf, die zur Risikobeurteilung von Bilanzgebieten und ihrer Teilgebiete (Kap. 4.2) herangezogen werden können. Einige Indikatoren werden hilfsweise herangezogen, da belastbare Messdaten wie z.B. langjährige Grundwasserganglinien oftmals fehlen.

Tab. 11: Weitere Indikatoren zur Bewertung des Risikos von Nutzungskonflikten (Überprüfung der vorläufigen Risikoklasse aus der Wasserbilanz)

Gruppe	Indikator	Parameter	Hinweise
Hydrogeologie	Hydrogeologie (allgemein)	Sensitivität der hydrogeologischen Einheit gegenüber GW-Entnahmen und Trockenphasen (z.B. Poren-, Kluft-, Karst-GW-Leiter), Druckentlastung GW-Leiter	
	Zuströme in das Bilanzgebiet	Zustrom aus Fließgewässern (z.B. in Poren-GW-Leiter) oder angrenzenden Gebieten	Risiko sinkt mit steigenden Zuströmen
	Abströme aus dem Bilanzgebiet	Abstrom in angrenzende Gebiete oder tiefere Grundwasserleiter	Risiko steigt mit steigenden Abströmen
	Entwicklung der GW-Stände	fallende Tendenz, zunehmende Amplitude	Risiko steigt bei fallender Tendenz und/oder zunehmender Amplitude
	Variabilität der GW-Neubildung	Quotient GWN in Trockenphasen zu GWN mittel	
Hydrogeologie	Variabilität der Quellschüttungen	Quotient minimale/mittlere Quellschüttung	Risiko steigt bei kleinerem Quotient
	Variabilität der Abflüsse	Quotient minimaler/mittlerer Abfluss	Risiko steigt bei kleinerem Quotient
	Trockenfallen von Kleingewässern (Quellbäche, kleine Bäche, Tümpel)	Häufigkeit	Risiko steigt mit Häufigkeit
	Gefahren für die GW-Qualität	Schädliche Bodenveränderungen, Altlasten, Versalzung	Risiko steigt mit Ausprägung / Häufigkeit der Parameter

Gruppe	Indikator	Parameter	Hinweise
Hydrogeol.	Kumulierende Wirkung der Grundwasserentnahmen	gemeinsame Absenkungswirkung, Verstärkung der GW-Schwankung, Veränderung der GW-Strömung, Einfluss auf Fließgewässer, Einfluss auf Niedrigwasser, etc.	gutachterliche Bewertung oder Berechnung über numerisches GW-Modell
Feuchflächen	GW-Flurabstand oberer GW-Leiter	Einfluss auf durchwurzelte Zone	Risiko steigt mit Einfluss, Literatur: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005, Raissi et al. 2005
	Hydromorphe Böden	Flächenanteil gesamt, Flächenanteil Moorböden	Literatur: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005
	Feuchtbiopte, feuchteabhängige, gefährdete Tier- und Pflanzenarten	Flächenanteil gesamt, Flächenanteil besonders sensibler Typen (z.B. Nasswiesen, Moore), Auftreten gefährdeter Arten	Literatur: Wasserhaushalt: Goebel 1996, Rasper 2004, WRRL: Erftverband 2003, 2002, LAWA 2012, LfU 2014, Rote Liste: Finck et al. 2017
Rechtliche Schutzgüter	Wasserrahmenrichtlinie	Zielerreichungsgebot und Verschlechterungsverbot, Grundwasser, Fließgewässer, Seen grundwasserabhängige Landökosysteme	Literatur: LAWA 2011; 2012, 2013
	Schutzgebiete	Vorkommen und Wertigkeit relevanter Schutzgebiete (WSG, HQS, FFH, VSG, NSG)	
	Naturschutz (Grundwasserabhängige Lebensräume und Arten)	FFH-Lebensraumtypen gesetzlich geschützte Biotopie gesetzlich geschützte Arten	
Nutzungsintensität	Öffentliche Trinkwasserversorgung	Risiko der Beeinflussung	
	weitere konkurrierende Nutzungen (andere Brauchwasserentnahmen, Freizeitgewässer u.a.)	Existenz bzw. rechtliche Stellung im Vergleich zur Bewässerung	
	Anteil landwirtschaftlicher Bewässerung am Gesamtbedarf	Anteil Bewässerungsbedarf am Gesamtbedarf	Fördermengen für Bewässerung steigen in Trockenphasen stark an
	bekannte Umweltschäden, Konflikte	Existenz, Größenordnung	
	Förderdichte	Dichte und Fördermengen benachbarter Brunnen (kumulierende Wirkung)	
	Sicherheit der landwirtschaftlichen Beregnung	Hinweise auf Überlastung von Brunnen, des GW-Leiters oder gegenseitige Beeinflussung der Brunnen in Trockenphasen	
	Fördermengen, genehmigte Entnahmemengen	Trend in letzten 5 Jahren	Risiko sinkt bei niedrigem Nutzungsgrad der wasserrechtlichen Gestattungen
	Ausbau der landwirtschaftlichen Bewässerung	landwirtschaftliche Investitionen in Brunnen, Leitungen, Wasserspeicher, Lagerhallen etc.	

Ergänzende Hinweise zur Bewertung von Grundwasserkörpern oder grundwasserabhängigen Landökosystemen können auch den Grundlagenpapieren zur WRRL (z.B. LAWA 2011, 2013, LfU 2014) entnommen werden.

Nachfolgend werden zwei ausgewählte Indikatoren näher erläutert.

Rückgang der Grundwasserneubildung in Trockenphasen

Für das Niedrigwassermanagement ist von Bedeutung, wie stark der jeweilige Grundwasserleiter auf Trockenphasen reagiert. Solange keine langjährigen GW-Ganglinien vorliegen, kann der Rückgang der flächenhaften Grundwasserneubildung in Trockenphasen als Indikator verwendet werden. Als maßgebliche Periode sehr geringer Neubildung werden die Jahre 1971-73 herangezogen. Diese Werte werden zu denen der langjährigen, mittleren Grundwasserneubildung (1971-2000) ins Verhältnis gesetzt. Beide Datensätze (oder entsprechende Aktualisierungen) werden vom LfU zur Verfügung gestellt.

Tab. 12 zeigt zugehörige Bewertungsklassen. Gerade die Bewässerungsgebiete zeigen aufgrund ihres trocken-warmen Klimas oftmals einen stärkeren Rückgang der GW-Neubildung von z.B. mehr als 50 %.

Tab. 12: Bewertungsklassen für den Rückgang der mittleren GW-Neubildung (1971-2000) in einer extremen Trockenphase (1971-73) auf der Basis der Datensätze des LfU

Rückgang der mittleren GW-Neubildung (1971-2000) in einer extremen Trockenphase (1971-73)			
bis 30 %	>30–50 %	>50–70 %	>70%
gering	mittel	stark	sehr stark

Einfluss auf die durchwurzelte Zone

Die Frage, ob es sich um grundwasserabhängige Landökosysteme handelt, kann allein mit dem Grundwasserflurabstand nicht immer hinreichend beantwortet werden, da auch die ungesättigte Bodenzone bzw. der kapillare Wasseraufstieg aus dem Grundwasser für die Wasserversorgung der Vegetation von großer Bedeutung ist. Diese ist wiederum von der Durchwurzelungstiefe, der Bodenart, der Lagerungsdichte und evtl. Schichtungen der Böden abhängig.

Aus der Durchwurzelungstiefe und der kapillaren Aufstiegshöhe ergibt sich als Summe der sogenannten **Grenzflurabstand**. Er beschreibt den maximalen Grundwasserflurabstand, bis zu dem die Vegetation noch relevante Mengen an Zuschusswasser aus dem Grundwasser beziehen kann. Aus hydraulischen Gründen wird dieser Wert nur in sehr trockenen Böden erreicht, in feuchten Böden ist er einige Dezimeter geringer. Für Berechnungen wird die effektive Durchwurzelungstiefe herangezogen. Sie ist die Durchwurzelungstiefe der jeweiligen Vegetation, bis zu der die nutzbare Feldkapazität des Bodens vollständig ausgeschöpft werden kann. Die „effektive Wurzeltiefe“ als theoretischer Wert ist daher immer kleiner als die reale maximale Wurzeltiefe der Pflanzen.

Tab. 13 zeigt, wie die Bodenart die Größe des Grenzflurabstandes von Laubwäldern beeinflusst. Auf reinen Grobsanden kann der Kontakt von Laubwäldern zum Grundwasser schon bei Flurabständen von mehr als 125 cm abreißen. In reinen Schluffen steigt der Grenzflurabstand auf bis zu 450 cm an. In Böden mit wechselnden Bodenarten (z.B. Auenlehm über Auensanden) nimmt der Grenzflurabstand oftmals ab. Abb. 25 zeigt Werte für landwirtschaftliche Kulturen. Weitere Hinweise können Raisi et al. (2005), Eckl und Raissi (2009) und Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) entnommen werden.

Tab. 13: Effektive Durchwurzelungstiefe, kapillare Aufstiegshöhe und Grenzflurabstand für tiefer wurzelnde Laubwälder (Nadelbäume meist Flachwurzler) auf homogen sandigen, lehmigen und schluffigen Böden (Beispiele; bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 0,3 mm/d, einer Wasserspannung von pF 4,0 an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes und einer mittleren Lagerungsdichte des Bodens, nach Tab. 81 und 82 in Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005)

Bodenart	Effektive Durchwurzelungstiefe [cm]	Kapillare Aufstiegshöhe [cm]	Grenzflurabstand [cm]
Grobsand (gS)	75	50	125
Mittelsand (mS)	90	80	170
Feinsand (fS)	90	140	230
Stark lehmiger Sand (Sl4)	135	150	285
Reiner Schluff (Uu)	150	300	450

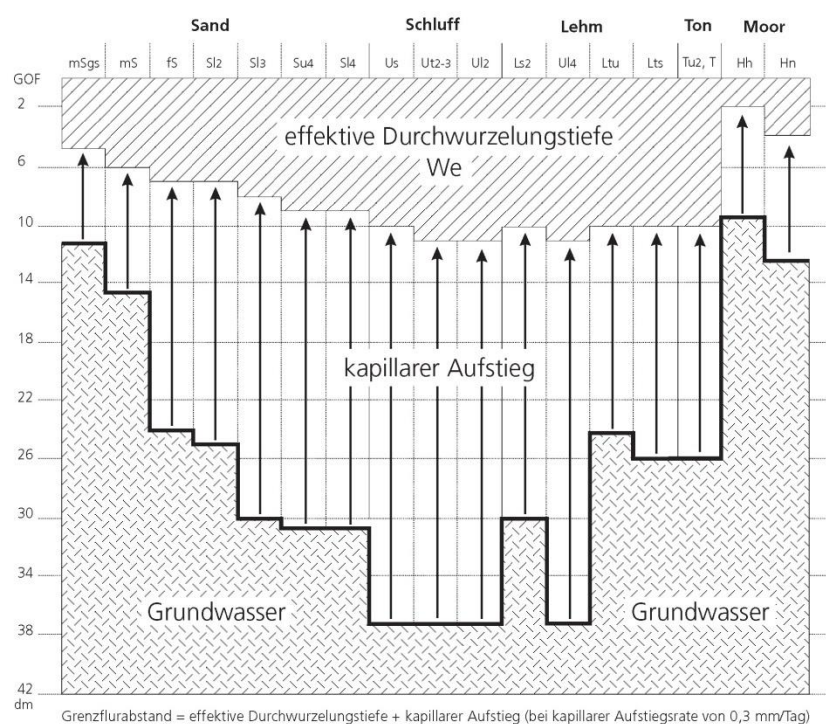


Abb. 25: Durchwurzelungstiefe und kapillarer Aufstieg in Abhängigkeit von der Bodenart bzw. Torfart zur Beurteilung des Grundwasseranschlusses landwirtschaftlicher Kulturen (Quelle: Josopait et al. 2009, LBEG)

Berücksichtigung des Klimawandels in der Risikobewertung

Maßgeblich für die Berücksichtigung des Klimawandels sind zunächst aktuelle und belastbare Zahlen für die flächenhafte Grundwasserneubildung und den aktuellen sowie zukünftigen Wasserbedarf (Kap. 4.1.2). Über die oben genannten Indikatoren fließt zudem die Sensitivität des Bewässerungsgebietes, z.B. gegenüber Trockenphasen, in die Bewertung der finalen Risikoklasse ein.

Bei der Bewertung der finalen Risikoklasse kann berücksichtigt werden, dass Extremereignisse wie z.B. Hitze- und Trockenphasen zukünftig häufiger auftreten können. Zukünftige Hinweise des LfU oder aus KLIWA sollten berücksichtigt werden.

Belastungsgrenzen und Festlegung der Risikoklasse

Für die Festlegung der endgültigen Risikoklasse (gering, mittel, hoch, sehr hoch) können keine pauschalen Werte herangezogen werden. **Schwellenwerte oder Belastungsgrenzen** müssen vielmehr aus den konkreten Verhältnissen vor Ort, der vorläufigen Risikoklasse (Kap. 4.1.3) sowie den gegebenen Rahmenbedingungen abgeleitet und dokumentiert werden. Zu diesen Rahmenbedingungen gehören vorwiegend

- fachliche und rechtliche Vorgaben,
- die Ziele des Niedrigwassermanagements und
- methodische Grundlagen der Risikobewertung.

Bei den **fachlichen Vorgaben** sind die anerkannten Regelwerke (z.B. DVGW) und die verwaltungsinernen Richtlinien zu beachten. Beispiele hierfür sind

- der Vorrang bzw. die Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung,
- die Beschränkung der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen auf den oberen Grundwasserleiter und
- die Prüfung alternativer Wasserressourcen in der Reihenfolge gesammeltes Niederschlagswasser, Oberflächenwasser, Uferfiltrat, oberflächennahes Grundwasser.

Bei den **rechtlichen Vorgaben** entfalten insbesondere die WRRL (Grundwasser und Oberflächengewässer) und das Netzwerk Natura 2000 (FFH- und Vogelschutzgebiete) über die dort geltenden Verschlechterungsverbote bzw. Verbesserungsgebote eine Wirkung auf die Risikoabwägung. Auch anhand anderer Rechtsgüter können Schwellenwerte oder Belastungsgrenzen abgeleitet werden. Beispiele sind die nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers („Vorsorgeprinzip“, § 1 WHG), der europäische Artenschutz oder gesetzlich geschützte Biotop. Weitere Hinweise zu den rechtlichen Grundlagen enthält Kap. 3.3. Letztlich sind die existierenden oder erwarteten hydrologischen Veränderungen zumindest grob auf potenzielle Nutzungskonflikte zu prüfen (vgl. Kap. 3.4 zum nutzbaren Dargebot).

Zusätzlich sollen die **Ziele des Niedrigwassermanagements** berücksichtigt werden, wie sie z.B. in Kapitel 2 hinterlegt sind. Maßgeblich sind allgemeine Kriterien wie die Nachhaltigkeit der Wassergewinnung bzw. -versorgung (für die Öffentlichkeit, aber auch für die Landwirtschaft) und die daraus resultierende Vorsorgepflicht.

Für die Bewertung ist auch die **Qualität der Bewertungsgrundlagen** von Bedeutung. Bei Bilanzgebieten, für die keine belastbaren Informationen vorliegen, ist grundsätzlich von einem potenziell höheren Risiko auszugehen. Wenn z.B. für ein Bewässerungsbilanzgebiet keine Grundwasserganglinien vorliegen, ist allein schon aufgrund der mangelnden Kenntnis ein Risiko (noch unbekannter Größenordnung) anzusetzen. Stehen dagegen umfangreiche Messwerte, Kartierungen und evtl. sogar ein Grundwassermodell zur Verfügung, geht zumindest von der Datenqualität selbst kein Risiko aus. Ein Problem mangelnder Daten liegt auch im Nachweis schleichender Veränderungen des Wasserhaushaltes, die besonders bei einem sich über Jahrzehnte hinziehenden Ausbau der Wassergewinnung auftreten können.

Im Regelfall sollte die **finale Risikoklasse** nicht mehr als eine Stufe von der vorläufigen Risikoklasse abweichen. Bei einer Aufspaltung eines Bilanzgebietes in mehrere Teilflächen (Kap. 4.1.1) werden das Bilanzgebiet als Ganzes und die Teilflächen jeweils separat bewertet. Eine **Aktualisierung** der

Risikobewertung sollte in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 5 Jahre) oder bei Bedarf (zunehmende Wasserrechtsanträge) eingeplant werden.

4.2 Risikobewertung von Einzelanträgen

Die Risikobewertung von eingehenden Wasserrechtsanträgen fasst systematisch die Prüfschritte zusammen, die schon bislang in der Verwaltungspraxis erfolgten. Dahinter steht die Frage, welche potenziellen Nutzungskonflikte mit einem Wasserrechtsantrag verbunden sein können (zu den aus der Risikobewertung folgenden Konsequenzen vgl. Kap. 4.3).

Die Ermittlung der Risikoklasse erfolgt zunächst unabhängig von der Bewertung des zugehörigen Bilanzgebietes (Kap. 4.1). So können z.B. die lokalen Risiken eines neuen Brunnens, aus dem eine hohe Wassermenge gefördert werden soll, in vielerlei Hinsicht von der Gesamtbewertung eines eher gering genutzten Bilanzgebietes abweichen. Umgekehrt sind mit einer geringfügigen Entnahme am Rande eines intensiver genutzten Bilanzgebietes oft nur geringe Risiken verbunden. Erst in einem zweiten Schritt wird geprüft, ob Abhängigkeiten zwischen der Risikobewertung für das Bilanzgebiet und der für den Einzelantrag bestehen. Abb. 22 (S. 52) zeigt schematisch die Schritte der Risikobewertung

Prüfung der Risikoindikatoren

Die Risikoprüfung des Einzelantrags kann anhand Tab. 14 durchgeführt werden. Die Kriterien unterstützen und lenken den gutachterlichen Entscheidungsprozess, ob bzw. welche Nutzungskonflikte am konkreten Standort mit der geplanten Wasserentnahme verbunden sein können.

Hydrogeologische, naturschutzfachliche oder sonstige fachliche Kenntnisse, die aus der Bewertung des Bilanzgebietes bereits vorliegen, können in die Bewertung einfließen. Ziel ist die Festlegung einer vorläufigen Risikoklasse für den Einzelantrag. Weitere Details können Kapitel 4.1 entnommen werden.

Bei Antragsmengen unterhalb einer **Bagatellgrenze** von 50-2.000 m³/a kann oftmals eine vereinfachte Risikoprüfung erfolgen.

Tab. 14: Indikatoren zur Bewertung des Risikos von Einzelanträgen

Indikator -gruppe	Indikator	Parameter	Hinweise
Hydrogeologie	Hydrogeologie (allgemein)	Sensitivität gegenüber GW-Entnahmen und Trockenphasen, (z.B. Poren-, Kluft-, Karst-GW-Leiter)	z.B. Druckentlastung gespannter GW-Leiter
	Hydrogeologie (lokal)	z.B. Mächtigkeit, Speichervermögen, Trennschichten/Stauer des Grundwasserleiters, Reaktion auf Entnahmen, k_f -Werte, Fließgeschwindigkeiten	z.B. Speichervermögen/ Ergiebigkeit des GW-Leiters
	Einflussbereich der Entnahme	Ausdehnung und Tiefe des Absenkungstrichters (ohne und mit kumulierender Wirkung benachbarter Entnahmen)	Raum mit signifikanter Absenkung des GW-Spiegels, meist nicht identisch mit dem Einzugsgebiet

Indikator -gruppe	Indikator	Parameter	Hinweise
Hydrogeologie	Wassereinzugsgebiet der Entnahme	Anströmungsbereich eines Brunnens, räumliche Herkunft des Wassers	bei Bedarf getrennt nach GW-Stockwerken, unter Berücksichtigung benachbarter Entnahmen
	Gefahren für die GW-Qualität	Schädliche Bodenveränderungen, Altlasten, Versalzung	
	Ableitung des nutzbaren Dargebotes		vgl. Kap. 3.4
Feuchtfächen	GW-Flurabstand oberer GW-Leiter	Einfluss auf durchwuzelte Zone	Risiko steigt mit Einfluss, vgl. auch Tab. 13, Literatur: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005, Raissi et al. 2005
	Hydromorphe Böden	Flächenanteil, Bodentypen, aktuell vernässt/reliktisch	Literatur: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005
	Feuchtbiootope, feuchteabhängige, gefährdete Tier- und Pflanzenarten	Typen, Flächenanteil, Sensitivität des Wasserhaushalts, Einfluss Stau-/Grundwasser Arten: z.B. Gefährdung, Sensitivität	Literatur: Wasserhaushalt: Goebel 1996, Rasper 2004, WRRL: Erftverband 2003, 2002, LAWA 2012, LfU 2014, Rote Liste: Finck et al. 2017
Rechtliche Schutzgüter	Wasserrahmenrichtlinie	Zielerreichungsgebot und Verschlechterungsverbot Grundwasser, Fließgewässer grundwasserabhängige Landökosysteme	Literatur: LAWA 2011; 2012, 2013
	Schutzgebiete	Vorkommen und Wertigkeit relevanter Schutzgebiete (WSG, HQS, FFH, VSG, NSG)	
	Naturschutz (grundwasserabhängige Lebensräume und Arten)	FFH-Lebensraumtypen gesetzlich geschützte Biotopie gesetzlich geschützte Arten	
Nutzungsintensität	öffentliche Trinkwasserversorgung	Risiko der Beeinflussung	
	weitere konkurrierende Nutzungen (andere Brauchwasserentnahmen, Freizeitgewässer u.a.)	Existenz bzw. rechtliche Stellung im Vergleich zur Bewässerung	
	bekannte Umweltschäden, Konflikte	Existenz, Größenordnung	
	Förderdichte	Dichte und Fördermengen benachbarter Brunnen (kumulierende Wirkung)	
	Sicherheit der landwirtschaftlichen Beregnung	Hinweise auf Überlastung von Brunnen, des GW-Leiters oder gegenseitige Beeinflussung der Brunnen in Trockenphasen	

Zusammenführen der Risikoklasse des Bilanzgebietes und des Einzelantrages

Im zweiten Schritt wird geprüft, wie die Risikoklasse des Bilanzgebietes bei der Risikoklasse des Einzelantrages zu berücksichtigen ist. Vorgesehen ist eine gutachterliche Entscheidung der wasserwirtschaftlichen Fachverwaltung, in der die verschiedenen Risiken aus dem Bilanzgebiet und des Einzelfalls gegeneinander abgewogen werden.

Zu prüfen sind u.a.:

- Einfluss des Einzelantrages auf die Wasserbilanz und die Risikoklasse des Bilanzgebietes,
- hydrologische Wirkungen, die von der Antragsmenge ausgehen,
- Lage des Einzelantrages (z.B. außer-/innerhalb schon bestehender Verdichtungszone, Nähe zu schon belasteten Feucht- bzw. Schutzgebieten),
- sonstige Wechselwirkungen zwischen dem Einzelantrag und dem Bilanzgebiet (z.B. Gefahr der Überschreitung von Belastungsgrenzen des Bilanzgebietes).

Der Einfluss des Bilanzgebietes kann bewirken, dass vergleichbaren Einzelanträgen im einen Fall die Risikoklasse „gering“, im anderen Bilanzgebiet aber die Klasse „hoch“ zugewiesen wird. Ein Beispiel mag dies verdeutlichen: In Gebiet „A“ finden nur zerstreut einzelne Grundwasserentnahmen statt. Ein Wasserrechtsantrag über 15.000 m³/a ist meist unproblematisch, so lange nicht vom angestrebten Brunnenstandort besondere Risiken ausgehen. In einem intensiv genutzten Bewässerungsgebiet „B“, dessen Wasserbilanz bereits einen hohen Ausnutzungsgrad der Grundwasserneubildung anzeigt, kann die zusätzliche Antragsmenge dagegen eine weitere Erhöhung des Gesamtrisikos bewirken. Das Risiko des Einzelantrages ist in diesem Fall höher anzusetzen.

Im Regelfall ist davon auszugehen, dass die Risikoklasse von Wasserrechtsanträgen, die deutlich oberhalb der Bagatellgrenze von 50-2.000 m³/a liegen, maximal 1 Klasse geringer ausfällt als die des Bilanzgebietes (z.B. Risikoklasse „mittel“ für Einzelantrag in Bilanzgebiet mit Risikoklasse „hoch“).

4.3 Konsequenzen aus den Risikoklassen

Aus den ermittelten Risikoklassen bzw. den dahinterstehenden, potenziellen oder schon existierenden Nutzungskonflikten ergeben sich direkte Anforderungen für die Steuerung der Wasserentnahmen in den Bilanzgebieten und die Bearbeitung der einzelnen Wasserrechtsanträge. Abb. 26 zeigt schematisch, welche Konsequenzen sich aus den Risikoklassen für verschiedene Handlungsfelder ergeben.

Bei der **Risikoklasse „gering“** kann das **Wasserrechtsverfahren** i.d.R. bezüglich der Antragsunterlagen, der Prüftiefe und der Nebenbestimmungen deutlich vereinfacht werden. Bei steigenden Risiken sind zunehmend detailliertere Antragsunterlagen und Prüfungen erforderlich.



Abb. 26: Konsequenzen aus den Risikoklassen am Beispiel eines Bilanzgebietes

Umfang und Qualität der Antragsunterlagen müssen sich an den potenziellen Nutzungskonflikten bzw. Risiken orientieren. Vereinfachte Antragsunterlagen, die z.B. nur Angaben zum geplanten Standort, das Bohrprofil und die gewünschte Antragsmenge enthalten, mögen bei der Risikoklasse „gering“ in einigen Fällen noch ausreichend sein. Mit steigendem Risiko sind die Antragsunterlagen jedoch – abgestimmt auf die jeweilige Situation – schrittweise zu erweitern und qualitativ zu verbessern. Die Wasserwirtschafts- und Naturschutzverwaltung kann komplexe Fälle nur dann in der fachlich notwendigen **Prüftiefe** und in einem **vertretbaren Zeitaufwand** begutachten, wenn entsprechende Antragsunterlagen vorgelegt werden. Hierzu können bei erhöhten Risiken oder konkreten Konfliktfällen auch Gutachten externer Fachbüros erforderlich werden (z.B. zur Hydrogeologie, zum Einflussbereich, zum Naturschutz). Die **Nachweisspflicht liegt beim Antragsteller**.

Mit Blick auf die ungewisse Ausprägung des Klimawandels sollten auch die **Befristungen der genehmigten Grundwasserentnahmen** an die Risikoklassen angepasst werden (Kap. 5.2.3).

Nimmt die Wahrscheinlichkeit von Nutzungskonflikten zu, so sind der **Umfang des Monitorings und sonstiger Auflagen** im Sinne einer **Beweissicherung** anzupassen. Dies gilt für den einzelnen Wasserrechtsbescheid und für ganze Bilanzgebiete. Kapitel 5.4 gibt hierzu weitere Hinweise.

Mit zunehmender Verdichtung der landwirtschaftlichen Entnahmen und damit evtl. verbundenen Effekten, wie z.B. gegenseitige Beeinflussung von Brunnen, steigende Konkurrenz um Wasser oder zunehmendem Monitoringaufwand, wachsen auch eindeutig die **Vorteile gemeinschaftlicher landwirtschaftlicher Organisationsstrukturen** (z.B. Verbände, wo dies rechtlich möglich ist, also im Bereich der Entnahme aus Oberflächengewässern und Uferfiltrat) für die Bewässerung. Nur eine Gemeinschaft kann in solchen Gebieten eine sachgerechte Verteilung der Wasserressourcen und ein zuverlässiges, belastbares Monitoring flächendeckend gewährleisten. Abb. 26 zeigt, dass die Menge des zu vergebenden Wassers mit steigendem Risiko immer kleiner wird. Die Höhe des Risikos hängt auch von der Qualität der vorliegenden Messdaten und damit vom Monitoring ab. Die Vorteile gemeinschaftlicher Organisationsstrukturen zeigen sich hier besonders, da sie in (Teil-)Bilanzgebieten u.a. ein entsprechendes Monitoring gewährleisten können, fundiertere Antragsunterlagen (z.B. hydrogeo-

logisches Modell) oder Investitionen in wassersparende Techniken und Speicher ermöglichen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, einem Zusammenschluss mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe – unter Berücksichtigung einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung – eine höhere Wasserentnahme genehmigen zu können höher, als dies bei der Beurteilung vieler Einzelbetriebe der Fall ist. Kapitel 9 geht näher auf die Bedeutung gemeinschaftlicher Organisationsstrukturen für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement ein.

Auf der Ebene des Bilanzgebietes bedeuten steigende Risiken, dass die **aktive Steuerung innerhalb des Bilanzgebietes** intensiviert werden muss. Dies betrifft z.B. die Lage und Höhe der Wasserentnahmen (Kap. 5.2), die Bewirtschaftung ganzer Bewässerungsgebiete (Kap. 5.3) oder das Monitoring (Kap. 5.4).

4.4 Numerische Grundwassermodelle

Der Inhalt der obigen Kapitel 4.1 - 4.3 ergibt sich wiederholt aus der Notwendigkeit, die hydrologischen Auswirkungen der Grundwasserentnahmen fachlich angemessen zu bewerten, auch wenn ein Mangel an belastbaren Daten herrscht. Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen oder zunehmend kumulierenden Wirkungen zwischen Einzelbrunnen stoßen wasserwirtschaftliche und naturschutzfachliche Einschätzungen schnell an ihre Grenzen, selbst bei Vorliegen langjähriger Messungen. Prognosen hinsichtlich der Wirkung steigender Fördermengen, der Wirkung von Trockenphasen oder des Klimawandels sind kaum möglich. Oftmals kann nur ein „Risiko“ oder die Wahrscheinlichkeit möglicher Veränderungen ermittelt werden.

Numerische Grundwassermodelle bieten hier die Möglichkeit, die hydrologische Wirkung der Wasserentnahmen (einzeln oder summarisch) mittels Berechnungen zu quantifizieren, und zwar:

- räumlich differenziert (z.B. Größe und Verteilung von Absenkungsschwerpunkten),
- zeitlich differenziert (z.B. Wirkung ausgeprägter Trockenphasen bei gleichzeitigem Spitzenbedarf der Bewässerung, Berechnung von Grundwasserganglinien).

Viele Fragen, die im Rahmen komplexer Wasserrechtsverfahren oder bei der Steuerung von Bilanzgebieten auftreten, können mit entsprechend kalibrierten Grundwassermodellen gezielt beantwortet werden, z.B.:

- Wie groß sind die mittleren Absenkungsbeträge der Grundwasserentnahmen?
- Werden benachbarte Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung beeinflusst?
- Wie groß ist die Abflussminderung in den Fließgewässern?
- Wie wirken sich hohe Bewässerungsentnahmen in Trockenphasen aus?
- Wo können zusätzliche Wassermengen verträglich gewonnen werden?
- Welche Wassermengen müssten zur Sicherstellung einer nachhaltigen Wassergewinnung evtl. von außen beigeleitet werden?
- Wie kann sich der Klimawandel auswirken?

Numerische Grundwassermodelle bieten sich besonders für größere, zusammenhängende Bewässerungsgebiete mit erhöhten Risiken oder bereits bestehenden Nutzungskonflikten an, da mit ihnen belastbare Grundlagen für Bewertungen und Entscheidungen bereitgestellt werden, z.B. für die Entscheidung über kostenintensive Anpassungsmaßnahmen. Abb. 27 zeigt an einem Beispiel aus der Südpfalz, wie in einem Gebiet mit zahlreichen geschützten Feuchtgebieten der Einfluss der landwirtschaftlichen Bewässerung quantifiziert und so auch für naturschutzfachliche Bewertungen zugänglich

gemacht werden kann. Weitere Details können der online⁸ verfügbaren Studie entnommen werden (BGS Umwelt 2011).

Für die Erstellung numerischer Modelle sind detaillierte hydrogeologische Kenntnisse, Förderdaten und zumindest einzelne Grundwasserganglinien erforderlich. Weitere methodische Hinweise finden sich in Neuß und Dörhöfer (2009).

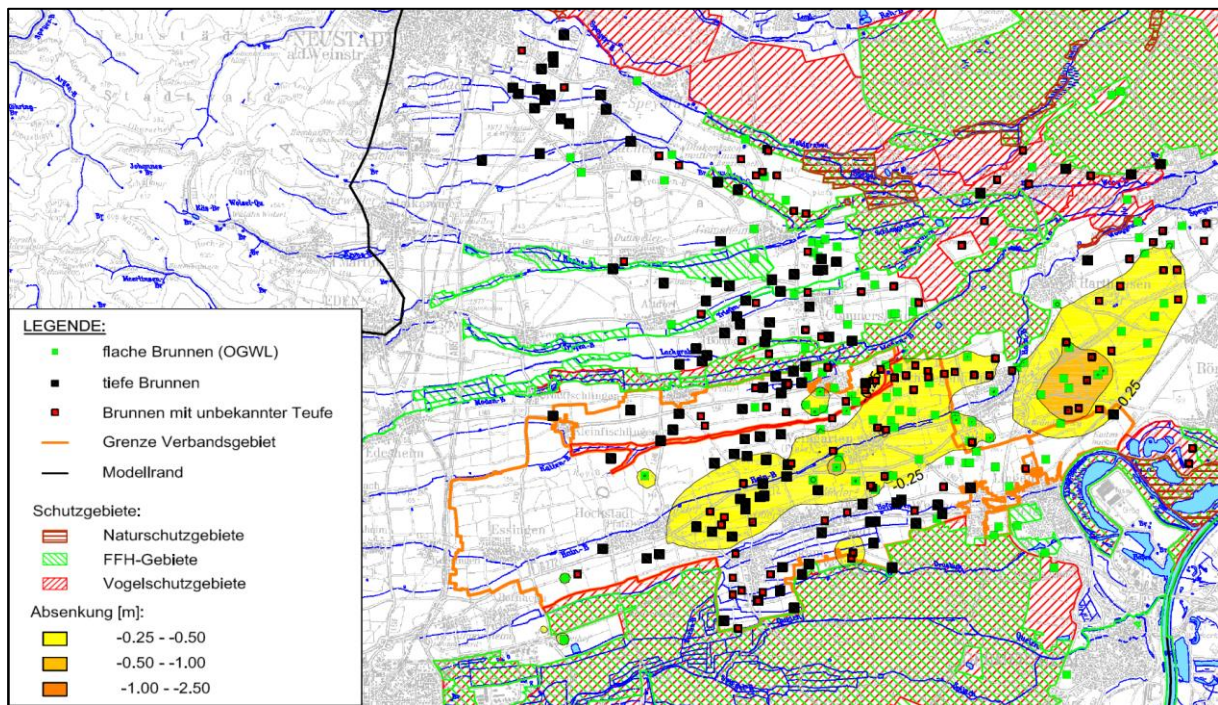


Abb. 27 Signifikanter Einflussbereich der landwirtschaftlichen Bewässerung in der Südpfalz mit Grundwasserabsenkungen von mehr als 0,25 m, Verbreitung von Schutzgebieten nach BNatSchG (Quelle: BGS Umwelt 2011, SGD Süd Rheinland-Pfalz)

⁸ Online unter: <https://sgdsued.rlp.de/de/themen/wasserwirtschaft/landwirtschaftliche-bewaesserung/>

5 Bewirtschaftung von Bewässerungsgebieten

Für das Niedrigwassermanagement müssen die in Kapitel 4 identifizierten Bewässerungsgebiete aktiv bewirtschaftet werden. Aktiv meint, dass die Wasserwirtschaftsverwaltung nicht nur eine Abfolge von Einzelanträgen abarbeitet, also nur reagiert, sondern dass sie gezielt die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Bewässerungsgebiete gestaltet.

Zu den Steuerinstrumenten gehören z.B. direkt wasserwirtschaftliche Punkte wie

- frühzeitige Steuerung von Lage und Höhe der Wasserentnahmen,
- Begrenzung der Gesamtentnahmen (unter Berücksichtigung des Klimawandels),
- Festsetzung von zulässigen Niedrigwasserständen,
- Aufbau belastbarer Messdatenreihen (Monitoring),
- Suche nach alternativen Wasserressourcen (bei Bedarf),

aber auch „weiche“ Faktoren wie z.B.

- Beteiligung zentraler Akteure,
- Bereitstellung von Informationen über aktuelle Entwicklungen.

In der Praxis erfolgt die Steuerung auf verschiedenen Ebenen. Sie beginnt mit der Bohranzeige (Kap. 5.1), setzt sich in den Wasserrechtsverfahren fort (Kap. 5.2) und reicht bis zu ganzen Bilanzgebieten (Kap. 5.3). Das Monitoring dient der Beweissicherung und der systematischen Datengewinnung (Kap. 5.4). Für Gebiete mit bereits bestehenden Nutzungskonflikten müssen zeitnah Lösungen gesucht werden. Ein integriertes Ressourcenmanagement für das gesamte Bewässerungsgebiet kann frühzeitig mit Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen etabliert werden (Kap. 7).

5.1 Steuerung bei Bohranzeigen

Bereits bei der Bohranzeige gemäß § 49 WHG, Art. 30 BayWG besteht für die Verwaltungsstellen die Möglichkeit, Flächen mit zunehmender Brunnendichte und daraus resultierenden (potenziellen) Konflikten frühzeitig zu erkennen und nachteiligen Entwicklungen steuernd zu begegnen. Dies gilt besonders für Kluftgrundwasserleiter. In Porengrundwasserleitern ist der Trend zu Brunnenverdichtungen geringer ausgeprägt. Ausnahmen hiervon bilden sehr kleine, lokale Sand- und Kiesvorkommen.

Der Antragsteller orientiert sich bei der Suche nach einem neuen Brunnenstandort an den für ihn günstigen Rahmenbedingungen wie z.B. Nähe zu Beregnungsflächen, Lage in Bach- oder Flussauen (höheres gewinnbares Dargebot) und einer möglichst großen Brunnenleistung (Reduzierung Bau- und Betriebskosten). Diese Faktoren begünstigen, soweit keine weiteren steuernden Faktoren hinzukommen, eine Konzentration der Brunnen in kleinen Teilgebieten der Bewässerungsgebiete. Das Risiko von Nutzungskonflikten steigt hierdurch deutlich an.

Die Bohranzeige bietet die erste Möglichkeit, die Lage neuer Brunnen und ihre Entnahmemengen zu beeinflussen. Mit einer gezielten Steuerung werden folgende Ziele verfolgt:

- frühzeitige Vermeidung konfliktträchtiger Brunnen- bzw. Entnahmeverdichtungen,
- frühzeitige Reduzierung der Konfliktpotenziale, z.B. zu Gewässern, Feuchtbiotopen und der öffentlichen Trinkwasserversorgung,
- Vermeidung kostenintensiver Bohrungen durch den Antragsteller, die nachfolgend an diesem Standort und/oder mit dieser Antragsmenge vermutlich nicht genehmigungsfähig sind.

In der Konsequenz bedeutet dies eine Stärkung der Bohranzeige als Vorsorgeinstrument. Ziel ist, den vorsorgenden Grundwasserschutz bereits zu diesem frühen Zeitpunkt zu verankern. Abb. 28 zeigt ein entsprechendes Ablaufschema der Bohranzeige. Von Bedeutung sind folgende Punkte:

- Den **Landwirten und Bohrfirmen** muss bereits bei der Planung neuer Brunnen bewusst sein, dass die Brunnenstandorte und die geplanten Entnahmemengen von den Genehmigungsbehörden verstärkt auf potenzielle Nutzungskonflikte geprüft werden. Um dies zu erreichen, sollten im Internet entsprechende Informationen zur Verfügung stehen (z.B. Musterblatt zur Bohranzeige, Online-Dienste mit Wasser- und Naturschutzgebieten). Die Informationen sollten auch klarstellen, dass bei Bedarf eine Verlagerung des Brunnenstandortes, eine Reduzierung der Entnahmemenge oder eine vollständige Ablehnung der Bohrung möglich ist. Soweit vorhanden kann auf bereits existierende Grundwassermanagement-Pläne für Niedrigwasserphasen (Kap. 7) oder vergleichbare Karten verwiesen werden.
- Bohrungen, die sich unmittelbar oder mittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken können, sind nach § 49 WHG und Art. 30 BayWG zumindest einen Monat vor Beginn der Arbeiten der KVB anzuzeigen. Für eine entsprechend schnelle Bearbeitung der Bohranzeigen durch die Genehmigungs- und Fachbehörden ist deren **Vollständigkeit** wichtig. Neben dem Standort ist z.B. eine möglichst genaue Angabe der geplanten Entnahmemenge wichtig, da diese für die Prüfung potenzieller Nutzungskonflikte maßgeblich ist. Weitere Angaben zu notwendigen Inhalten der Bohranzeige können der Musterbohranzeige beim LfU⁹ entnommen werden.
- Für das Niedrigwassermanagement ist die **Vorprüfung potenzieller Nutzungskonflikte** unter Punkt 7 des Ablaufschemas von Bedeutung. Hieran ist im Regelfall auch die Untere Naturschutzbehörde zu beteiligen, da nur sie über die notwendigen Fachinformationen und Ortskenntnisse verfügt. Die Prüfkriterien gleichen denen in Kapitel 4.1.3, auch wenn innerhalb der Bohranzeige nur eine Kurzprüfung erfolgt. Kommt die Prüfung zu dem Ergebnis, dass eine Anpassung der Lage oder der Entnahmemenge des geplanten Brunnens ratsam ist, so sollten in Abstimmung mit dem Antragssteller Alternativen gesucht werden. Im Zweifelsfall ist die Bohrung abzulehnen oder zumindest mit dem Hinweis zu versehen, dass eine Genehmigung des späteren Wasserrechtsantrages gefährdet oder sogar unwahrscheinlich ist.
- Die Bohrung dient in der Praxis dem Ziel, anschließend zeitnah einen Pumpversuch und den Ausbau durchzuführen. Die Behörden sollten daher konkrete **Hinweise** zur Bohrtiefe (z.B. nur oberster Grundwasserleiter), zum Ausbau des Brunnens (z.B. Anordnung der Filterstrecken) und zum Pumpversuch (vgl. DVWG-Arbeitsblatt W 111 (A), DVWG 2015) festlegen. Im Falle potenzieller Nutzungskonflikte können zusätzliche Anforderungen notwendig werden (z.B. zeitgleiche Messung benachbarter Messstellen oder Brunnen beim Pumpversuch, Abflussmessungen). Sind solche Auflagen trotz drohender Konflikte nicht ausreichend oder möglich, ist die Bohrung bei Bedarf einzustellen.
- Nach **Lagerstättengesetz** muss die Bohrung auch dem LfU gemeldet werden. Das kann online¹⁰ erfolgen. Die gemeldeten Bohrungen inkl. Bohrprofilen stehen über das Bodeninformationssystem BIS auch anderen Fachbehörden zur Verfügung.

⁹ Musterbohranzeige unter www.lfu.bayern.de/wasser/bewaesserung

¹⁰ Meldung nach Lagerstättengesetz unter www.lfu.bayern.de/geologie/bohranzeiger

Ablaufschema Bohranzeige (inkl. Pumpversuch)

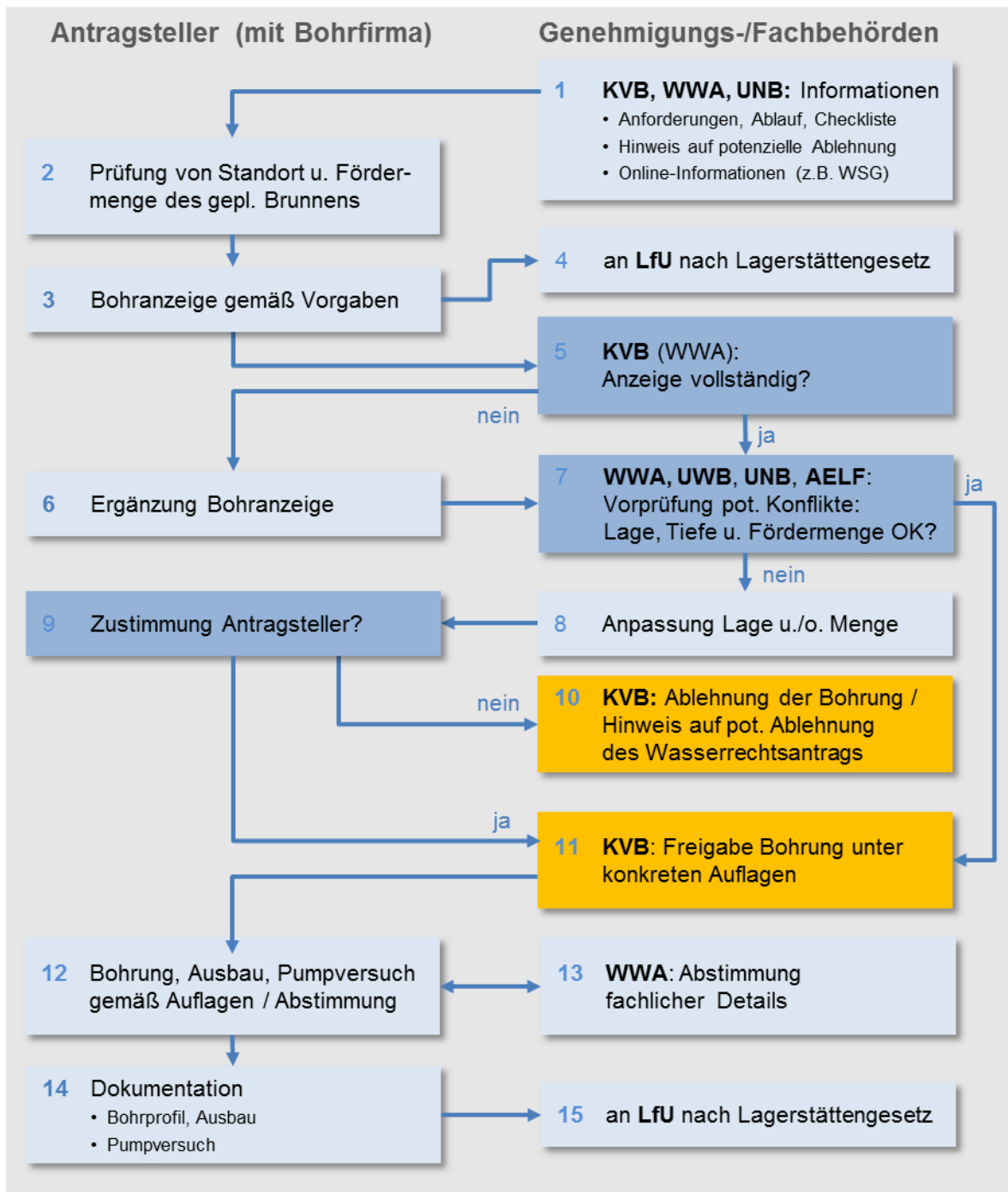


Abb. 28: Ablaufschema zur Prüfung einer Bohranzeige (inkl. Pumpversuch)

5.2 Steuerung bei Anträgen auf Grundwasserentnahmen

5.2.1 Wasserbedarfsnachweis

Der Wasserbedarfsnachweis ist die Verbindung zwischen den Interessen der Landwirtschaft und denen der Wasserwirtschaft. Er sollte im beiderseitigen Interesse möglichst genau und transparent sein. So können z.B. Überschreitungen der genehmigten Entnahmemengen infolge zu niedriger Bedarfsermittlung vermieden und im Bedarfsfall kooperative Lösungen erleichtert werden.

Mit Blick auf das Niedrigwassermanagement und die Ausgestaltung der Genehmigung der Wasserentnahme sind nicht nur **mittlere Bedarfszahlen** von Bedeutung, sondern besonders auch solche für **extreme Trockenphasen**, in denen der Bedarf einzelner Kulturen um mehr als 100 % gegenüber dem Mittel ansteigen kann (Zinkernagel et al. 2017, Anhang A).

Die Kontakte der Landwirtschaftsverwaltung zum Antragsteller sollten gleichzeitig genutzt werden, um ihn über Möglichkeiten der Wassereinsparung zu beraten.

Statistische Bemessungsgrundlage für den Zusatzwasserbedarf

Die in der Praxis kursierenden Zahlen zum Bewässerungsbedarf einzelner Kulturen oder ganzer Betriebe werden oftmals mit dem Hinweis „in der Regel ausreichend“ versehen. Damit bleibt offen, in wie vielen Jahren die Wassermenge ausreicht und wie oft sie in Trockenphasen überschritten wird. In den Wasserrechtsbescheiden stehen dem i.d.R. feste Obergrenzen gegenüber, die nicht überschritten werden dürfen. Witterungsbedingt stark schwankende Bedarfsmengen auf Seiten der Landwirtschaft und wasserwirtschaftliche Erfordernisse müssen also gegeneinander abgeglichen werden.

Der Wasserbedarfsnachweis hat daher zum Ziel, die mit der Witterung wechselnden Bedarfsmengen zu ermitteln und offenzulegen. Im Sinne des Niedrigwassermanagements wird empfohlen, neben dem mittleren Bedarf den für extreme Trockenjahre zu ermitteln. Dieser ist auch die Bemessungsgrundlage für die zu genehmigende Höhe der Entnahme. Alternativ schlägt das DWA-Merkblatt M 590 (DWA 2019, s.u.) als Leitbild einer einheitlichen Bemessungsgrundlage für die Ermittlung des Zusatzwasserbedarfs das „mittlere Trockenjahr“ vor. Dies bedeutet, der ermittelte Zusatzwasserbedarf entspricht einer 80 prozentigen Versorgungssicherheit.

Als statistische Bemessungsgrundlagen für den Wasserbedarfsnachweis ergeben sich somit:

- Bedarf unter mittleren Witterungsbedingungen (50 prozentige Versorgungssicherheit),
- Bedarf in einem extremen Trockenjahr (100 prozentige Versorgungssicherheit).

Die Versorgungssicherheit steht dabei für den Anteil der Jahre, in denen ausreichend bewässert werden kann (z.B. 50 %: in einem Zeitraum von 10 Jahren kann mit der ermittelten Wassermenge der Bedarf in durchschnittlich 5 Jahren ausreichend gedeckt werden).

Empfehlungen zur Vorgehensweise

Aus Sicht des Niedrigwassermanagements sollte der Wasserbedarfsnachweis entsprechend Tab. 15 erstellt werden. Der Abschlussbericht enthält eine entsprechende Checkliste (Anhang). Soweit noch nicht geschehen, wird empfohlen, die eigenen Erfahrungswerte der AELF zum Bewässerungsbedarf zusammen mit denen der landwirtschaftlichen Betriebe und der Literatur systematisch für den Amtsbezirk aufzubereiten und fortzuschreiben. Das DWA-Merkblatt M 590 bietet einen Rahmen, um die Bodeneigenschaften und die lokale Klimasituation in die Bedarfsermittlung systematisch zu integrieren (DWA 2019).

Hinzuzurechnen ist der **sonstige Wasserbedarf**, der sich aus erhöhten Verdunstungsverlusten (z.B. Starkregnern, Speicherbecken), Rohrnetzverlusten sowie sonstigen Sonderfällen ergibt (z.B. Auflaufbewässerung im Gemüsebau, Waschwasser für Gemüse, Sickerverluste von Speicherbecken, vgl. Kap. 3.2.3). Eine hohe Bedarfsquelle kann auch die **Frostschutzbewässerung** sein, die z.B. im Erdbeeranbau den Stundenspitzenbedarf bestimmt.

Bei der Aufstellung des Wasserbedarfsnachweises sollte die zwischen WWA und AELF abgestimmte regionale dargebotsabhängige Bewässerungswürdigkeit der landwirtschaftlichen Kulturen beachtet werden. Im Wasserbedarfsnachweis dürfen nur die in diesem Sinne als bewässerungswürdig eingestuften Kulturen berücksichtigt werden (vgl. Kap.5.2.3).

Die Erstellung des Wasserbedarfsnachweises kann gleichzeitig zur Beratung des Betriebes hinsichtlich einer gezielten **Wassereinsparung** (Kap. 3.2.4) und eines **internen Risikomanagements** (Kap. 3.2.5) genutzt werden.

Aufgrund der Flächenbindung der wasserrechtlichen Gestattung müssen die vom Antragsteller bewirtschafteten Flächen parzellenscharf gemeldet werden.

Der **Klimawandel** bewirkt aktuell und zukünftig einen Anstieg des Zusatzwasserbedarfs, der sich bislang jedoch mangels belastbarer Zahlen nicht eindeutig quantifizieren lässt (Kap. 3.7.3). Im Verhältnis zum spezifischen Bedarf für Trockenjahre von z.B. 250 mm und den sonstigen Einflussfaktoren auf den Wasserbedarf (z.B. Zuwachs bewässerter Flächen, Qualitätsansprüche des Marktes) sind die Wirkungen des Klimawandels bislang eher nachrangig. Soweit zukünftig konkrete Erkenntnisse zum Einfluss des Klimawandels auf den Wasserbedarf der Kulturen vorliegen, sollten diese in den Wasserbedarfsnachweis einfließen.

Tab. 15: Inhalte des Wasserbedarfsnachweises bei Wasserrechtsanträgen zur landwirtschaftlichen Bewässerung (inkl. Angaben des Antragstellers)

Inhalt	Hinweise
Antragsteller	
Antragsteller	Betriebsform/ Organisation, Adresse
Gesamtflächen	bewirtschaftete und davon geplante bewässerte Flächen [ha], jeweils Karte und Liste der Parzellen (mit Gemeinde und Gemarkung)
Grundlagen zur Wasserbedarfsermittlung	
Böden	Bodenarten mit Zuordnung zu Bodenwasserbereitstellungsgruppen (vgl. DWA 2019, Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005)
Klima	Jahresniederschlag [mm/a] (durchschnittliche Jahre und extreme Trockenjahre der letzten 20-30 Jahre), Jahresmitteltemperatur [°C]
bewässerte Kulturen mit Bewässerungstechnik	
aktuell bewässerte Kulturen	Liste der Kulturen, jeweils mit Fläche [ha] und eingesetzter Bewässerungstechnik
zukünftig bewässerte Kulturen	s.o., soweit Änderungen geplant oder abzusehen sind
Wasserbedarf der Kulturen [mm/a]	
Wasserbedarf, mittlerer	mittlerer Bedarf, z.B. über 15-30 Jahre

Inhalt	Hinweise
Wasserbedarf, extreme Trockenjahre	entsprechend Trockenjahren wie 1971, 1976, 2003, 2015 oder 2018
Sonstiger Wasserbedarf [m³/a]	
Wasserbedarf, mittlerer	mittlerer sonstiger Wasserbedarf, z.B. erhöhte Verdunstungsverluste bei Starkregnern (z.B. +10 %), Rohrnetzverluste, Auflaufbewässerung, Waschwasser, Frostschutzbewässerung
Wasserbedarf, extreme Trockenjahre	entsprechend Trockenjahren wie 1971, 1976, 2003, 2015 oder 2018
Summe des Wasserbedarfs [m³/a]	
Wasserbedarf, mittlerer	mittlerer Bedarf, z.B. über 15 Jahre
Wasserbedarf, extreme Trockenjahre	entsprechend Trockenjahren wie 1971, 1976, 2003, 2015 oder 2018
Beratung / Nachweis zu Wassereinsparung und Bewässerungsmanagement	
Einsatz wassersparender Technik	z.B. Tropfbewässerung, Bodenfeuchtesensoren, Steuerungssoftware, Einsatz klimatischer Messdaten und Prognosen
Weitere wassersparende Methoden	z.B. Beregnungszeiten, Auswahl Kulturen, Humuspflge
Betriebsinternes Risikomanagement für ausgeprägte Trockenjahre	Aufforderung an den Betrieb, ein Konzept zur Sicherstellung der Bewässerung bei gleichzeitiger Einhaltung der wasserrechtlichen Gestattung in ausgeprägten Trockenjahren zu erstellen

5.2.2 Flächenbindung der wasserrechtlichen Gestattung

Bewässerungsbetriebe treten zunehmend in hoher Dichte auf. Hieraus resultiert eine starke Konkurrenz der Betriebe um die Ressource Wasser, da sie oft die Erweiterung bewässerter Kulturen begrenzt. Solche Verdichtungsräume sind wasserwirtschaftlich mit erhöhten Risiken verbunden (Summationswirkung).

Um diesen Risiken entgegenzuwirken, ist eine Bindung der wasserrechtlichen Gestattung/ der genehmigten Entnahmemenge an die vom Antragsteller selbst bewirtschaftete Fläche vorgesehen (nachfolgend „**Flächenbindung**“). Nur auf diesen Flächen wird ein Nutzungsanteil der Grundwasserneubildung betrachtet. Für diesen Nutzungsanteil wird als Orientierungswert – auch in Anlehnung an die Ermittlung des nutzbaren Dargebotes im Bilanzgebiet – **30 % der mittleren Grundwasserneubildung empfohlen**. Hieraus ergibt sich für die zu genehmigende Wassermenge:

$$\text{Max. Umfang der wasserrechtlichen Gestattung [m}^3\text{/a]} = \text{mittl. GWN} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ha} \cdot \text{a}} \right] \times \text{bewirtschaftete Fläche [ha]} \times \text{Nutzungsanteil [\%]}$$

Dem Antragsteller soll also nur ein Anteil der Grundwasserneubildungsmenge zugesprochen werden, die auf der von ihm bewirtschafteten Fläche entsteht. Insofern wirkt sich die Flächenbindung direkt auf den maximalen Umfang der wasserrechtlichen Gestattung aus. In niederschlagsarmen Gebieten mit geringer Grundwasserneubildung liegt die aus der Flächenbindung resultierende maximale Wassermenge oftmals unter dem angemeldeten Wasserbedarf der Bewässerungsbetriebe.

Die maximal genehmigte Wassermenge kann bei eintretender Wasserknappheit (hydrologisch oder nutzungsbedingt) durch die Kreisverwaltungsbehörde in Abstimmung mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt in den darauffolgenden Jahren reduziert werden (Teilwiderruf). Es soll im Bescheid angegeben werden, bis wann im jeweiligen Bewässerungsjahr dem Bescheidsnehmer ein evtl. Teilwiderruf mitgeteilt wird. (Vgl. LfU-Schreiben vom Oktober 2019, Nr. 94-4425.1-95293/2019)

Grundsätzlich muss für die **öffentliche Trinkwasserversorgung** ein ausreichender Anteil der Grundwasserneubildung – auch unter Berücksichtigung künftiger Entwicklungen – gesichert werden. Sie ist bevorzugt vor allen anderen Nutzungen zu behandeln. Insofern ist die Grundwasserneubildung auf den Flächen eines Wasserschutzgebietes ausschließlich für die öffentliche Trinkwasserversorgung vorzuhalten. Diese Flächen dürfen nicht bei der Ermittlung der Entnahmemengen für Brauchwassernutzungen eingebracht werden. Zusätzlich ist zu überprüfen, ob auf den Flächen eines Wasserschutzgebietes die Grundwasserneubildung auch unter Berücksichtigung künftiger Entwicklungen für die öffentliche Trinkwasserversorgung ausreicht. Ist dies nicht der Fall, sind die Entnahmemengen für die Brauchwassernutzungen entsprechend zu reduzieren. Dabei sollten auch Erkenntnisse aus hydrogeologischen Modellen, wie z.B. Zuströme aus Randbereichen, berücksichtigt werden. Sofern die Grundwasserneubildung im Wasserschutzgebiet zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung (unter Berücksichtigung des künftigen Wasserbedarfs, vorhandener Detailkenntnisse über die hydrogeologischen Verhältnisse, etc.) nicht ausreicht, **ist der Nutzungsanteil, der den Anträgen auf Brauchwassernutzung zugrunde gelegt wird, angemessen zu reduzieren.**

Die Flächenbindung wird dann empfohlen, wenn sie fachlich begründet werden kann (z.B. fehlende detaillierte Erkenntnisse über den Grundwasserleiter und Vergleichmäßigung des Nutzungsdrucks; keine anderen Steuerungsmöglichkeiten, um schädliche Gewässeränderungen zu vermeiden). Mit ihr werden folgende Ziele verfolgt:

- Risikominderung durch Begrenzung der einzelbetrieblichen Entnahmemengen,
- Anpassung der Bewässerungsmengen an die klimatischen und hydrogeologischen Gegebenheiten vor Ort (summarisch integriert in der Grundwasserneubildung); in niederschlagsarmen Gebieten werden regelmäßig geringere Entnahmemengen genehmigt als in niederschlagsreichen,
- systematische („gerechte“) Verteilung des Wassers zwischen den landwirtschaftlichen Betrieben (eine sehr hohe Entnahmegenehmigung eines Einzelnen könnte ansonsten Wasserentnahmen für andere Antragsteller unmöglich machen),
- homogenere Verteilung der Grundwasserentnahmen innerhalb der Bilanzgebiete,
- Vereinfachung der wasserrechtlichen Verfahren.

Der angegebene Orientierungswert von 30 % kann

- reduziert werden in sensibel reagierenden Gebieten (Hydrogeologie, Naturschutz),
- erhöht werden bei hohem Dargebot und stabilen Grundwasserständen (z.B. flussbegleitende, mächtige Porengrundwasserleiter).

Um eine Gleichbehandlung aller Antragsteller zu gewährleisten, sollten die festgelegten Prozentwerte über längere Zeiträume verbindlich angewendet werden. Anpassungen sind z.B. bei erhöhten Risiken im Bilanzgebiet oder in Teilräumen möglich. Abweichungen und Änderungen sollten begründet und dokumentiert werden.

Als „**mittlere, flächenhafte Grundwasserneubildung**“ können wie bei der Wasserbilanz für das Bilanzgebiet die jeweils aktuellen 30-jährigen Mittelwerte des LfU verwendet werden. Hierbei sollte der Mittelwert über eine größere Fläche, z.B. über das ganze Bilanzgebiet, gewählt werden. Ein kleinräumiger Wechsel des Mittelwertes von Betrieb zu Betrieb sollte vermieden werden.

Zur „**bewirtschafteten Fläche**“ gehören alle vom Antragsteller in eigener Regie bewirtschafteten Parzellen, unabhängig von ihrer tatsächlichen Bewässerung (Basis Mehrfachantrag). Ausgenommen sind Flächen, die in Wasserschutzgebieten liegen bzw. deren Grundwasserneubildung bereits zur Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung reserviert wurde (für eine ausreichende Grundwasserneubildung zu kleine WSG sind mit entsprechend größeren Flächen bei der fachlichen Bewertung anzusetzen bzw. der Nutzungsanteil für die Brauchwassernutzungen ist zu reduzieren). Bei den Pachtflächen gehen nur solche ein, die direkt zur Produktion **im Bilanzgebiet** genutzt werden. Die

bewirtschafteten Parzellen bzw. Schläge sind im Wasserrechtsverfahren anzugeben (Nummern mit Gemeinde und Gemarkung, Kartendarstellung). Eine GIS-gestützte Erfassung der Parzellen oder Schläge (z.B. Auszug aus InVeKoS durch Betriebe) kann die Dokumentation im WWA oder in der KVB vereinfachen (Mersch et al. 2011). Hiermit können auch Mehrfachmeldungen von Parzellen verhindert werden.

Die Flächenbindung ersetzt nicht die Prüfung potenzieller Nutzungskonflikte. In allen Fällen sind die Auswirkungen der Antragsmengen auf die lokalen Schutzgüter und das nutzbare Dargebot zu prüfen. Aus der Flächenbindung ergibt sich auch kein Anspruch auf eine Zuteilung der beantragten Grundwasserentnahme. (Grund-) Wasser ist ein Allgemeingut, das nicht für einen Grundstückseigentümer oder Pächter „reserviert“ werden kann. Die Berücksichtigung der Fläche wird lediglich als ein wichtiges Steuerungsinstrument mit den o.g. Vorteilen gesehen.

Sofern detailliertere Erkenntnisse über die Grundwasserneubildung und das wasserwirtschaftlich nutzbare Dargebot vorhanden sind, kann im Zuge der wasserwirtschaftlichen Begutachtung auch eine von der Fläche unabhängige Wassermenge ermittelt oder der für die Nutzung freigegebene Anteil der flächigen mittleren Grundwasserneubildung gutachterlich festgelegt werden. Um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des wasserwirtschaftlich nutzbaren Dargebotes an alle Nutzer zu gewährleisten, empfiehlt es sich, die bewirtschaftete Fläche auch in diesen Fällen bei der Zuteilung der Wassermenge steuernd heranzuziehen.

Begleiterscheinungen der Flächenbindung

Die Flächenbindung unterstützt die Ziele des Niedrigwassermanagements. Für die landwirtschaftlichen Betriebe stellt sie jedoch eine besondere Herausforderung dar, da eine Bewässerung aufgrund der begrenzten Entnahmegenehmigungen immer nur auf Teilflächen möglich ist. Um dennoch größere Mengen oder zusätzliche Kulturen auf dem hart umkämpften Markt anbieten zu können, pachten sie zusätzliche Flächen an. Diese dienen meist nur der Erhöhung der genehmigten Entnahmemenge, an einem Anbau von Feldfrüchten wie z.B. Getreide besteht kaum Interesse. Aufgrund der höheren Deckungsbeiträge im Sonderkulturanbau können die Bewässerungsbetriebe deutlich höhere Pachtpreise zahlen. Dies kann nennenswerte Verschiebungen im Pachtmarkt auslösen, z.B. lokal die Verdrängung konventioneller Betriebe. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht überwiegen dennoch die Vorteile der Flächenbindung. Sie ist ein wesentlicher Baustein zur Vereinfachung der Wasserrechtsverfahren, zur räumlichen Steuerung der Entnahmen und zum Schutz mittlerer und kleiner Bewässerungsbetriebe. Diese Vorteile sind im Sinne von Land- und Wasserwirtschaft.

Als einzige Alternative zur Flächenbindung wird der Nachweis des nutzbaren Dargebotes durch den Antragsteller, z.B. unter Verwendung eines Grundwassermodells, gesehen. Dieser Ansatz führt aber dazu, dass große, finanziell potente Betriebe diesen Nachweis erbringen und sich somit eine Genehmigung hoher Grundwasserentnahmen sichern können. Kleinere Betriebe können diesen Aufwand nicht leisten und würden so von einer Bewässerung abgekoppelt werden. Gleiches gilt für spätere Antragsteller, die nicht mehr berücksichtigt werden können, weil die ersten Antragsteller nach dem „Windhundprinzip“ das maximal mögliche nutzbare Dargebot beansprucht haben. Insofern wird der Ansatz mit Flächenbindung – trotz der genannten Nachteile – als derjenige gesehen, der eine faire und gleichmäßige Verteilung der knappen Ressource Wasser ermöglicht.

Berücksichtigung von Alt- und Sonderfällen

Die Flächenbindung kann nicht in allen Fällen pauschal angewendet werden. Nachfolgend werden Beispiele erläutert, in denen Modifizierungen oder abweichende Steuerungsverfahren anzuwenden sind.

Anbaugebiete mit sehr geringen Grundwasserneubildungsraten

Soweit in Anbaugebieten mit geringen Grundwasserneubildungsraten die wasserwirtschaftlichen

Rahmenbedingungen es zulassen, kann ein über den Orientierungswert hinausgehender Anteil der GW-Neubildung vergeben werden (unter Beibehaltung der Flächenbindung). In dem Maße, wie höhere Mengen vergeben werden, müssen jedoch aufgrund der geringen Neubildung andere Kontroll- und Steuerungsansätze verstärkt werden. Mögliche Ansätze sind die Festlegung maximaler Fördermengen für das Bilanzgebiet (oder Teilgebiete), die Begrenzung der Fördermengen risikoreicher Brunnenstandorte oder die Intensivierung des Monitorings (Kap. 5.4), möglichst in Verbindung mit gemeinschaftlich organisierter Wasserentnahme (Kap. 9). Alle Maßnahmen können zusätzlich in einem Managementplan hinterlegt werden (Kap. 7).

Besondere Betriebsformen mit geringer Gesamtfläche

Hierzu zählen z.B. Gewächshäuser, Obstkulturen (nur Dauerkulturen, keine Erdbeeren), Baumschulen, Staudengärtnereien oder Viehmastbetriebe ohne eigenen Futteranbau, die nur geringe Gesamtflächen bewirtschaften. Die Nachhaltigkeit der beantragten Grundwassergewinnung sollte über eine vereinfachte Bilanzierung nachgewiesen werden. In komplexeren Fällen kann diese auf ein hydrogeologisches Gutachten erweitert werden, das z.B. benachbarte Entnahmen oder sensible Flächen berücksichtigt. Vor der Vergabe sollte auch auf der Ebene des Bilanzgebietes geprüft werden, ob Fördermengenerhöhungen möglich sind. Im Zweifelsfall sollte der Anteil der zuzuteilenden Wassermenge eher reduziert oder die Laufzeit der Genehmigung (mittels Befristung des Bescheids) verkürzt werden, um eine Übernutzung der Wasservorkommen zu vermeiden und bei neuen Erkenntnissen ausreichend Reaktionszeit für eine Neubewertung zu bekommen.

Bewässerungsgebiete mit bereits bestehender hoher Verdichtung

In alten Bewässerungsgebieten, insbesondere solchen mit günstigen Bodeneigenschaften, handelt es sich oftmals um Betriebe, die fast ausschließlich bewässerte Sonderkulturen anbauen. Sie können die notwendigen Bewässerungsmengen ggf. nicht über die Grundwasserneubildung auf den eigenen Flächen generieren. Gleichzeitig beeinflussen sich die Brunnen aufgrund der Verdichtung oftmals gegenseitig. Ein nachhaltiges Ressourcenmanagement kann hier nur auf der Ebene des Bilanzgebietes oder seiner Teilflächen erfolgen (Kap. 5.3). Zu Etablierung einer systematischen Bewirtschaftung bieten sich Grundwassermanagement-Pläne für Niedrigwasserphasen an (Kap. 7). Sofern mit diesen Maßnahmen keine ausreichende Sicherheit gegen Übernutzung der Grundwasservorkommen gewährleistet werden kann, ist bei Neugenehmigungen oder beantragten Verlängerungen die Wassermenge entsprechend zu reduzieren.

Gemeinschaftlich organisierte Bewässerung

Sofern die Bewässerung innerhalb eines größeren Gebietes in einer gemeinschaftlichen Organisationsform von mehreren Betrieben erfolgt, kann die Flächenbindung für den Einzelbetrieb ggf. auch entfallen. Für das gesamte Bewässerungsgebiet wäre jedoch eine adäquate Regelung, z.B. auf Grundlage einer hydrogeologischen Modellierung, zu treffen, damit innerhalb des Bilanzgebietes auch anderen Betrieben, die nicht der Organisationsform angehören, grundsätzlich auch eine Bewässerung ermöglicht werden kann.

5.2.3 Vorsorgende Maßnahmen

Nachfolgend werden ausgewählte Maßnahmen erläutert, die im Sinne des Niedrigwassermanagements auf der Ebene des Wasserrechtsverfahrens steuernd eingesetzt werden können. Tab. 19 (S. 97) listet zusätzliche Maßnahmen auf, die von der Wasserwirtschafts- oder der Naturschutzverwaltung angewendet werden können. Die Notwendigkeit eines betriebsinternen Wasser- und Risikomanagements in den landwirtschaftlichen Betrieben wird in Kapitel 3.2.5 beschrieben. Auf das Monitoring wird in Kapitel 5.4 näher eingegangen.

Alternativenprüfung

Vor einer Entnahme von Grundwasser zur Bewässerung sind Alternativen zu prüfen. Dabei sind Wasservorkommen für Bewässerungszwecke in Abhängigkeit von ihrer Herkunft wie folgt zu priorisieren:

1. gesammelter Niederschlag,
2. oberirdische Gewässer bei ausreichend hohen Abflüssen, insbesondere zur Speicherung in Zeiten hoher Abflüsse für eine spätere Nutzung in den Bedarfszeiten,
3. Grundwasser (gesättigte Zone) aus Uferfiltrat,
4. oberflächennahes Grundwasser.

Dieses Vorgehen ergibt sich aus Nr. 2.1.1.8 VVWas. Es soll der Anforderung gerecht werden, dass Grundwasservorkommen bevorzugt für die öffentliche Trinkwasserversorgung herangezogen werden. Durch diesen Ansatz können von Anfang an mögliche Nutzungskonflikte vermieden werden. Grundwasserleiter können, in Abhängigkeit von der hydrogeologischen Situation, auf äußere Einwirkungen sehr sensibel reagieren. Die Regeneration von Grundwasserleitern kann fallweise mehrere Jahre betragen und ist von Hitze- und Trockenphasen stark beeinflusst. Insofern erfordert das Grundwasser einen besonderen Schutz. Vermeidbare Brauchwasserentnahmen sollen unterlassen werden.

Grundsätzlich sind Entnahmen aus abflussschwachen, oft sensibel auf Trockenphasen reagierenden Fließgewässern, auch mit Blick auf zu erwartende Folgeanträge, i.d.R. keine Alternative. Selbst bei mittleren bis großen Fließgewässern kann eine großräumige Ermittlung nachhaltig nutzbarer Wassermengen erforderlich sein, um bei zunehmenden Entnahmeanträgen bzw. Entnahmemengen die Beurteilung auf eine konsequente und einheitliche Grundlage stellen zu können. Hierbei müssen der Stunden- und der Tagesspitzenbedarf sowie die zur Entnahme genutzten Pumpleistungen (Momentanentnahmen) berücksichtigt werden, da sie zeitlich mit extremen Niedrigwasserphasen zusammenfallen können. Präzedenzfälle, die bei Nachahmung schnell Nutzungskonflikte auslösen können, sind zu vermeiden (z.B. Entnahmeerlaubnis aus kleinen Fließgewässern). Entnahmen aus Oberflächengewässern können eventuell nicht den gesamten Wasserbedarf decken, aber möglicherweise in Kombination mit Grundwasserentnahmen zu dessen Entlastung beitragen.

Vor allem bei kleineren Gewässern ist – auch mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels – zu prüfen, ob die Entnahme von Uferfiltrat der direkten Entnahme aus dem Gewässer vorzuziehen ist (Kap. 5.2.5). Dies kann auch aus Gründen der Wasserqualität für Bewässerungszwecke erforderlich sein (z.B. bakteriologische Belastungen). Bei einer Uferfiltratnutzung sind die für Grundwasser geltenden rechtlichen Regelungen anzuwenden. Bei ggf. begrenztem örtlichem Wasserdargebot und dadurch bedingter Notwendigkeit der Beileitung bietet ein Zusammenschluss interessierter landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Betriebe zur Errichtung gemeinsamer Wassergewinnungs- und Verteilungsanlagen die besten Voraussetzungen zur nachhaltigen Nutzung und vermeidet Interessenskonflikte (Kap. 9).

Eine Entspannung des Nutzungsdrucks auf die Grundwasservorkommen sowie auf Oberflächengewässer kann auch durch **Zwischenspeicherung** des Wassers erreicht werden. Zwischenspeicher werden dabei in wasserreichen Monaten (Winter, Frühjahr) z.B. aus Niederschlagswasser, Oberflächengewässern oder Uferfiltrat gefüllt, um in angespannten Monaten bei großer Hitze und Trockenheit eine Bewässerung ohne zusätzliche Belastung der Gewässer oder des Grundwassers zu ermöglichen. In Abhängigkeit von der Ergiebigkeit der alternativen Wasservorkommen kann eine Zwischenspeicherung für den Bewässerungsbedarf für einzelne Wochen bis hin zu einer ganzen Vegetationsperiode/ ein Vegetationsjahr erforderlich sein. In vielen Fällen ist für Planung, Bau und Betrieb großer, kostenintensiver Speicher-, Verteil- und Bewässerungsanlagen die Einrichtung gemeinschaftlicher Organisationsformen zielführend.

Die Prüfung alternativer Wasserressourcen muss in einer Bewertung enden, ob Alternativen unter Berücksichtigung sowohl der **Umweltauswirkungen** als auch der grundsätzlichen **Realisierbarkeit** (z.B. Nähe zu Gewässern, Dargebot alternativer Wasservorkommen, Investitionskosten) möglich und zumutbar sind. Der betriebswirtschaftliche Aspekt für die Nutzer ist zwar zu würdigen, soll bei Vorhandensein von realisierbaren und zumutbaren Alternativen aber nicht allein über den Zugriff auf Grundwasservorkommen entscheidend sein. Bei ökologisch vertretbaren, technisch realisierbaren und zumutbaren Alternativen sind Grundwasserentnahmen für Bewässerungszwecke im Rahmen der fachlichen Begutachtung abzulehnen, es sei denn, dass sich im betroffenen Bilanzgebiet auch bei starker Zunahme von Grundwasserentnahmen keinerlei Probleme abzeichnen. Fallweise kommt auch eine Kombination aus Grundwasserentnahmen und alternativen Wasservorkommen in Frage.

Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasserleitern

Sofern Brauchwasserentnahmen aus dem Grundwasser beabsichtigt sind und wasserwirtschaftlich positiv begutachtet werden, können **nur sich schnell regenerierende Grundwassersysteme**, die sich meist im oberflächennahen Grundwasserleiter befinden, potenziell herangezogen werden. Daher wird dieses Grundwassersystem im Abschlussbericht als **oberflächennahes Grundwasser** bezeichnet.

Grundwassersysteme, die sich nur langsam regenerieren, befinden sich üblicherweise in tieferen Grundwasserhorizonten. Nach dem derzeit in Fortschreibung befindlichen LfU-Merkblatt Nr. 1.4/6 wird **Tiefengrundwasser** als ein **sich langsam regenerierendes Grundwassersystem** definiert, das aufgrund

- einer oft mächtigen Überdeckung durch eine gering durchlässige Schicht,
- eines signifikanten Wechsels der hydraulischen Leitfähigkeit innerhalb des Grundwasserstockwerks oder
- einer großen Mächtigkeit des Grundwasserstockwerks

natürlicherweise nur langsam am aktuellen Wasserkreislauf teilnimmt. Daher ergibt sich eine vergleichsweise geringe Grundwasserneubildung und folglich eine hohe Vulnerabilität gegenüber äußerer Einwirkung. Fallweise kann ein derartiges Tiefengrundwasser auch ein Grundwasservorkommen mit nur geringem Flurabstand sein. Eine Entnahme von Tiefengrundwasser bzw. aus langsam regenerierenden Grundwassersystemen ist für Bewässerungszwecke deshalb nicht genehmigungsfähig.

Diese Tiefengrundwasser-Vorkommen stellen eine eiserne Reserve für die Versorgung der Bürgerinnen und Bürger mit Trinkwasser bei unvorhersehbaren Ereignissen dar und sollen ansonsten nur für Zwecke genutzt werden, die auf die besonderen Eigenschaften von Tiefengrundwasser angewiesen sind (Nr. 2.1.1.8 VVWas und Nr. 7.2.2 LEP).

Je nach hydrogeologischen Verhältnissen können Mischsysteme von oberflächennahem Grundwasser und Tiefengrundwasser auftreten. Für die Begutachtung ist hierbei entscheidend, dass bei einem signifikanten **Tiefengrundwasseranteil ab ca. 10-20 %** die Bewirtschaftungsgrundsätze und die vorgenannten Regelungen zu sich langsam regenerierenden Grundwassersystemen zu beachten sind. Eine Nutzung solcher Mischwässer für Bewässerungszwecke kann die natürlichen Potenzialverhältnisse und damit die Reinheit des Tiefengrundwasservorkommens verändern und ist daher auszuschließen.

Dargebotsabhängige Bewässerungswürdigkeit

Der landwirtschaftliche Begriff der Bewässerungswürdigkeit bezieht sich auf die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung, also die Frage, ob durch die Bewässerung ein Mehrertrag erzielt wird, der (deutlich)

über dem mit der Bewässerung verursachten Zusatzaufwand liegt. Eine hohe wirtschaftliche Bewässerungswürdigkeit besitzen z.B. Obst, Gemüse, Wein und Kartoffeln, bei Getreide und Futtermais ist sie bislang wesentlich geringer.

Für das NW-Management wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht die Betrachtung einer **dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit** empfohlen. Dabei wird bewertet, für welche Kulturen eine Bewässerung unter Berücksichtigung eines wasserwirtschaftlich und ökologisch nachhaltigen Handelns ermöglicht werden sollte. Dies ist besonders relevant bei einem geringen nutzbaren Grundwasserangebot unter Berücksichtigung der mittleren Grundwasserneubildung und der Ergiebigkeit des jeweiligen Grundwasserleiters. Danach wird in der Regel fachlich eher nicht zugestimmt werden können, z.B. Energiepflanzen zu bewässern, um eine Ertragsmaximierung sicherzustellen. Dagegen erscheint es als akzeptabel, Pflanzen auch bei knappem Dargebot zu bewässern, wenn diese sich ansonsten überhaupt nicht (ausreichend) entwickeln können (Beregnungsbedürftigkeit).

Zwischen der Ablehnung eines Antrags auf Bewässerung aufgrund nicht gegebener dargebotsabhängiger Bewässerungswürdigkeit und einer Zustimmung auch bei flächenstarken Kulturen wie z.B. Getreide oder Mais, lässt sich keine eindeutige Grenze ziehen.

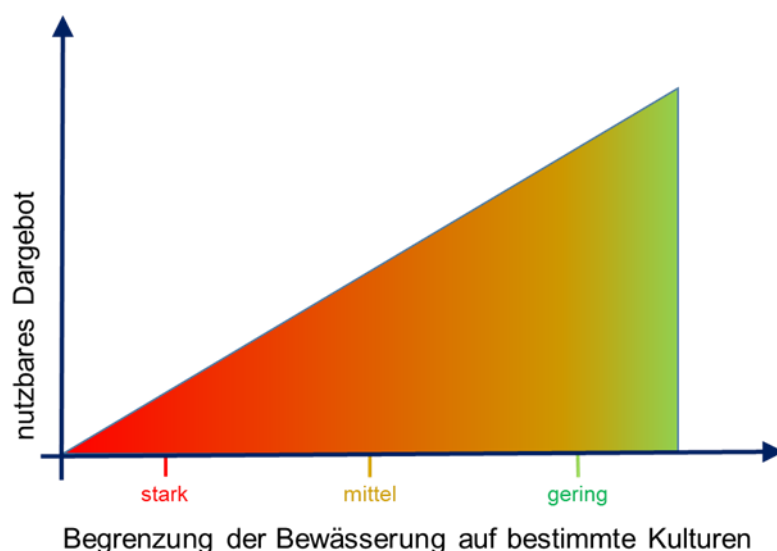


Abb. 30: Schematische Darstellung der dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit

In jedem Fall sind die Maßstäbe mit zunehmender Knappheit des Wasserdargebotes strenger anzulegen. So sollte die Bewässerung von Getreide, Mais oder gar Energiepflanzen dann eher kritisch gesehen werden, wenn das in der Natur vorhandene knappe Dargebot bereits zu Einschränkungen bei den beantragten Wassermengen führt oder sich bereits mögliche Konflikte mit anderen Nutzungen oder ökologisch wertvollen Flächen oder Landschaftsteilen abzeichnen. Dagegen können die Maßstäbe etwas großzügiger ausgelegt werden, wenn z.B. das Grundwasser von ergiebigen Oberflächengewässern gut gestützt wird, die beantragte Wassermenge im Bilanzgebiet nicht eingeschränkt werden muss und sich die Entnahmen nur gering auf die Grundwasserstände auswirken.

Es wird empfohlen, dass sich das jeweilige WWA mit dem zuständigen AELF möglichst frühzeitig je Bilanzgebiet, je Landkreis oder je Amtsbereich darauf verständigen, welche Kulturen aufgrund der gegebenen Randbedingungen der dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit zugeordnet werden und welche nicht. Dabei sollte auch die grundlegende Bewässerungsbedürftigkeit einzelner Kulturen berücksichtigt werden. Die Festlegung ist zu dokumentieren und dann konsequent der fachlichen Be-

urteilung der Entnahmeanträge zugrunde zu legen. Sie sollte regelmäßig, insbesondere bei zunehmenden Entnahmemengen, überprüft und ggf. neu festgelegt werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in der Diskussion zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft kein Konsens über die Festlegung der dargebotsabhängigen Bewässerungswürdigkeit gefunden werden konnte. Von Seiten der Landwirtschaftsverwaltung wird empfohlen, sie bei der Begutachtung von Entnahmeanträgen nicht einfließen zu lassen, sondern den Nutzungsdruck auf die Grundwasservorkommen ausschließlich über die zugeteilte Wassermenge zu steuern.

Steuerung von Lage und Menge der Wasserentnahmen

Mit der Lageprüfung und -optimierung sollen potenzielle Nutzungskonflikte von vornherein vermieden oder zumindest minimiert werden. Im Kapitel zur Bohranzeige (Kap. 5.1) wird der Ablauf, der im Austausch mit dem Antragsteller erfolgen sollte, beschrieben.

Ziele der Lageoptimierung und der räumlichen Mengensteuerung sind z.B. die Vermeidung zu starker Entnahmekonzentrationen auf kleinem Raum oder die Berücksichtigung von Schutz- und Pufferzonen (WSG, HQS, Quellen/Fließgewässer, Naturschutz). Eine Reduzierung der Risiken kann oftmals über folgende Punkte erreicht werden:

- Verschiebung geplanter Entnahmestandorte um geringe Distanzen (z.B. 100-400 m),
- Begrenzung der wasserrechtlichen Gestattungen an sensiblen Standorten (auch in Sammelgenehmigungen für mehrere Brunnen),
- Festlegungen von Pufferzonen zu besonders sensiblen Flächen (z.B. WSG, Feuchtbiotope, Quellen), in denen generell keine Entnahmen erfolgen sollen (vgl. auch Kap. 7).

Hydrologische Steuerungsinstrumente

Bereits im Rahmen der Bohranzeige (Kap. 5.1) kann z.B. der **Brunnenausbau** festgelegt werden. Tiefere Grundwasserhorizonte können so von der Nutzung ausgeschlossen werden. Bei Bedarf sind Kontrollen vor Ort durchzuführen (z.B. Flowmeter-Messungen).

Für den Brunnen können **maximale Absenktiefen** definiert werden, die im Betrieb nicht unterschritten werden dürfen. Hierüber kann z.B. die Gefahr einer ungewollten Durchmischung unterschiedlicher Grundwasserstockwerke, die Entlastung gespannter Grundwasserleiter, das Trockenfallen von Quellen oder die Entwässerung benachbarter Feuchtbiotope reduziert werden. Zur Kontrolle sind vom Bescheidsnehmer Datenlogger einzusetzen und Monitoringberichte vorzulegen. Die direkte Messung in den Brunnen sollte jedoch nicht überschätzt werden. Insbesondere in Kluftgrundwasserleitern, wo im Brunnen selbst schnell Absenkungen von 5-20 m erreicht werden, sagt sie wenig aus über die Grundwasserstände in benachbarten Feuchtbiotopen oder potenzielle Abflussminderungen in kleinen Gewässern. Dort sind bei Bedarf gesonderte Messstellen erforderlich.

In Fällen, in denen Fließgewässer oder Quellen potenziell betroffen sind, müssen **Mindestabflüsse** definiert werden. Mit ihnen soll die ökologische Funktion der Gewässer gerade in Trockenphasen aufrechterhalten werden.

Weitere Hinweise zu **Warnwerten und Grenzgrundwasserständen** an Grundwassermessstellen enthält Kapitel 5.3.1.

Naturschutzfachliche Vorsorgemaßnahmen

Innerhalb des Wasserrechtsverfahrens sind potenzielle Auswirkungen auf Feuchtbiotope bzw. – im Sinne der WRRL – grundwasserabhängige Landökosysteme zu bewerten. Bei Feuchtbiotopen, die

durch historische Kulturmaßnahmen, aktuelle (geplante) Wasserentnahmen oder den Klimawandel (vor-)belastet sind, kann der Wasserhaushalt evtl. gezielt stabilisiert werden. Potenzielle Maßnahmen sind in Zusammenarbeit zwischen den WWA und den Naturschutzbehörden zu entwickeln. Möglichkeiten sind z.B. Rückbau oder Anstau von Entwässerungsgräben oder Dränagen, (temporäre) Ausleitungen von Fließgewässern in Feuchtbiootope, Sohlschwellen in Fließgewässern zur Anhebung des Wasserstandes oder die Vertiefung bestehender Stillgewässer.

Die Maßnahmen sind selbst einer naturschutz- und wasserrechtlichen Prüfung zu unterziehen.

Berücksichtigung des Klimawandels

Sowohl die bereits existierenden als auch die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels sollten im NW-Management systematisch berücksichtigt werden. Dies erfolgt z.B. durch

- die Betonung der Vorsorge (z.B. Erhaltung von ausreichenden Wasserreserven),
- die Verankerung wassersparender Bewässerungstechniken,
- die systematische Risikobewertung und aktive Steuerung ganzer Bilanzgebiete,
- die Verwendung aktueller Daten zur langjährigen Grundwasserneubildung,
- kürzere Befristungen der wasserrechtlichen Gestattungen (schnellere Anpassungen möglich),
- den Bau von Speicherbecken zur Senkung des Spitzenbedarfs in Trockenphasen,
- die Berücksichtigung der Erkenntnisse historischer Trockenphasen wie 1976/77, 2003, 2015 und 2018/19 und die gezielte Beobachtung zukünftiger Trockenjahre.

5.2.4 Inhaltliche Anforderungen an die wasserrechtliche Gestattung

Nachfolgend werden einige Elemente des Niedrigwassermanagements erläutert, die im Wasserrechtsbescheid verankert werden sollten. Eine Übersicht möglicher Elemente liefert Tab. 17 (S. 89).

Besonders hervorzuheben ist, dass wegen des generellen Vorrangs der Trinkwasserversorgung für Brauchwasserentnahmen aus Grundwasser regelmäßig nur eine beschränkte, stets widerrufliche Erlaubnis in Frage kommt.

Umfang und Befristung der wasserrechtlichen Gestattung

Im Wasserrechtsverfahren ist zu prüfen, ob dem nachgewiesenen Wasserbedarf ein entsprechendes nutzbares Grundwasserdargebot gegenübersteht. Die Erfahrung zeigt, dass der Bewässerungsbedarf in grundwasserarmen Gebieten höher sein kann als das nutzbare Dargebot bzw. die Menge, die dem einzelnen Antragsteller unter Berücksichtigung der Flächenbindung (Kap. 5.2.2) fachlich zugestanden werden kann. In diesem Fall ist die landwirtschaftliche Bewirtschaftung an die reduzierte Wassermenge anzupassen.

Es ist vorgesehen, dass die genehmigte Entnahme (Momentan-Entnahme/ Tagesentnahme/ Monatsentnahme/ Jahresentnahme) angegeben wird als maximale Entnahmemenge in **extremen Trockenjahren**.

Hieraus ergibt sich ein Spannungsfeld, das meist darin besteht, dass

- der wasserrechtliche Bescheid nur starr einen Wert als maximale Wassermenge vorsieht,
- die realen Fördermengen witterungsbedingt aber stark schwanken und
- der Spitzenbedarf nur in extremen Trockenjahren, also selten auftritt (vgl. Kap. 3.2.5 mit Abb. 7 und Kap. 3.5.3 mit Abb. 14).

Um die genehmigte Entnahmemenge bei unveränderter Beregnungspraxis auch in Trockenjahren einhalten zu können, muss der Wasserbedarf der landwirtschaftlichen Betriebe unter (langjährig) mitt-

leren Witterungsbedingungen deutlich unter der im Bescheid festgelegten maximalen Entnahmemenge bleiben. Zur Verdeutlichung dieser Rahmenbedingungen sollten im Wasserrechtsbescheid ausdrücklich

- neben der maximalen Entnahmemenge
- sowohl der **mittlere Bedarf** als auch der **Bedarf in extremen Trockenjahren** angegeben werden.

Hiermit soll insbesondere in den Fällen, in denen bereits der mittlere Bedarf nahe an der maximal genehmigten Entnahme liegt, verdeutlicht werden, dass der Antragsteller ein **betriebsinternes Wasser- bzw. Risikomanagement** durchführen sollte, um auch in Trockenjahren die im Bescheid festgelegte Menge einhalten und die wirtschaftlichen Schäden möglichst auffangen zu können (Kap. 3.2.5).

Aufgrund der oftmals unzureichenden Datenlage und der schnellen, in Teilen aber noch unbestimmten Wirkung des Klimawandels, sind **Laufzeiten** von z.B. 15-20 Jahren nicht mehr vertretbar. Eine Übernutzung der Wasservorkommen darf auch unter widrigen Bedingungen und unter eingehender Abschätzung künftiger Entwicklungen (Klimawandel, Dargebot, Nutzungen, etc.) nicht zu befürchten sein.

Es wird empfohlen, den Erlaubniszeitraum standardmäßig auf 5 Jahre zu befristen. In Abhängigkeit von der Risikoklasse sind im Einzelfall längere oder kürzere Laufzeiten möglich (Bewirtschaftungsermessens gemäß § 12 Abs. 2 WHG)., maximal jedoch 10 Jahre. Insbesondere bei unklaren hydrogeologischen Verhältnissen und/oder in Verdichtungsräumen von Grundwasserentnahmen kann eine kürzere Befristung wasserwirtschaftlich angemessen sein, wobei zusätzlich Auflagen und Hinweise hinsichtlich eines Teilwiderrufs der maximal zugeteilten Wassermenge bei eintretender Wasserknappheit (hydrologisch oder nutzungsbedingt) in den Bescheid aufgenommen werden sollte.

Grundsätzlich sollte berücksichtigt werden, dass bei einer kurzen Laufzeit der Genehmigung in kurzem zeitlichem Abstand wiederholt ein Antrag auf eine weitere bzw. sich anschließende Brauchwasserentnahme gestellt wird. Dieser immer wiederkehrende Prozess stellt für alle Beteiligten einen hohen Aufwand dar.

Bei allen Entscheidungen ist zu berücksichtigen, dass die landwirtschaftlichen Betriebe auf eine langfristig gesicherte Wasserentnahme existenziell angewiesen sind. Anpassungen bei bestehenden Wasserrechtsbescheiden sollten den Betroffenen frühzeitig angekündigt und ausführlich begründet werden.

Tab. 16: Empfohlene Laufzeiten für wasserrechtliche Gestattungen in Abhängigkeit von der Risikoklasse des Bilanzgebietes oder Einzelantrags

Laufzeiten der wasserrechtlichen Gestattungen nach Risikoklasse des Bilanzgebietes oder Einzelantrages			
gering	mittel	hoch	sehr hoch
5-10 ¹⁾ Jahre	5-10 ¹⁾ Jahre	5 Jahre	5 Jahre

¹⁾ 10 Jahre insbesondere bei hohen Investitionen in wassersparende Technologien, z.B. Tröpfchenbewässerung, oder in Kombination mit Regenrückhaltebecken

Bei der Befristung der Wasserrechtsbescheide sollte insbesondere der vorhandene Kenntnisstand und die Belastbarkeit der zur Verfügung stehenden Daten berücksichtigt werden (z.B. Länge der Messreihen oder Detailkenntnissen aus einem vorhandenen hydrogeologischen Modell).

Nebenbestimmungen

Die Antragsteller sollten ausdrücklich zu einer **sparsamen und effizienten Wassernutzung** bescheidsmäßig verpflichtet werden. Neben allgemeinen Hinweisen sollten, bei Bedarf nach Rücksprache mit dem AELF, möglichst konkrete Sparmaßnahmen in den Bescheid aufgenommen werden. Hierzu gehören z.B. die Beschränkung der Bewässerung auf verdunstungsarme Tages- und Nachtzeiten (Ausnahmen für Ansaaten etc. sind zu regeln), die Reduzierung von Leitungsverlusten oder der Einsatz von Tropfbewässerung bei geeigneten Kulturen (vgl. Kap. 3.2.4).

Zusätzlich sollten die Antragsteller darauf hingewiesen werden, dass zur Einhaltung der Bescheide und zur Vermeidung massiver Ertragseinbußen in Trockenphasen ein **betriebsinternes Wasser- und Risikomanagement** erforderlich ist (Kap. 3.2.5). Grundlage hierfür ist die Erfassung und Dokumentation der Fördermengen. Die Messungen müssen ausschließlich auf **geeichten Wasseruhren** beruhen. Alternative Ansätze wie Abschätzungen über Pumpenlaufzeiten, Pumpendruck und Düsendrücken sind aufgrund der Fehleranfälligkeit und mangels Kontrollmöglichkeiten zukünftig strikt abzulehnen (vgl. Regierungspräsidium Darmstadt 2009, Teil B).

Auf potenzielle **Maßnahmen in akuten Niedrigwasserphasen** sollte bereits im Wasserrechtsbescheid hingewiesen werden (Kap. 6, z.B. monatliche Meldung der Fördermengen). Die im Bescheid aufgeführten **Nebenbestimmungen** können zusätzlich **unter Vorbehalt** gestellt werden, sodass in extremen Niedrigwasserphasen evtl. zusätzliche Maßnahmen angeordnet werden können. Diese zusätzlichen Maßnahmen müssen im Wasserrechtsbescheid hinreichend bestimmt formuliert sein.

Von besonderer Bedeutung für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement ist die Einführung von **Warn- und Grenzwerten an Messstellen**, da hiermit eine unmittelbare Verbindung zwischen den Wasserentnahmen und den Auswirkungen auf die Wasserstände (Grundwasser, Still- und Fließgewässer) hergestellt wird. Die konkreten Warn- und Grenzwerte sollten möglichst für das ganze Bilanzgebiet entwickelt werden. Das Konzept wird in Kapitel 5.3.1 näher erläutert.

Ebenso zum Niedrigwassermanagement gehört ein gezieltes **Monitoring**, zu dem die Erfassung der Fördermengen, bei Bedarf aber auch weitere Punkte gehören können. Beispiele sind die Erfassung von Grundwasserständen in Brunnen und Messstellen (i.d.R. aufgrund der förderbedingt kurzzeitigen Schwankungen mit Datenloggern), in Einzelfällen evtl. auch naturschutzfachliche Vermeidungsmaßnahmen oder andere Untersuchungen im Sinne einer **Beweissicherung**. Das Monitoring wird in Kapitel 5.4 näher behandelt.

Die im Rahmen des Monitorings erfassten Daten sollten schriftlich und digital gemeldet werden (z.B. Loggerdaten zur anschließenden Speicherung als Excel-Liste). Bei größeren Entnahmen oder bei gemeinschaftlicher Organisationsstruktur kann eine Aufbereitung und Bewertung der Daten in Form jährlicher **Monitoringberichte** gefordert werden, die gezielt konkrete oder potenzielle Nutzungskonflikte berücksichtigen.

Weitere Hinweise erfolgen in Tab. 17.

Tab. 17: Mögliche Inhalte eines Wasserrechtsbescheides mit Bezug zum Niedrigwassermanagement

Inhalt / Nebenbestimmung	Erläuterung
Wasserrechtliche Gestattung	
Maximale Höhe der Entnahmemenge	Entnahmemenge, die zu keinem Zeitpunkt, d.h. auch in extremen Trockenjahren oder an heißen Tagen, überschritten werden darf. Einhaltung der Werte aufgrund des starken Bedarfsanstiegs in trocken-heißen Phasen nur mit einem gezielten Wasser- und Risikomanagement der Betriebe möglich (s.u.). Die Entnahmemenge stellt ein Maximum dar, das bei eintretender Wasserknappheit (hydrologisch oder nutzungsbedingt) teilweise widerrufen werden kann (Teilwiderruf).
Befristung des Bescheids	Aufgrund der oft unzureichenden Datengrundlagen in den Bewässerungsgebieten und vor dem Hintergrund der Geschwindigkeit des Klimawandels werden Laufzeiten von z.B. 15-20 Jahren nicht mehr empfohlen. In Abhängigkeit von der Risikoklasse werden die Laufzeiten standardmäßig bei 5 Jahren, max. bei 10 Jahren gesehen.
akute Niedrigwasserphasen	Hinweis, dass in akuten Niedrigwasserphasen weitere Restriktionen rechtlich angeordnet werden können (Kap. 6).
Hinweis auf möglichen (Teil-) Widerruf der Erlaubnis	Hinweis, dass die Erlaubnis entsprechend § 18 Abs. 1 WHG widerrufen werden kann, z.B. bei unsachgemäßer Wassernutzung oder bei einer Gefahrenlage (z.B. Gefährdung der öffentlichen Trinkwasserversorgung).
Vorbehalt weiterer Maßnahmen	Hinweis, dass entsprechend § 13 WHG zusätzliche Nebenbestimmungen angeordnet werden können, wenn neue Erkenntnisse oder z.B. bislang unbekannte Extremwetterlagen dies erfordern.
Bewirtschaftung	
Wassereinsparung	Aufforderung des Antragstellers zu einer sparsamen und effizienten Nutzung des Wassers (nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik), z.B. in den Bereichen Beregnungstechnik, Beregnungssteuerung, Anbaumethoden, Bodenpflege.
Bewässerungszeiten (regulär / in Niedrigwasserphasen)	Beschränkung der Bewässerung auf verdunstungsarme Zeiten des Tages, Ausnahmen z.B. zur Ansaat oder „Rettung“ sensibler Kulturen (Abkühlung) an extrem heißen Tagen. Gegebenenfalls Ausweitung der Beschränkung in akuten Trockenphasen, soweit eine relevante hydrologische Wirkung hiermit verbunden ist (muss im Bescheid hinreichend bestimmt formuliert sein).
Betriebsinternes Wasser- / Risikomanagement	Gesamtstrategie zur Reduzierung klimatischer Ertragsrisiken (bei Bedarf inkl. Hagel, Frost), hier ausgerichtet auf eine sparsame Wassernutzung und die Reduzierung von Ertragsseinbußen durch Wassermangel (Dürre, Niedrigwasser, Förderprobleme). Hierzu gehören auch zahlreiche vorsorgende Maßnahmen (z.B. Bodenpflege, Vielfalt / Wasserbedarf angebaute Kulturen, vertragliche Regelungen, evtl. Versicherungen).
Wassergewinnung, Hydrologie, Monitoring	
Einbau von Wasseruhren	Verpflichtung zum lückenlosen Einbau von geeichten und mit Zählernummern versehenen Wasseruhren (bei verschmutztem Wasser evtl. induktive oder mit Ultraschall). Abschätzungen über Pumpenlaufzeiten, -druck und Düsendrößen sind aufgrund der Fehleranfälligkeit und mangels Kontrollmöglichkeiten abzulehnen.
Erfassung / Meldung der Fördermengen und Wasserspiegel (regulär / in Niedrigwasserphasen)	Erfassung der Fördermengen und der Wasserspiegellagen bzw. Druckniveaus in einem Betriebsbuch; Meldung der Daten regulär jährlich, bei (sehr) hohem Risiko sowie in akuten Niedrigwasserphasen häufiger (zur Unterstützung des betriebsinternen Wasser-/ Risikomanagements und als Grundlage für Feldkontrollen). Datenbereitstellung möglichst in aufbereiteter, digitaler Form (z.B. Excel).
Pufferung des Spitzenwasserbedarfs	Die zeitliche Überlagerung heißer Trockenphasen mit dem Spitzenwasserbedarf der Bewässerung kann durch große Pufferspeicher entschärft werden. Um eine Wirkung im Sinne des NW-Managements zu erzielen, werden Speichermengen von minimal einem Trockenmonatsbedarf (entspricht ca. 20 % des Trockenjahresbedarfs), optimalerweise eines Jahresbedarfs empfohlen. Kleine Speicher ermöglichen eher eine Steigerung des Spitzenbedarfs.
maximale Absenckziele für Brunnen oder Gewässer	In Fällen, in denen eine direkte Überwachung der Entnahmestellen notwendig ist (z.B. Druckentlastung gespannter Grundwasserleiter, Teiche und Seen). Bei stark schwankenden Grundwasserständen bzw. Druckverhältnissen sind ggf. Datenlogger einzusetzen.
Schwellenwerte (Warn- und Grenzwerte) an Messstellen	Um in ausgeprägten Trockenphasen mit gleichzeitig hohem Bewässerungsbedarf die Auswirkungen zu begrenzen, können Schwellenwerte an Messstellen (Warn- und Grenzwerte) festgelegt werden. Bei deren Unterschreitung können operative Maßnahmen ausgelöst werden, wie z.B. intensivierte Beobachtung und Kommunikation,

Inhalt / Nebenbestimmung	Erläuterung
	Einleitung von Sparmaßnahmen. Verpflichtende Anforderungen sind hinreichend bestimmt im Wasserrechtsbescheid zu formulieren. Aufgrund der kurzzeitig stark wechselnden Fördermengen sollten die Messstellen i.d.R. mit Datenloggern ausgestattet werden.
Bau und Betrieb von Messstellen	Soweit eine Beeinträchtigung von Schutzgütern durch den konkreten Antrag nicht ausgeschlossen werden kann, ist im Sinne einer Beweissicherung evtl. auch der Bau und Betrieb von Messeinrichtungen (z.B. GWM, Pegel) durch den Antragsteller (eher größere Betriebe, gemeinschaftliche Organisationsstruktur) erforderlich. Diese sollten i.d.R. mit Datenloggern ausgestattet werden.
Ggf. Monitoringbericht (z.B. bei gemeinschaftlich organisierter Bewässerung)	Bericht zur Wassergewinnung (z.B. Entnahmemengen, -verteilung, Probleme, technische Veränderungen) und deren Auswirkungen auf das Grundwasser und/oder Oberflächengewässer (z.B. Loggerdaten mit Grundwasserganglinien, Pegeldaten) unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs, inkl. digitaler Übergabe der Messdaten. Eine Erstellung durch Fachbüros ist sinnvoll. Zusätzlich zur Berichtspflicht nach Eigenüberwachungsverordnung können Monitoringberichte angebracht sein, z.B. bei potenzieller Gefährdung von Schutzgütern (Beweissicherung z.B. bei gespannten GW-Leitern, kleinen Fließgewässern, Feuchtbiotopen, Beeinträchtigung benachbarter Wasserentnahmen).
Naturschutz	
Bau und Betrieb von Messstellen	s.o.
Schutzmaßnahmen für sensible Feuchtbiootope und ihre Arten	Bei naturnahen und sensibel reagierenden Biotopen können vorsorgende Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes erforderlich werden (z.B. Zuleitung von Wasser, Rückbau Entwässerungsanlagen, etc.).

5.2.5 Nutzung von Oberflächenwasser und Uferfiltrat

Bei beabsichtigten Grundwasserentnahmen für die Brauchwassernutzung bzw. Bewässerung gilt es grundsätzlich auch zu überprüfen, ob ggf. alternative Wasservorkommen herangezogen werden können. Denn Grundwasser wird bevorzugt für die Bereitstellung von Trinkwasser verwendet, ist ein wichtiger Baustein der Daseinsvorsorge für die Bürgerinnen und Bürger und genießt einen besonderen Schutz. Alternativen sind z.B. die Direktentnahme aus leistungsfähigen Oberflächengewässern oder die Entnahme von Uferfiltrat, das durch die Nähe zu Oberflächengewässern von diesen gestützt wird. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es auch bei Flüssen und Bächen nicht zu Schäden durch die Wasserentnahmen kommen darf. Insofern muss eine derartige Entnahme sorgfältig geplant werden. Dabei sind die Maßgaben der Wasserrahmenrichtlinie und der UQN-Richtlinie zu berücksichtigen.

Vor allem kleinere Oberflächengewässer leiden während ausgeprägter Hitze- und Trockenphasen, also in Zeiten, in denen auch der Bedarf an Brauchwasser üblicherweise hoch ist. Die Folgen können eine übermäßige Verminderung des Abflusses, eine starke Erwärmung durch geringe Fließgeschwindigkeiten und längere Aufenthaltszeiten z.B. vor Staustufen sowie ein geringerer Sauerstoffeintrag durch eine verringerte Strömung sein. Geringe Abflüsse können dazu führen, dass die Durchmischung eingetragener Stoffe unzureichend und damit die Gewässerökologie oder -chemie belastet ist. Besonders bei Starkniederschlägen, die zur Entlastung von Mischwasserkanälen führen können, ist zu befürchten, dass die abgeschlagenen Wassermengen im Gewässer nur unzureichend verdünnt werden.

Hohe Wassertemperaturen und sauerstoffzehrende Vorgänge können dazu führen, dass die Konzentration an gelöstem Sauerstoff im Gewässer deutlich absinkt und für die Gewässerbiologie kritische Werte erreicht. Dies gilt es zu verhindern.

Bei zunehmendem Bedarf an Brauchwasser ist anzunehmen, dass auch der Nutzungsdruck auf die Fließgewässer und die im Nahbereich der Fließgewässer vorhandenen Grundwasservorkommen (Uferfiltrat) zunimmt. Um die Wasserentnahmen angemessen steuern zu können, wird empfohlen, dazu ein **Entnahmekonzept je Gewässer** aufzustellen, das den Begutachtungen von Entnahmeanträgen zugrunde gelegt wird.

Hierbei sind bei der landwirtschaftlichen Bewässerung insbesondere die sommerlichen **Tages- und Stundenspitzenentnahmen** zu berücksichtigen, da sie bei großen Verbänden oder in der Summe aller Entnahmen eine Größenordnung von **1-5 m³/Sekunde** erreichen können (Kap. 3.5.3).

Mit dem Entnahmekonzept werden die noch tolerierbaren Wassermengen abgeschätzt, die auch unter Bedingungen großer Hitze und Trockenheit noch verträglich für eine Brauchwassernutzung entnommen werden können. Ggf. kann das Gewässer auch in einzelne Entnahmestrecken untergliedert werden. So kann sich nach Einmündung größerer Seitengewässer im weiteren Gewässerverlauf ggf. ein neues Entnahmepotenzial ergeben, das im Oberlauf noch nicht oder nicht mehr gegeben war.

Das Konzept sollte neben den vorhandenen oder geplanten Entnahmen auch andere Nutzungen des Gewässers berücksichtigen. So können Einleitungen, z.B. von erwärmtem Kühlwasser oder von Kläranlagenabläufen, die Gewässerökologie oder -chemie belasten und dazu führen, dass (weitere) Wasserentnahmen nur noch eingeschränkt möglich sind. Staustufen, die längere Aufenthaltszeiten des Wassers bewirken und damit zu einer starken Erwärmung führen können, sollten berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sollte bei abflussschwachen Gewässern, deren Gewässerbiologie bereits ohne Entnahmen bei Hitze und Trockenheit belastet ist, auf eine zusätzliche Belastung durch Brauchwasserentnahmen verzichtet werden (vgl. Verschlechterungsverbot nach WRRL). Ob und in welcher Größenordnung ein Gewässer grundsätzlich Potenzial für eine Brauchwasserentnahme aufweist, hängt von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen im Naturraum (Niederschlagshöhe, Niederschlagsverteilung, hydrologische Kenndaten, etc.) ab. Eine fundierte gewässerbiologische Einschätzung ist zwingend erforderlich. Dabei spielt auch die Lage des Gewässers im Naturraum, der Gewässertyp und die Gewässercharakteristik eine Rolle. Die Anforderungen der WRRL sind zu berücksichtigen.

Vorschläge für die Begutachtungspraxis und ein Niedrigwassermanagement bei Oberflächengewässern werden in einem gesonderten Projekt erarbeitet.

Die Nutzung von **Uferfiltrat** bietet gegenüber der Direktentnahme aus Oberflächengewässern den Vorteil, dass sich die Auswirkungen auf den Abfluss des Oberflächengewässers vergleichmäßigen und Entnahmespitzen vermieden werden. Außerdem sorgt die Bodenpassage für eine gewisse Filtrierung des Wassers, was qualitative Vorteile bei der Verwendung als Beregnungswasser in der Landwirtschaft hat. Jedoch muss sichergestellt sein, dass die Entnahme von Uferfiltrat durch die Absenkung des Grundwasserstandes keine Schäden an Feuchtfeldern (z.B. gewässerbegleitende Auen, Feuchtbiootope, wassergebundene Landökosysteme) bewirkt und dass durch das landseitig zuströmende Grundwasser keine Konflikte mit dort vorhandenen Nutzungen entstehen.

Sofern ein Spitzenbedarf an Brauchwasser, z.B. für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen, nicht unmittelbar aus dem Fließgewässer oder aus Uferfiltrat gedeckt werden kann, ohne ökologische Nachteile befürchten zu müssen, könnte eine Entnahme ggf. durch den zusätzlichen Bau ausreichend dimensionierter **Wasserspeicher** ermöglicht werden. So kann z.B. mit einem Jahresspeicher das in Trockenzeiten benötigte Wasser in der abflusssarken Zeit gewonnen und zwischengespeichert werden. Es steht dann während der Trockenmonate zur Verfügung, ohne das Fließgewässer zu belasten. Auch mit kleineren Speichern, die nicht den Wasserbedarf eines ganzen Jahres aufnehmen können, kann erreicht werden, dass die Auswirkungen auf das Fließgewässer vermindert und gewässerverträglich gestaltet werden können. Der Bau von Wasserspeichern bedeutet aber regelmäßig hohe Investitionen. Es erscheint daher zweckmäßig, wenn mit einem Entnahmekonzept die Notwendigkeit von Wasserspeichern und die daraus entstehenden Möglichkeiten für die Bewässerung dargestellt werden. Auf dieser Basis wäre zu empfehlen, mit einer gemeinschaftlich organisierten Bewässerung die Brauchwasserentnahme im Verbund aller Nutzer zu betreiben, um sich Kosten und Risiken zu

teilen und gegenüber den Verwaltungsstellen die Begutachtung und Verteilung des Wassers auf solide Beine zu stellen.

5.3 Aktive Grundwasserbewirtschaftung in Bilanzgebieten

In Bilanzgebieten mit zunehmenden Wasserentnahmen und steigendem Konfliktpotenzial wird es immer wichtiger, dass die verschiedenen Nutzungen im Sinne einer wasserwirtschaftlichen Vorsorge von Seiten der Fachverwaltung aktiv gesteuert werden. Ziel ist den (potenziellen) Nutzern deutlich zu vermitteln, welche Grenzen künftiger Wasserentnahmen eingehalten werden müssen, um eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung auch in Zukunft noch zu gewährleisten. Gleichzeitig sollte dargestellt werden, welche Entwicklungsmöglichkeiten in einem Verdichtungsraum ggf. noch bestehen.

Hierfür können Rahmenbedingungen gesetzt werden, die für alle Grundwasserentnahmen verbindlich sind (z.B. Grenzgrundwasserstände, Puffer-, Sperr- und Entwicklungszonen für Grundwasserentnahmen oder die Festlegung summarischer Maximalentnahmen). Aus solchen Leitlinien lassen sich Perspektiven für die Zukunft ableiten, die wiederum bedeutsam für die Landwirtschaft sind (Planungs- und Investitionssicherheit). Die zentralen Akteure vor Ort, insbesondere die Landwirtschaft selbst, sollten in das Management eingebunden werden. Die Ergebnisse sind wesentliche Bausteine des GW-Managementplans für Niedrigwasserphasen (Kap. 7).

Wesentliche Tätigkeitsfelder bei der Bewirtschaftung von Bilanzgebieten sind zusätzlich die Kommunikation zwischen den lokalen Akteuren (z.B. Verwaltung, Landwirtschaft, Politik, Öffentlichkeit), der Aufbau effizienter gemeinschaftlicher Organisationsstrukturen sowie Monitoring und Datenmanagement.

Vorsorge- und Steuerungsmaßnahmen, die bereits in den **einzelnen Wasserrechtsverfahren** genutzt werden können, sind:

- Betriebliches Risikomanagement in Trockenphasen,
- Nutzung alternativer Wasservorkommen,
- Dargebotsabhängige Bewässerungswürdigkeit,
- Flächenbindung der wasserrechtlichen Gestattung (genehmigte Entnahmemenge),
- Bau großer Pufferspeicher zur Verringerung von Spitzenentnahmen

Die aktive Steuerung in Bilanzgebieten erfordert eine intensive Kommunikation sowohl zwischen den Verwaltungsstellen als auch mit den betroffenen Betrieben und der Öffentlichkeit. Dabei sollte auch thematisiert werden, wie die einzelnen Verantwortlichen sowie die Betriebe selbst in Phasen von großer Hitze und langanhaltender Trockenheit handeln müssen und welche betrieblichen Risiken sich daraus ergeben. Dieser Dialog ist notwendig, um bei den Nutzern ein Risikobewusstsein zu schaffen, damit diese – soweit dies möglich ist – rechtzeitig Vorsorge treffen (z.B. betriebliches Risikomanagement). Er ist insbesondere von den WWA, AELF und den Regierungen zu leisten.

5.3.1 Situationsanalyse und hydrologische Schwellenwerte

Situationsanalyse

Vor der Planung konkreter Steuerungsmaßnahmen sind z.B. folgende Fragen zu klären:

- Wie hoch sind – lokal und im gesamten Bewässerungsgebiet – die Wasserentnahmen?
- Welche Entwicklungen sind beim Wasserbedarf zukünftig zu erwarten?
- Wo und in welchem Umfang gibt es Hinweise auf Beeinträchtigungen von Schutzgütern sowie potenzielle oder konkrete Nutzungskonflikte?

- Welche Qualität haben die verfügbaren Messdaten? Sind sie für eine Bewertung ausreichend?
- Können mit ihnen hydrologische Warn- oder Schwellenwerte abgeleitet werden?

Vergleichbare Fragen sind auch in den Wasserrechtsverfahren oder bei der Risikobewertung von Bilanzgebieten zu beantworten (Kap. 4.1). Die hieraus bereits vorliegenden Ergebnisse können übernommen und bei Bedarf vertieft werden. Neben einer Gesamteinschätzung des Bilanzgebietes sind besonders die (Teil-)Gebiete von Interesse, wo Nutzungskonflikte z.B. infolge von Grundwassertiefständen, einer übermäßigen Erwärmung von Fließgewässern oder deren Trockenfallen drohen. Diese sind zu bewerten, einschließlich der Frage, wie belastbar die vorhandenen Daten bzw. wie groß die Datenlücken sind.

Die Analyse und Bewertung des Status quo sollte kooperativ mit den verschiedenen Fachverwaltungen (Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Naturschutz), bei Bedarf auch mit sonstigen Akteuren vor Ort, erfolgen.

Hydrologische Steuerungsinstrumente

Mangelnde Daten, insbesondere zu kurze oder gänzlich fehlende Grundwasserganglinien, aber auch fehlende naturschutzfachliche Daten, erschweren u.a. die **Ableitung hydrologischer Warn- oder Schwellenwerten**. Solche Werte sind demnach schrittweise, in Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit, zu entwickeln und abzusichern. Handelt es sich zu Beginn evtl. nur um „Orientierungswerte“, da kaum Grundwasserganglinien vorliegen, können später feste Grenzwerte aus langjährigen Messreihen statistisch abgeleitet werden. Tab. 18 enthält Beispiele für Warn- und Schwellenwerte unterschiedlicher Ausprägung.

Hydrologische Schwellenwerte (Warnwerte oder Grenzwerte) können ein **zentrales Steuerungsinstrument** darstellen, da sie sich direkt auf das Niedrigwasser beziehen. Sie können für Grundwasserstände, Fließ- oder Stillgewässer in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Rahmenbedingungen der Bewässerungsgebiete festgelegt werden. Der Wert solcher Schwellenwerte liegt darin, dass sie

- wissenschaftlich-argumentativ abgeleitet werden können,
- messbar und damit eindeutig und transparent sind,
- auch bei schleichenden bzw. langfristigen Gewässerveränderungen ihre Gültigkeit behalten.

Kriterien für die konkrete Höhe des Wertes (z.B. Höhe in müNN eines nicht zu unterschreitenden Grundwassertiefstandes) sind z.B.:

- hydrogeologische Eigenschaften des Grundwasserleiters (z.B. Schwankungsamplitude),
- mögliche Beeinträchtigungen der örtlichen Schutzgüter (z.B. nach WHG, WRRL, BNatSchG),
- die Belastbarkeit der Daten (mehr Vorsorge bei schlechter Datenqualität),
- die Risikostufe im Bilanzgebiet (mehr Vorsorge bei hohem Risiko).

Zu ihrer Ableitung sind i.d.R. langjährige Messreihen erforderlich. Wo nur kurze Ganglinien vorliegen, die z.B. keine ausgeprägten Trockenphasen enthalten, sind die Werte unter Vorbehalt zu stellen bzw. regelmäßig zu überprüfen. Grundwasserentnahmen können an definierte (**untere**) **Grenzgrundwasserstände** gekoppelt werden, die zur Vermeidung von Schäden auch in ausgeprägten Trockenphasen nicht unterschritten werden dürfen. Bei Messstellen, die gemeinsam auf Grundwasserentnahmen reagieren, müssen die Grenzwerte hydraulisch gegeneinander abgestimmt werden, da es ansonsten zu widersprüchlichen Konsequenzen kommen kann. Mit Grenzwerten belegte Messstellen sollten in ein systematisches Monitoring (Kap. 5.4) oder in Grundwassermanagement-Pläne für Niedrigwasserphasen (Kap. 7) eingebunden werden. Zielwerte für mittlere Grundwasserstände können das System ergänzen. Im Wasserrechtsverfahren können sie über Nebenstimmungen verankert werden. Entspre-

chende Werte können bei Bedarf auch für Still- und Fließgewässer eingeführt werden – hier sind die erforderlichen Mindestwasserabflüsse nach WHG § 33 zu beachten.

Um Unterschreitungen der Grenzwerte frühzeitig entgegenwirken zu können, bietet sich zusätzlich die Festlegung von höher liegenden **Warnwerten** an, bei deren Unterschreitung („Warnphase“) bestimmte operative Maßnahmen ausgelöst werden. Beispiele sind die Information der Öffentlichkeit, die Einberufung von Arbeitsgruppen oder Akutmaßnahmen in Niedrigwasserphasen (Kap. 6). Den verschiedenen Niveaus (z.B. oberhalb Warnwert, Warnwert unterschritten = „Warnphase“, Grenzwert unterschritten = „Alarmphase“) können entsprechend einer Verkehrsampel Signalfarben zugeordnet werden (Abb. 29). Die Farben stehen dabei für verschiedene regionale **Meldestufen auf Ebene der Bilanzgebiete**, die in akuten Niedrigwasserphasen von Bedeutung sind (Kap. 6.1.2). Zur Festlegung der einzelnen Warnwerte sind ausreichend lange Grundwasserganglinien erforderlich (Tab. 18).

Bei Bedarf können verschiedene Warnwerte gekoppelt werden, z.B. ein maximaler herbstlicher GW-Tiefstand mit einem minimalen GW-Hochstand im Frühjahr. Für die Steuerung der landwirtschaftlichen Bewässerung kann gerade ein solcher minimaler Hochstand im Frühjahr wertvoll sein, da bei einer Unterschreitung operative Maßnahmen evtl. noch vor Beginn der Anbausaison ergriffen werden können.

Eine Zusammenstellung hydrologischer Warn- und Schwellenwerte zeigt Tab. 18.

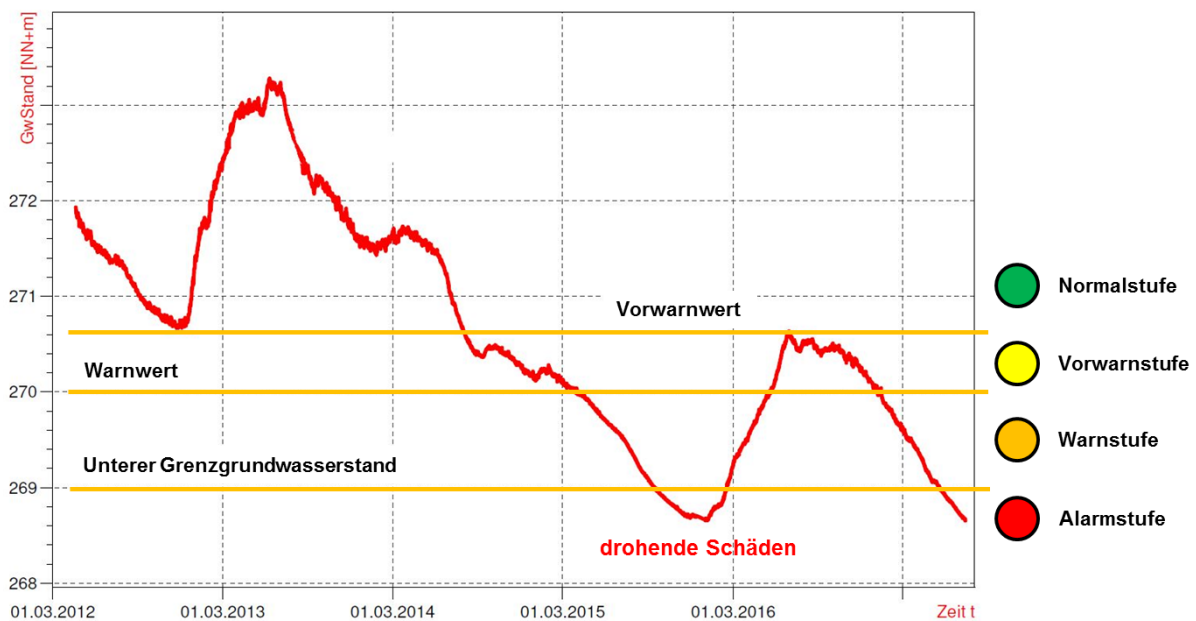


Abb. 29: Beispiel einer Grundwasserganglinie mit festgelegtem Vorwarnwert, Warnwert, unterem Grenzgrundwasserstand und zugeordneten Signalfarben entsprechender Meldestufen

Tab. 18: Beispiele für hydrologische Warn- und Schwellenwerte mit hierfür erforderlicher Datenqualität

notwendige Datenqualität	Parameter	Grenzwertdiskussion
Grundwasser		
gering	maximales Absenckziel im Brunnen	Sinnvoll bei speziellen hydrogeologischen Verhältnissen (z.B. Überwachung gespannter GW-Leiter). Schwierig zu kontrollieren (Datenlogger erforderlich) und ebenso schwer von Landwirtschaft einzuhalten.
gering-mittel	Orientierungswert GW-Tiefstand	Liegen nur einzelne kurze GW-Ganglinien vor, können feste Grenzwerte kaum verbindlich festgelegt werden. Die vorliegenden Daten zum Grundwasser und zu Fördermengen, evtl. ergänzt durch Analysen außerhalb liegender Ganglinien, können aber zur Ableitung von „Orientierungswerten“ dienen, die nicht unterschritten werden sollen. Diese sind, insbesondere nach Trockenphasen, zu überprüfen. Hierbei sollten klimatische und förderbedingte Einflüsse möglichst getrennt betrachtet werden.
mittel-hoch	(Unterer) Grenzgrundwasserstand	Grundwassertiefstand, der unter definierten Bedingungen nicht unterschritten werden darf. Seine Einhaltung ist, z.B. bei ungenauer Dimensionierung oder unter extremen Witterungsbedingungen, evtl. nicht gesichert, insbesondere wenn gemeinschaftliche Organisationsformen für eine gezielte GW-Bewirtschaftung fehlen. Dennoch stellt er eine der stärksten Steuerungsgrößen dar. Rechtlich verbindliche Werte (z.B. als Nebenbestimmung im Wasserrechtsbescheid) müssen auf belastbaren Daten beruhen. Ohne diese Bindung sind auch einfachere Daten ausreichend.
gering-mittel	Warnwert	Warnwerte können, allein oder kombiniert mit Grenzgrundwasserständen, operative Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen auslösen, z.B. Intensivierung von Messungen, Einberufung von Arbeitsgruppen oder Aufrufe zur Wassereinsparung. In dieser Funktion sind sie für das NW-Management wichtig. Eine Staffelung von Warnwerten (z.B. Warnstufe gelb, orange, rot) oder eine Kombination mit minimalen Hochständen im Frühjahr kann zweckmäßig sein. Rechtlich verbindliche Konsequenzen sollten nur an Warnwerte gebunden sein, die auf belastbaren Messdaten beruhen.
Fließ- und Stillgewässer		
mittel-hoch	maximales Absenckziel Stillgewässer	Zur Absicherung ökologischer Eigenschaften können Absenckziele in Stillgewässern notwendig sein. Diese sind aber, insbesondere in Förderteichen, schwierig zu kontrollieren und von der Landwirtschaft einzuhalten. Daher sollte möglichst eine Trennung förderbeeinflusster von ökologisch wertvollen Stillgewässern erfolgen. Ohne den Einsatz von Datenloggern ist ein derartiges Absenckziel nur begrenzt sinnvoll.
mittel-hoch	Minimale Quellschüttung	Im Wasserrechtsverfahren der öffentlichen Trinkwasserversorgung vereinzelt verwendete Nebenbestimmung zur Vermeidung ökologischer Beeinträchtigungen. Im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung ist dieser Grenzwert aufgrund der stark instationären Bedingungen bei Förderung und GW-Ständen zweifelhaft und kaum zu überwachen. Einflüsse auf Quellen sollten vorsorglich vermieden oder auf ein Minimum reduziert werden.
mittel-hoch	Minimaler Abfluss Fließgewässer	Fließgewässer können in Trockenphasen empfindlich auf förderbedingt reduzierte Abflussmengen reagieren (geringere Strömung, Temperaturanstieg, Sauerstoffmangel). Grund- und Oberflächenwasserentnahmen können auch zum Trockenfallen beitragen oder dieses, bei natürlichen Ursachen, deutlich verlängern. Naturschutzrechtliche Schwellen (Artenschutz, gesetzlich geschützte Biotope) und die Verschlechterungsverbote der WRRL und des Natura 2000-Netzwerkes setzen hier enge Grenzen. Ein Trockenfallen kann, bei gründlicher Prüfung historischer Trockenphasen, eine grundlegende Veränderung anzeigen. Ob eine Übernahme in Wasserrechtsbescheide sinnvoll ist, ist im Einzelfall zu prüfen. Für Grenzwerte sind Abflussmessungen, insbesondere in Trockenphasen erforderlich. Der Einsatz von Datenloggern, möglichst an Messwehren, wird empfohlen.

5.3.2 Maßnahmen zur Bewirtschaftung von Bilanzgebieten

Bei der Bewirtschaftung von Bilanzgebieten bleibt der Begriff „Maßnahmen“ nicht auf wasserwirtschaftliche oder technische Maßnahmen beschränkt. Wesentliche Tätigkeitsfelder sind zusätzlich die Kommunikation zwischen den lokalen Akteuren (z.B. Verwaltung, Landwirtschaft, Politik, Öffentlichkeit), der Aufbau effizienter gemeinschaftlicher Organisationsstrukturen sowie Monitoring und Datenmanagement. Tab. 19 listet Maßnahmen auf, die zur aktiven Bewirtschaftung von Bilanzgebieten eingesetzt werden können.

Wasserwirtschaftliche Steuerungsmaßnahmen auf der Ebene der Bilanzgebiete haben i.d.R. direkte Konsequenzen für die Bewässerungsbetriebe. Insbesondere bei Mengenbegrenzungen oder der Ableitung mittel- und langfristiger Entwicklungsziele bzw. -grenzen sind Vertreter der Landwirtschaft und andere **Akteure vor Ort** (z.B. Kommunen, Naturschutz) **aktiv einzubinden und zu informieren** (Kap. 7 u. 8).

In Bewässerungsgebieten, deren Entnahmen sich zunehmend dem nutzbaren Dargebot annähern, steigen die Anforderungen an die Entnahmesteuerung (z.B. Schonung sensibler Flächen, Umverteilung der Fördermengen auf andere Brunnen, Speicherbewirtschaftung) und das Monitoring (z.B. Einsatz von Datenloggern, Monitoringberichte). Einzelbetriebe stoßen hier schnell an die Grenze dessen, was finanziell und organisatorisch, z.B. im Stress der Erntezeit, noch leistbar ist. Dies gilt ebenso für die meist kostenintensive Erschließung alternativer Wasserressourcen, z.B. zentrale Uferfiltratentnahmen mit anschließendem Verteilungssystem. Soweit noch nicht vorhanden, wird für derartige Bewässerungsgebiete der Aufbau **gemeinschaftlich organisierter Bewässerungsformen** dringend empfohlen (Kap. 9).

Die ermittelten Belastungsgrenzen (s.o.) sollten anhand konkreter **hydrologischer Grenzwerte** in die Praxis eingeführt werden. **Warnwerte** können dazu genutzt werden, um in Trockenphasen die Beobachtungsintensität zu steigern oder operative Maßnahmen zum NW-Management auszulösen (Kap. 6). **Maximale Fördermengen** für Bewässerungs- bzw. Bilanzgebiete sollten der Landwirtschaft möglichst frühzeitig kommuniziert werden, da sie direkte Anpassungsprozesse mit evtl. langen Planungszeiten oder hohen Kosten auslösen können (z.B. Wechsel der Kulturen bis zur Verlegung von Anbauflächen). Bei einem dynamischen Wachstum der Bewässerungsflächen kann der Bau großer **Speicherbecken zur Pufferung des Spitzenwasserbedarfs** im Sommer eine Entlastung bringen.

Für das NW-Management unabdingbar ist ein systematisches, alle Ebenen integrierendes **Monitoring**. Hierauf wird näher in Kapitel 5.4 eingegangen.

Bei einer langfristigen Betrachtung kann geprüft werden, ob eine **Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts** durch ergänzende Maßnahmen möglich ist. Stichworte hierzu sind z.B. Wasserrückhalt in der Fläche, Erhöhung der Grundwasserneubildung durch Waldumbau (Nadel- zu Laubwald), aktive Grundwasseranreicherung durch Versickerung von Niederschlags-, Oberflächen- oder gereinigtem Abwasser sowie Verringerung der Verdunstung durch Hecken und andere Landschaftselemente. Pilotvorhaben aus Norddeutschland sind in Kaden et al. (2014) beschrieben.

Berücksichtigung des Klimawandels

Aufgrund des Klimawandels steht mittel- bis langfristig einem steigenden Zusatzwasserbedarf in der Landwirtschaft ein sinkendes natürliches Dargebot gegenüber (Kap. 3.6). Im Sinne der wasserwirtschaftlichen Nachhaltigkeit, aber auch zur Absicherung bestehender Bewässerungsbetriebe, sollten innerhalb der Bilanzgebiete möglichst Dargebotsreserven für die Zukunft zurückgehalten werden.

Zukünftige Hinweise des LfU oder aus KLIWA zum Klimawandel sind entsprechend zu berücksichtigen.

Tab. 19: Maßnahmen zur aktiven, vorsorgenden Bewirtschaftung von Bilanzgebieten (zum Monitoring vgl. Kap. 5.4)

Maßnahme	Erläuterung
Kommunikation und Organisation	
Einbindung lokaler Akteure	Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz sollten zur Ziel- und Lösungsfindung wichtige Akteure und Interessensgruppen eingebunden werden.
Formulierung und Kommunikation mittel- und langfristiger Entwicklungsziele bzw. -grenzen	Die Bewässerung ist mit einem hohen Kapitaleinsatz verbunden. Die Landwirtschaft benötigt Planungs- und Investitionssicherheit. Sowohl sich abzeichnende Grenzen wie auch Entwicklungsmöglichkeiten sollten frühzeitig und klar kommuniziert werden.
Förderung einer gemeinschaftlich organisierten Bewässerung	Die nachhaltige Bewirtschaftung in intensiven Bewässerungsgebieten mit hohen Entnahmen erfordert gemeinschaftliche Organisationsstrukturen, z.B. zur Entnahmesteuerung und für das Monitoring. Einzelbetriebe können dies nur begrenzt leisten.
Information über Anforderungen an Antragsunterlagen und Monitoring	Mit zunehmender Verdichtung der Bewässerungsgebiete steigen die Risiken und damit auch die Anforderungen an die Antragsunterlagen und das Monitoring.
Landwirtschaft	
Wassereinsparung	Eine Reduzierung des (spezifischen) Wasserbedarfs ist eine Daueraufgabe der Landwirtschaft, deren Bedeutung mit dem Klimawandel zunimmt. Schritte hierzu sind z.B. die Verstärkung der landwirtschaftlichen Beratung, der Einsatz moderner Steuerungstechniken und ein betriebsinternes Risikomanagement (vgl. Kap. 3.2.5).
Betriebsinternes Wasser- / Risikomanagement	Gesamtstrategie zur Reduzierung klimatischer Ertragsrisiken (bei Bedarf inkl. Hagel, Frost), hier ausgerichtet auf eine sparsame Wassernutzung und die Reduzierung von Ertragsseinbußen durch Wassermangel (Dürre, Niedrigwasser, Förderprobleme). Neben den nachfolgenden Punkten gehören hierzu auch zahlreiche vorsorgende Maßnahmen (z.B. Bodenpflege, Vielfalt / Wasserbedarf angebaute Kulturen, vertragliche Regelungen, Versicherungen)
Hydrologie und Wassergewinnung	
Berücksichtigung des Klimawandels durch ungenutzte Dargebotsreserven	Aufgrund des Klimawandels steht zukünftig einem steigenden Zusatzwasserbedarf in der Landwirtschaft ein unsicheres Dargebot gegenüber. Im Sinne der wasserwirtschaftlichen Nachhaltigkeit, aber auch zur Absicherung bestehender Bewässerungsbetriebe, sollten Dargebotsreserven für die Zukunft zurückgehalten werden.
maximale Absenckziele für Brunnen oder Gewässer	In Fällen, in denen eine Überwachung der Entnahmestellen notwendig ist (z.B. Druckentlastung gespannter Grundwasserleiter, Teiche und Seen). Aufgrund stark schwankender Grundwasserstände ist ein Einsatz von Datenloggern vorzuziehen.
Warn- und Grenzwerten an Messstellen	Diese sind ein Kernelement des NW-Managements zur Begrenzung der Auswirkungen in ausgeprägten Trockenphasen mit gleichzeitig hohem Bewässerungsbedarf. Bei der Unterschreitung von Warnwerten werden operative Maßnahmen ausgelöst wie z.B. intensivierte Beobachtung und Kommunikation oder die Einleitung von Sparmaßnahmen.
Obergrenzen der Wassergewinnung (nutzbares Dargebot) für Bilanzgebiete oder Teile davon	Bei steigenden Entnahmemengen sind aus Gründen der Nachhaltigkeit und der Planungssicherheit für die Landwirtschaft Obergrenzen der Wassergewinnung zu definieren. Diese sind abhängig von der örtlichen Hydrogeologie, der Risikoklasse des Bilanzgebietes (oder eines Teilgebietes) und der Datenlage. Fehlen belastbare Daten zur Bewertung des nutzbaren Dargebotes, so kann ein befristetes Moratorium der Wassergewinnung zur Informationsgewinnung genutzt werden (z.B. Aufbau eines Grundwassermodells).
Sperr-, Puffer- und/oder Entwicklungszonen zur Wassergewinnung	Mit einer gezielten Steuerung der Entnahmepunkte und -mengen kann das Risiko von Nutzungskonflikten deutlich reduziert werden. Hierzu sollten Zonen ausgewiesen werden, in denen landwirtschaftliche Wasserentnahmen unzulässig sind (z.B. WSG, Pufferzonen zu Feuchtbiotopen), bedingt zulässig sind (definierte Maximalmengen) oder in denen eine freie, evtl. auch vorrangige Entwicklung möglich ist.
Pufferung des Spitzenwasserbedarfs	Die zeitliche Überlagerung heißer Trockenphasen mit dem Spitzenwasserbedarf der Bewässerung kann durch große Pufferspeicher entschärft werden. Um eine Wirkung im Sinne des NW-Managements zu erzielen sind Speichermengen anzustreben, die einen mehrmonatigen Wasserbedarf abdecken.

Maßnahme	Erläuterung
Erschließung alternativer Wasserressourcen	Bei sich zunehmend abzeichnenden Nutzungskonflikten durch Grund- oder Oberflächenwasserentnahmen sollte zusammen mit der Landwirtschaft die Erschließung alternativer Wasserressourcen geprüft werden. Neben dem Dargebot und der Umweltverträglichkeit sind Bau- und Betriebskosten sowie die zur Umsetzung notwendigen organisatorischen Strukturen (z.B. gemeinschaftlich organisierte Bewässerung) zu prüfen.
Erhöhung des nutzbaren Dargebotes	Aktive Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts durch ergänzende Maßnahmen wie z.B. Wasserrückhalt in der Fläche (z.B. Rückbau von Dränagen), aktive Grundwasseranreicherung durch Versickerung von Niederschlags-, Oberflächen- oder gereinigtem Abwasser (unter Beachtung der einschlägigen Vorschriften), Verringerung der Verdunstung durch Hecken und andere Landschaftselemente.
Naturschutz	
Schutzmaßnahmen für sensible Feuchtbiootope und ihre Arten	Der Einfluss der Wassergewinnung auf den Wasserhaushalt von Feuchtbiotopen wird sich durch den Klimawandel verstärken. Insbesondere bei naturnahen und sensibel reagierenden Biotopen können vorsorgende Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes geprüft werden.

5.4 Monitoring

Vor dem Hintergrund des schnell steigenden Wasserbedarfs in der Landwirtschaft, bislang oftmals unzureichenden Datengrundlagen und dem Klimawandel besitzt ein systematisches Monitoring eine zentrale Bedeutung. Dies gilt mit Blick auf das Niedrigwassermanagement, aber ebenso für die Landwirtschaft, da sie langfristig gesicherte Wasserressourcen benötigt und sie für ihr internes Wasser- und Risikomanagement selbst Daten benötigt. Darüber hinaus sind langjährige und belastbare Datengrundlagen auch für die Erteilung wasserrechtlicher Genehmigungen erforderlich.

Ziele des Monitorings sind:

- Verbesserung des wasserwirtschaftlichen Systemverständnisses,
- Dokumentation des Status quo unter wechselnden Witterungsbedingungen,
- Erfassung von klimatischen und förderbedingten Veränderungen,
- Ableitung/ Begründung von Grenzwerten (z.B. Warnwerte und untere Grenzgrundwasserstände),
- Grundlagen zur Steuerung der Wasserentnahmen,
- Kontrolle der Einhaltung der Wasserrechtsbescheide und ihrer Nebenbestimmungen,
- Nachweis von Konflikten oder Beeinträchtigungen,
- Anpassung der Wasserrechtsbescheide an das nutzbare Dargebot,
- Klärung eventuell aufkommender Entschädigungsfragen.

Hierzu ist ein **systematisches Monitoringkonzept** umzusetzen, dass jeweils verschiedene

- Ziele (Grundlagendaten, Überwachung, Beweissicherung),
- räumliche Ebenen (Bilanzgebiet bis Einzelbrunnen),
- fachliche Schwerpunkte (Fördermengen, Wasserqualität, Hydrogeologie, Naturschutz, Forstwirtschaft) und
- Träger des Monitorings (Wassernutzer, Wasserwirtschafts- und Naturschutzverwaltung)

miteinander kombiniert (Tab. 20). Ein solches Konzept kann in einen **Grundwassermanagement-Plan für Niedrigwasserphasen** einfließen (Kap. 7).

Im Sinne des **Verursacherprinzips** sollte das Monitoringkonzept neben behördlichen Messungen v.a. bei hohem/ sehr hohem Risiko von Nutzungskonflikten oder hohen Entnahmen ggf. auch solche durch die Wassernutzer selbst vorsehen, insbesondere dann, wenn ein **Beweissicherungsverfahren** erforderlich ist. Fachliche Hinweise zur Konzeption und Durchführung von Monitoring- bzw. Beweissicherungsverfahren finden sich z.B. in Eckl und Raissi 2009, Raissi et al. 2009 und Hillmann et al. 2009b.

Über welche Nebenbestimmungen ein Monitoring des Wassernutzers im Wasserrechtsverfahren verankert werden kann, wird in Kapitel 5.2.4 und der dortigen Tab. 17 behandelt.

Tab. 20: Bausteine eines systematischen Monitorings

Monitoringbaustein	Erläuterung
Staatliches Gewässerkundliches Messwesen	Für die Bewirtschaftung sind hydrologische Messdaten unverzichtbar. Dies betrifft meist das Grundwasser, kann aber auch an Quellen oder Oberflächengewässern notwendig sein. Um langjährige bzw. belastbare Messreihen zu gewinnen, sollte das Messnetz staatlich betrieben werden. Neben quantitativen Messungen kann auch die Erhebung qualitativer Parameter sinnvoll sein. In Ergänzung zum staatlichen Landesgrundwassermessnetz kann es erforderlich sein, in Bilanzgebieten Sondermessnetze einzurichten, um dem regionalen Bedarf an ausreichenden und qualifizierten Daten gerecht zu werden.
Überwachung lokaler Einflüsse auf Grund- und Oberflächenwasser durch die Verursacher	Bei größeren Wasserentnahmen kann es im Sinne einer Beweissicherung erforderlich sein, zusätzliche Messstellen einzurichten. Gemäß dem Verursacherprinzip sollten diese möglichst von den Wassernutzern betrieben werden.
Aufbau einer systematischen Datenbasis	Für die Wasserrechtsverfahren und das NW-Management ist eine vollständige und schnell verfügbare Datengrundlage erforderlich. Hierfür sollten möglichst Wasserrechtsbescheide, Förderdaten aller relevanten Wasserentnahmen, hydrologische und bei Bedarf naturschutzfachliche Daten systematisch erfasst, geprüft und EDV-gestützt allen Zugangsberechtigten zur Verfügung gestellt werden.
Digitale Erhebung und Speicherung	Zur Unterstützung des Ziels einer systematischen Datenbasis sollten möglichst alle Daten in standardisierter und digitaler Form erhoben und in die Datenhaltung importiert werden (z.B. Bescheidsdaten, Förderdaten, GW-Stände (inkl. Loggerdaten) und Monitoringberichte).
Prüfung und Auswertung	Die eingehenden Messdaten sollten auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft werden. Letztlich sind aber gezielte Auswertungen entscheidend, z.B. zur Entwicklung der Grundwasserstände, zu potenziellen Nutzungskonflikten oder Auswirkungen des Klimawandels.
Anpassung Monitoringkonzept	Ergeben die Auswertungen z.B. Hinweise auf Datenlücken, unzureichende Messmethoden oder -standorte, so sollte das Untersuchungskonzept fortgeschrieben bzw. angepasst werden.

5.4.1 Entnahmemengen und Bewässerungsflächen

Für spätere Auswertungen wie z.B. Wasserbilanzen, die Bewertung lokaler Veränderungen in Natur und Landschaft oder die Ermittlung des betriebseigenen Spitzenbedarfs ist eine **vollständige Erfassung der Fördermengen** erforderlich. Diese sollte durch die Nutzer erfolgen. Insbesondere in ausgeprägten Trockenphasen sind **stichprobenartige Kontrollen** der Behörden vor Ort sinnvoll.

Mit Blick auf den im Jahresverlauf stark schwankenden Zusatzwasserbedarf (Kap. 3.5.3) sowie das angestrebte, betriebsinterne Wasser- und Risikomanagement der Landwirtschaft (Kap. 3.2.5) sollten bei Entnahmemengen oberhalb des Bagatellbereiches (50 - 2.000 m³/a) die **Entnahmemengen bzw. Druckniveaus monatlich erfasst** werden, in Abhängigkeit des Risikos oder einer aktuellen angespannten Bewässerungssituation ggf. auch häufiger. Summarische Jahresmengen allein sind hier und für Bewertungen lokaler Auswirkungen nicht zielführend. Auch für instationäre Grundwassermodelle, die den mit der Witterung und den Fördermengen schwankenden Grundwasserstand ganzer Bilanzgebiete berechnen können, sind Monatsdaten erforderlich (Kap. 4.4). Bei direkten Entnahmen aus Fließgewässern bzw. bei Uferfiltratbrunnen, die einen höheren Fließgewässeranteil aufweisen, muss

zum Schutz der Fließgewässer auch der sommerliche **Tagesspitzenbedarf** messtechnisch erfasst werden (5.2.5).

Die Meldung des Wasserverbrauchs kann i.d.R. jährlich erfolgen. Ausnahmen können ausgeprägte **Niedrigwasserphasen** bilden, in denen **häufigere Meldungen** das betriebsinterne Wassermanagement und den behördlichen Überblick über die Situation (u.a. zur Einhaltung der genehmigten Entnahmemengen) befördern können.

Die Messungen sind ausschließlich mit **geeichten Wasseruhren mit Seriennummern** vorzunehmen (Messung mit Flügelrad, Ultraschall oder induktiv). Alternative Ansätze wie Abschätzungen über Pumpenlaufzeiten, Pumpendruck und Düsendrößen sind aufgrund der Fehleranfälligkeit und mangels Kontrollmöglichkeiten ungeeignet und entsprechen angesichts des ansteigenden Konfliktpotenzials nicht mehr den sachgerechten Anforderungen. Alle Entnahmestellen, aber auch größere Speicherbecken, sind im Sinne einer Beweissicherung separat zu erfassen. Dies gilt auch für einzelne Brunnen in einem gemeinsamen Netzwerk.

Eine **Erfassung der Bewässerungsflächen** kann zweckmäßig sein, z.B. als Grundlage für detaillierte Wasserbilanzen (Kap. 4.1.2) oder numerische Grundwassermodelle (Kap. 4.4). In Einzelfällen kann sie auch helfen, Zweifel am gemeldeten Wasserbedarf bzw. -verbrauch auszuräumen. Die Erfassung kann in kleineren Bewässerungsgebieten über die Kartierung bewässerter Kulturen erfolgen. Die Anbauflächen und -kulturen großer Anbaugebiete können z.B. über multitemporale Satellitenbildklassifikationen ermittelt werden. Eine weitere Möglichkeit bieten die InVeKoS-Daten der Landwirtschaftsverwaltung. Diese können ohne Zustimmung der Einzelbetriebe nur in räumlich aggregierter Form verwendet werden. Dabei ist zu beachten, dass bei aggregierten Daten sämtliche Anbauflächen eines Betriebes unabhängig von der tatsächlichen Lage am Ort der Betriebsstätte gemeldet werden. Dies macht sich insbesondere bei großen Betrieben bemerkbar, die Flächen in verschiedenen Gemeinden bewirtschaften.

5.4.2 Hydrologisches Monitoring

Beim hydrologischen Monitoring ergibt sich eine Aufteilung auf das gewässerkundliche Messwesen des Freistaates Bayern (Landesmessnetz, Sondermessnetze) und die zusätzlichen Messstellen der privaten Inhaber von Entnahmegenehmigungen bzw. Verursacher von Wasserentnahmen. Insbesondere Bilanzgebiete sollten in die staatlich betriebenen Messnetzwerke mit einbezogen werden. Dabei sollten Grundwassermessstellen, ggf. auch Quellmessstellen und Abflusspegel, möglichst **frühzeitig** eingerichtet werden.

Bei der **Auswahl der Standorte** sollten – neben solchen für ein Grundmessnetz – auch potenzielle Nutzungskonflikte oder besonders sensible Schutzgüter berücksichtigt werden. Beispiele hierfür sind Einzugsgebiete der öffentlichen Trinkwasserversorgung, Quellen, kleinere Fließgewässer oder empfindliche Feuchtbiootope. Um witterungsbedingte Einflüsse von solchen durch Grundwasserentnahmen trennen zu können, muss zusätzlich ein weitgehend **unbelasteter Ausgangszustand** erfasst werden (ggf. außerhalb der Bewässerungsgebiete). Bei Bedarf sind verschiedene Grundwasserstockwerke oder andere hydrogeologische Besonderheiten getrennt zu überwachen.

Aufgrund der täglich und monatlich stark wechselnden Bewässerungsmengen (Kap. 3.5.3) wird empfohlen, hydrologische Messstellen, die im Einflussbereich landwirtschaftlicher Entnahmestellen liegen, möglichst mit **Datenloggern** auszurüsten. Dies gilt insbesondere in sensibel reagierenden Kluft- oder Karstgrundwasserleitern. Auf diese Weise werden z.B. auch kurzfristige, aber ausgeprägte Schwankungen des Grundwasserspiegels sichtbar (vgl. Abb. 10 auf S. 37). Zum Thema Messeinrichtungen

und Messtechnik wird auf das Internetangebot des LfU, insbesondere auf die Merkblattsammlung¹¹ verwiesen.

Erfahrungen aus Pilotgebieten zeigen, dass gezielte **temporäre Messungen oder Kartierungen in Trockenjahren** maßgeblich zum Verständnis des Landschaftswasserhaushaltes beitragen können. Abflussmessungen in kleineren, evtl. intermittierenden Fließgewässern ermöglichen z.B. eine bessere Trennung zwischen natürlichen und förderbedingten Ursachen des Trockenfallens. Hierdurch treten Belastungsschwellen, die zukünftig evtl. in Wasserrechtsverfahren berücksichtigt werden müssen, deutlicher hervor.

Hydrologische Messungen und Monitoringberichte durch die Inhaber wasserrechtlicher Gestattungen bzw. Wassernutzer

Bei kleineren Entnahmen in Bewässerungsgebieten mit geringen Risiken sind mit Ausnahme der Entnahmemenge oftmals keine Messungen durch die Wassernutzer notwendig. Bei steigenden Risiken (z.B. höhere Fördermengen, potenzielle Nutzungskonflikte) kann es aber erforderlich werden, die hydrologischen Auswirkungen der Wasserentnahme vom „Verursacher“ selbst bzw. auf dessen Kosten überwachen zu lassen. Entsprechende Nebenbestimmungen im Wasserrechtsbescheid (vgl. Kap. 5.2.4) sollten hinreichend konkrete Bezüge zu Schutzgütern (z.B. Grundwasserschutz, grundwasserabhängige Lebensräume) oder drohenden Konflikten haben (z.B. Beeinflussung benachbarter Entnahmen, Trockenfallen von Quellen oder Fließgewässern). Tab. 17 (S. 89) listet entsprechende hydrologische Nebenbestimmungen auf.

Bei größeren Einzelentnahmen oder bei gemeinschaftlichen Organisationsformen kann im Rahmen einer Beweissicherung der **Bau und Betrieb neuer Messstellen** erforderlich werden. Hierauf sollte der Antragssteller aufgrund der zusätzlichen Kosten möglichst frühzeitig hingewiesen werden.

Bei der Ausgestaltung entsprechender Nebenbestimmungen sollte auf entsprechende **Praxisnähe** für die landwirtschaftlichen Betriebe geachtet werden. In den Sommermonaten oder der Erntezeit sind z.B. monatliche oder noch häufigere Handmessungen nur schwer in den Arbeitsalltag zu integrieren. Trotz höherer Kosten bietet sich der Einsatz von **Datenloggern, ggf. mit Datenfernübertragung**, an.

In Abhängigkeit von den örtlichen Schutzgütern und den Risiken, die mit den Wasserentnahmen verbunden sind, ist zu prüfen, ob der Inhaber einer wasserrechtlichen Gestattung die eigenen hydrologischen Messdaten zusammen mit öffentlich zugänglichen Werten (z.B. Niederschlag, Grundwasserstände) in einem **Monitoringbericht** darstellen und bewerten soll. Diese können Bestandteil einer Beweissicherung sein. Bei Bedarf können in den Monitoringbericht weitere Untersuchungsergebnisse, z.B. zu geschützten Biotopen oder Arten, einfließen. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Monitoringberichte möglichst von externen Gutachtern erstellt werden sollten.

Alle Daten sollten den Behörden (KVB, WWA) auch in digitaler Form zur Verfügung gestellt werden (Kap. 5.4.4). Die Güte der Messdaten kann über die technische Gewässeraufsicht mittels stichprobenartiger Kontrollen vor Ort überprüft werden.

¹¹ Merkblattsammlung des LfU: <http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung>

5.4.3 Monitoring Naturschutz und Forstwirtschaft

Zu den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie gehört u.a. der Schutz grundwasserabhängiger Landökosysteme. Vergleichbare rechtliche Restriktionen ergeben sich aus dem Bundes- und Landesnaturschutzgesetz (Kap. 3.3). Die Prüfung naturschutzfachlicher Belange ist daher fester Bestandteil der Wasserrechtsverfahren.

Die Frage, ob mit einer beantragten Wasserentnahme eine Beeinträchtigung entsprechender Schutzgüter verbunden ist, kann aber in der Praxis mangels Datengrundlagen oftmals nur schwer beantwortet werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, in besonders schützenswerten und/oder sensiblen Naturschutzflächen ein hydrologisch-ökologisches Monitoring durchzuführen. Dieses ist in zwei Ebenen zu trennen:

1. Vorsorgliche Untersuchungen der Naturschutzverwaltung,
2. Beweissicherungsmaßnahmen innerhalb eines Wasserrechtsverfahrens.

Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich nur auf Naturschutzflächen. In gleicher Weise können aber auch Wälder bzw. Forststandorte betroffen sein.

Vorsorgliche Untersuchungen der Naturschutzverwaltung

Grundwasserabhängige Ökosysteme wie z.B. Nasswiesen reagieren oftmals sehr schnell auf Veränderungen des Wasserhaushaltes (z.B. in/nach Trocken- oder Nassphasen). Sie zeigen also eine größere **natürliche Schwankungsamplitude**, z.B. in der Dominanz einzelner Arten.

Gleichzeitig bewirken lokale Grundwasserentnahmen oftmals keine plötzlichen signifikanten Veränderungen des Wasserhaushaltes. Diese zeigen sich evtl. erst in Trockenphasen (geringes Dargebot bei hohem Verbrauch) oder erst nach Jahren oder Jahrzehnten, wenn sich zusammen mit neu hinzugekommenen Entnahmen eine **kumulierende Wirkung** aufgebaut hat. Dieser oftmals eher „schleichend“ verlaufende Prozess hydrologischer und ökologischer Veränderungen ist im Nachhinein nur schwer zu bewerten.

Die langfristige Erhaltung grundwasserabhängiger Landökosysteme kann durch eigene Monitoringdaten der Naturschutzverwaltung unterstützt werden. Ebenso können mit solchen Messdaten klare Aussagen in Wasserrechtsverfahren getroffen werden.

Zur Begrenzung des Aufwandes werden folgende **Empfehlungen** gegeben:

- Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen: Entscheidend ist die Klärung des (natürlichen) Wasserhaushaltes, inkl. seiner Schwankungsamplitude in Trocken- und Nassphasen und der Wirkung evtl. vorhandener Stauhorizonte oder schwebender Grundwasserleiter. Mittels Datenlogger kann der Messaufwand begrenzt werden. Zur besseren Trennung klimatischer und menschlicher Einflüsse sind weitgehend unbeeinflusste Referenzflächen notwendig. Eine Abstimmung mit der Wasserwirtschaftsverwaltung kann Synergieeffekte ergeben.
- Untersuchte Flächen: Im Mittelpunkt sollten hochwertige, sensibel reagierende Ökosysteme stehen, die überwiegend vom Hauptgrundwasserleiter (kein vorherrschendes Stauwasser) beeinflusst werden. Feuchtbiotope des Offenlandes zeigen schnellere Reaktionen als Wälder.
- Erfassung biologischer Daten: Flächendeckende Biotoptypenkartierungen in regelmäßigen Abständen verursachen einen hohen Aufwand bei begrenzten Ergebnissen (zu grobe Einheiten). Sinnvoll sind selektive Erfassungen von Indikatorarten (z.B. Nässe-, Wechselfeuchte- und Störungszeiger) in sensitiv reagierenden Biotopen und/oder auf kleinen Dauerbeobachtungsflächen. Auswertungen von Zeigerwerten nach Ellenberg können Veränderungen des Wasser- und Nährstoffhaushaltes mittels Zahlenwerten veranschaulichen (Ellenberg et al. 2001).

- **Einbeziehung des ehrenamtlichen Naturschutzes:** Die Messung von Grundwasserständen oder Kartierungen können evtl. auch in Kooperation mit dem ehrenamtlichen Naturschutz erfolgen. Oftmals besitzt dieser auch eigene, langjährige Beobachtungsdaten.

Weiterführende Literatur: Wasserhaushalt von Biotoptypen: Goebel 1996, Rasper 2004, Bewertung grundwasserabhängiger Landökosysteme: Erftverband 2002, 2003, LAWA 2012, LfU 2014, Rote Liste Biotoptypen: Finck et al. 2017, Ökologische Zeigerwerte für Pflanzen: Ellenberg et al. 2001

Zu fordernde Beweissicherungsmaßnahmen

Aufgrund natürlicher Prozesse und schleichenden bzw. kumulierenden Veränderungen des Wasserhaushaltes lässt sich die Frage, ob eine beantragte Grundwasserentnahme Feuchtbiotope beeinflussen kann, oftmals nicht eindeutig beantworten. In den Fällen, in denen eine Beeinflussung vermutet wird oder – bei hochrangigen Natura 2000-Schutzgütern (Verschlechterungsverbot) – nicht ausgeschlossen werden kann, sind evtl. hydrologische und ökologische Beweissicherungsmaßnahmen als Teil des Wasserrechtsbescheides erforderlich.

Auch diese sollten vorrangig über hydrologische Messungen erfolgen (s.o.), wobei zusätzliche, uneinflusste Referenzflächen von Bedeutung sind. Aufgrund der stark schwankenden Wirkung landwirtschaftlicher Grundwasserentnahmen sollten die Messstellen wiederum mit Datenloggern ausgestattet werden.

Die hydrologischen und ökologischen Ergebnisse sollten in einem Monitoringbericht zusammengefasst und hinsichtlich der Fragestellung bewertet werden. Hierbei sind u.a. die witterungsbedingten von den entnahmebedingten Veränderungen des Wasserhaushaltes zu unterscheiden.

Weiterführende Literatur: Eckl und Raissi 2009, Hillmann et al. 2009a, 2009b, Raissi et al. 2009

5.4.4 Ergebnisse und Fortschreibung

Die Messdaten und Monitoringberichte erfüllen dann ihren Zweck, wenn sie in regelmäßigen Abständen für **Auswertungen** genutzt werden, z.B. in Form von Grundwasserganglinien oder Grundwassergleichenplänen. Hierbei sollte der Blick – entsprechend Einzelanträgen und Bilanzgebieten – nicht nur auf einzelne Messreihen, sondern vermehrt auf die Zusammenhänge zwischen den Daten bzw. auf ganze Bewässerungsgebiete und dort auf kritische Flächen gerichtet werden.

Die Ergebnisse können z.B. einfließen in:

- Anpassung des Umfangs wasserrechtlicher Gestattungen an das nutzbare Dargebot,
- Anpassung der Nebenbestimmungen in Wasserrechtsbescheiden,
- Planung und Umsetzung wasserwirtschaftlicher oder naturschutzfachlicher Maßnahmen (z.B. Ausweisung von Schutz- oder Pufferzonen, aktive Stützung von Feuchtbiotopen).

Die Auswertungen bieten auch die Basis für eine regelmäßige Optimierung bzw. **Fortschreibung** des Monitoringkonzeptes.

5.4.5 Datenmanagement

Für belastbare Bewertungen der Bewässerungsgebiete und der Wasserrechtsanträge sind möglichst vollständige und langjährige Messreihen erforderlich. Liegen diese nicht oder nur lückenhaft vor, müssen Brauchwasserentnahmen aus Vorsorgegründen frühzeitig begrenzt werden. Umgekehrt werden Schäden bzw. Nutzungskonflikte nicht bemerkt oder sie können mangels Daten zumindest nicht eindeutig nachgewiesen werden. Vor dem Hintergrund des aktuell schnell steigenden Wasserbedarfs in

der Landwirtschaft, zusätzlichen Risiken des Klimawandels, aber auch mit Blick auf eine effiziente Verwaltung, gewinnt eine **systematische Datenhaltung** eine größere Bedeutung.

Daten, die im Rahmen des landwirtschaftlichen Monitorings, aber auch außerhalb davon anfallen, sollten daher nach Möglichkeit systematisch erfasst, auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und letztlich gespeichert werden. Für das Niedrigwassermanagement sind von besonderer Bedeutung:

- erteilte wasserrechtliche Gestattungen mit Entnahmemenge, Lage, Einmessung auf Meter über NN, etc. (geeignet für GIS-Systeme),
- Förder- bzw. Entnahmemengen mit Zuordnung zu Entnahmeort und -zeit,
- langjährige Grundwasserganglinien (Landes- und Betreibermessstellen),
- Trockenwetterabflüsse der Fließgewässer,
- Trockenwetter-Quellschüttungen,
- Beobachtungsdaten aus extremen Trockenjahren (historisch / aktuell, z.B. Trockenfallen von Gewässern, Schäden in Feuchtbiotopen sowie Land- und Forstwirtschaft).

Alle diese Daten sollten möglichst bereits digital erfasst (z.B. Excel-Dateien von den landwirtschaftlichen Betrieben, Loggerdaten), **zentral gespeichert** und damit verfügbar gemacht werden. Bislang können nur einzelne Daten in den zentralen Landesdatenbanken hinterlegt werden. Solange entsprechende Datenbanksysteme nicht vorliegen, können Zwischenlösungen auf der Ebene der jeweiligen WWA und KVB genutzt werden. Hierbei sollte auf Datenstrukturen geachtet werden, die Abfragen, Berechnungen oder Auswertungen mit Geografischen Informationssystemen mit geringem Aufwand ermöglichen. Nur auf dieser Basis ist eine gezielte Steuerung von Bilanzgebieten und eine regelmäßige Fortschreibung der Wasserbilanzen und anderer Bewertungen zu leisten. Grundsätzlich sollte vor der Nutzung lokaler Lösungen mit dem LfU Rücksprache gehalten werden.

Über verteiltes Arbeiten bzw. Kooperationen zwischen den KVB und WWA kann evtl. der Aufwand für die jeweilige Behörde begrenzt werden. Eine Reduzierung des Aufwandes kann sich auch durch eine gemeinschaftlich organisierte Bewässerung ergeben, wenn diese die geprüften Daten ihrer Mitglieder zentral bereitstellen.

6 Bewältigung akuter Niedrigwasserphasen

Der Erfolg des Niedrigwassermanagements basiert primär auf der Qualität der Vorsorgemaßnahmen. Dort entscheidet sich, wo und in welchem Maße die Auswirkungen ausgeprägter Trockenphasen durch menschliche Wassernutzungen verstärkt werden. In akuten Niedrigwasserphasen sind die Möglichkeiten zur Abmilderung von Beeinträchtigungen oder Schäden dagegen sehr begrenzt. Diese Gewichtung – hohe Wirksamkeit der Vorsorge, begrenzte Wirksamkeit operativer Maßnahmen – zeigt Parallelen mit dem Hochwasserrisikomanagement. Dort vorhandene Erfahrungen können prinzipiell auch auf das Niedrigwassermanagement übertragen werden. Bei der Bewältigung akuter Niedrigwasserphasen ist das enge Zusammenspiel aller betroffenen Fach- und Vollzugsbehörden mit den Kommunen und Betrieben vor Ort unerlässlich.

Innerhalb akuter Niedrigwasserphasen und in ihrem Nachgang bestehen folgende Aufgabenschwerpunkte:

- Information und Kommunikation,
- Monitoring und Vorhersagen,
- Schadensbegrenzung,
- Schadensbeseitigung, Nachsorge,
- Fortschreibung des Niedrigwassermanagements.

Hierfür müssen zunächst entsprechende organisatorische und technische Strukturen, z.B. in der Verwaltung aufgebaut werden (Kap. 6.1). Während akuter Niedrigwasserphasen sind kurzfristig wirkende, operative Maßnahmen zur Überwachung und Steuerung der Ausnahmesituation erforderlich (Kap. 6.2). Vergleichbar dem Hochwasserschutz sollte anschließend eine gezielte Nachsorge erfolgen (Kap. 6.3). Diesbezügliche Aufgaben und Maßnahmen können in Managementplänen für konkrete Bewässerungsgebiete hinterlegt werden (Kap. 7).

6.1 Organisatorische und technische Strukturen

6.1.1 Aufbau einer Niedrigwasser-Organisationsstruktur

Im Vorfeld und innerhalb einer akuten Niedrigwasserphase müssen innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Informationen aufbereitet, Risiken bewertet sowie Maßnahmen ausgewählt und umgesetzt werden. Hierzu wird empfohlen analog dem Hochwasserschutz eine Organisationsstruktur für das NW-Management aufzubauen, die die Verwaltung (KVB, Regierungen, Ministerien), Fachbehörden (WWA, AELF, UNB, LfU), Landwirtschaft und Öffentlichkeit umfasst. Bis zu deren Etablierung sollten insbesondere die Fachbehörden (WWA, AELF, UNB, LfU) beginnende Trockenphasen beobachten und damit verbundene Gefahren verwaltungsintern kommunizieren. Abb. 30 zeigt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, eine mögliche Organisations- und Kommunikationsstruktur für ein integriertes Niedrigwassermanagement.

Bestandteile einer solchen Organisationsstruktur sind, vergleichbar zum Hochwasserschutz, u.a.:

- beteiligte Institutionen und Personen,
- Auslöser und Zeitpunkt der jeweiligen Aktivierung,
- fachliche Zuständigkeiten (z.B. Datensammlung und -auswertung),
- Entscheidungskompetenzen,
- interne Kommunikationswege,
- Dokumentationspflichten,
- Öffentlichkeitsarbeit.

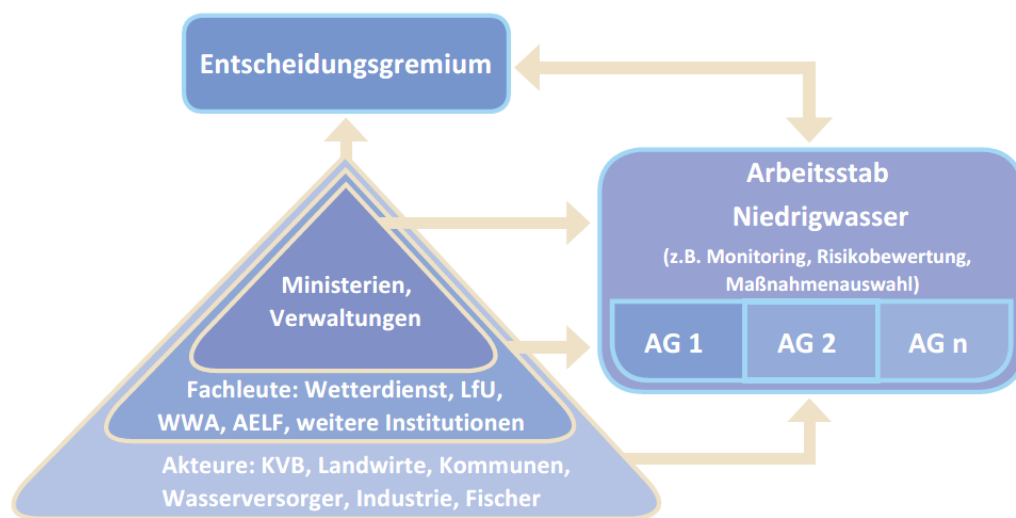


Abb. 30: Organisationsstruktur für ein integriertes Niedrigwassermanagement (nach GWB CEE 2015, verändert)

Bisher liegen für das Niedrigwassermanagement keine diesbezüglichen Erfahrungen vor. Für den Umgang mit akuten Trockenphasen notwendige Organisationsstrukturen sollten daher frühzeitig zwischen den verschiedenen maßgeblichen Akteuren (insbesondere WWA, AELF, KVB) definiert und mit den zuständigen Stellen abgestimmt werden. Auf regionaler Ebene ist eine Kommunikation zwischen den Fachverwaltungen (WWA, UNB, AELF, Gesundheitsämtern), koordiniert durch die Regierungen, empfehlenswert.

Wichtig ist die Festlegung, **wer wann aktiv wird** innerhalb dieser Organisationsstruktur im Falle einer sich abzeichnenden Trockenphase, also wer z.B. auf welcher Datenbasis eine „Vorwarnstufe“ (s.u.) ausruft. Sinnvoll erscheint eine Kombination aus Fachbehörden (LfU bzw. WWA, Erkennung Trockenphase anhand von Messdaten) und KVB mit Regierung als Verwaltungsbehörden.

6.1.2 Einführung von Meldestufen

Zur Einleitung angemessener organisatorischer Schritte (z.B. Aktivierung einer Steuerungsgruppe Niedrigwassermanagement) sollte das Ausmaß der Trockenphase oder der Niedrigwasserstände bereits im Vorfeld klassifiziert werden. Empfohlen wird eine vierstufige Klasseneinteilung, die zur Abgrenzung von **Meldestufen** benutzt werden kann.

Empfohlene Meldestufen (nach GWB CEE 2015):

- **Normalstufe:** keine signifikanten Abweichungen von mittleren Messwerten,
- **Vorwarnstufe:** Monitoring zeigt Anfangsstadium einer Trockenphase,
- **Warnstufe:** Beginn einer Phase, die bei einer Fortdauer Schäden bewirken kann,
- **Alarmstufe:** Ausrufung, wenn erste Schäden zu beobachten sind und/oder die (öffentliche) Trinkwasserversorgung gefährdet ist.

Für die Ableitung der Meldestufen sind **Dürre- oder Niedrigwasser-Indikatoren** auszuwählen und zu klassifizieren, z.B. aus den Bereichen:

- Meteorologie (z.B. Niederschlag, Klimatische Wasserbilanz),
- Hydrologie (z.B. Abfluss, Grundwasserstand),
- Landwirtschaft (z.B. Bodenfeuchte, Pflanzenschäden),
- Sozio-Ökonomie (z.B. Wasserversorgung, Schäden in der Landwirtschaft, Industrie und Natur).

Zur Abgrenzung der Meldestufen können wasserwirtschaftliche Indikatoren (Abfluss, Wassertemperatur, Grundwasserstand) z.B. aus dem Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID) kombiniert mit weiteren Lagekriterien wie Wetterprognosen, Beobachtungen (z.B. Trockenfallen von Gewässern, Schäden an Biotopen) und der Gefährdung der öffentlichen und privaten Wasserversorgung (inkl. Landwirtschaft) herangezogen werden.

Die Ausprägungen der verschiedenen Indikatoren (z.B. Höhe des Grundwasserstandes, Wetterprognosen) können kombiniert den einzelnen Meldestufen zugeordnet werden. Da zwischen den Indikatoren meist keine festen mathematischen Beziehungen bestehen, ist bei Bedarf immer eine Abwägung erforderlich, welcher Meldestufe der aktuelle Zustand vor Ort zugeordnet wird. Hierfür ist der Sachverstand der Fachleute vor Ort (z.B. WWA, AELF) heranzuziehen. Beispiele für mögliche **Klassifizierungen** zeigt der NID in seiner „Hilfe“¹², in der z.B. die Klassifizierung des Niederschlags-Dürreindex (SPI – „Standardized Precipitation-Index“) erläutert wird.

Solche landesweiten Kriterien sind auf der lokalen oder regionalen **Ebene der Bewässerungsgebiete** entsprechend zu ergänzen, z.B. bei der Aufstellung von Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen (Kap. 7). Ein hydrologisches Beispiel zeigt die Grundwasserganglinie in Abb. 29 (S. 94), in der verschiedene Grundwasserniveaus den vier Meldestufen zugeordnet sind. Neben dem Grundwasser sollten, je nach Gebiet, weitere Dürre- bzw. Niedrigwasser-Indikatoren ausgewählt werden (z.B. Abfluss, Bodenfeuchte, Beobachtungen vor Ort, Stress landwirtschaftlicher Kulturen).

Da oftmals nur wenige Basisdaten zur Verfügung stehen und entsprechende Erfahrungen fehlen, wird eine schrittweise Annäherung und regelmäßige Überprüfung der Indikatoren und ihrer Klasseneinteilungen erforderlich sein.

6.1.3 Technische Frühwarn-, Informations- und Prognosesysteme

Zur frühzeitigen Erkennung und zur Bewältigung akuter Niedrigwasserphasen müssen ausreichende Informationen vorliegen, z.B. zur Witterung und zu Niedrigwasserständen. Entsprechende Systeme existieren schon auf der Landesebene und darüber liegenden Verwaltungsebenen (BRD, EU), fehlen aber oftmals noch auf der regionalen oder lokalen Ebene der Bewässerungsgebiete. Hierfür wären solche Systeme noch zu entwickeln und aufzubauen. Für das Niedrigwassermanagement sollten zumindest ausgewählte Messstellen automatisiert erfasst, bewertet und bei Bedarf an zuständige Institutionen weitergeleitet werden.

Tab. 21 listet Internetseiten und andere Informationssysteme auf, denen relevante Daten zu Dürre- bzw. Niedrigwasserphasen entnommen werden können. Sie werden nachfolgend erläutert. Weitere aktuelle Messdaten können den Fachdatenbanken entnommen werden (z.B. InfoWAS, Gewässeratlas).

¹² NID-Hilfe: Online unter <https://www.nid.bayern.de/hilfe>

Tab. 21: Online-Informationssysteme mit Bezug zum Niedrigwassermanagement

Informationssystem	Link
Bayern	
Niedrigwasser-Informationsdienst	www.nid.bayern.de
Agrarmeteorologie Bayern	www.wetter-by.de
ALB-Bayern (Bewässerungs-App)	www.alb-bayern.de/app
Gewässerkundlicher Dienst der technischen Gewässeraufsicht	www.gkd.bayern.de
Umweltatlas Bayern	www.umweltatlas.bayern.de
BRD	
Deutscher Wetterdienst (DWD) Download meteorologischer Daten	diverse Zugriffsmöglichkeiten, z.B.: www.dwd.de/DE/leistungen/cdc_portal/cdc_portal.html opendata.dwd.de
DWD, Agrarmeteorologie, WESTE Agrar (Daten-Download)	www.agrowetter.de www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westeagrar/agrar.html
Dürremonitor, UFZ Leipzig	www.ufz.de/index.php?de=37937
Europäische Union	
European Drought Observatory	edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000
European Drought Center	europeandroughtcentre.com
WISE	water.europa.eu/

Landesebene

Aufbauend auf den Daten des Niedrigwassermonitorings bietet der bayerische **Niedrigwasser-Informationsdienst** (NID) im Internet aktuelle Informationen zum Niederschlag (90-Tage SPI inkl. 7-Tage-Prognose) und zum Zustand verschiedener Gewässertypen (Grundwasser, Fließgewässer mit Abfluss und tlw. Sauerstoffgehalt, Seen/Speicher). Der Wert des NID liegt in der schnellen Verfügbarkeit aktueller Messwerte und der bereits durchgeführten, meist statistischen Vorbewertung in verschiedene Klassen. So sind räumliche Schwerpunkte des Niedrigwassers sofort erkennbar. Die Daten des NID können zur Festlegung von Meldestufen, Organisations- und Bereitschaftszuständen verwendet werden. Weitere Erläuterungen zum NID enthält Kapitel 5 in LfU (2016).

Die **Niedrigwasser-Vorhersage** der kurz- bis mittelfristigen Entwicklung von Niedrigwasser in oberirdischen Gewässern und im Grundwasser liefert frühzeitig Entscheidungshilfen zur Einleitung erforderlicher Maßnahmen. Dafür sind neben meteorologischen Daten und Abflussgrößen auch Aussagen zur Entwicklung ökologisch relevanter Qualitätsparameter wie der Sauerstoffkonzentration und Wassertemperatur von Interesse. Vergleichbare Dienste werden in der Hochwasservorhersage auf Basis von Wasserhaushaltsmodellen seit längerem angeboten. Für die Anwendung im Niedrigwasserbereich sind allerdings zum Teil andere Modellparameter und Daten relevant, beispielsweise flächenhafte Vorhersagen zum Bodenwasserhaushalt oder zur Entwicklung einzelner Grundwassermessstellen. Die Darstellung von Niedrigwasservorhersagen im Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern ist in der Planung (LfU 2016).

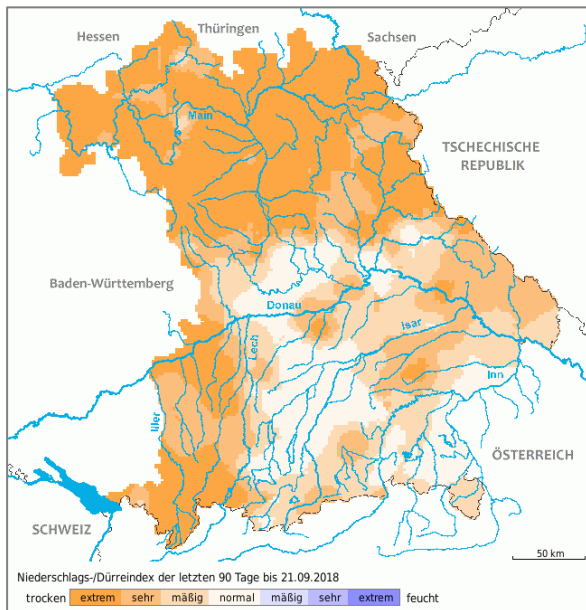


Abb. 31: Niederschlags-/Dürreindex des NID für den 21.09.2018 (Quelle: NID, Abruf 19.11.2018)

Ein spezifischer Informationsdienst in Niedrigwassersituationen sind **Melde- und Warnpläne für den ökologischen Zustand von Gewässern**. Ein Beispiel ist der „Alarmplan für den bayerischen, stauge-regelten Main – Gewässerökologie“ (AMÖ) (Regierung von Unterfranken 2012; LfU 2016). Ein ent-sprechender Alarmplan liegt auch für die Donau in Bayern vor („Alarmplan Donau – Gewässerökolo-gie“).

Der **Umweltatlas Bayern** beinhaltet u.a. Informationen zur Einstufung der Wasserkörper nach EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Meteorologische Daten bietet die Webseite „**AgrarmeteorologieBayern**“ der LfL. Dort können auch gezielte Berechnungen zum **Bewässerungsbedarf** verschiedener Kulturen an ausgewählten Mess-stationen berechnet werden, vergleichbar dem Service des **ALB-Bayern**.

Übergeordnete Ebenen

Bundesweit bietet der **Deutsche Wetterdienst (DWD)** klassische Wetterdaten und solche zur **Agrar-meteorologie** frei verfügbar an, darunter Karten und zahlreiche Stationsgrafiken zur Bodenfeuchte (Abb. 32), Niederschlag, Verdunstung und klimatischer Wasserbilanz (Abb. 33). Letztere ist ein guter Indikator für den Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft, aber auch zur Abschätzung, wann die Grundwasserneubildung wieder einsetzen wird. Über „**WESTE Agrar**“¹³ können entsprechende Daten als Excel-File heruntergeladen werden.

¹³ DWD WESTE Agrar: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westeagrar/agrar.html?nn=510076>

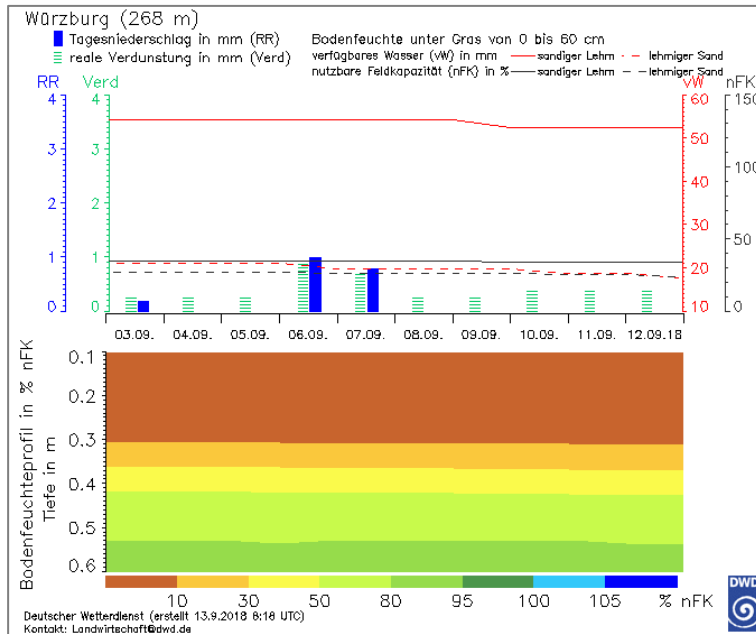


Abb. 32: Berechnete Bodenfeuchte unter Gras bis 60 cm Tiefe für die Station Würzburg (Quelle: DWD, Abruf: 13.09.2018)

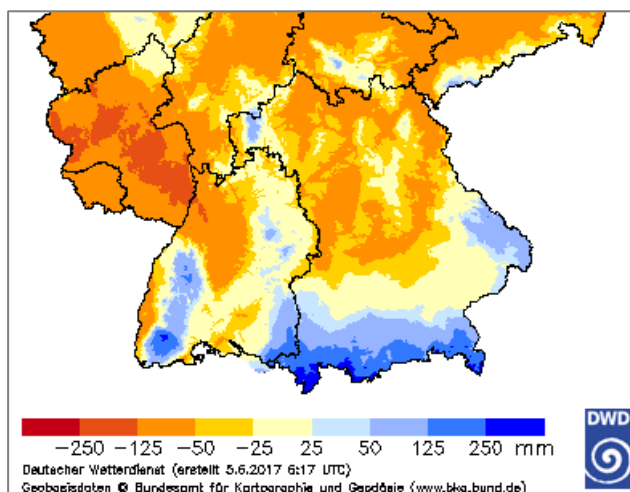


Abb. 33: Klimatische Wasserbilanz für das trockene Frühjahr 2017 (01.03.-31.05.2017, Quelle: DWD, Abruf: 14.11.2017)

Das **Umweltforschungszentrum Leipzig** (UFZ) bietet den **Dürremonitor** an. Er zeigt anhand von Karten die relative Abweichung der Bodenfeuchte vom langjährigen Zustand im jeweiligen Monat (statistischer Vergleich mit dem Zeitraum 1951-2015), also keine absolute Trockenheit. Die Karten werden täglich für ganz Deutschland aktualisiert, getrennt für den Oberboden (25 cm Tiefe) und bis 1,8 m Tiefe.

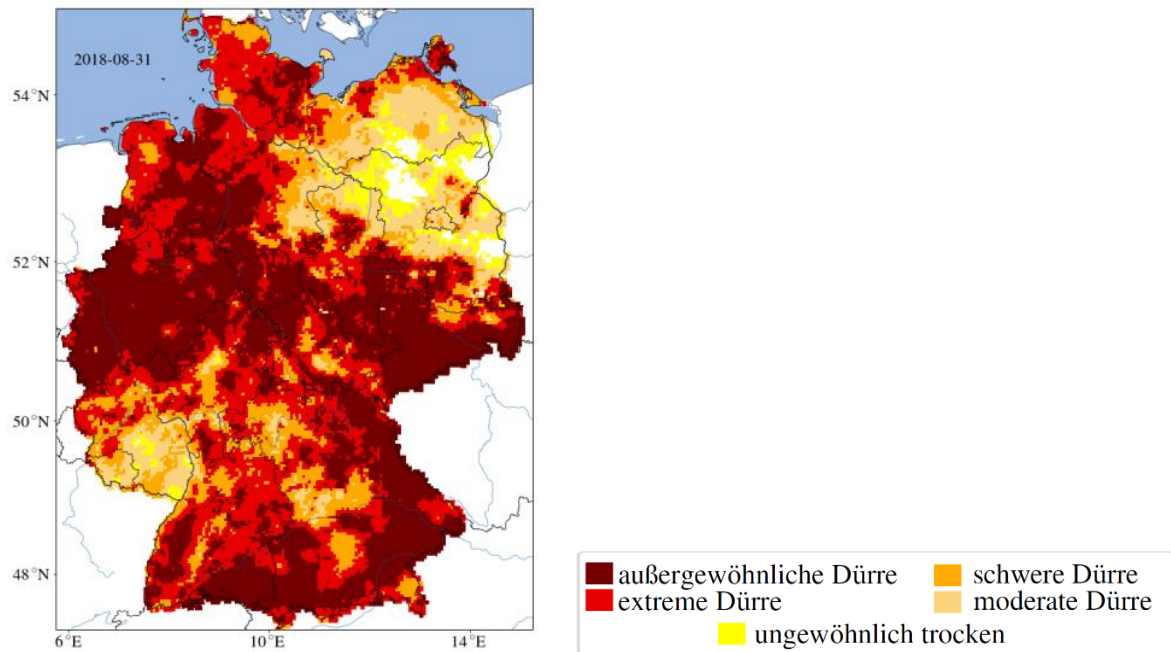


Abb. 34: Berechnete Dürreklassen für den Boden bis in 1,8 m Tiefe am 31.08.2018, entspricht etwa dem Höhepunkt der „außergewöhnlichen“ Dürre im Jahr 2018 (Quelle: UFZ, Abruf: 07.09.2018)

Die EU betreibt mit dem **European Drought Observatory (EDO)** eine Beobachtungsstelle, die online verfügbar ist. Sie bietet europaweite Karten, Diagramme und Daten zu Trockenheits- bzw. Dürrephasen. Über Kartenserver können gezielt Flächen oder Punkte dargestellt und ausgewertet werden, u.a. zum Niederschlag, einem kombinierten Dürre-Indikator und zur Bodenfeuchte (Abb. 35). Ebenso können interaktiv ausgewählte Daten zurückliegender Trockenphasen, Prognosen und Trends abgerufen werden. Ein Europäisches Dürrezentrum steht mit dem **European Drought Center (EDC)** ebenfalls online (vgl. auch „WISE“).

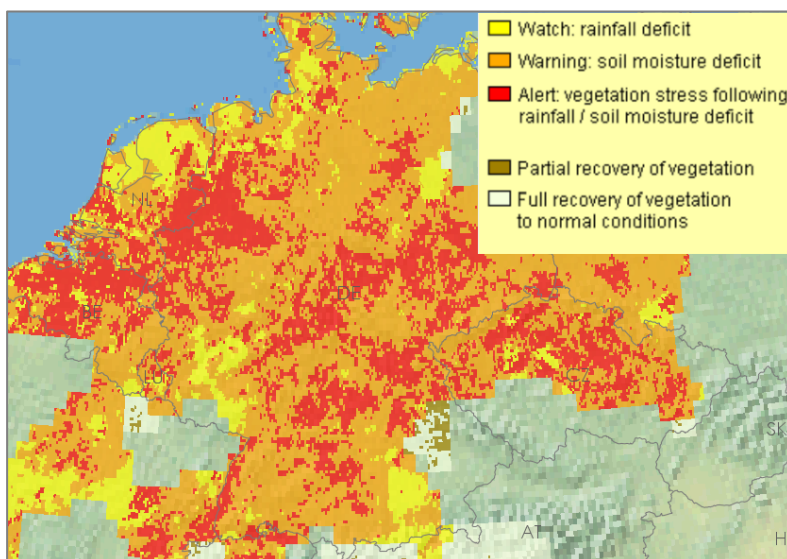


Abb. 35: Darstellung des „Combined Drought Indicator“ für Ende August 2018 auf der Webseite des European Drought Observatory (Abruf 13.09.2018)

Lokale Ebene

Für die Planung und Umsetzung konkreter operativer Maßnahmen ist die lokale oder regionale Ebene der Bewässerungsgebiete von Bedeutung. Vor allem die hydrologischen Mess- und Prognosedaten sind von Belang, da aufgrund hydrogeologischer Besonderheiten markante Abweichungen zu großräumigen Zuständen bestehen können, z.B. bei den Grundwasserständen und Abflussmengen.

Die auf Landesebene vorhandenen Daten sind teilweise nicht ausreichend, da sie z.B. nur an ausgewählten Stationen dargestellt werden (NID) oder, soweit Messstellen überhaupt vorhanden sind, sie i.d.R. nicht tagesaktuell abgelesen werden (technische Gewässeraufsicht). Soweit möglich, sollten daher in den Bewässerungsgebieten zumindest punktuell **Echtzeitinformationen** erhoben und übermittelt werden (z.B. Sondermessstellen mit Datenloggern inkl. Fernübertragung). Langfristiges Ziel an solchen Messstellen ist die Ableitung von **Warn- und Grenzwerten**, die zur Ausrufung von Meldestufen und operativen Maßnahmen genutzt werden (Kap. 5.3.1 und 6.1.2).

Die übrigen Messstellen des Monitorings (Kap. 5.4) sollten in **Trockenphasen vermehrt abgelesen** werden und mit weiteren Beobachtungen (z.B. Landwirtschaft, Naturschutzverbände, Öffentlichkeit) ausgewertet werden.

6.2 Operative Maßnahmen in akuten Trockenphasen

Die operativen Maßnahmen dienen vorrangig folgenden Punkten:

- Informationsgewinnung,
- Informationsaustausch und Öffentlichkeitsarbeit,
- Überwachung und operative Begleitung der Trockenphase,
- Vermeidung/ Reduzierung von Schäden,
- Steuerung von Krisensituationen.

Kommunikation

Jede Krisensituation erfordert eine verstärkte Kommunikation – zwischen den Fach- und Verwaltungsbehörden, aber auch mit den Betroffenen vor Ort und der Öffentlichkeit, wie z.B. Kommunen, landwirtschaftlichen Betrieben und weiteren Gewässernutzern. Die in Kap. 6.1.1 beschriebene Organisationsstruktur sollte für einen gezielten Informationsaustausch genutzt werden.

In den Konfliktgebieten bestehen meist ausgeprägte Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz und evtl. weiteren betroffenen Akteuren (z.B. andere Brauch- und Trinkwassernutzer, Gewässernutzer, Öffentlichkeit, kommunale Gremien). Sowohl für die Konfliktanalyse als auch für die Suche nach Lösungsansätzen ist eine **gezielte Kommunikation zwischen den zentralen Akteuren** („Stakeholder“) erforderlich, z.B. in Form von „Runden Tischen“ oder Workshops, die in verschiedenen Phasen eingesetzt werden können. Sie dienen dem Informations- und Meinungsaustausch, aber auch der Vertrauensbildung zwischen den betroffenen Personen und Institutionen. Diese Kommunikationselemente sind auch bei der Erstellung von **Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen** zu berücksichtigen, die ein Ergebnis des gesamten Kommunikations- und Planungsprozesses bilden können (vgl. Abb. 36 in Kap. 7). In komplexen Fällen oder bei tiefgreifenden Konflikten, in denen keine schnellen Lösungen erkennbar sind, kann die Einbeziehung professioneller Mediatoren hilfreich sein. Bei der **Öffentlichkeitsarbeit** (Kap. 8) sind der Schutz vertraulicher Informationen und Interna von Arbeitsgruppen zu berücksichtigen.

Informationsgewinnung und -aufbereitung, Monitoring

Um evtl. Risiken frühzeitig zu erkennen, muss die Informationsgewinnung und -aufbereitung sowie die Überwachung in akuten Trockenphasen deutlich **intensiviert** werden. Dies betrifft zunächst die klassischen Felder eines wasserwirtschaftlichen Monitorings wie Grundwasserstände, Pegelstände oder Fördermengen. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob **zusätzliche Messungen oder Datenerhebungen** für das **Krisenmanagement**, aber auch zur **Dokumentation der Trockenphase** und ihrer Auswirkungen notwendig sind. Dazu müssen ggf. auch die Messeinrichtungen angemessen ausgestattet werden. Der Fokus sollte hier auf konkreten Gefahren, potenziellen Schäden und besonders sensibel reagierenden Ökosystemen liegen.

Beispiele hierfür sind:

- Sicherheit der öffentlichen Trinkwasserversorgung und ggf. Brauchwassernutzungen,
- Trockenschäden in Land- und Forstwirtschaft, Setzungsschäden an Gebäuden,
- Trockenschäden in sensiblen Ökosystemen (z.B. Quellen, Oberflächengewässer, Feuchtbiotope).

Wichtige Informationen sollten zeitnah aufbereitet, bewertet und kommuniziert werden. Aufgrund möglicher bereits bestehender Konflikte (und den oftmals damit verbundenen Schuldzuweisungen), sollte auf die Qualität der Daten bzw. ihre „Belastbarkeit“ geachtet werden. Für die spätere Diskussion bietet es sich an, die Ergebnisse der Analyse schriftlich niederzulegen (inkl. Diagrammen und Tabellen), evtl. als Vorstufe zu einem geplanten Grundwassermanagement-Plan für Niedrigwasserphasen (Kap. 7).

Risikomanagement, Maßnahmen

Die von der Trockenheit ausgehenden Risiken müssen von allen relevanten Akteuren berücksichtigt werden, nicht nur von der Wasserwirtschaft. Zunächst sind hier die **landwirtschaftlichen Betriebe** selbst gefordert, die sich mit einem **betriebsinternen Risikomanagement** auf einen extremen Tagesspitzenwasserbedarf und einen evtl. unzureichenden Umfang der wasserrechtlichen Gestattungen vorbereiten sollten. Mit zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels und wachsendem Nutzungsdruck auf die Wasserressourcen werden die Fälle zunehmen, in denen die wasserrechtlichen Gestattungen den Wasserbedarf der Bewässerungsbetriebe nicht mehr vollständig abdecken können (Kap. 3.2.5).

Die Handlungsspielräume der **Wasserwirtschaft** sind begrenzt, da nur der Mangel an Wasser verwaltet werden kann. Aufrufe zum Wassersparen sind gerechtfertigt und notwendig, zeigen aber i.d.R. kaum eine kurzfristige hydrologische Wirkung. Auch eine evtl. beabsichtigte **Reduzierung der Fördermengen in der Landwirtschaft** ist auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass unzureichende Bewässerungsmengen in Hitzephasen innerhalb weniger Tage massive Schäden in sensiblen Kulturen (z.B. Gemüse, Kräuter) auslösen können. In Extremfällen kann die Existenz des betroffenen Betriebes gefährdet sein. Vor Fördermengenreduzierungen oder -begrenzungen muss eine **Abwägung** zwischen wasserwirtschaftlichen, naturschutzfachlichen und landwirtschaftlichen Interessen stattfinden, z.B. mit der Klärung folgender Fragen:

- Wird eine Reduzierung/Einstellung der Bewässerung eine relevante hydrologische Wirkung zeigen? Wenn nein, ist die Maßnahme dennoch erforderlich und vertretbar?
- Welche konkrete Gefährdung geht von der Fortführung der Bewässerung aus (z.B. öffentliche Trinkwasserversorgung, Wassergewinnung anderer landwirtschaftlicher Betriebe, Trockenfallen von Gewässern)?
- Bestehen andere Möglichkeiten drohende Nutzungskonflikte abzumildern oder zu verhindern?
- Wurde die genehmigte Entnahmemenge bereits mehrfach überschritten?
- Welche Einsparmöglichkeiten bestehen noch bei der Bewässerung?

- Drohen dauerhafte Schäden oder solche temporärer Art?
- Wie groß wären die potenziellen Schäden? Wäre der Betrieb dadurch gefährdet?

Für ein Verständnis in der Öffentlichkeit sollte seitens der Verwaltung – bei gleichzeitiger Ausnutzung aller Einsparmöglichkeiten durch die Landwirtschaft – auch die Beregnungsbedürftigkeit der Kulturen in Trockenphasen kommuniziert werden. Grundsätzlich vorteilhaft für eine bessere Akzeptanz ist es, wenn von Seiten der Landwirtschaft wassersparende Bewässerungstechniken berücksichtigt und nach Möglichkeit eingesetzt werden.

Anders ist die Sachlage, wenn von den Bewässerungsentnahmen eine **konkrete Gefährdung** ausgeht, insbesondere **der öffentlichen Trinkwasserversorgung**. Soweit tatsächlich von der hydrologischen Wirksamkeit einer landwirtschaftlichen Förderreduzierung oder -einstellung ausgegangen werden kann, ist in diesen Fällen eine Reduzierung (Teilwiderruf) oder ggf. ein Widerruf der wasserrechtlichen Gestattung zu prüfen. Bezüglich der Einsparmöglichkeiten bei der Bewässerung wird auf Kapitel 3.2.4 verwiesen.

Tab. 22 listet Beispiele für operative Maßnahmen auf (inkl. **Naturschutz**).

Tab. 22: Mögliche operative Maßnahmen während akuter Niedrigwasserphasen

Maßnahme	Erläuterung
Kommunikation	
Wasserwirtschaft (mit Landwirtschaft und Naturschutz)	
Austausch zwischen den Behörden	Vertikaler und horizontaler Informationsaustausch zwischen den Fach- und Verwaltungsbehörden über das Ausmaß der Niedrigwasserphase und notwendige Maßnahmen.
Information der Öffentlichkeit	Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die aktuelle Trockenphase, Information über Ursachen und Auswirkungen, bei Bedarf Aufrufe zum Wassersparen.
Einberufung eines runden Tisches, Einbindung lokaler Akteure	Komplexe Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz erfordern zur Maßnahmenumsetzung die Einbindung wichtiger Akteure und Interessensgruppen (bei Bedarf auch politische Akteure).
Beratung	
Landwirtschaft (AELF)	
Einzelbetriebliche Beratung	Beratung der landwirtschaftlichen Betriebe z.B. zur Wassereffizienz
Monitoring	
Landwirtschaft (Betriebe)	
Regelmäßige Überwachung der Fördermengen (monatliche Meldung an WWA)	Überwachung der Fördermengen zur Intensivierung des internen Wassermanagements (inkl. Einhaltung der Bescheide).
Verstärkte Beobachtung der Absenckziele (für Brunnen) und Grenzgrundwasserstände (in GW-Messstellen)	Regelmäßige Überwachung der Grundwasserstände zur Einhaltung evtl. vorhandener Nebenbestimmungen im Wasserrechtsbescheid.

Wasserwirtschaft	
Zusätzliche Messungen und Datenerhebungen	Kontrolle wasserwirtschaftlicher Warn- und Grenzwerte (u.a. zur rechtlichen Absicherung bei Anordnung von Nutzungseinschränkungen). Messungen und Beobachtungen in Trockenphasen ergeben wertvolle Hinweise zum Wasserhaushalt der Bewässerungsgebiete. Sinnvoll sind z.B. Abflussmessungen, Erfassung trockengefallener Fließgewässerabschnitte, wöchentliches Ablesen von Grundwassermessstellen und Gewässerpegeln (wo keine Datenlogger).
Zeitnahe Auswertung aktueller Messdaten, Berücksichtigung von Prognosen	Auswertung des Status quo (eigene Messungen, Meldungen der Landwirtschaft, Niedrigwasser-Informationsdienst) und von Prognosen (z.B. DWD, Beginn der Grundwasserneubildung bei aktueller Bodentrockenheit) zur Ableitung kurz- bis mittelfristig notwendiger Maßnahmen.
Kontrollen in der Landwirtschaft (mit AELF)	Stichprobenhafte Prüfungen zur Einhaltung der im Bescheid festgelegten Fördermengen und Absenckziele, bei Bedarf Überwachung bewässerter Kulturen und Flächen (z.B. bei Bewässerungsverboten für einzelne Kulturen oder Flächen nahe einem Wasserwerk). Weitergabe von Verstößen an Kreisverwaltungsbehörden (ggf. Ordnungswidrigkeiten, Cross Compliance-Relevanz)
Naturschutz	
Verstärkte Beobachtung hydrologischer Messeinrichtungen	Häufigere Messungen an wertvollen Gewässern und Feuchtbiotopen, hierzu möglichst feste Einrichtung von Pegeln und Messstellen.
Erfassung naturschutzfachlich relevanter Veränderungen	Gezielte Beobachtungen oder Kartierungen dürrindizierter Veränderungen, z.B. zur Ableitung von Belastungsschwellen.
Risikomanagement/ Wasserbedarf/ Wasserhaushalt	
Landwirtschaft bei akutem Wassermangel (Betriebe)	
Betriebsinternes Niedrigwasser- / Trockenheits-Risikomanagement	vgl. Kap. 3.2.5
Verlagerung der Bewässerung in die Nacht bzw. in den frühen Morgen	Reduzierung der Verdunstungsverluste (soweit aus Gründen des Pflanzenschutzes, z.B. Pilzbefall, möglich).
Reduzierung der Bewässerung auf ein Minimum	Verringerung der Bewässerungsgaben auf die Menge, die zum reinen Erhalt der Kultur zwingend notwendig ist (bei evtl. reduzierter Qualität, reduziertem Wachstum).
Teilweise Einstellung der Bewässerung	Abbruch der Bewässerung auf Teilflächen bzw. bei ausgewählten Kulturen (z.B. mit geringem Deckungsbeitrag, mit bereits vorhandenen Schäden, auf schlechten Böden).
Anmeldung höherer Gewalt beim Vertragspartner	Vermeidung von Vertragsstrafen bei reduzierten Liefermengen bzw. Qualitätsmängeln (z.B. Verträge für Industriegemüse).
Nutzung von Versicherungen	Absicherung gegen Dürreschäden durch Versicherungen (bislang in Deutschland kaum vorhanden bzw. finanzierbar).
KVB (mit Wasserwirtschaft)	
Aufruf zur Wassereinsparung	Information der gesamten Öffentlichkeit und gezielt der Landwirtschaft über die Notwendigkeit der Wassereinsparung.
Einschränkung der Wassernutzung (Öffentlichkeit)	Verbot der Garten- und Rasenbewässerung oder der Befüllung von Schwimmbecken prüfen.
Einschränkung der landwirtschaftlichen Bewässerung	Räumlich und zeitlich gezielte Einschränkungen bzw. Verbote: • Prüfung von bußgeldrelevanten Sanktionen bei Überschreitung der Bescheidsmenge, ggf. (Teil-) Widerruf • Teil-/Totalverbot (mittels Widerruf) der Förderung bei Unterschreitung von Absenckzielen (in Brunnen) bzw. definierten

	Grenzwerten (an GW-Messstellen, Gewässerpegeln, bei Fortsetzung der Förderung evtl. rechtliche Übergangsregelung erforderlich und in Bezug auf eine Legalisierung zu prüfen), lokale Förderreduzierung (-verbot) (mittels Widerruf) bei Gefährdung benachbarter Schutzgüter (z.B. öffentliche Trinkwasserversorgung, hochwertige Feuchtgebiete / Arten).
Naturschutz (mit Wasserwirtschaft und Landwirtschaft)	
Aktive Stützung bedeutsamer Wasser- und Feuchtlebensräume zur Überbrückung der Trockenphase	Füllung bzw. Vernässung kleinerer Gewässer oder Feuchtbiotope mit stark bedrohten Arten oder Lebensgemeinschaften, z.B. mit Grundwasser oder aus größeren Fließgewässern (Interessensabwägung zwischen Wasserwirtschaft und Naturschutz erforderlich), Maßnahmen sollten vorab geplant und geprüft und wenn erforderlich genehmigt werden (z.B. Entnahmeorte, Pumpen, Leitungsführung, Wasserausleitungen).
Rettungsmaßnahmen für stark gefährdete Arten	Gezielte Maßnahmen zum Erhalt vom Aussterben bedrohter Arten mit geringer Resilienz (z.B. Umsiedlung Flussperlmuschel).

6.3 Nachsorge

Analog zum Hochwasserrisikomanagement ist es auch beim Umgang mit Hitze und Trockenheit in Bilanzgebieten unerlässlich, dass abgelaufene „Krisen“ mit allen Akteuren analysiert und in einem Risikodialog notwendige künftige Maßnahmen diskutiert werden. Die Erkenntnisse aus den verschiedenen Bilanzgebieten sollten auch anderen Fachbehörden zugänglich gemacht werden.

Es wird auch als Aufgabe der Fachverwaltung gesehen, künftige strengere Restriktionen und neue Erkenntnisse über die Situation der Wasservorkommen (z.B. Sensitivität der Grundwasserentwicklung) frühzeitig zu vermitteln, damit sich die Nutzer auf geänderte Randbedingungen einstellen können.

Die Nachsorge ist ein Teil eines zyklisch verstandenen Niedrigwassermanagements, wie es in Abb. 1 (S. 8) dargestellt ist.

Dokumentation

Historische Trockenphasen sind als Referenz für aktuelle und zukünftige Niedrigwasserphasen von Bedeutung. Sie bieten die Möglichkeit, Abweichungen und neue Trends zu erkennen. Dies ist insbesondere mit Blick auf den Klimawandel von Bedeutung. Ausgewählte Niedrigwasserperioden der Vergangenheit werden z.B. in LfU (2016) beschrieben und verglichen.

Die Dokumentation neuer Trockenphasen sollte sich nicht auf ohnehin vorhandene Messwerte beschränken, sondern gezielt auch Besonderheiten und Extremereignisse enthalten. Beispiele sind Handmessungen an besonderen Orten, Karten mit trockengefallenen Gewässerabschnitten, lokale Störungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung, aufgetretene Konflikte oder das Schadensausmaß in der Landwirtschaft und der Natur, möglichst noch räumlich differenziert. Fotografien oder Presseartikel können die Dokumentation abrunden.

Wiederherstellung, Regenerierung

Abweichend zu Hochwässern sind mit extremen Niedrigwasserphasen weitaus weniger Gefahren für Menschen oder für Anlagen und Gebäude verbunden. Dennoch können sich Einzelfälle ergeben, in

denen eine Wiederherstellung oder Regeneration beeinträchtigter Güter aktiv unterstützt werden kann.

Bespiele aus den Bereichen Land- und Wasserwirtschaft sowie Naturschutz sind:

- Erneuerung defekter Pumpen und Messeinrichtungen,
- Abdichtung durchlässiger Speicherbecken,
- beschleunigte Wiedervernässung hochwertiger Feuchtbiotope.

Evaluierung und Fortschreibung des Niedrigwassermanagements

Aus einer gezielten Analyse von Ausmaß und Wirkung der abgelaufenen Trockenphase, evtl. auch fachübergreifend in Form eines Workshops oder einer Tagung, können sich wertvolle Hinweise zur Vorsorge und Bewältigung zukünftiger Trockenphasen ergeben.

Ziele sind die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen oder die Fortschreibung von Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen (Kap. 7).

7 Managementpläne

Die aktive Bewirtschaftung von Bilanz- bzw. Bewässerungsgebieten durch die Wasserwirtschaftsverwaltung (Kap. 5.3) wird bei zunehmenden Fördermengen (und Risiken) immer komplexer, da unterschiedliche Interessen von Land- und Wasserwirtschaft, Naturschutz und Öffentlichkeit gegeneinander abgewogen werden müssen – unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Rechtslage. Besonders deutlich wird dies in Gebieten, in denen bereits Nutzungskonflikte bestehen, die möglichst zeitnah reduziert oder aufgelöst werden sollen, ohne dass der Blick für langfristige Perspektiven (z.B. für die Landwirtschaft) verloren geht.

Um konstruktive Lösungen für solche Bewässerungsgebiete zu entwickeln, die zumindest weitgehend im Konsens von allen Beteiligten mitgetragen werden, sind detaillierte Analyse- und Planungsprozesse erforderlich, die über das alltägliche Verwaltungshandeln hinausgehen. Neben verschiedenen Genehmigungs- und Fachverwaltungen (KVB, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Naturschutz) ist meist die Einbindung betroffener Akteure vor Ort erforderlich (z.B. landwirtschaftliche Betriebe/Verbände, Gewässernutzer, Kommunen, evtl. Öffentlichkeit). Erfahrungen aus Pilotgebieten zeigen, dass **Workshops**, die auf Diskussionen in Kleingruppen und im Plenum aufbauen, ein fruchtbares Instrument zur Lösungsfindung sein können. Diese müssen inhaltlich und organisatorisch intensiv vor- und nachbereitet werden.

Zur Bündelung und für einen zielgerichteten Ablauf dieser Aufgaben bietet sich die Erstellung von **Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen** (GMP Niedrigwasser) durch die WWA in enger Zusammenarbeit mit den anderen betroffenen (Fach-)Behörden an, bei übergreifenden Bilanzgebieten oder hohem Konfliktpotenzial gegebenenfalls durch die Regierungen. Sie stellen demnach das **Ergebnis eines Planungsprozesses** dar, an dem neben Fachbehörden oder Gutachtern möglichst weitere wichtige **Akteure** bzw. **Stakeholder**¹⁴ beteiligt waren (Abb. 36).



Abb. 36: Mögliche zentrale Akteure (Stakeholder) zur Erstellung eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen

¹⁴ Laut Definition nach ISO 10006 sind Stakeholder eines Projektes alle Personen, die ein Interesse am Projekt haben oder von ihm in irgendeiner Weise betroffen sind.

Grundsätzlich können GW-Managementpläne für Niedrigwasserphasen die **Umsetzung der WRRL unterstützen**: Gemäß Art. 13 Abs. 5 WRRL können die Bewirtschaftungspläne für Flussgebiete „durch detailliertere Programme und Bewirtschaftungspläne für Teilgebiete, Sektoren, Problembereiche oder Gewässertypen ergänzt werden, die sich mit besonderen Aspekten der Wasserwirtschaft befassen“ (LfU 2016, GWB CEE 2015). Dies ist fast gleichlautend in § 83 (3) WHG hinterlegt.

Diese Managementpläne sind **verwaltungsinterne Pläne** mit einer Lenkungsfunktion. Sie entfalten keine direkte rechtliche Wirkung nach außen. Ihre Umsetzung erfolgt indirekt z.B. über die Wasserrechtsbescheide nach fachlicher Beurteilung durch das WWA (z.B. Steuerung der Lage neuer Brunnen, Einführung von Warnwerten an Messstellen) oder weitere öffentliche (z.B. Flurbereinigung, Schutz von Feuchtbiotopen) oder private Maßnahmen (Bau von Wasserspeichern, Wasserbeileitung, Einsatz sparsamer Beregnungstechnik).

Soweit **Natura 2000-Gebiete** mit grundwasserabhängigen Landökosystemen betroffen sind, sollte der Managementplan auch deren Erhaltungsziele oder bereits existierende Natura 2000-Bewirtschaftungspläne berücksichtigen.

Aus **fachlicher Sicht** fasst der Managementplan die Analysen, Bewertungen, Maßnahmen und das Monitoring zusammen, die in den vorangegangenen Kapiteln 4 - 0 dargestellt werden. Wie im vorliegenden Diskussionspapier sollte der Managementplan seinen **Schwerpunkt auf der Niedrigwasservorsorge** haben, da operative Maßnahmen in akuten Trockenphasen nur sehr begrenzte Wirkungen erzielen können.



Abb. 37: Bausteine eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen (nach GWB CEE 2015, verändert)

Die Arbeitsschritte zur Erstellung eines GW-Managementpläne für Niedrigwasserphasen werden in Tab. 23 erläutert. Hierzu gehört auch die **Fortschreibung** des Plans bei Vorliegen neuer Erkenntnisse (z.B. aufgrund von Monitoringdaten oder neuen Trockenphasen). Tab. 24 listet mögliche Inhalte des Managementplans auf.

Weitere Hinweise zu Grundwassermanagement-Plänen für Niedrigwasserphasen finden sich auch in GWB CEE (2015).

Tab. 23: Arbeitsschritte zur Erstellung eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen

Aufgabe	Erläuterung
Kommunikation	
Klärung der Zuständigkeit	Im Regelfall ist die Wasserwirtschaftsverwaltung (WWA) zuständig. Bei großen Bewässerungsgebieten kann die Bearbeitung evtl. örtlichen Bewässerungsverbänden übertragen werden.
Austausch zwischen den Fachbehörden	Klärung der Ist-Situation sowie der Notwendigkeit und der Inhalte eines GW-Managementplans für Niedrigwasserphasen.
Einbindung lokaler Akteure (Stakeholder)	Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz sollten zur Ziel- und Lösungsfindung wichtige Akteure und Interessensgruppen eingebunden werden (z.B. landwirtschaftliche Betriebe, Bauernverband, Gewässernutzer, Kommunen, Naturschutzverbände).
Öffentlichkeitsarbeit	Bei Bedarf, z.B. bei Konflikten zwischen Landwirtschaft und Öffentlichkeit, kann diese eingebunden bzw. informiert werden.
Situationsanalyse	
Datenaufbereitung	Systematische Aufbereitung verwaltungsinterner und -externer Daten inkl. Bewertung der Unsicherheiten und Datenlücken, Schließen von Datenlücken (z.B. über GW-Modell).
Auswertung historischer Trockenphasen	Reaktion des Gebietes auf historische Trocken- bzw. NW-Phasen (inkl. Sensitivität des Gebietes, Konflikte, Schäden).
Bewertung von Risikofaktoren	Erstellung einer Wasserbilanz mit Risikobewertung (Kap. 4.1).
Identifizierung und Bewertung von Nutzungskonflikten	Klärung, wo und mit welcher Intensität potenzielle oder reale Nutzungskonflikte bestehen.
Ableitung von Belastungsgrenzen	Festlegung hydrologischer Warn- und Grenzwerte (Tab. 18).
Definition von Entwicklungszielen	Ziele, die mit dem Plan erreicht werden sollen.
Maßnahmenplanung	
Organisationsstruktur bei akutem Niedrigwasser	Klärung einer Organisationsstruktur aus Verwaltung, Fachbehörden und lokalen Akteuren zur Erkennung, Bewältigung und Nachsorge von Niedrigwasserphasen (Kap. 6.1.1)
Vorsorgende Maßnahmen	Maßnahmen aus den Bereichen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz, die das örtliche Risiko von Nutzungskonflikten verringern können (Kap. 5.2.3, Tab. 19).
Monitoring und Frühwarnsystem	Maßnahmen zum Aufbau eines systematischen Monitorings (Kap. 5.4), aus dessen Daten sich zusätzlich ein Frühwarnsystem ableiten lässt (Kap. 6).
Akutmaßnahmen in NW-Phasen	Maßnahmen, die der Beobachtung und Bewältigung akuter NW-Phasen dienen (inkl. Kommunikation und Organisation, Kap. 6).
Nachsorge	Maßnahmen, die der Bewertung, Schadensbeseitigung und Nachsorge akuter NW-Phasen dienen (Kap. 6).
Umsetzungsplanung und Fortschreibung	
Zeitplanung	Planung kurz-, mittel- und langfristiger Maßnahmen
Kosten	Kostenschätzung und Kostenträger der Anpassungsmaßnahmen
Zuständigkeit	Verantwortliche Behörden und Personen
Fortschreibung	Zeitplan und Vorgehensweise zur Fortschreibung des Plans

Aufgabe	Erläuterung
Dokumentation und Veröffentlichung	
Planerstellung und Abstimmung	Text- und Kartenerstellung, Abstimmung mit Akteuren
Veröffentlichung	Bekanntmachung in Fachkreisen, bei Bedarf Veröffentlichung
Integration in Wasserrechtsbescheide	Übernahme wesentlicher Auflagen in die Wasserrechtsbescheide
Fortschreibung	
Aktualisierung, Fortschreibung	Nach ausgeprägten Trocken- bzw. Niedrigwasserphasen oder bei Vorliegen neuer Erkenntnisse sollte der Plan bei Bedarf aktualisiert und soweit erforderlich angepasst werden.

Tab. 24: Mögliche Inhalte eines GW-Managementplans für Niedrigwasserphasen

Inhalt	Erläuterung
Ziele	
Schutzziele	z.B. Vermeidung von Übernutzungen vorhandener Grundwasservorkommen, Schutz öffentlicher Trinkwasserversorgung oder Feuchtbiootope/Arten
Entwicklungsziele	z.B. Ausbaumöglichkeiten für Bewässerung, Steigerung der Effizienz der Wassernutzung, gemeinschaftliche Wassergewinnung und -verteilung, Bau von Speicherbecken, Öffentlichkeitsarbeit
Ausgangszustand	
Wassernutzungen	öffentliche Trinkwasserversorgung, Bewässerungs- und sonstige Brauchwasserentnahmen in Lage und Höhe, Bewässerungsflächen, landwirtschaftliche Entnahme- und Verteilungsbauwerke/-leitungen, Speicherbecken
Wasserbilanz	Gegenüberstellung aller Wasserentnahmen zum natürlichen Dargebot, Ermittlung der Risikoklasse im Bilanzgebiet
Oberflächengewässer	Quellen, Fließ- und Stillgewässer mit Empfindlichkeit gegenüber Trockenphasen (z.B. Trockenfallen von Fließgewässerabschnitten)
Feuchtbiootope, hydromorphe Böden	Verbreitung und Sensitivität von Feuchtbiotopen und wasser geprägten Bodentypen
Datenlücken	künftig notwendige Informationen, z.B. neue Messstellen, langjährige Messreihen, numerische Modelle, genaue Fördermengen
Prognose der Entwicklung	
Wasserentnahmen	Abschätzen der zukünftigen Entnahmen bzw. Anforderungen der Nutzer unter Berücksichtigung wesentlicher Entwicklungen, z.B. Klimawandel, naturschutzfachliche Anforderungen, Bevölkerungsentwicklung, Siedlungsentwicklungen, künftige Land-/ Flächennutzung, etc.
Wasserbilanz	Gegenüberstellung künftiger Wasserentnahmen zum künftigen natürlichen Dargebot (Berücksichtigung des Klimawandels)
Risikoanalyse	
Auswertung historischer Trockenphasen	Reaktion des Gebietes auf historische Trocken- bzw. NW-Phasen (inkl. Sensitivität des Gebietes, Konflikte, Schäden).
Wasserbilanz	Bewertung der o.g. Bilanzierungen hinsichtlich des Risikos für das Bilanzgebiet
Hydrologische / hydrogeologische Bewertung	Sensitivität des Grundwasserleiters und der Oberflächengewässer
Bewertung der Feuchtbiootope, hydromorphe Böden	Sensitivität der Feuchtbiootope, hydromorphe Böden, künftige Anforderungen

Inhalt	Erläuterung
potenzielle/ bestehende Nutzungskonflikte	Bewertung abzusehender oder vorhandener Nutzungskonflikte unter Einbeziehung folgender Informationen: Grundwasserganglinien, Abflussmessungen, Kartierung trockengefallener Abschnitte, Beeinträchtigung Feuchtbiotope, Verdichtung von Entnahmestellen, Ausweitung bewässerter Kulturen, Beschwerden, etc.
Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen	
Organisationsstruktur bei Niedrigwasser	Festlegung der Zuständigkeiten und Kommunikationswege, Organisationsstruktur mit Vertretern aus Verwaltung, Fachbehörden und lokalen Akteuren zur Erkennung, Bewältigung und Nachsorge von Niedrigwasserphasen, Ableitung von „Meldestufen“ (Ampelsystem) zur Einstufung des jeweiligen Niedrigwasserzustandes (Frühwarnsystem)
Nutzbare Wasservorkommen	Grundwasser/Oberflächengewässer inkl. Uferfiltrat (wasserwirtschaftlich nutzbares Dargebot, räumlich differenziert), Möglichkeiten zur Nutzung alternativer Wasservorkommen (z.B. Oberflächengewässer, Uferfiltrat, Speicher, aufbereitetes Brauchwasser), ggf. Beileitungen
Darstellung des Monitorings und Frühwarnsystems	privates (Landwirtschaft) und staatliches Messwesen inkl. digitaler Kommunikation und Datenhaltung, z.B. Hydrologie (Wasserentnahmen, GW-Stände, Abflüsse, Quellschüttungen, ggf. Zeiten), bei Bedarf ökologisch (Feuchtbiotope, Arten), Ableitung von Schwellenwerten (Warnwerten/ Grenzwerten), Prüfung der Verankerung von Warn- und Grenzwerten im Grund-/Oberflächenwasser in wasserrechtlichen Gestattungen und im Frühwarnsystem der Fachbehörden und Verwaltungen
Maßnahmen der landwirtschaftlichen Betriebe ggf. in Abhängigkeit von Meldestufen	Einführung eines internen <u>Wasser- und Risikomanagements</u> , z.B. mit: Empfehlungen zum Anbau (Flächen, Kulturen), Vorbereitung auf Trockenjahre (ausreichende Technik, Notfallmaßnahmen), monatliche Mengenerfassung (fester Einbau geeichter <u>Wasseruhren</u>), bei Bedarf Erfassung Brunnen-/ GW-Stände mit Datenloggern, digitale Datenübermittlung an Behörden, Bau ausreichend großer Speicherbecken, Monitoringberichte bei Bedarf: langfristig <u>Aufbau von Kooperationen oder gemeinschaftlichen Organisationsstrukturen</u> für Bau/ Betrieb gemeinschaftlicher Gewinnungs- und Verteilungsanlagen sowie Monitoring, Nutzung alternativer Wasserressourcen, etc.
Räumliche Steuerung von Wasserentnahmen ggf. in Abhängigkeit von Meldestufen	Festlegung von Puffer-, Tabu- und Entwicklungszonen für die landwirtschaftliche Bewässerung (z.B. Ausschluss von Wasser- und Naturschutzgebieten, Zonen mit nutzbaren Grundwasserreserven)
Mengensteuerung von Wasserentnahmen ggf. in Abhängigkeit von Meldestufen	Ableitung von maximalen Wasserentnahmen und von Mindestwasserständen in Grundwasser/Oberflächengewässern und Feuchtbiotopen, Entnahmen räumlich und zeitlich (mittlerer Wasserbedarf, Spitzenbedarf) differenziert, Ableitung von Obergrenzen für Wasserentnahmen im Bilanzgebiet, meist differenziert nach Teilgebieten (z.B. Ausbaustopp in Verdichtungszone), Benennung von Reserven
Sicherstellung der Trinkwasserversorgung	z.B. Informations- und Organisationsstruktur, Zuständigkeiten, maßgebende Grundwassermessstellen, ggf. Grenzgrundwasserstände, Wege zur Information der Öffentlichkeit und Nutzer (Kommunikationsstrategie), zweites Standbein, ggf. Aufruf zum Wassersparen, etc.
Naturschutz	bei Bedarf Langzeit-Monitoring (vorwiegend hydrologisches) sensibler oder gefährdeter Feuchtbiotope und Arten
Weitere Nutzer/ weitere Betroffenheiten	Übersicht über ggf. weitere betroffene Nutzer wie z.B. Gewerbe, Wasserkraft, Hausbrunnen, viehhaltende landwirtschaftliche Betriebe, etc.

Weitere vorsorgende Maßnahmen	z.B. Maßnahmen zur Stärkung der Resilienz der Gewässerzönanen (z.B. Beschattung, Schaffung von Rückzugsräumen), des Wasserrückhalts in der Fläche, der Verbesserung der Versickerung (z.B. Entsiegelungen, Verbesserung der Bodenstruktur)
Organisation, Öffentlichkeitsarbeit	Öffentlichkeitsarbeit zur Information, Sensibilisierung, Steuerung und Konfliktminderung, Aufbau einer Organisationsstruktur zur Kommunikation, Aufbau eines digitalen Datenbestandes zum Gebiet und öffentlicher Zugang
Nachsorge nach akuten Niedrigwasser-Phasen	Dialog von Behörden und Betroffenen, Schadensbeseitigung, Dokumentation und Evaluierung durchgeführter Maßnahmen, Bewertung von Datenlücken und Festlegung notwendiger Anpassungsmaßnahmen
Operative Maßnahmen in akuten Niedrigwasser-Phasen (vgl. Tab. 22)	
Maßnahmen der KVB	z.B. Aufrufe zur Wassereinsparung, im begründeten Einzelfall Einzelanordnung oder Allgemeinverfügung zur Einschränkung landwirtschaftlicher und anderer Wasserentnahmen, etc.
Maßnahmen der Wasserwirtschaft	z.B. verstärkte Kommunikation/ Öffentlichkeitsarbeit, Intensivierung des Monitorings (Grundwassermessstellen, auch Quellen), Kontrollen der Entnahmen vor Ort
Maßnahmen der Landwirtschaft (auch Forst)	Umsetzung eines internen Wasser-/Risikomanagements, häufigere Messungen und Meldung der Fördermengen und der Wasserspiegel bzw. Druckniveaus an WWA und KVB, Verzicht auf Bewässerung, Dokumentation evtl. Schäden in Waldgebieten
Maßnahmen der Kommunen	z.B. gezielte, engmaschige Überwachung der Trinkwasserversorgungsanlagen und Messstellen, frühzeitige Mitteilung von Auffälligkeiten an die zuständigen Behörden
Maßnahmen des Naturschutzes	z.B. gezielte Überwachung von Feuchtbiotopen und wasserabhängigen Landökosystemen, Dokumentation evtl. Schäden, Information der zuständigen Stellen
Maßnahmen weiterer Wassernutzer	z.B. Einschränkung bzw. angepasste Steuerung der (Kühl-) Wassernutzung
Umsetzungsplanung und Fortschreibung	
Zeitplanung	Planung kurz-, mittel- und langfristiger Maßnahmen
Kosten	Kostenschätzung und Kostenträger der Anpassungsmaßnahmen
Zuständigkeit	Verantwortliche Behörden und Personen
Fortschreibung	Zeitplan und Vorgehensweise zur Fortschreibung des Plans

8 Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit

Die Risiken von Hochwässern sind aufgrund ihres plötzlichen Auftretens und der oft katastrophalen Schäden stark im allgemeinen Bewusstsein verankert. Kritische Niedrigwasserstände entwickeln sich dagegen über längere Zeiträume von Monaten oder Jahren. Die dann auftretenden Schäden sind räumlich weniger konzentriert (z.B. auf einzelne Orte), sondern großräumiger. Die Schadenshöhe für Privatpersonen ist oftmals gering, in der Summe kann sie in Niedrigwasser- oder Trockenphasen jedoch die von großen Hochwässern übersteigen, z.B. wenn Land- und Forstwirtschaft flächendeckend betroffen sind. Die extreme Trockenheit im Jahr 2018 verursachte in der deutschen Landwirtschaft Schäden in einer Größenordnung von ca. 1 Mrd. EUR.

Mit Blick auf den Klimawandel und neue Niedrigstwasserstände in Fließgewässern ist davon auszugehen, dass zukünftig das wirtschaftliche und gesellschaftliche Schadensrisiko zunimmt: In der Schifffahrt, der Fischerei, bei Kraftwerken (Kühlwasser), in der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, lokal auch bei der öffentlichen Trinkwasserversorgung (z.B. bei überwiegender Quellwassernutzung).

Das Themenfeld „Trockenheit – Niedrigwasser – Wassermangel – Dürreschäden“ muss daher verstärkt im Bewusstsein der zuständigen Fachbehörden und Verwaltungen, der Öffentlichkeit und der Politik verankert werden. Hierzu sind zielgruppenorientierte und anlassbezogene Veranstaltungen (Vorträge, Tagungen, Fortbildungen) ebenso hilfreich wie eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit. Erfahrungen aus anderen Feldern wie der Trink- und Brauchwassereinsparung sowie dem Hochwasserschutz zeigen, dass hier ein langer Atem erforderlich ist. Gezielte, professionell gestaltete Kampagnen, vergleichbar zur „Aktion Grundwasserschutz“, können zu einer Breitenwirkung beitragen.

Eine Bewusstseinsbildung ist in besonderem Maße bei den Wassernutzern notwendig, die einem hohen Risiko durch Niedrigwasserphasen ausgesetzt sind. Sie können direkt von Wassermangel und seinen Folgen betroffen sein. Kapitel 3.2.5 erläutert am Beispiel der Bewässerung, dass sich die landwirtschaftlichen Betriebe selbst mit einem internen Wasser- und Risikomanagement auf ausgeprägte Niedrigwasserphasen vorbereiten müssen. Die Wasserwirtschaftsverwaltung wird aus Gründen der Nachhaltigkeit zukünftig nicht alle Bewässerungsrisiken mittels eines hohen Umfangs der wasserrechtlichen Gestattungen abdecken können. Hier ist – wie beim Hochwasserschutz – eine verstärkte Eigenvorsorge der Wassernutzer erforderlich.

Vielerorts reagiert die Öffentlichkeit zunehmend kritisch auf die landwirtschaftliche Bewässerung, oft ohne, dass konkrete Beeinträchtigungen in der Natur oder andere Schäden vorliegen. Dieses Beispiel zeigt, dass zukünftig mit einer Verstärkung konkurrierender Nutzungsinteressen oder gesellschaftlicher Konflikte zu rechnen ist. Hier sind Kommunen, Fachbehörden, Verwaltungen sowie Nutzer und Politik gefordert, zur Klärung oder Minderung solcher Konflikte beizutragen. Die Kapitel 6.1.1 und 7 geben weitere Hinweise hierzu, z.B. zu Kommunikationsformen und zur Einbindung zentraler Akteure.

Um die Ziele des Niedrigwassermanagements erreichen zu können, ist eine intensivierete Bewässerungsberatung erforderlich. Der Einsatz von wassersparenden Technologien ist oftmals sehr komplex. Eine qualitativ und quantitativ gut aufgestellte Beratung könnte, ähnlich der Energieberatung, dazu beitragen, dass wassersparende Technologien auf Betriebsebene sinnvoll zum Einsatz kommen und damit die Wassernutzungseffizienz steigt (Dirksmeyer und Sourell 2009).

9 Gemeinschaftlich organisierte Bewässerung

Wasser- und Bodenverbände sind Körperschaften des öffentlichen Rechts, die nach dem Wasserverbandsgesetz (WVG) des Bundes gemäß § 2 WVG z.B. zum Zwecke des Küstenschutzes (Deichverbände), der Unterhaltung und des Ausbaues von Wasserläufen, der Bewirtschaftung des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern, der Ent- und Bewässerung von Grundstücken, des Betriebs von Beregnungsanlagen und zu ähnlichen Zwecken gebildet werden können. Abweichend davon regelt das Bayerische Gesetz zur Ausführung des Wasserverbandsgesetzes (BayAGWVG) vom 10.08.1994 (zuletzt geändert zum 01.08.2018) in Art. 1 Abs. 1:

„Die in § 2 Nrn. 1 bis 14 des Wasserverbandsgesetzes (WVG) aufgezählten Aufgaben können nicht Aufgaben neuer Wasser- und Bodenverbände sein. Satz 1 findet keine Anwendung auf die Beschaffung und Bereitstellung von Betriebswasser aus Oberflächengewässern und aus Uferfiltrat für die Zwecke der Land- und Forstwirtschaft sowie des Gartenbaus.“

In der Zusammenschau der maßgebenden Rechtsnormen ist festzustellen, dass in Bayern u.a. zum Zwecke der Bewässerung von Grundstücken und dem Betrieb von Bewässerungsanlagen aus Grundwasser kein Wasser- und Bodenverband gegründet werden kann. Für o.g. Entnahmen aus Oberflächengewässern und aus Uferfiltrat ist dies jedoch möglich. Damit wird in Bayern bekräftigt, dass die Wasserversorgung (einschließlich Brauchwasserentnahmen) aus Grundwasser nicht auf privatwirtschaftliche Organisationsformen übertragen werden, sondern in der öffentlichen Hand verbleiben soll. Dies soll der besonderen Ressource „Grundwasser“ und deren Schutz angemessen Rechnung tragen. Eine gemeinschaftlich organisierte Bewässerung zu anderen als in Art. 1 S. 2 BayAGWVG genannten Zwecken ist jedoch z.B. im Zuge eines kommunalen Zweckverbandes möglich.

Grundsätzlich ist die gemeinsame Organisation der Bewässerung durch die Nutzer selbst sehr vorteilhaft und für den Verwaltungsvollzug effektiv. In der Solidargemeinschaft aus Landwirten werden deren gemeinsame Interessen gebündelt und effektiv verfolgt. Den Mitgliedern stehen deutlich mehr Möglichkeiten zur Verfügung, ihre betriebswirtschaftlichen Ziele zu erreichen, als es dem einzelnen Landwirt möglich ist. Mit entsprechender organisatorischer und finanzieller Ausstattung ist die Organisation z.B. eher in der Lage, größere Beträge in Maschinen und Anlagen zu investieren (Brunnen, Pumpwerke, Leitungsnetz, Speicherbecken), Wartungs- und Kontrollarbeiten durchzuführen oder die Wasserverteilung zu organisieren. Große Zusammenschlüsse können hierfür auch fachlich kompetentes Personal einstellen. Die Organisation kann auch ermöglichen, dass Mitglieder Flächen leichter wechseln können (Fruchtwechsel) und jedem Mitglied eine ausreichende Wassermenge zur Verfügung gestellt wird. Sie kann eine möglichst faire Verteilung der Ressource Wasser gewährleisten und auf besondere Ereignisse, wie beispielsweise Trockenphasen, flexibler reagieren.

Vorteile für die Wasserwirtschaft

Der Zusammenschluss in eine Organisation zur gemeinschaftlich organisierten Bewässerung stärkt nicht nur die Position der Landwirte gegenüber den zuständigen Behörden, er vereinfacht auch die Zusammenarbeit mit diesen. So ist es für die Vertreter der KVB und WWA zum Beispiel mit deutlich weniger Arbeitsaufwand verbunden, einen Antrag auf gemeinsame Wasserentnahmen der Organisation zu begutachten und zu genehmigen sowie dessen Einhaltung (Monitoring) zu überwachen, als sich mit konkurrierenden Einzelanträgen auseinanderzusetzen.

Des Weiteren sind aufwändige hydrogeologische Untersuchungen, auf deren Grundlage die verträgliche Menge der Wasserentnahmen genauer ermittelt und der Umfang der wasserrechtlichen Gestattungen wegen des Erkenntnisgewinns meist zugunsten der Nutzer angepasst werden kann, in der Gemeinschaft der Nutzer einfacher zu realisieren, als für einen einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb.

10 Verzeichnisse

10.1 Abkürzungsverzeichnis

AELF	Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
ALB	Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
BayAGWVG	Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Wasserverbandsgesetzes
BayNat2000V	Bayerische Natura 2000-Verordnung
BayNatSchG	Bayerisches Naturschutzgesetz
BG	Bilanzgebiet
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EDC	European Drought Center
EDO	European Drought Observatory
GIS	Geografisches Informationssystem
GKD	Gewässerkundlicher Dienst
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (Verwaltung der Zahlungsansprüche im Rahmen der EU-Betriebsprämienregelung)
KVB	Kreisverwaltungsbehörde
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfStat	Bayerisches Landesamt für Statistik
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LW	Landwirtschaft, landwirtschaftlicher Betrieb
LWG	Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
Max.	maximale, Maximum
Min.	minimale, Minimum / Ministerium
nFK	nutzbare Feldkapazität des Bodens
NID	Niedrigwasserinformationsdienst
NW	Niedrigwasser
StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig
UNB	Untere Naturschutzbehörde
UVPG	Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung
UWB	Untere Wasserbehörde
VVWas	Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Wasserrechts
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WISE	Water Information System for Europe
WPBV	Verordnung über Pläne und Beilagen in wasserrechtlichen Verfahren
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG)
WVG	Wasserverbandsgesetz
WWA	Wasserwirtschaftsamt

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Bereiche des Niedrigwassermanagements (Kreiselemente) und damit zusammenhängende Bausteine (Kästen; Quelle: LfU 2016)	8
Abb. 2:	Prozentualer Anteil bewässerter land- und gartenbaulicher Flächen, bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche je Landkreis. In schraffierten Landkreisen liegt die bewässerte Flächengröße über 1.000 ha (Stand: 2009, Datengrundlage: LfStat, Quelle: LfU)	11
Abb. 3:	Flächenanteil bewässerter Kulturen in Bayern im Jahr 2009 (Quelle: LfStat)	11
Abb. 4:	Bewässerte Flächen in Bayern, getrennt nach möglicher und tatsächlicher Bewässerung (Quelle: Angaben des LfStat)	12
Abb. 5:	Verschiedene Verfahren der Feldbewässerung mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Wasserverbrauch bzw. Wasserverlust (Quelle: Lüttger et al. 2005)	15
Abb. 6	Beispiel des Verlaufs der Bodenfeuchte (% nFK) im Freiland bei gesteuerter Bewässerung mit Einzelgaben vom 30 mm (Quelle: Paschold et al. 2009)	19
Abb. 7:	Berücksichtigung des witterungsbedingt stark schwankenden Bewässerungsbedarfs in der landwirtschaftlichen Bewässerung	25
Abb. 8:	Rahmenbedingungen, die das nutzbare Dargebot eines Bilanzgebietes einschränken	34
Abb. 9:	Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Bayern (Quelle: LfU 2017)	35
Abb. 10:	Grundwasserganglinie der Sondermessstelle 3W in der unterfränkischen Gemeinde Bergtheim (Unterer Keuper, Werksandstein); die plötzlichen Absenkungen beruhen allein auf der Entnahme von Bewässerungswasser; die Entfernung zum nächsten Brunnen beträgt ca. 320 m (Quelle: WWA AB)	37
Abb. 11:	Grundwasserganglinie der Messstelle 544266 im Hessischen Ried; trotz der geringen Entfernung von ca. 50 m zum nächsten Beregnungsbrunnen eines Bewässerungsverbandes mit etwa 45 Brunnen überwiegen in dem mächtigen Porengrundwasserleiter die witterungsbedingten bzw. jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserstandes (Quelle: Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)	37
Abb. 12:	Monatliche Beregnungsmengen aus dem zentral mit Wasser versorgten Beregnungsgebiet des Wasserverbandes Knoblauchsland für Jahre mit sehr geringem (2007), mittlerem (2014), leicht erhöhtem (2016) sowie mit sehr hohem Bedarf im ausgeprägten Trockenjahr 2015 (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	38
Abb. 13:	Mittlerer Anteil der Monatsmengen am Gesamtjahresbedarf für den Zeitraum 2005-2017 beim Wasserverband Knoblauchsland (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	39
Abb. 14:	Jährliche Bewässerungsmengen im Beregnungsgebiet „mittleres Hessisches Ried“ (Gesamtfläche 5.400 ha, nur Teile davon bewässert) mit den farblich hervorgehobenen, ausgeprägten Trockenjahren 1991, 2003 und 2015, Fördermenge abhängig von Witterung und bewässerter Fläche (Quelle: Wasserverband Hessisches Ried)	39
Abb. 15:	Entwicklung der Jahrestemperatur in Bayern für den Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)	43
Abb. 16:	Entwicklung des Jahresniederschlags in Bayern für den Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)	44

Abb. 17:	Entwicklung der Grundwasserneubildung in Bayern im Zeitraum 1951-2018 (Quelle: LfU)	45
Abb. 18:	Entwicklung der jährlichen Grundwasserneubildung in den geologischen Teilräumen der nordbayerischen Muschelkalkplatten und der südbayerischen Fluvioglazialen Schotter im Zeitraum 1951-2015 (Quelle: KLIWA-Monitoringbericht 2016)	45
Abb. 19:	Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 nach Klimaprojektion WETTREG2010 (Quelle: LfU/Ref. 92)	47
Abb. 20:	Flussdiagramm über negative Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserdargebot und Landwirtschaft	48
Abb. 21:	Auswirkungen des Klimawandels auf das Risiko von Nutzungskonflikten	50
Abb. 22:	Ablaufschema zur Bewertung des Risikos von Nutzungskonflikten für das Bilanzgebiet und den Einzelantrag anhand einer vereinfachten Wasserbilanz und weiterer Indikatoren	52
Abb. 23:	Mittlere jährliche Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971-2000 in mm/a (Quelle: LfU)	58
Abb. 24:	Risikomatrix zur Ableitung einer vorläufigen Risikoklasse des Bilanzgebietes für mittlere Bedingungen (Witterung, GW-Neubildung, Wasserbedarf) auf der Basis einer vereinfachten Wasserbilanz	59
Abb. 25:	Durchwurzelungstiefe und kapillarer Aufstieg in Abhängigkeit von der Bodenart bzw. Torfart zur Beurteilung des Grundwasseranschlusses landwirtschaftlicher Kulturen (Quelle: Josopait et al. 2009, LBEG)	65
Abb. 26:	Konsequenzen aus den Risikoklassen am Beispiel eines Bilanzgebietes	70
Abb. 27:	Signifikanter Einflussbereich der landwirtschaftlichen Bewässerung in der Südpfalz mit Grundwasserabsenkungen von mehr als 0,25 m, Verbreitung von Schutzgebieten nach BNatSchG (Quelle: BGS Umwelt 2011, SGD Süd Rheinland-Pfalz)	72
Abb. 28:	Ablaufschema zur Prüfung einer Bohranzeige (inkl. Pumpversuch)	75
Abb. 29:	Beispiel einer Grundwasserganglinie mit festgelegtem Vorwarnwert, Warnwert, unterem Grenzgrundwasserstand und zugeordneten Signalfarben entsprechender Meldestufen	94
Abb. 30:	Organisationsstruktur für ein integriertes Niedrigwassermanagement (nach GWB CEE 2015, verändert)	106
Abb. 31:	Niederschlags-/Dürreindex des NID für den 21.09.2018 (Quelle: NID, Abruf 19.11.2018)	109
Abb. 32:	Berechnete Bodenfeuchte unter Gras bis 60 cm Tiefe für die Station Würzburg (Quelle: DWD, Abruf: 13.09.2018)	110
Abb. 33:	Klimatische Wasserbilanz für das trockene Frühjahr 2017 (01.03.-31.05.2017, Quelle: DWD, Abruf: 14.11.2017)	110
Abb. 34:	Berechnete Dürreklassen für den Boden bis in 1,8 m Tiefe am 31.08.2018, entspricht etwa dem Höhepunkt der „außergewöhnlichen“ Dürre im Jahr 2018 (Quelle: UFZ, Abruf: 07.09.2018)	111
Abb. 35:	Darstellung des „Combined Drought Indicator“ für Ende August 2018 auf der Webseite des European Drought Observatory (Abruf 13.09.2018)	111

Abb. 36:	Mögliche zentrale Akteure (Stakeholder) zur Erstellung eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen	118
Abb. 37:	Bausteine eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen (nach GWB CEE 2015, verändert)	119

10.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ausgewählte Kenndaten verschiedener Bewässerungsverfahren (nach Michel und Sourell 2014)	16
Tab. 2:	Statistische Kennwerte zum Zusatzwasserbedarf von Freilandgemüsekulturen in Millimeter für den Zeitraum 1962-2016 am Standort Nürnberg für Sand- und Lehm Böden (nach Zinkernagel et al. 2017, vgl. Anhang A)	17
Tab. 3	Berechnungsspannen landwirtschaftlicher Hauptkulturen im „Klimaraum E“ (z.B. Trockengebiete in Unterfranken) laut DWA (2019) für Sand- und Lehm Böden	17
Tab. 4:	Durchschnittlicher Wasserverbrauch in verschiedenen Produktionsbereichen des Zierpflanzenbaus (nach Göhler et al. 2002 aus Paschold 2010)	18
Tab. 5:	Mittlere prozentuale Reduzierung des Bewässerungsbedarfs durch Tropfbewässerung bei verschiedenen Kulturen an sechs ausgewählten Klimastationen in Bayern im extremen Trockenjahr 2018 auf der Basis von Berechnungsergebnissen der Bewässerungs-App des ALB-Bayern, Werte über 5 % farblich hinterlegt (Abruf 15.11.2018, alle Voreinstellungen des „Standardmodus“ übernommen, vgl. Anlage B)	22
Tab. 6:	Mögliche Vorsorge- und Akutmaßnahmen eines betriebsinternen Wasser- und Risikomanagements	26
Tab. 7:	Aufbau des Wasserrechts aus den Rechtsnormen der Europäischen Gemeinschaft, des Bundes und des Freistaats Bayern	28
Tab. 8:	Phasenmodell der räumlichen Verdichtung landwirtschaftlicher Bewässerungsbrunnen	42
Tab. 9:	Beispiele für homogene und inhomogene Bilanzgebiete mit methodischen Konsequenzen	54
Tab. 10:	Datengrundlagen der vereinfachten und möglichen Inhalte einer detaillierten Wasserbilanz	56
Tab. 11:	Weitere Indikatoren zur Bewertung des Risikos von Nutzungskonflikten (Überprüfung der vorläufigen Risikoklasse aus der Wasserbilanz)	62
Tab. 12:	Bewertungsklassen für den Rückgang der mittleren GW-Neubildung (1971-2000) in einer extremen Trockenphase (1971-73) auf der Basis der Datensätze des LfU	64
Tab. 13:	Effektive Durchwurzelungstiefe, kapillare Aufstiegshöhe und Grenzflurabstand für tiefer wurzelnde Laubwälder (Nadelbäume meist Flachwurzler) auf homogen sandigen, lehmigen und schluffigen Böden (Beispiele; bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 0,3 mm/d, einer Wasserspannung von pF 4,0 an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes und einer mittleren Lagerungsdichte des Bodens, nach Tab. 81 und 82 in Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005)	65
Tab. 14:	Indikatoren zur Bewertung des Risikos von Einzelanträgen	67
Tab. 15:	Inhalte des Wasserbedarfsnachweises bei Wasserrechtsanträgen zur landwirtschaftlichen Bewässerung (inkl. Angaben des Antragstellers)	77

Tab. 16:	Empfohlene Laufzeiten für wasserrechtliche Gestattungen in Abhängigkeit von der Risikoklasse des Bilanzgebietes oder Einzelantrags	87
Tab. 17:	Mögliche Inhalte eines Wasserrechtsbescheides mit Bezug zum Niedrigwassermanagement	89
Tab. 18:	Beispiele für hydrologische Warn- und Schwellenwerte mit hierfür erforderlicher Datenqualität	95
Tab. 19:	Maßnahmen zur aktiven, vorsorgenden Bewirtschaftung von Bilanzgebieten (zum Monitoring vgl. Kap. 5.4)	97
Tab. 20:	Bausteine eines systematischen Monitorings	99
Tab. 21:	Online-Informationssysteme mit Bezug zum Niedrigwassermanagement	108
Tab. 22:	Mögliche operative Maßnahmen während akuter Niedrigwasserphasen	114
Tab. 23:	Arbeitsschritte zur Erstellung eines Grundwassermanagement-Plans für Niedrigwasserphasen	120
Tab. 24:	Mögliche Inhalte eines GW-Managementplans für Niedrigwasserphasen	121

11 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Mit 103 Tabellen und 31 Listen. 5., verbesserte und erweiterte Auflage.
- Bayerische Staatsregierung (Hg.) (2013): Verordnung über das Landesentwicklungsprogramm. Fundstelle: 230-1-5-W. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-bayern.de/>.
- Beck, M.; Kleber, J. (2014): Grundlage Freiland-Bewässerung: So wird gesteuert. Basiswissen Gemüsebau. In: *Gemüse* (3). Online verfügbar unter http://www.gemuese-online.de/artikel.dll/seiten-aus-gemuese-3-2014-15_NDI1MzYxMA.PDF.
- BGS Umwelt (2011): Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz. Vertiefende wasserwirtschaftliche Untersuchungen für den Raum Hochstadt und die Flächen der Tabakkonversion. Hg. v. Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Rhld.-Pfalz. Neustadt a.d.W. Online verfügbar unter <https://sgdsued.rlp.de/de/themen/wasserwirtschaft/landwirtschaftliche-bewaesserung/>.
- BLE (2017): Effiziente Bewässerung im Gemüsebau. Modellvorhaben "Demonstrationsbetriebe zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüseanbau. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Hochschule Geisenheim (Institut für Gemüsebau), Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen. Online verfügbar unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/28185.html>.
- Brinkjans, H. (Hg.) (2003): Umweltbetriebsführung im Gartenbau bei Kulturen im offenen Boden (Freiland). Gemüsebau, Zierpflanzenbau, Baumschule; Unternehmensleitfaden zur umweltgerechten Betriebsführung im Sinne nachhaltiger Entwicklung. Zentralverband Gartenbau. [Electronic ed.]. Bonn: ZVG. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de>.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. 3. Lieferung, Bearb.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br.
- Deutsches Klimakonsortium (2017): Klimafaktoren als Grundlage für politische Entscheidungen. Presseinformation zum Stand der Forschung. Online verfügbar unter <http://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/g20-pressconference.html>.
- Dirksmeyer, W.; Sourell, H. (Hg.) (2009): Wasser im Gartenbau. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen-Institut; Statusseminar "Wasser im Gartenbau". Braunschweig: vTI (Landbauforschung Sonderheft, 328). Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/infoteh/publikationen/landbauforschung/landbauforschung-sonderhefte/>.
- DVGW (Hg.) (2015): Pumpversuche bei der Wassererschließung. 2. Aufl. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches. Bonn (DVGW-Regelwerk Arbeitsblatt W, 111 (A)).
- DVWK (1982): Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes. 2 Bände (DVWK-Schriften, 58).
- DWA (2019): Merkblatt DWA-M 590. Wasserwirtschaftliche Bewertung zur Entnahme von Wasser zur Bewässerung. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, M 590).
- Eckl, H.; Raissi, F. (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie (GeoBerichte, 15). Online verfügbar unter <http://www.lbeg.niedersachsen.de>.

- Ellenberg, H.; Weber, H. E.; Düll, R.; Wirth, V.; Werner, W.; Paulißen, D. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3., durchges. Aufl. Göttingen: Goltze (Scripta geobotanica, 18).
- Engel, N.; Hübsch, L.; Müller, U. (2014): Beregnungsbedarfsermittlung und Beregnungssteuerung als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel. In: *Wasser und Abfall* (6), S. 10–14.
- Erftverband (Hg.) (2002): LAWA-Projekt G 1.01: Erfassung, Beschreibung und Bewertung grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme hinsichtlich vom Grundwasser ausgehender Schädigungen. Bericht zu Teil 1: Erarbeitung und Bereitstellung der Grundlagen und erforderlicher praxisnaher Methoden zur Typisierung und Lokalisation grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme. Unter Mitarbeit von Petra Lenkenhoff und Udo Rose. Bergheim.
- Erftverband (Hg.) (2003): LAWA-Projekt G 1.01: Erfassung, Beschreibung und Bewertung grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme hinsichtlich vom Grundwasser ausgehender Schädigungen. Bericht zu Teil 2: Analyse der vom Grundwasser ausgehenden signifikanten Schädigung grundwasserabhängiger Ökosysteme (quantitative Aspekte). Unter Mitarbeit von Petra Lenkenhoff und Udo Rose. Bergheim.
- Finck, P.; Heinze, St.; Rath, U.; Riecken, U.; Ssymank, A.; Fürhaupter, K. et al. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 156).
- Fricke, E. (2009): Stoffverlagerungen durch Bewässerung in Niedersachsen. In: W. Dirksmeyer und H. Sourell (Hg.): Wasser im Gartenbau. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Braunschweig: vTI (Landbauforschung Sonderheft, 328), S. 59–62. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/infotek/publikationen/landbauforschung/landbauforschung-sonderhefte/>.
- Fricke, E.; Heinicke, A.; Mersch, I.; Haaren, M. von (2011): Wasser wächst auf Feldern. Teilprojekt FE3: Potenziale zur Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung (Endbericht BMBF-Verbundprojekt Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig- Göttingen). Hg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online verfügbar unter <http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=153>.
- Gerdas, H.; Iven, H. (2000): Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried. In: *GWF-Abwasser, Abwasser* 141 (13), S. 66–77.
- Goebel, W. (1996): Klassifikation überwiegend grundwasserbeeinflusster Vegetationstypen. Bonn: Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser (Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., 112).
- Göhler, F.; Molitor, H.; Roth, K. (2002): Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau.
- Gömann, H. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 30).
- GWB CEE (Hg.) (2015): Guidelines for preparation of the Drought Management Plans. Development and implementation of risk-based Drought Management Plans in the context of the EU Water Framework Directive - as part of the River Basin Management Plans. Global Water Partnership Central and Eastern Europe. [Bratislava]. Online verfügbar unter <http://www.gwp.org>.
- Hartmann, J. D.; Pfülb, E.; Zengerle, K. H. (2000): Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse. Ein Forschungsbericht. Geisenheim: Ges. zur Förderung der Forschungsanstalt (Geisenheimer Berichte, Bd. 44).
- Heidt, L.; Müller, U. (2012): Einfluss des Klimawandels auf den regionalen Bodenwasserhaushalt und die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit in Niedersachsen. In: LBEG (Hg.): Klimawandel und

- Bodenwasserhaushalt. Unter Mitarbeit von Udo Müller, Nicole Engel, Lena Heidt, Walter Schäfer, Ralf Kunkel, Frank Wendland et al. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (GeoBerichte, 20), S. 53–84.
- Hillmann, M.; Meesenburg, H.; Raissi, F.; Worbes, M. (2009a): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung. Teil 1: Rechtliche Rahmenbedingungen und Voruntersuchungen. 3. Aufl. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (Geofakten, 15). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.
- Hillmann, M.; Meesenburg, H.; Raissi, F.; Worbes, M. (2009b): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung. Teil 2: Forstliches Beweissicherungsverfahren. 3. Aufl. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (Geofakten, 16). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.
- Josopait, V.; Raissi, F.; Eckl, H. (2009): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (Geofakten, 1). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.
- Kaden, St.; Dietrich, O.; Theobald, St. (Hg.) (2014): Wassermanagement im Klimawandel. Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen. München: oekom-Verl. (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten - KLIMZUG, 3).
- Kaiser, K.; Libra, J.; Merz, B.; Bens, O.; Hüttl, R. (2010): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland. Trends, Ursachen, Lösungen. Hg. v. Deutsches GeoForschungsZentrum.
- Kleber, J. (2014): Bewässerungssteuerung. Hg. v. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Online verfügbar unter https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Gartenbau/Bewaesserungssteuerung/Bewaesserungssteuerung.pdf.
- KLIWA (Hg.) (2016): Klimawandel in Süddeutschland -Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation KLIWA. Arbeitskreis KLIWA. Online verfügbar unter <http://kliwa.de>.
- KLIWA (Hg.) (2017): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). Arbeitskreis KLIWA. Karlsruhe, Hof, Mainz (KLIWA-Berichte, Heft 21). Online verfügbar unter <http://kliwa.de>.
- Kolbe, Hartmut (2000): Landnutzung und Wasserschutz. Der Einfluss von Stickstoff-Bilanzierung, Nmin-Untersuchung und Nitratauswaschung sowie Rückschlüsse für die Bewirtschaftung von Wasserschutzgebieten in Deutschland = Land use and water protection. 1. Aufl. Leipzig: WLV Wiss. Lektorat und Verl.
- LAWA (Hg.) (2007): Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Berlin: Kulturbuch-Verl. (Empfehlungen oberirdische Gewässer).
- LAWA (Hg.) (2011): Sachstandsbericht Fachliche Umsetzung der EG-WRRL. Teil 5: Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes, Stand 25.08.2011. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Online verfügbar unter <http://www.wasserblick.net>.
- LAWA (Hg.) (2012): Handlungsempfehlungen zur Berücksichtigung grundwasserabhängiger Landökosysteme bei der Risikoanalyse und Zustandsbewertung der Grundwasserkörper. Stand: 29.02.2012. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Online verfügbar unter <http://www.wasserblick.net>.
- LAWA (Hg.) (2013): Aktualisierung und Anpassung der LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Teil 3, Kapitel II.1.2 – Grundwasser, Stand 24.09.2013

- Produktdatenblatt 2.1.6. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Online verfügbar unter <http://www.wasserblick.net>.
- LBEG (Hg.) (2014): Verfahrensweise zur Abschätzung des Nutzbaren Dargebots von Grundwasserkörpern und seine Aufteilung auf die Teilkörper der unteren Wasserbehörden. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/wasser/grundwasser/>.
- LfL (Hg.) (2008): Bewässerung im Ackerbau und in gärtnerischen Freilandkulturen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan (LfL-Informationen). Online verfügbar unter <http://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040173/>.
- LfU (Hg.) (1995): Nutzung tiefer Grundwässer. Merkblatt, Nr. 1.4/6. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil1_grundwasserwirtschaft/index.htm.
- LfU (Hg.) (2012): Der Klimawandel in Bayern: Auswertung regionaler Klimaprojektionen. Klimabericht Bayern. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter <http://kliwa.de>.
- LfU (Hg.) (2014): Methodenband für die Bestandsaufnahme WRRL in Bayern. Redaktionell überarbeitete Fassung vom Januar 2015. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg. Online verfügbar unter <https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/bestandsaufnahme/docs/methodenband.pdf>.
- LfU (Hg.) (2016): Niedrigwasser in Bayern - Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen. Unter Mitarbeit von Maria Foltyn, Alana Steinbauer und Benjamin Kopp. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de>.
- Lüttger, A.; Dittmann, B.; Sourell, H. (2005): Leitfaden zur Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen. Hg. v. Ministerium für Ländliche Entwicklung Umwelt und Verbraucherschutz Brandenburg. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung. Potsdam (Reihe Landwirtschaft, 6, Heft VII). Online verfügbar unter http://elf.brandenburg.de/media_fast/4055/Leitfaden%20zu%20Berechnung.pdf.
- Mersch, I.; Haaren, M. von; Eiben, E. (2011): GIS-gestützte Berechnungsflächenverwaltung. Handlungsempfehlung für die Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis (gefördert vom BMBF). Hg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online verfügbar unter <http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=146>.
- Michel, R.; Sourell, H. (Hg.) (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft. Clenze: Agrimedia (Themenbibliothek Pflanzenproduktion).
- Molitor, H. (2009): Bewässerung in Gewächshäusern bei Bodenkulturen und in erdelosen Systemen. In: W. Dirksmeyer und H. Sourell (Hg.): Wasser im Gartenbau. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Braunschweig: vTI (Landbauforschung Sonderheft, 328), S. 37–40. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/infotek/publikationen/landbauforschung/landbauforschung-sonderhefte/>.
- Müller, M.; Demmel, M.; Brandhuber, R.; Beck, M.; Sander, G.; Göttl, M.; Maussner, H. (2016): Bewässern nach Maß. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (17), S. 46–47.
- Müller, M.; Demmel, M.; Sander, G. (2018): Bewässerungs-App. Ein webbasiertes Entscheidungssystem für bedarfsgerechtes Bewässern. In: *Landtechnik Forum Bayern* (Ausgabe 2, 10/2018). Online verfügbar unter <https://www.alb-bayern.de/media/files/0003/bb.lfb1-bewasserungs-app-20182.pdf>.
- Neuß, M.; Dörhöfer, G. (2009): Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. 3. Aufl. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie (Geofakten, 8). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.

- Niedersächsisches Min. f. Umwelt, Energie u. Klimaschutz (Hg.) (2014): Zukunftsfähige Sicherung der Feldberegnung. Gesamtkonzept, Stand 20.12.2013. Hannover. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/>.
- Niedersächsisches Min. f. Umwelt, Energie u. Klimaschutz (2015): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers (RdErl. d. MU v. 29. 5. 2015 – 23-62011/010). Online verfügbar unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/wasser/grundwasser/>.
- ÖWAV (2016): Empfehlungen für die Bewässerung. Überarbeitete Neuauflage des ÖWAV-Arbeitsbehelfs Nr. 11 (2003) (ÖWAV-Regelblätter, 407). Online verfügbar unter <http://www.oewav.at>.
- Paschold, P.; Kleber, J.; Mayer, N. (2009): Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland. In: Wasser im Gartenbau : Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Braunschweig: vTI, S. 43–48. Online verfügbar unter http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dk041700.pdf.
- Paschold, P.-J. (Hg.) (2010): Bewässerung im Gartenbau. Unter Mitarbeit von Heinrich Beltz. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Raissi, F.; Müller, U.; Meesenburg, H. (2005): Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe von Forststandorten. 4. Aufl. Hg. v. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (Geofakten, 9). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.
- Raissi, F.; Weustink, A.; Müller, U.; Nix, T.; Meesenburg, H.; Rasper, M. (2009): Durchführungspläne für die Beweissicherung zum Bewilligungsbescheid zur Entnahme von Grundwasser. 5. Aufl. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie. Hannover (Geofakten, 19). Online verfügbar unter <https://www.lbeg.niedersachsen.de>.
- Rasper, M. (2004): Hinweise zur Berücksichtigung von Naturschutz und Landschaftspflege bei Grundwasserentnahmen. Hildesheim: Nieders. Landesamt für Ökologie (NLÖ) - Abt. Naturschutz (Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, 24.2004,4).
- Regierung von Unterfranken (Hg.) (2012): Alarmplan für den bayerischen, staugeregelten Main - Gewässerökologie. Online verfügbar unter <http://www.regierung.unterfranken.bayern.de>.
- Regierungspräsidium Darmstadt (Hg.) (2009): Landwirtschaftliche Bewässerung. Teil A: Südhessen, Teil B: Pilotprojekt zur Fördermengenermittlung, Teil C: EU-Vergleich. Darmstadt. Online verfügbar unter <https://rp-darmstadt.hessen.de/>.
- Schmidt, N.; Zinkernagel, J. (2014): Modelling Evapotranspiration and Water Demand of Vegetables Induced by Climate Change for Irrigation Purposes. In: P. Braun, M. Stoll und J. Zinkernagel (Hg.): Proceedings of the Seventh International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. Geisenheim, Germany Juli 16-20, 2012 (Acta Horticulturae, 1038), S. 287–294.
- Schmidt, N.; Zinkernagel, J.; Berthold, G. (2012): Klimawandel und seine Konsequenzen - eine Herausforderung für den Gemüsebau. In: *Wissenschaftsmagazin der Forschungsanstalt Geisenheim* 3.1, S. 18–21. Online verfügbar unter <http://blog.hs-geisenheim.de/index.php/tag/wissenschaftsmagazin/>.
- Sourell, H. (2009): Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft, Freilandberegnung. In: W. Dirksmeyer und H. Sourell (Hg.): Wasser im Gartenbau. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Braunschweig: vTI (Landbauforschung Sonderheft, 328), S. 29–32. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de>.
- Teichert, A. (2009): Freiland Tropfbewässerung im Gemüsebau und weiteren gärtnerischen Kulturen. In: W. Dirksmeyer und H. Sourell (Hg.): Wasser im Gartenbau. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Braunschweig: vTI (Landbauforschung Sonderheft, 328), S. 33–36. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de>.

- TLL (Hg.) (2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. 3. Aufl. Unter Mitarbeit von A. Albrecht und I. Pfleger. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.thueringen.de/th9/tll/>.
- Triebswetter, U.; Wackerbauer, J. (2010): Wasser - Standortfaktor für die bayerische Wirtschaft. Untersuchung der Bedeutung der Ressource Wasser als Standortfaktor für die bayerische Wirtschaft und den Wirtschaftszweig "Wasserwirtschaft" unter den Randbedingungen des Klimawandels, der demografischen Entwicklung und der Globalisierung; Gutachten im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit. München: Ifo-Inst. f. Wirtschaftsforsch (ifo-Forschungsberichte, 47).
- Umweltbundesamt (Hg.) (2016): Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Abschlussbericht. Forschungskennzahl 3713 21 232. Berlin (Texte, 34/2016). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>.
- Vandieken, H.; Müller, M.; Bernhardt, H.; Maussner, H. (2017): Effizienter "Regen machen". Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagments am Praxisbeispiel. Iffl. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (24), S. 26–27.
- ZALF (Hg.) (2015): Gereinigtes Abwasser in der Landschaft. Ein Orientierungsrahmen für strategische Entscheidungsprozesse. Forschungsprojekt ELaN - Entwicklung eines integrierten Landmanagements durch nachhaltige Wasser- und Stoffnutzung in Nordostdeutschland (2011-2015), gefördert vom BMBF. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. Müncheberg. Online verfügbar unter www.zalf.de.
- Zinkernagel, J.; Olberz, M. (2014): Die Geisenheimer Bewässerungssteuerung – heute und morgen. 40. 7/8, S. 23–25. In: *ZVG Gartenbau report* 40 (7/8), S. 23–25.
- Zinkernagel, J.; Weinheimer, S.; Mayer, N. (2017): Wasserbedarf von Freilandgemüsekulturen. Hochschule Geisenheim (Institut für Gemüsebau), Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rh.-Pflz. Online verfügbar unter <https://www.hortigate.de/bericht?nr=73862>.

12 Anhang

Anhang A: Zusatzwasserbedarf ausgewählter Feldgemüsekulturen

Tab. A1: Minimaler, mittlerer und maximaler **Zusatzwasserbedarf** (in mm) ausgewählter Gemüsekultur-Anbausätze für den Standort **Augsburg** auf **Sand- und Lehm**boden in den Jahren 1962 bis 2016 (Quelle: Zinkernagel et al. 2017)

Kultur	von	bis	Sandboden [mm]			Lehmboden [mm]		
			Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
Blumenkohl, früh	01.03.	01.06.	0	146	284	0	120	273
Blumenkohl, spät	18.07.	05.10.	0	119	265	0	80	257
Brokkoli, früh	15.03.	31.05.	0	154	295	0	127	284
Brokkoli, spät	02.07.	29.08.	40	154	274	0	117	258
Buschbohnen, früh	10.06.	11.08.	0	69	177	0	42	162
Buschbohnen, spät	18.07.	28.09.	0	40	153	0	22	145
Chinakohl, früh	07.03.	28.05.	0	137	275	0	113	265
Chinakohl, spät	11.08.	31.10.	0	62	164	0	38	151
Eissalat, früh	15.03.	19.05.	0	98	222	0	82	211
Eissalat, spät	15.08.	10.10.	0	64	164	0	46	156
Endivien	15.08.	14.10.	0	59	137	0	38	124
Gurken, Einlege-	01.05.	05.09.	113	251	383	0	164	331
Kartoffeln	12.04.	31.07.	0	88	180	0	41	131
Kopfkohl	21.07.	28.09.	0	60	182	0	36	176
Kopfsalat, früh	15.03.	10.05.	0	92	192	0	71	180
Kopfsalat, spät	15.08.	10.10.	26	75	169	0	47	155
Möhren, früh	20.04.	27.08.	0	100	241	0	45	203
Möhren, spät	26.06.	18.10.	0	41	123	0	16	97
Porree, früh	15.03.	10.07.	8	263	435	0	212	402
Porree, spät	10.07.	31.10.	0	118	260	0	72	238
Rettich, früh	15.04.	10.06.	0	76	149	0	48	138
Rettich	19.06.	26.07.	0	64	139	0	42	117
Rosenkohl	11.05.	27.10.	162	361	568	51	292	533
Sellerie, Knollen-	22.05.	31.10.	89	260	451	0	177	394
Spargel ab 2. Standjahr	20.06.	01.09.	0	56	196	0	48	196
Zucchini, früh	14.05.	22.08.	65	238	370	0	179	337
Zucchini, spät	03.07.	17.09.	31	145	264	0	101	250
Zwiebel	15.03.	01.08.	0	194	328	0	131	296

Tab. A2: Minimaler, mittlerer und maximaler **Zusatzwasserbedarf** (in mm) ausgewählter Gemüsekultur-Anbausätze für den Standort **Nürnberg** auf **Sand- und Lehm Boden** in den Jahren 1962 bis 2016 (Quelle: Zinkernagel et al. 2017)

Kultur	von	bis	Sandboden [mm]			Lehmboden [mm]		
			Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
Blumenkohl, früh	01.03.	01.06.	38	184	295	0	169	289
Blumenkohl, spät	18.07.	05.10.	0	143	263	0	118	257
Brokkoli, früh	15.03.	31.05.	62	191	306	23	175	296
Brokkoli, spät	02.07.	29.08.	69	179	316	26	156	310
Buschbohnen, früh	10.06.	11.08.	0	99	199	0	77	187
Buschbohnen, spät	18.07.	28.09.	0	62	171	0	43	165
Chinakohl, früh	07.03.	28.05.	39	171	284	5	157	264
Chinakohl, spät	11.08.	31.10.	0	78	157	0	60	145
Eissalat, früh	15.03.	19.05.	7	131	232	0	121	222
Eissalat, spät	15.08.	10.10.	0	79	141	0	66	141
Endivien	15.08.	14.10.	0	73	133	0	58	128
Gurken, Einlege-	01.05.	05.09.	160	300	474	73	241	446
Kartoffeln	12.04.	31.07.	13	138	251	0	100	230
Kopfkohl	21.07.	28.09.	0	84	195	0	64	189
Kopfsalat, früh	15.03.	10.05.	5	111	210	0	98	210
Kopfsalat, spät	15.08.	10.10.	12	86	149	0	65	139
Möhren, früh	20.04.	27.08.	21	161	333	0	116	311
Möhren, spät	26.06.	18.10.	0	67	170	0	40	155
Porree, früh	15.03.	10.07.	156	329	484	95	298	478
Porree, spät	10.07.	31.10.	0	145	265	0	113	255
Rettich, früh	15.04.	10.06.	0	99	161	0	79	148
Rettich	19.06.	26.07.	0	79	144	0	63	136
Rosenkohl	11.05.	27.10.	178	440	687	87	400	665
Sellerie, Knollen-	22.05.	31.10.	115	320	525	7	267	499
Spargel ab 2. Standjahr	20.06.	01.09.	0	103	245	0	93	245
Zucchini, früh	14.05.	22.08.	144	290	445	73	251	423
Zucchini, spät	03.07.	17.09.	51	174	320	6	146	314
Zwiebel	15.03.	01.08.	92	259	427	18	216	410

Anhang B: Einsparungspotenzial der Tropfbewässerung im Trockenjahr 2018 laut Berechnungen der Bayern-App

Tab. B1: Bewässerungsbedarf verschiedener Kulturen an ausgewählten Klimastationen in Bayern im extremen **Trockenjahr 2018**, getrennt nach Überkopfberechnung und Tropfbewässerung auf der Basis von Berechnungsergebnissen der Bewässerungs-App des ALB-Bayern (Online unter www.alb-bayern.de/app, Abruf 15.11.2018, alle Voreinstellungen des „Standardmodus“ übernommen)

Kulturen Bewässerungszeit	Boden	Seligenstadt (LK Würzburg)		Kitzingen (LK Kitzingen)		Buch (Nürnberg)		Sarching (LK Regensburg)		Uttenkofen (LK Deggendorf)		Grub (LK Ebersberg)		Mittelwert Orte		Einsparung d. Tropfbew.
		Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Überkopf	Tropf	Tropf
		[mm]												[mm]		[%]
Blumenkohl	leicht, Sand (S)	421	409	329	297	357	360	305	275	331	303	185	136	321	297	7,7%
15.04.-20.09.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	388	390	297	290	358	350	268	270	268	280	117	110	283	282	0,4%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	360	380	270	280	360	350	270	260	270	270	120	90	275	272	1,2%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	360	370	270	280	330	340	270	250	270	260	90	70	265	262	1,3%
Brokkoli	leicht, Sand (S)	391	390	307	285	352	340	280	257	329	284	161	126	303	280	7,6%
15.04.-20.09.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	386	370	266	270	326	330	266	250	267	260	116	110	271	265	2,3%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	360	360	270	260	330	320	240	240	270	250	120	90	265	253	4,4%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	330	350	240	260	300	320	240	230	240	240	120	70	245	245	0,0%
Bundzwiebeln	leicht, Sand (S)	297	280	218	196	270	245	224	215	275	257	162	109	241	217	10,0%
15.04.-05.08.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	286	257	187	187	227	237	219	207	249	247	107	87	213	204	4,2%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	261	250	171	180	231	230	201	200	231	230	81	60	196	192	2,2%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	239	240	178	170	239	230	209	190	209	220	58	30	189	180	4,6%
Erdbeeren	leicht, Sand (S)	247	162	206	120	231	149	194	116	234	134	132	78	207	127	39,0%
15.04.-30.10.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	225	170	180	116	210	157	165	115	180	138	90	71	175	128	27,0%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	210	187	165	123	210	184	150	117	165	148	90	81	165	140	15,2%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	195	189	135	122	180	176	120	108	150	138	75	68	143	134	6,3%
Gurken (Einlege-)	leicht, Sand (S)	384	195	324	175	342	183	282	145	324	165	180	86	306	158	48,3%
20.06.-10.09.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	384	345	318	295	348	331	282	267	318	300	162	138	302	279	7,5%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	384	384	312	312	354	354	282	282	312	312	144	144	298	298	0,0%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	384	384	306	306	360	354	282	282	312	312	120	120	294	293	0,3%
Kartoffeln	leicht, Sand (S)	287	213	232	154	287	211	237	177	277	208	126	78	241	174	28,0%
20.05.-05.08.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	287	260	199	181	240	246	203	207	259	231	120	69	218	199	8,7%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	263	254	203	176	240	244	210	201	263	223	90	59	212	193	8,8%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	240	239	180	168	240	240	210	200	239	217	60	50	195	186	4,7%
Zucchini	leicht, Sand (S)	402	253	324	324	378	249	294	181	336	220	192	111	321	223	30,5%
10.06.-10.09.2018	leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	402	389	330	314	378	367	294	287	330	317	168	157	317	305	3,7%
	mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	402	402	324	324	384	384	294	294	324	324	150	150	313	313	0,0%
	mittel, schluffiger Lehm (uL)	402	402	324	324	384	384	300	300	324	324	132	132	311	311	0,0%
	Mittelwerte [mm]	328	303	252	232	302	281	243	219	270	243	124	96	253	229	
	Einsparung [mm]		25		21		21		24		27		28		24	
	Einsparung [%]		7,7%		8,2%		6,9%		9,8%		9,8%		22,7%		9,6%	9,8%