



**Leibniz-Zentrum für  
Agrarlandschaftsforschung  
(ZALF) e.V.**

## ***Schlussbericht***

*zum Forschungsvorhaben 2813HS007  
der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Projektträger Agrarforschung*

# **Wassermanagement in der Land- wirtschaft**

*(Kurztitel: WaMaLan)*



# Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.  
Komm. Direktor Prof. Dr. Klaus Müller,

Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg  
Fon: +49(0)33432-82200  
Fax: +49(0)33432-82223  
E-Mail: zalf@zalf.de  
Internet: www.zalf.de

Forschungsvorhaben Nr.: 2813HS007

Thema: „Wassermanagement in der Landwirtschaft“

Auftraggeber: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Projektträger Agrarforschung  
Referat 314

Geschäftszeichen: 314-06.01-2813 HSO07

Laufzeit: 01. Januar 2014 – 31. März 2015

Berichtszeitraum: 01. Januar 2014 – 31. März 2015

Bearbeitung: Dr. Ottfried Dietrich, Institut für Landschaftswasserhaushalt  
Dipl. Geogr. Undine Schubert, Institut für Landschaftswasserhaushalt  
Dr. Johannes Schuler, Institut für Sozioökonomie  
Dr. Jörg Steidl, Institut für Landschaftswasserhaushalt  
Dr. Peter Zander, Institut für Sozioökonomie

Projektleitung: Dr. Jörg Steidl  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.,  
Institut für Landschaftswasserhaushalt  
Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg

Fon: +49(0)33432-82362  
Fax: +49(0)33432-82301  
E-Mail: jsteidl@zalf.de  
Internet: www.zalf.de

Müncheberg, März 2015



## A. Inhaltsverzeichnis

<b>A.</b>	<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>B.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>IV</b>
<b>C.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>V</b>
<b>1</b>	<b>ZIELE UND AUFGABENSTELLUNG DES VORHABENS .....</b>	<b>1</b>
1.1	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	2
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde .....	2
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>4</b>
2.1	Aktuelle Situation des landwirtschaftlichen Wassermanagements.....	4
2.2	Analyse landwirtschaftlicher Wassermanagementverfahren.....	5
2.2.1	Überblick zu relevanten Wassermanagementsystemen.....	5
2.2.2	Bewertung der aktuellen Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Wassermanagementverfahren .....	5
2.2.2.1	Bewässerung .....	6
2.2.2.2	Entwässerung (Dränung).....	10
2.2.2.3	Speicher und Wasserüberleitungen .....	10
2.3	Fallbeispiel Feldberegnung in Brandenburg.....	11
2.3.1	Untersuchungsgebiet und Modellgrundlagen .....	11
2.3.2	Beregnungsmodul im Wasserbewirtschaftungsmodell WBalMo.....	12
2.3.3	Ermittlung der landwirtschaftlichen Daten zur Beregnung .....	13
2.3.4	Untersuchung von Bewirtschaftungsszenarien.....	15
2.4	Möglichkeiten großräumiger Wassermanagementverfahren.....	15
2.5	Mögliche politische Konsequenzen .....	16
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>17</b>
3.1	Das landwirtschaftliche Wassermanagement in Deutschland heute.....	17
3.1.1	Wasserdargebot für die Landwirtschaft.....	17
3.1.2	Zusatzwasser für die Landwirtschaft .....	19
3.1.2.1	Zusatzwasserbedarf.....	19
3.1.2.2	Grundwasser .....	21
3.1.2.3	Gesamtabfluss .....	22
3.1.2.4	Trink- und Brauchwasserentnahmen ohne Landwirtschaft.....	23
3.1.2.5	Mengenmäßiger Zustand des Grundwassers .....	24
3.1.2.6	Wasserspeicherung .....	25

3.1.2.7	Grundwasseranreicherung.....	27
3.1.2.8	Wasserüberleitung.....	27
3.1.3	Bewässerung.....	32
3.1.3.1	Aktuelle Situation der Bewässerung .....	32
3.1.3.2	Bewässerte Fruchtarten .....	36
3.1.3.3	Wasserbereitstellung und -gewinnung für die landwirtschaftliche Bewässerung .....	37
3.1.3.4	Bewässerungsverfahren/-techniken.....	40
3.1.3.5	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	43
3.1.4	Entwässerung .....	46
3.1.4.1	Aktuelle Situation der Entwässerung .....	46
3.1.4.2	Entwässerungsverfahren .....	47
3.1.4.3	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	48
<b>3.2</b>	<b>Die Wirtschaftlichkeit des landwirtschaftlichen Wassermanagements heute.....</b>	<b>49</b>
3.2.1	Auswahl der aktuell relevanten Wassermanagementverfahren .....	49
3.2.1.1	Bewässerung .....	49
3.2.1.1	Entwässerung .....	50
3.2.2	Mögliche Effekte der Wassermanagementsysteme für die Landwirtschaft.....	51
3.2.2.1	Ertragssicherung durch Bewässerung .....	51
3.2.2.2	Ertragssicherung durch Dränung.....	51
3.2.3	Kostenfaktoren der Wassermanagementsysteme .....	52
3.2.3.1	Bewässerung .....	52
3.2.3.2	Entwässerung .....	55
3.2.3.3	Wasserspeicher .....	57
3.2.3.4	Überleitungen.....	57
3.2.4	Monetarisierung des Nutzens des Wassermanagements für die Landwirtschaft .....	58
3.2.4.1	Bewässerung .....	58
3.2.4.2	Entwässerung .....	64
3.2.5	Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Wassermanagementsysteme .....	65
<b>3.3</b>	<b>Die Wirtschaftlichkeit der Anpassungsmaßnahme landwirtschaftliches Wassermanagement an künftige Extremwettersituationen .....</b>	<b>65</b>
3.3.1	Mögliche Effekte der Wassermanagementsysteme in extremen Witterungssituationen für die Landwirtschaft.....	65
3.3.1.1	Bewässerung .....	65
3.3.1.2	Entwässerung .....	65
3.3.2	Änderung der Kostenfaktoren der Wassermanagementsysteme in der Zukunft.....	66
3.3.3	Entwicklung der Monetarisierung des landwirtschaftlichen Nutzens .....	66
3.3.4	Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter den künftigen ökonomischen und klimatischen Rahmenbedingungen in Extremwettersituationen für die Landwirtschaft .....	67
3.3.4.1	Bewertung der künftigen ökonomischen Rahmenbedingungen.....	67
3.3.4.2	Bewertung der künftigen klimatischen Rahmenbedingungen.....	72
<b>3.4</b>	<b>Fallbeispiel Beregnung in Brandenburg.....</b>	<b>73</b>

3.4.1	Modellaufbau zur Beregnung in den Modellgebieten .....	73
3.4.2	Modellkalibrierung .....	75
3.4.3	Effekte der Klimaänderung auf den Gebietswasserhaushalt und die Beregnungswasserverfügbarkeit (Bewirtschaftungsszenario I) .....	76
3.4.4	Effekte der Klimaänderung auf die Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung (Bewirtschaftungsszenario I) .....	80
3.4.5	Effekte der Beregnungszunahme auf den Gebietswasserhaushalt und die Beregnungswasserverfügbarkeit (Bewirtschaftungsszenario II) .....	82
3.4.6	Effekte der Beregnungszunahme auf die Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung (Bewirtschaftungsszenario II) .....	84
3.4.7	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Fallbeispiel Beregnung in Brandenburg .....	86
<b>3.5</b>	<b>Möglichkeiten großräumiger Wassermanagementverfahren.....</b>	<b>87</b>
<b>3.6</b>	<b>Politische Konsequenzen.....</b>	<b>89</b>
3.6.1	Ansätze zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens .....	89
3.6.2	Bewertung künftiger Fördermöglichkeiten .....	91
<b>3.7</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....</b>	<b>92</b>
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>92</b>
<b>5</b>	<b>GEGENÜBERSTELLUNG DER URSPRÜNGLICH GEPLANTEN ZU DEN TATSÄCHLICH ERREICHTEN ZIELEN .....</b>	<b>95</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>104</b>
<b>7.1</b>	<b><i>Methodenbeschreibung sowie Datengrundlagen für die Berechnung des landwirtschaftlichen Zusatzwasserbedarfs der zu berücksichtigenden Fruchtarten sowie deren Mehrertrag und Mehrerlöse und der Kosten für die Bewässerung</i></b>	
<b>7.2</b>	<b><i>Tabelle Beregnungsnutzer</i></b>	

## B. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Befragung BV zu den bewässerten Fruchtarten im Verbandsgebiet .....	37
Tabelle 2:	Tatbestand und Bemessung für Grund- und Oberflächenwasser .....	45
Tabelle 3:	Landwirtschaftliche Mehrerträge durch Bewässerung bezogen auf die Zusatzwassermenge .....	51
Tabelle 4:	Mehrerträge durch Dränung .....	52
Tabelle 5:	Vergleich der Jahreskosten von Bewässerungssystemen; Mobile Beregnungsmaschinen, Rohrberegnung, Tropfbewässerung sowie stationäre Kreis- und Linearberegnungsmaschinen; Bewässerung eines 5 bzw. 33 ha Schlages.....	54
Tabelle 6:	Kenndaten, Kapitalbedarf und Kosten verschiedener Beregnungsverfahren (3 Gaben ca. 30 mm/a).....	55
Tabelle 7:	Kosten je ha bei 12 m Dränabstand inkl. Verfüllen der Drängräben (2009)....	56
Tabelle 8:	Kostenbeispiel Dränung landwirtschaftlicher Flächen, Verfüllen der Gräben in Eigenleistung .....	56
Tabelle 9:	Bereitstellungskosten von Speichervolumen für Beregnungswasser .....	57
Tabelle 10:	Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis (Preise 2005).....	58
Tabelle 11:	Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis (Preise 2014).....	59
Tabelle 12:	Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis bei halbiertem Beregnungsbedarf (Preise 2014).....	59
Tabelle 13:	Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Winterweizen) .....	60
Tabelle 14:	Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Kartoffeln).....	62
Tabelle 15:	Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Silomais) .....	63
Tabelle 16:	Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Winterroggen) .....	64
Tabelle 17:	Mehrerlöse durch Dränung .....	65
Tabelle 18:	Erforderlicher Zusatzwasserbedarf für eine langfristig rentable Investition in eine Beregnungsanlage .....	67
Tabelle 19:	Landwirtschaftliche Beregnung in den Modellgebieten.....	74
Tabelle 20:	Beregnete Fruchtarten im Untersuchungsgebiet mit monatlichen kc-Faktoren und möglichen Beregnungszeiträumen (blau unterlegt).....	74



## C. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schema zur Bestimmung der ökonomischen Berechnungswürdigkeit.....	6
Abbildung 2:	Einfluss unterschiedlicher Marktpreise auf die berechnungskostenfreie Leistung eines Anbauverfahrens.....	9
Abbildung 3:	Einfluss unterschiedlicher Ertragszuwächse auf die berechnungskostenfreie Leistung eines Anbauverfahrens.....	10
Abbildung 4:	Lage der Simulationsteilgebiete und Berechnungsnutzer im Modell-Gebiet.....	14
Abbildung 5:	Niederschlag (links) und Klimatische Wasserbilanz (rechts) für die Vegetationsperiode April bis Oktober der Jahre 1981-2010.....	17
Abbildung 6:	Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums.....	18
Abbildung 7:	Mittlerer Zusatzwasserbedarf (ZWB) für Kartoffeln, Mais, Winterroggen und Winterweizen.....	20
Abbildung 8:	Mittlere jährliche Grundwasserneubildung 1961-1990.....	21
Abbildung 9:	Mittlere jährliche Abflusshöhe für den Zeitraum 1961 – 1990.....	22
Abbildung 10:	Anteil der Wasserart an der Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung im Jahr 2010.....	23
Abbildung 11:	Anteil der Wasserart an der Wassergewinnung für die nichtöffentliche Wasserversorgung im Jahr 2010.....	24
Abbildung 12:	Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper.....	25
Abbildung 13:	Jährliche Rohwasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerung aus ausgewählten Talsperren des Thüringer Fernwasserversorgungsnetzes (TFW).....	26
Abbildung 14:	Karte der Bundeswasserstraßen.....	29
Abbildung 15:	Main-Donau-Wasserstraße mit Main-Donau-Kanal.....	31
Abbildung 16:	Verlauf der nordwestdeutschen Wasserstraßen.....	32
Abbildung 17:	Anteil bewässerbarer Flächen an landwirtschaftlich genutzter Gesamtfläche auf Landkreisebene.....	33
Abbildung 18:	Bewässerungshöhen in den Landkreisen im Jahr 2009.....	35
Abbildung 19:	Bewässerte Fläche im Jahr 2009 nach Fruchtarten und Bundesland.....	36
Abbildung 20:	Verbrauchte Wassermenge landwirtschaftlicher Betriebe anteilig nach Wasserherkunft im Jahr 2009.....	40
Abbildung 21:	Übersicht der Bewässerungsverfahren.....	40
Abbildung 22:	Anzahl Betriebe mit Bewässerungsverfahren im Jahr 2009.....	41
Abbildung 23:	Schema der Wassermanagementverfahren für die Bereitstellung von Zusatzwasser für Feldbewässerung.....	49
Abbildung 24:	Schema der Wassermanagementverfahren für die Bodenwasserregulierung.....	51
Abbildung 25:	Kapitalbedarf ausgewählter Wasserentnahmeanlagen.....	53

Abbildung 26:	Verfahrenskosten ausgewählter Bewässerungsverfahren und deren Struktur .....	54
Abbildung 27:	Kapitalwerte zu unterschiedlichen Gesamtberechnungshöhen .....	61
Abbildung 28:	Entwicklung der Marktpreise für Winterweizen, Mais und Winterroggen .....	66
Abbildung 29:	Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Berechnungsmengen und Verkaufspreisen bei Winterweizen .....	68
Abbildung 30:	Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Berechnungsmengen und Verkaufspreisen bei Kartoffeln .....	68
Abbildung 31:	Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Berechnungsmengen und Verkaufspreisen bei Silomais.....	69
Abbildung 32:	Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Berechnungsmengen und Verkaufspreisen bei Winterroggen .....	69
Abbildung 33:	Rentabilität der Beregnung von Winterweizen bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %) .....	70
Abbildung 34:	Rentabilität der Beregnung von Winterroggen (links) und Silomais (rechts) bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %) .....	71
Abbildung 35:	Rentabilität der Beregnung von Kartoffeln bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %) .....	72
Abbildung 36:	WBalMo-Untersuchungsgebiet mit Lage der im Modell abgebildeten Beregnungsnutzer .....	73
Abbildung 37:	Verteilung bewässerter Fruchtarten je Simulationsteilgebiet (Kreisdiagramme mit Durchmesser proportional zur Anbaufläche) sowie Zuordnung der Simulationsteilgebiete zu Nutzergruppen.....	75
Abbildung 38:	Vergleich des berechneten jährlichen Beregnungswasserbedarfs und der erlaubten Wasserentnahmemenge sowie die Typen der Beregnungsnutzer .....	76
Abbildung 39:	Änderungen der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse im Klimaänderungsszenario (KISz) gegenüber dem Referenzszenario (Ref) in den Einzugsgebieten Nuthe, Plane und Buckau in der nahen und fernen Zukunft .....	77
Abbildung 40:	Wasserbedarf und Wasserentnahme zur Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten in der nahen Zukunft (unten) und in der fernen Zukunft (oben) (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile).....	78
Abbildung 41:	Zusatzwasserbedarfe in trockenen Jahren im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (10. Perzentile) .....	79
Abbildung 42:	Mehrerträge durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile) .....	80

Abbildung 43:	Kosten durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KlSz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile) .....	81
Abbildung 44:	Mehrerlöse durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KlSz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile) .....	82
Abbildung 45:	Änderungen der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse durch Verdoppelung der Beregnungsfläche in den Einzugsgebieten Nuthe, Plane und Buckau in der nahen und fernen Zukunft.....	83
Abbildung 46:	Defizite zwischen Beregnungswasserbedarf und -entnahme in trockenen Jahren (10. Perzentil) mit der aktuellen Beregnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten in trockenen Jahren.....	84
Abbildung 47:	Änderungen der Mehrerträge durch Beregnung zwischen der aktuellen Beregnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten .....	85
Abbildung 48:	Änderungen der Erlöse zwischen der aktuellen Beregnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten .....	86
Abbildung 49:	Potentielle Flächen zur landwirtschaftlichen Bewässerung mittels Oberflächenwasser aus Kanälen .....	88



## **1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens**

Klimaänderungsszenarien projizieren steigende Temperaturen und Veränderungen der inner-jährlichen Niederschlagsverteilungen. Sie projizieren aber auch eine Zunahme von Extremwetterlagen. Sowohl extreme Dürre- und Hitzeperioden als auch Hagel, Stark- und Dauerregen sowie Spät-, Früh- und Kahlfröste werden Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Pflanzenbau und die Forstwirtschaft haben, die mit wirtschaftlichen Folgen einhergehen.

Aufgrund der in den letzten Jahren deutlich gestiegenen Rentabilität der land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzung einerseits und einer gleichzeitigen Zunahme der Variabilität des Wasserdargebotes andererseits haben Wassernutzungskonflikte bereits zugenommen. Dadurch gewinnen Fragen aus dem Bereich eines nachhaltigen auf die Bedürfnisse der Landwirtschaft ausgerichteten Wassermanagements stark an Bedeutung. In Überschussperioden gespeichertes Wasser kann zur Minderung der Folgen von „extremer Dürre und Hitze“ beitragen, wenn die Wasserspeicher effizient, standortgerecht und unter Berücksichtigung der Umwelt in die Agrarlandschaft integriert und problemgerecht bedient werden. Insbesondere in den Tieflandregionen Deutschlands sind die Möglichkeiten solcher Speicher allerdings sehr oft durch das dafür verfügbare Flächenangebot sehr stark eingeschränkt. Die Nutzung von Wasserspeichern oder das Schaffen ausreichender und schneller Abflussmöglichkeiten ermöglichen die Minderung der Folgen aus „Stark- und Dauerregen sowie Überschwemmungen“. Bei Letzterem wären insbesondere auch die Aspekte des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen.

Mit den Bestrebungen zur Intensivierung der Landwirtschaft in Deutschland wurden in den 1970er bis 1980er Jahren letztmalig nahezu flächendeckende Lösungen für den Wasserrückhalt, die Be- und Entwässerung oder die Bereitstellung von Zusatzwasser mit verschiedenen Verfahren geschaffen. Allerdings sind viele davon unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt nutzbar. Die damit verbundenen Interessenskonflikte einer Vielzahl von Flächennutzern sind kaum zu bewältigen und die benötigten Wasserspeicher in natürlichen Seen sind aus ökologischen Gründen nicht mehr verfügbar. Entwässerungssysteme, die auf dem größten Teil der durch Staunässe bestimmten und auf einem Teil der grundwasserbeeinflussten landwirtschaftlichen Flächen installiert wurden, führen das überschüssige Wasser im Frühjahr ab. Dieses Wasser wird in Sommern mit heftigen und langen Trockenperioden den Kulturpflanzen jedoch immer öfter fehlen. Allerdings stehen inzwischen viele vorhandene Be- und Entwässerungsanlagen vor dem Ende ihrer Lebensdauer, so dass bereits in naher Zukunft Entscheidungsgrundlagen für die Instandsetzung, die Erneuerung oder den Ersatz benötigt werden. Diese sollten insbesondere auch die Zunahme von Extremwetterlagen berücksichtigen.

Im Bereich des regionalen Wassermanagements handelt es sich häufig um Maßnahmen, die einer überbetrieblichen Koordination bedürfen. Aus diesem Grund stellt sich für die Politik die Frage, wie die Rahmenbedingungen zu gestalten sind, damit ökonomisch sinnvolle und unter umwelt- und naturschutzfachlichen Aspekten tragfähige Konzepte des Wassermanagements effizient etabliert werden können.

Dieses Vorhaben zielt auf die Analyse der Möglichkeiten und Erfordernisse eines landwirtschaftlichen Wassermanagements, das erwartete, unerwünschte Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich der Zunahme von Extremereignissen auf die Landwirtschaft mindern kann. Darüber hinaus soll die wirtschaftliche Bewertung von Wassermanagementsystemen und -konzepten und deren Änderungen bei zunehmenden Extremereignissen abgeschätzt werden. Schließlich sollen mögliche politische Konsequenzen zur Gestaltung der Rahmenbedingungen für tragfähige Konzepte des Wassermanagements abgeleitet werden.

Die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele des Vorhabens sind:

1. Einordnung der aktuellen Situation des auf die Landwirtschaft ausgerichteten Wassermanagements vor dem Hintergrund seiner Entwicklung in Deutschland und den regionalen Besonderheiten
2. Analyse der wasserwirtschaftlichen Möglichkeiten ausgewählter kleinräumiger standorttypischer Systeme des Wasserrückhalts, der Entwässerung sowie von Verfahren zur Wasserbereitstellung
3. Abschätzung der Änderung der wirtschaftlichen Bewertung kleinräumiger Wassermanagementsysteme bei zunehmenden Extremwettersituationen
4. Wirtschaftliche Bewertung großräumiger Wassermanagementmaßnahmen bei zunehmenden Extremwettersituationen
5. Abschätzung der möglichen politischen Konsequenzen für Fördermaßnahmen oder zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens.

## **1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens**

## **1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Analysen des Wassermanagements in Einzugsgebieten wurden bereits in zahlreichen Forschungsprojekten wie der ÖkOSYN (z. B. Dietrich et al., 1999), Elbe-Ökologie (z. B. Becker & Lahmer, 2004), GLOWA-Elbe (z. B. Wechsung et al., 2005), INKA BB (z. B. Dietrich et al., 2012) und Aquarius untersucht, um nur eine Auswahl der im Elbeeinzugsgebiet durchgeführten Projekte zu nennen. In diesen Projekten wurden vielfältige Aspekte des Wassermanagements mit mehr oder minder direkten Bezug zur Landwirtschaft untersucht, wie

- Elbe-Oder Überleitung (GLOWA)
- Oder-Spree Überleitung (GLOWA)
- Versickerung von Oberflächenwasser
- Wassermanagement Rhinluch (ÖKOSYN, Elbe-Ökologie)
- Wasserhaushalt und Anpassung des Wassermanagements der großen Feuchtgebiete im Tiefland des Elbeeinzugsgebietes (GLOWA)
- Wassermanagement Spreewald (INKA BB)
- Stützung des Niedrigwasserabflusses in kleinen Fließgewässern (INKA BB).

Intensive Forschungen zur Entwicklung von Verfahren des landwirtschaftlichen Wassermanagements wurden in Deutschland allerdings vor über zwei Jahrzehnten aufgegeben. Eine Übersicht zu den Veränderungen im landwirtschaftlichen Wassermanagement insbesondere der Bewässerung, die mit den gesellschaftlichen und politischen Veränderungen zu Beginn der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts einhergingen, gibt auch anhand weniger Fallbeispiele Dirksen & Huppert (2006). In Nord-Ost Niedersachsen, dem größten geschlossenen Beregnungsgebiet Deutschlands, werden langjährige Beregnungsversuche von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt um beispielsweise den Wasserbedarf verschiedener Fruchtarten zu ermitteln, aber auch die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung zu ermitteln (Fricke 2008, Behrens 2012). Langjährige Beregnungsversuche, vor allem im Feldgemüsebau, werden auch in Thüringen (Straußfurt) von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt (Roth 2000). Hier wird beispielsweise die Ertragsvariabilität eines breiten Sortenspektrums mit Zusatzwasser untersucht (Roth 2005, Pflieger und Rößler 2010).

Vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie gelangt das landwirtschaftliche Wassermanagement jedoch mit Fragestellungen zur Reduzierung der Nähr- und Schadstoffverluste aus den landwirtschaftlichen Flächen wieder in den Blickpunkt. Einen Überblick zum Kenntnisstand über Maßnahmen im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Dränsystemen gibt z. B. Fier et al. (2012). Aus einigen Maßnahmen sind Synergie-Effekte für die hier relevante Fragenstellung zu erwarten. So kann mit einer kontrollierten Entwässerung (controlled drainage) gegenüber der konventionellen Dränung der Bodenwasservorrat nur auf das unbedingt notwendige Maß reduziert und damit auch Nährstoffausträge gemindert werden. Dränteiche, die den Dränanlagen nachgeschaltet werden, mindern die aus den Dränanlagen stammenden Nährstofffrachten in die Gewässer, können bei gegebenen Voraussetzungen aber auch zur mengenmäßigen Anreicherung des Grundwassers beitragen. Beide genannte Maßnahmen sind in Deutschland bislang aber noch nicht über das Pilotstadium hinausgekommen.

Wasserüberleitungen aus Einzugsgebieten mit einem hohen und stabilen Wasserdargebot in Gebiete wo dieses nicht ausreicht, sind immer wieder geplant aber kaum realisiert worden. So wurden diese Möglichkeiten bereits für die Sicherung von Mindestabflüssen in der Spree, deren Unterschreitungswahrscheinlichkeit in Niedrigwassersituationen aufgrund der ausbleibenden Sumpfungswässer aus den ehemaligen Tagebauen in der Braunkohlebergbauregion der Lausitz steigt, untersucht (Kaltofen et al., 2005). Solche Vorhaben scheitern aber noch an dem zu erwartenden Kosten-Nutzen-Verhältnis. Bekannte erfolgreiche Projekte sind Wasserüberleitungen im Bereich der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder (Ebner von Eschenbach et al. 2011). Sie werden vorgenommen, um dort Wasserdefizite in Wasserstraßenabschnitten auszugleichen, wo sie nicht auf natürlichem Wege ausgeglichen werden können.

Inzwischen wurden auch Wasserüberleitungen zu Beregnungszwecken eingerichtet und werden erfolgreich betrieben. Dazu wird das Bundeswasserstraßennetz genutzt, wie der Elbe-Seitenkanal in Niedersachsen oder der Main-Donau-Kanal in Bayern (Frei 2003, Behrens 2012).

All diese Systeme und Verfahren wurden zwar auch unter den Randbedingungen künftiger klimatischer Verhältnisse untersucht, ihre Wirkungen bei extremen Wettersituationen konnten dabei jedoch nicht oder nur sehr grob berücksichtigt werden. Die Klimamodelle können zu den Witterungsextremen bislang nur sehr unsichere Aussagen machen.

Aus einzelbetrieblicher Sicht ist bisher ein umfassendes Wassermanagement der landwirtschaftlich genutzten Flächen bis auf die Dränung staunasser Flächen oder die Bewässerung einzelner Fruchtarten meist unrentabel. Der Wasserrückhalt in der Landschaft sowie ein Beitrag zur Abmilderung von Hochwasserspitzen durch die Bereitstellung von Retentionsflächen können jedoch aus gesellschaftlicher Sicht sinnvoll sein, und bringen auch Vorteile für in einem Gebiet wirtschaftende Betriebe. Dieser Zusammenhang wurde bereits in einer Reihe von Forschungsprojekten dargestellt (Posthumus, Rouquette et al. 2010, Rouquette, Posthumus et al. 2011). Deshalb gilt es, die Effekte sich ändernder Agrarpreise sowie landwirtschaftlicher Ertragsschwankungen anhand konsistenter Szenarien abzubilden, um sie den Kosten neuer Maßnahmen zur Sicherung des Wasserdargebots unter klimatischen Extremsituationen gegenüberzustellen. Diese Berechnungen wurden bisher noch nicht für neue Möglichkeiten des Wassermanagements erstellt.

Sollte der Kreis der durch solche Maßnahmen begünstigten Akteure größer als der der unmittelbar betroffenen Landwirte sein, kann eine Förderung im Rahmen der 2. Säule der GAP gerechtfertigt sein. In welchem Rahmen und mit welchen Instrumenten dies sinnvoll ist, muss jedoch anhand einzelner Beispiele analysiert werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Aktuelle Situation des landwirtschaftlichen Wassermanagements

Die bundesweit verfügbaren Basisdaten zum natürlichen Wasserdargebot, wie Niederschlag und klimatische Wasserbilanz werden für einen Überblick als langjährige Mittelwerte aus der Zeitreihe 1981-2010 (Daten des DWD) für die Vegetationsperiode mittels Karten dargestellt. Die für das Wasserdargebot ebenfalls relevante Wasserspeicherfähigkeit der Böden landwirtschaftlicher Flächen wird als die nutzbare Feldkapazität des Bodens nach BÜK1000 ebenfalls dargestellt.

Der heute im Mittel zu erwartende Zusatzwasserbedarf für die Fruchtarten Kartoffeln, Mais, Winterweizen und Winterroggen wurde aus den langjährigen Mitteln der monatlichen Niederschläge und der potentiellen Verdunstung (Reihe 1981-2010) sowie der nutzbaren Feldkapazität ( $nFK_{We}$ ) des Standortes geschätzt. Die Berechnung erfolgte analog dem im Anhang 7.1 in Kapitel 2 für einzelne Monatswerte beschriebenen Verfahren. Dabei wurde unterstellt, dass die Berechnung ab einem Bodenwassergehalt von 40 % der  $nFK_{We}$  beginnt und der Boden dadurch bis 80 % der  $nFK_{We}$  aufgefüllt wird. Infolge der stark aggregierten Eingangsdaten der Niederschläge und Verdunstung (langjährige Mittelwerte in einer Raster-Auflösung von 1 km x 1 km) sowie der  $nFK_{We}$  für die Leitbodenform, können die Ergebnisse aber lediglich eine grobe regionale Übersicht geben.

Anschließend werden Übersichten zu den möglichen Quellen für landwirtschaftliches Zusatzwasser, wie Grundwasser, Gewässerabfluss, Wasserspeicherung, Grundwasseranreicherung sowie Wasserüberleitung, ggf. mit Beispielen dargestellt.

Zur Einschätzung der tatsächlichen Situation der landwirtschaftlichen Bewässerung in Deutschland wurden die Daten der Landwirtschaftszählung 2010 bei den Statistischen Landesämtern auf Landkreisebene abgefragt (Statistische Landesämter 2011/2012). Die Erhebungen aus dem Jahr 2009 enthalten Angaben

- zum Anteil der bewässerten und potentiell bewässerbaren Flächen an der landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche,
- zu den für die Bewässerung verwendeten Wassermengen,
- zur Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe mit der Möglichkeit zur Bewässerung,
- zur Herkunft des Bewässerungswassers sowie
- zum Flächenanteil der verschiedenen bewässerten Fruchtarten.

Die kartografische Darstellung der statistischen Daten auf Kreisebene ermöglicht einen deutschlandweiten Überblick und stellt regionale Unterschiede heraus. Angaben zur Wasserherkunft und den bewässerten Fruchtarten auf Bundeslandebene werden in separaten Diagrammen veranschaulicht.

Anschließend werden die gegenwärtig in Deutschland angewendeten Bewässerungsverfahren und -techniken erläutert und Angaben zu ihrer Wirkungsweise, den Kostenfaktoren und ihrer regionalen Anwendung gemacht. Die Informationen werden sowohl mittels Literaturrecherche als auch aus Berichten bzw. Studien der jeweiligen landwirtschaftlichen Landesämter erhoben.

Zur Unterlegung bzw. Ergänzung dieser Rechercheergebnisse wurde ein Fragebogen (s. Anlage) entwickelt und per Email an zehn beispielhaft ausgewählte Berechnungsverbände, darunter zwei Fachverbände, in Baden Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Rheinland Pfalz, Sachsen-Anhalt, Saarland sowie Thüringen gesendet. Die gewonnenen Er-



kenntnisse sind regionalspezifisch zu betrachten, es können keine bundesweit allgemeingültigen Aussagen daraus abgeleitet werden (Kapitel 3.1.3.2).

Die rechtlichen Rahmenbedingungen, z.B. für Wasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung, wurden den Landeswassergesetzen entnommen und durch Literaturrecherche ergänzt.

Zur tatsächlichen Situation der Entwässerung landwirtschaftlicher Flächen liegt keine qualitativ vergleichbare Datenbasis vor. So wird bei den Erhebungen der Statistischen Ämter das Thema Entwässerung ausgeschlossen. Deshalb wurde auf Angaben aus einer Literaturrecherche zurückgegriffen, die jedoch größtenteils auf Schätzungen beruhen. Detailliertere Aussagen betreffen allenfalls ausgewählte regionale Systeme.

## **2.2 Analyse landwirtschaftlicher Wassermanagementverfahren**

### **2.2.1 Überblick zu relevanten Wassermanagementsystemen**

Die aktuell relevanten Verfahren des landwirtschaftlichen Wassermanagements wurden mittels Literaturrecherche und Auswertung statistischer Daten (insbesondere Landwirtschaftszählung Statistische Landesämter 2011/2012) nach Wirkprinzipien mit regionalen Besonderheiten zu elementaren Managementsystemen systematisiert. Dabei wurden die technischen und ökonomischen Parameter dargestellt, die für die Installation und den Betrieb der Managementsysteme in verschiedenen Regionen Deutschlands relevant sind.

### **2.2.2 Bewertung der aktuellen Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Wassermanagementverfahren**

Zur ökonomischen Beschreibung der Wassermanagementverfahren wurden Kennzahlen aus den gängigen Datensammlungen (KTBL 2013) und anderer Fachliteratur herangezogen. Diese dienen zur Ermittlung der ökonomischen Parameter, die für die Installation und den Betrieb der Managementsysteme in verschiedenen Regionen Deutschlands relevant sind. Dabei wurden auch überschlägige Bau- und Unterhaltungskosten der jeweiligen Managementsysteme ermittelt.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Kosten mit dem Nutzen für die Landwirtschaft verknüpft, dies sind im Rahmen des Pflanzenbaus vornehmlich die Zunahmen der Erträge und ihrer Sicherheiten infolge des Betriebes der Wassermanagementsysteme. Auch hier wurde eine Literaturrecherche auf vorhandene Kenntnisse durchgeführt.

Die wirtschaftliche Bewertung richtet sich sowohl auf

- aktuelle klimatische Bedingungen
- als auch auf künftige möglicherweise häufiger und heftiger auftretender Extremwittersituationen.

Da im Rahmen der Projektlaufzeit keine bundesweit regionalisierten Klimaszenarien verfügbar waren, wurde die Bewertung der Wirtschaftlichkeit zunächst anhand der möglichen ökonomischen Rahmenbedingungen vorgenommen. Auf der Grundlage der ökonomischen Bewertung wurden die Auswirkungen für mögliche zukünftige Zusatzwasserbedarfe unter veränderten klimatischen Bedingungen abgeschätzt. Dabei wurden insbesondere die für das Wassermanagement relevanten Systeme (Bewässerung und Entwässerung) genauer untersucht. Im Rahmen des Fallbeispiels konnten auch Aussagen zu den Auswirkungen zukünftiger klimatischer Bedingungen gemacht werden.

### 2.2.2.1 Bewässerung

Die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen wird von den folgenden Einflussgrößen bestimmt:

- Rechtliche Rahmenbedingungen zur Entnahme von Bewässerungswasser,
- Investitionskosten der Bewässerungsanlagen (Erschließung und Maschinen),
- Variable Kosten der Bewässerung (Lohnkosten, Energiekosten, Kosten der Wasserbereitstellung (Gebühren), Betriebsmittelpreise)
- Ertragszuwachs/-sicherung durch Bewässerung, Bewässerungseffizienz,
- Fördermaßnahmen bei Erstellung und Betrieb von Bewässerungsverfahren sowie
- Marktpreise für landwirtschaftliche Produkte.

Der Zusatzwasserbedarf ist im Sinne des Bewässerungsbedarfs zunächst ein pflanzenbaulicher Parameter, der beschreibt, ob während des Pflanzenwachstums ein Defizit an Wasser auftritt, das ein Erreichen des Ertragspotentials verhindert. Ob das Zusatzwasser in der Höhe dieses Bedarfes auch ökonomisch sinnvoll zur Verfügung gestellt werden kann, hängt von den daraus resultierenden Mehrerlösen und -kosten ab. Für das Beispiel der Berechnungswürdigkeit sind die Erlös- und Kostenfaktoren in Abbildung 1 beschrieben. Dabei beeinflussen die obengenannten Einflussgrößen die einzelnen Kostenfaktoren.

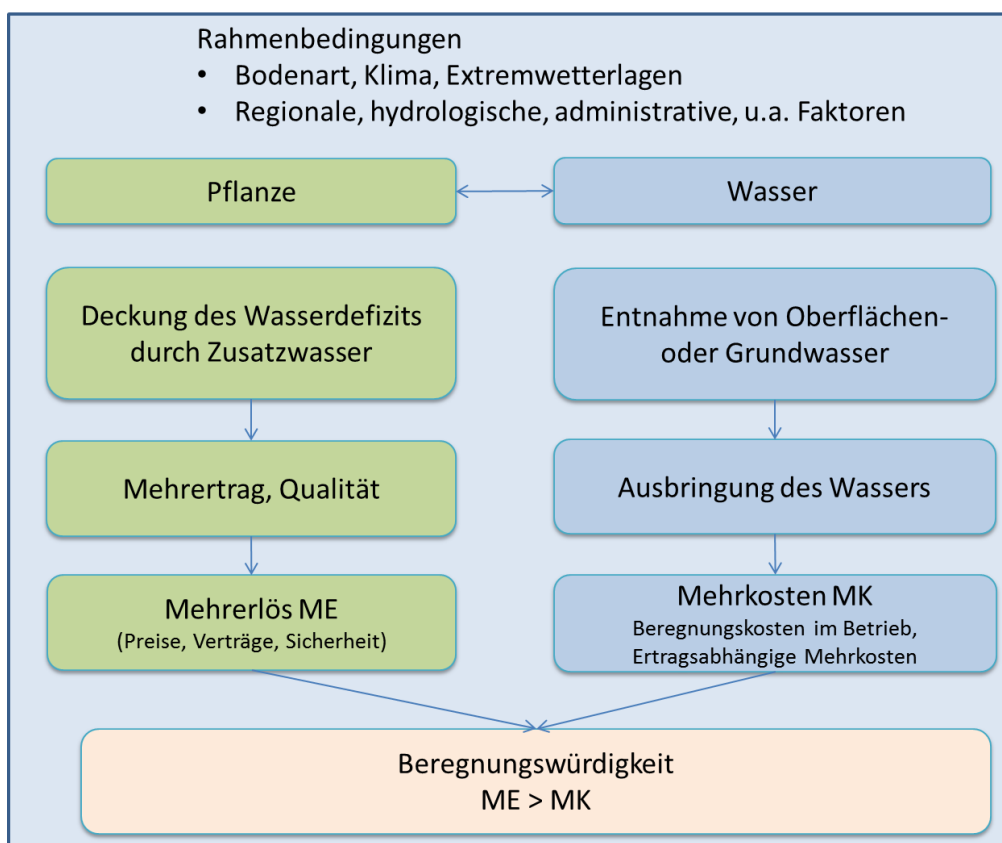


Abbildung 1: Schema zur Bestimmung der ökonomischen Berechnungswürdigkeit

Als betriebliche Entscheidungsgröße resultiert daraus die berechnungskostenfreie Leistung, die als monetäre Leistung eines Produktionsverfahrens abzüglich der Beregnungskosten definiert ist. Langfristig müssen alle Kosten der Beregnung durch die dadurch erzielten Erlöse aus den Mehrerträgen gedeckt werden können. Dabei sind deshalb die Gesamtkosten der Beregnung mit einzubeziehen.

Beregnungskostenfreie Leistung = Mehrerlöse - Mehrkosten durch Beregnung

Mehrerlös = f (Mehrertrag, Qualitätssicherung, Preis, Preis- und Ertragsstabilität)

Mehrkosten = f (Anschaffungskosten, Beregnungskosten, höhere Aufwendungen für z.B. zusätzlichen Dünger)

Wenn in eine Beregnungsanlage bereits investiert wurde, muss kurzfristig nur entschieden werden, ob eine Bewässerungsgabe mindestens die variablen Kosten deckt. Hierzu dient die variable beregnungskostenfreie Leistung, die als monetäre Leistung eines Produktionsverfahrens abzüglich der variablen Beregnungskosten definiert ist. Die Kostenanteile aus der Erschließung sowie dem Kauf der Beregnungsanlage (Fixkosten) werden in diesem Falle nicht berücksichtigt. Eine Beregnung ist trotzdem sinnvoll, da sich das Betriebsergebnis durch die Mehrerlöse verbessert.

Variable beregnungskostenfreie Leistung = Mehrerlöse - Variable Mehrkosten durch Beregnung

Mehrerlös = f (wie oben)

Variable Mehrkosten = f (variable Beregnungskosten, höhere Aufwendungen für z.B. zusätzlichen Dünger)

Da es sich bei Bewässerungsanlagen meist um längerfristige Investitionen handelt, muss vor dem Kauf der Anlage eine dynamische Bewertung der Investition durchgeführt werden. Hierzu eignet sich die Kapitalwertmethode, bei der die Einnahmen und Ausgaben, die sich durch die Investition ergeben, auf einen Gegenwartswert mit einem gegebenen Zinsfaktor abgezinst werden (Gl 1). Ist der Gegenwartswert positiv, so ist die Investition sinnvoll.

$$K_0 = \sum_{t=1}^n \frac{E_t - A_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Gl 1

Mit:

$K_0$  = Gegenwartswert

$E_t$  = Einnahmen in der Periode t

$A_t$  = Ausgaben in der Periode t

$I_0$  = Investitionsausgabe

i = Zinsfaktor

Die Auswirkungen von Extremsituationen werden in der Kapitalwertmethode durch die Variation der Mehrerlöse durch Beregnung und den damit zusammenhängenden Mehrkosten untersucht. Häufigere Trockenphasen erhöhen den gesamten Beregnungsbedarf und somit die jährlichen Mehrerlöse durch Beregnung.

### **Verfahrenskosten**

Bei den Verfahrenskosten der Bewässerung werden fixe und variable Kosten unterschieden.

- Fixkosten
  - Abschreibung für Investitionen
  - Zinsansatz
- Variable Kosten
  - Reparatur
  - Wasser

- Lohn
- Variable Maschinenkosten
- Energie

Die Festkosten enthalten die Kosten für die Abschreibung der Investitionen und einen Zinsansatz für das eingesetzte Kapital. Die Kosten der Reparaturen können je nach geplanter Auslastung den fixen oder den variablen Kosten zugeordnet werden. Zu den variablen Kosten werden außerdem das verwendete Wasser, die Lohnkosten für externe Arbeitskräfte, die variablen Maschinenkosten sowie die Energiekosten für das Betreiben der Anlagen gezählt. Innerhalb der variablen Kosten werden als Kennzahl auch die Arbeitserledigungskosten (eingesetzte Zeit x Kosten der Maschinen, Geräte, Arbeitskräfte) verwendet.

### **Investitionen**

Die Investitionskosten für Brunnen, Pumpen, Leitungen und Beregnungsaggregate sowie die Verfahrenskosten der Bewässerungsanlagen sind umfassend in der Datensammlung „Feldbewässerung“ (KTBL 2013) beschrieben. Diese werden zu Kennzahlen der verschiedenen Bewässerungsverfahren zusammengefasst.

Der Kapitalaufwand der Bewässerungsanlagen (Investitionskosten) beeinflusst maßgeblich die fixen Kosten der Bewässerung. Die wichtigsten sind dabei die folgenden Kostenblöcke:

- Wasserbereitstellung und
- Wasserausbringungstechnik.

Die Wasserbereitstellungskosten können nach Wasserherkunft und der dabei verwendeten Technik unterschieden werden:

- Oberflächenwasser
- Grundwasser mit
  - Flachbrunnen oder
  - Tiefbrunnen.

Die Art der Wasserbereitstellung hat einen bedeutenden Einfluss auf die Bereitstellungskosten. Die Investitionskosten sind aufgrund des geringeren baulichen Aufwands bei der Entnahme von Oberflächenwasser am geringsten, und nehmen von Flach- zu Tiefbrunnen hin zu.

Jeweils unterschiedliche Leistungen und deren unterschiedliche Intensitäten sowie unterschiedliche bauliche Aufwendungen führen zu unterschiedlichen Kosten. Beim Bau eines Grundwasserbrunnens sind z. B. die folgenden zu nennen:

- Hydrologisches Gutachten
- Baustelleneinrichtung
- Bohrung, Ausbau, Pumpversuch
- Stromzuführung
- Brunnenabschlussbauwerk
- Technische Ausstattung (Pumpe + Zubehör).

Bei der Wasserausbringung fallen je nach verwendeter Beregnungstechnik (mobile oder stationäre Beregnungsanlagen) unterschiedliche Investitionskosten an.

### **Preisgerüst der landwirtschaftlichen In- und Outputs**

Hohe Marktpreise für landwirtschaftliche Produkte führen zu einer höheren Rentabilität (beregnungskostenfreie Leistung) von Bewässerungsverfahren, da sich somit die Erlöse des Anbauverfahrens erhöhen. Genauso führen niedrige Betriebsmittelpreise wie z.B. niedrige Energiekosten für die Wasserförderung zu einer höheren Rentabilität, da sich die Kosten der Be-

regnung vermindern. Fördermaßnahmen für die Erstellung und den Betrieb von Bewässerungsanlagen haben ebenfalls einen Einfluss auf die Rentabilität, da diese zu niedrigeren Verfahrenskosten führen.

Das folgende Schaubild zeigt als Beispiel den Einfluss unterschiedlicher Marktpreise auf die berechnungskostenfreie Leistung eines beliebigen Anbauverfahrens. Die Leistungen (Preis x Ernteertrag) des Verfahrens steigen mit zunehmendem Marktpreis an. Bei niedrigen Marktpreisen werden die Berechnungskosten nicht gedeckt. Ab einem bestimmten Marktpreisniveau sind zumindest die Bewässerungskosten gedeckt, so dass aus dem positiven Betrag die anderen Produktionsmittel entlohnt werden können.

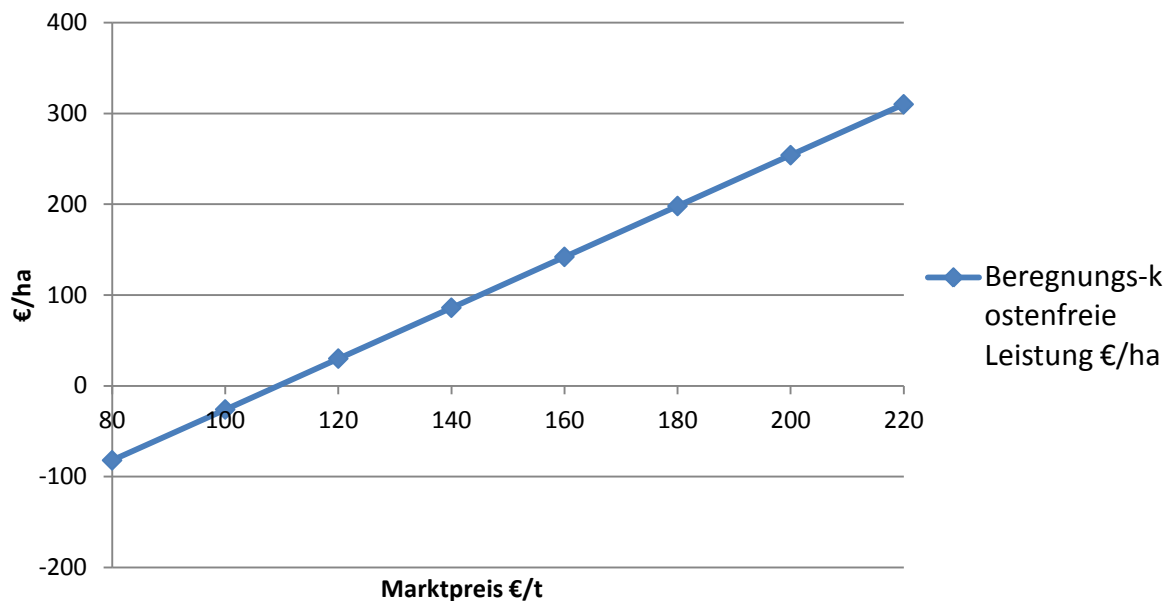


Abbildung 2: Einfluss unterschiedlicher Marktpreise auf die berechnungskostenfreie Leistung eines Anbauverfahrens

### ***Ertragssicherung durch Bewässerung***

Eine entscheidende Rolle bei der Rentabilität von Bewässerungsverfahren spielt der Ertragszuwachs (Berechnungseffizienz) bzw. die Ertragssicherung, den das zusätzliche Wasser durch die Bewässerung erzielt. Ist die Spanne zwischen den Erträgen mit und ohne Bewässerung sehr groß, lohnt sich die Investition in die Bewässerung mehr, als wenn die zusätzliche Bewässerung nur einen kleinen Zusatzertrag bringt. Die folgende Abbildung verdeutlicht diesen Zusammenhang. Führt eine feste Berechnungsmenge (z.B. 100 mm) nur zu einem Ertragszuwachs von 1 t/ha, werden die Kosten der Berechnung nicht gedeckt. Erst ab einem Ertragszuwachs von ca. 1,5 t/ha werden die Berechnungskosten gedeckt.

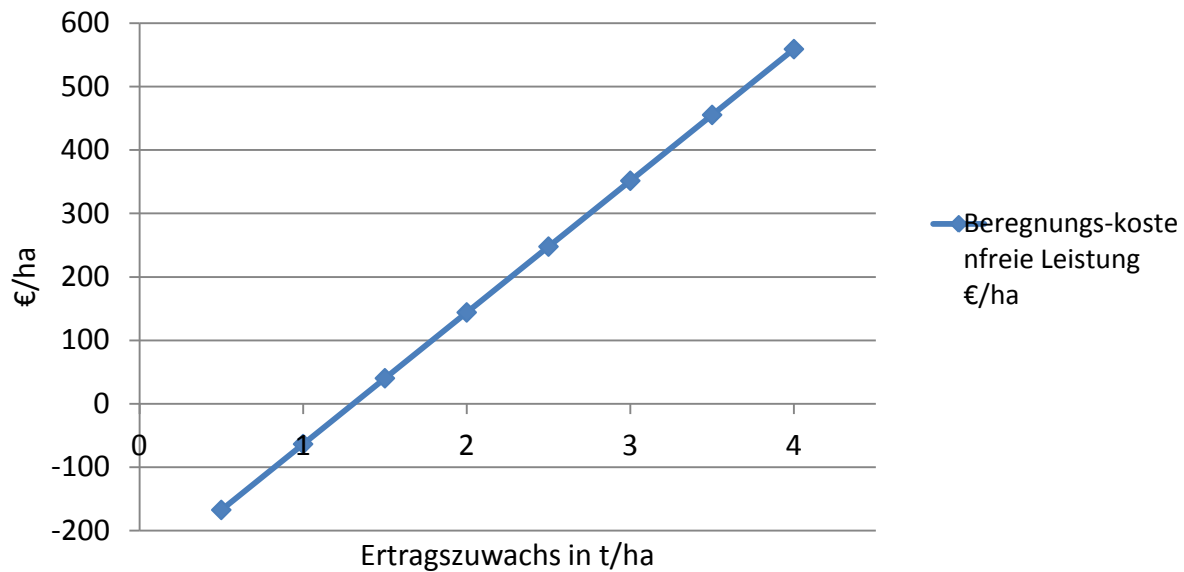


Abbildung 3: Einfluss unterschiedlicher Ertragszuwächse auf die beregnungskostenfreie Leistung eines Anbauverfahrens

Ob an einem Standort die Beregnung zu einem Mehrertrag führt, hängt dabei von dem im Boden zur Verfügung stehenden Wasser ab. In Trockenphasen führt eine Beregnung zum Auffüllen des Bodenwasserspeichers und somit zu einer Ausschöpfung des Ertragspotenzials. Unter denselben meteorologischen Bedingungen sind dazu mehr oder höhere Beregnungswassergaben auf Böden mit einem geringen Wasserspeichervermögen erforderlich als auf Böden mit einem höheren Wasserspeichervermögen.

### 2.2.2.2 Entwässerung (Dränung)

Bei der Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit (*Rentabilität*) von Entwässerungsmaßnahmen muss, vergleichbar zur Bewässerung, der dadurch entstandene Mehrerlös höher als die Kosten der Maßnahme sein.

Folgende Einflussgrößen sind dabei von Bedeutung:

- Standörtliche Parameter (Bodenzustand, Steinbesatz, Hangneigung, Hindernisse, z.B. Erdkabel)
- Investitionskosten der Dränung (Planung, Einbau und Material),
- Instandhaltungskosten
- Ertragszuwachs und Mehrerlöse durch Entwässerung (Mehrertrag, Marktpreise für landwirtschaftliche Produkte)
- Rechtliche Rahmenbedingungen.

Die detaillierten Kennzahlen finden sich in Kapitel 3.1.4.

### 2.2.2.3 Speicher und Wasserüberleitungen

Die Kosten der Errichtungen von größeren Wasserspeichern sowie Kanälen zur Wasserüberleitung zwischen Einzugsgebieten können in dieser Arbeit nur überschlägig anhand von Baukosten bestehender Anlagen abgeschätzt werden. Wenn möglich müssen diese Kosten zu dem dabei bereitgestellten Wasser ins Verhältnis gebracht werden. Als Kennzahl kann dann ein Bereitstellungspreis von Beregnungswasser kalkuliert werden.

## 2.3 Fallbeispiel Feldberechnung in Brandenburg

### 2.3.1 Untersuchungsgebiet und Modellgrundlagen

In der aktuellen Statistik des Landes Brandenburg wurden die höchsten Intensitäten der landwirtschaftlichen Berechnung in den Landkreisen Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming ausgewiesen (Statistische Landesämter 2012). Dort findet der intensivste Kartoffel- und Gemüseanbau im Land statt. Aber auch viele Biogasanlagen benötigen Mais als Gärsubstrat. Diese Region wurde ausgewählt, um anhand einer Fallstudie die erreichbaren Effekte des Wassermanagementverfahrens Berechnung auf dessen Wirtschaftlichkeit unter den verschiedenen aktuellen meteorologischen und hydrologischen Randbedingungen zu analysieren. Die Probleme bei der Sicherung des Wasserdargebots in der Höhe des Wasserbedarfes des Pflanzenbaus wurden ebenfalls berücksichtigt.

Ein großer Teil dieser Landkreise liegt in den Einzugsgebieten der Nuthe, Plane und Buckau (Abbildung 4). Zur Wasserbewirtschaftung wurden in diesem Raum bereits einige Forschungsprojekte und Planungen durchgeführt (Dietrich et al. 2013, Ebner von Eschenbach et al. 2013). Zur Anwendung kam dabei das interaktive Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten WBalMo ([www.dhi-wasy.de](http://www.dhi-wasy.de)). Es dient der Nachbildung von Bewirtschaftungsstrategien in Flussgebieten und kann Effekte von Handlungsalternativen aufzeigen sowie die Grundlagen für die Bewertung des Erreichens angestrebter Wasserbewirtschaftungsziele unter dem Einfluss einer Vielzahl möglicher Dargebots-, Nutzungs- und Bewirtschaftungsvarianten liefern. Dabei basiert die Bilanzierung des Wasserhaushalts auf einer Grundgesamtheit der möglichen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse im Flussgebiet. Mittels einer stochastischen Monte-Carlo-Simulation werden dazu synthetische Abflussreihen generiert. Für die relevanten Wassernutzer eines Flussgebietes lassen sich die Wasserrechte nachbilden, indem den Nutzern die genehmigten Quantitäten und Prioritäten zugewiesen werden. Gleichzeitig können Bewirtschaftungsdaten und -regeln vergeben und berücksichtigt werden. Damit ist eine sehr differenzierte aber auch sehr transparente Abbildung der Verteilung des verfügbaren Wassers möglich, so dass sich letztlich auch Defizite aus der Wasserverfügbarkeit und dem Wasserbedarf für jeden Nutzer darstellen und ggf. für die Optimierung der Bewirtschaftungsregeln nutzen lassen (Kaltofen et al. 2013).

Zur Erweiterung des Simulationsmodells und für die Kopplung mit anderen Modellen steht eine Reihe von Schnittstellen zur Verfügung. Die zeitliche Auflösung ist im Monats- oder Wochenschritt möglich.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) hat das in Form von parametrisierten und abgestimmten behördlichen Ländermodellen der Bundesländer Sachsen und Brandenburg bestehende WBalMo Havel-Spree aktualisiert, angepasst und schließlich eingesetzt (Ebner von Eschenbach et al. 2013). Damit wurden die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des Wasserstraßen-Neubauamtes Berlin untersucht, um den Einfluss von bedeutenden Wassernutzern und Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf das Wasserdargebot im unteren Havel- und Spreegebiet zu analysieren. WBalMo Havel-Spree arbeitet im Monats-schritt. Dazu wurden stochastisch bewirtschaftete Abflussreihen unter Verwendung der Daten aus drei Klimaprojektionen generiert. Diese Projektionen sind eingebettet in das Ressortforschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung KLIWAS3 „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen“. Aus den rund 20 Klimaprojektionen des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES (Van der Linden und Mitchell, 2009) wurden drei Klimaprojektionen verwendet, um eine (Teil)-Bandbreite möglicher (klimatischer) Zukunftsentwicklungen abbilden zu können:

- (1) C20-A1B-ARP-ALD51 vom Centre National de Recherche Météorologiques,

- (2) C20-A1B-EH5r3\_RE-ENS vom Max-Planck-Institut für Meteorologie, und
- (3) C20-A1B-HCQ0-HRQ0 vom Met Office Hadley Centre.

Diese Klimaprojektionen beruhen auf drei verschiedenen globalen Modellen in Verbindung mit jeweils einem anderen Regionalmodell. Hinsichtlich der Niedrigwasserprojektionen geben sie für die Untere Havel-Wasserstraße (Pegel Rathenow) im Zeitraum 2021-2050 die Gesamtbandbreite hydrologischer Projektionen gut wieder (Ebner von Eschenbach et al. 2013).

Weiterhin wurden stochastisch bewirtschaftete Abflussreihen unter Verwendung des HYRAS-Datensatzes (Rauthe et al. 2011), der Tageswerte meteorologischer Größen über den Zeitraum von 1951 bis 2006 und einer räumlichen Auflösung von 5 km x 5 km generiert, bereitgestellt. Die Rasterdaten wurden anhand einer Regionalisierung von Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes erstellt. Diese Abflusszeitreihen stehen als Referenz mit einem sich nicht ändernden Klima zur Verfügung.

Die BfG stellte mit Erlaubnis des Landes Brandenburg aus WBalMo Havel-Spree die Modellbausteine der Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau zur Verfügung.

Die landwirtschaftliche Beregnung stand dort bislang allerdings nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen und wurde allenfalls sehr grob berücksichtigt. Deshalb war es notwendig für das Simulationssystem WBalMo ein Modul zu entwickeln, das realitätsnahe Aussagen zum Wasserbedarf, zur Wasserverfügbarkeit und zur Wasserentnahme sowie zur Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Feldberegnung ermöglicht. Außerdem waren die in den Modellbausteinen berücksichtigten Beregnungsaktivitäten auf einem Stand der Erlaubnisse zur Wasserentnahme aus der Jahrtausendwende. Zur Aktualisierung der betreffenden Modellkomponenten stellte das Land Brandenburg den aktuellen Stand der Erlaubnisse zur Wasserentnahme für landwirtschaftliche Bewässerungen zur Verfügung.

### **2.3.2 Beregnungsmodul im Wasserbewirtschaftungsmodell WBalMo**

Für das Simulationssystem zur Wasserbewirtschaftung in Flussgebieten WBalMo wurde nach Vorgaben der Autoren dieses Berichtes von der DHI-WASY ein Modul implementiert, das die Wassernutzung zur landwirtschaftlichen Feldberegnung für die vorgesehene Fragestellung hinreichend abbilden kann (s. Anlage Modellbeschreibung). Dieses Modul ist in jedem Flussgebiet, für das ein Modell mit dem Simulationssystem zur Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung WBalMo implementiert worden ist, anwendbar. Für die WBalMo-Modelle der Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau erweiterte oder aktualisierte DHI-WASY dazu die darin bereits implementierten Wassernutzer nach dem Stand der Erlaubnisse zur Wasserentnahme für landwirtschaftliche Beregnung um 2013. Insgesamt waren dies 119 Erlaubnisse. Ein landwirtschaftlicher Betrieb hat zur selben Zeit oft mehrere Erlaubnisse für verschiedene Orte der Wasserentnahme. Da das Modul nur die Beregnungsflächen berücksichtigen kann und gesamtbetriebswirtschaftliche Betrachtungen nicht im Vordergrund stehen, wurde für jede Erlaubnis der Wasserentnahme jeweils ein Nutzer definiert. Allen wurde die Höhe ihres monatlichen Entnahmerechts zugeordnet. Im Folgenden werden diese Nutzer als Beregnungsnutzer bezeichnet. Schließlich soll das Modul den Wasserbedarf und die Wasserverfügbarkeit für die Beregnung der im Untersuchungsgebiet angebauten Fruchtarten sowie die damit erzielbaren Mehrerträge und Erlöse aktuell und in der Zukunft berechnen.

Dazu wird der Wasserverbrauch einer Fruchtart für die Evapotranspiration unter der Annahme einer gesunden sowie gut mit Nährstoffen und Wasser versorgten Feldfrucht, die ihre volle Produktivität unter den gegebenen klimatischen Bedingungen erreicht, angenommen. Die maximal mögliche Evapotranspiration kann im Bereich von 1 bis 9 mm/d liegen. Sie wird durch Verwendung von Korrekturfaktoren aus der potentiellen Verdunstung berechnet (Merkblatt ATV-DVWK-M 504 2002). Aus diesem Wasserverbrauch ergibt sich abzüglich



des Wasserdargebots aus Niederschlag und dem nutzbaren Bodenwasser der Beregnungswasserbedarf. Der Bodenwasserhaushalt wird im Modul monatlich von März bis Oktober berechnet. Dafür wird zu Beginn des Monats März jeweils eine vollständige Füllung des Bodenspeichers angenommen. Der Bodenwasserspeicher umfasst im Modell lediglich den Bodenwasservorrat, also das pflanzenverfügbare Wasservolumen (nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum - nFKWe), und wird als eine Schicht betrachtet.

Der Beregnungswasserbedarf eines Nutzers wird für jeden Monat der Kernroutine von WBalMo übergeben und dort hinsichtlich der Verfügbarkeit geprüft. Er errechnet sich aus dem Bedarf aller vom Nutzer angebauten Feldfrüchte. Das schließlich verfügbare Beregnungswasser wird im Modul zur Beregnung verschiedener Feldfrüchte nach Prioritäten auf die Feldfrüchte verteilt. Dabei werden ebenfalls technologisch bedingte Mindestgaben der Beregnungshöhe berücksichtigt.

Aus der tatsächlichen Höhe der daraus resultierenden jährlichen Beregnungsgaben werden schließlich die Mehrerträge der beregneten Feldfrüchte sowie unter Hinzuziehung der Kosten für die Beregnung und der Verkaufspreise für die Mehrerträge der Feldfrüchte ebenfalls die damit zu erwirtschaftenden Erlöse ermittelt.

In WBalMo selbst lassen sich nicht alle für die Simulation benötigten Eingabeparameter vorhalten. Parallel zur Modulentwicklung wurde deshalb eine Datenbank aufgebaut, mit der die über die vom WBalMo bereitgestellten hinausgehenden Eingabeparameter für verschiedene Szenarien bereitgestellt werden können. Daraus werden Textdateien erzeugt, die vom Modul zu Beginn der Simulation gelesen werden. Die Eingabeparameter sind

- die zu berücksichtigenden Fruchtarten mit den Parametern
  - monatliche Korrekturfaktoren für die Verdunstung, mögliche Beregnungsmo-nate, Priorität der Beregnung, Mehrertrag und Verkaufspreis,
- die Beregnungsfläche und die Flächenanteile der Fruchtarten jedes Beregnungsnutzers sowie die Bereitstellungskosten des Beregnungswassers,
- Steuerungsparameter für die Beregnung wie
  - maximales pflanzenverfügbares Wasservolumen des Bodens, Start und Ende einer Beregnungsgabe, Mindestwassergabe.

Parameter wie Beregnungsflächen, Preise und Kosten lassen sich für die Simulation von Szenarien mit veränderten Rahmenbedingungen für die Beregnung mittels Faktoren variieren.

### **2.3.3 Ermittlung der landwirtschaftlichen Daten zur Beregnung**

Da WBalMo keine flächenscharfe Berücksichtigung der Wassernutzer ermöglicht, wurde auf die Ableitung von Fruchtfolgen für die beregneten Flächen verzichtet. Er wurde vielmehr davon ausgegangen, dass alle Fruchtarten jedes Jahr auf der Beregnungsfläche eines Wassernutzers angebaut und über die gesamte Laufzeit des Modells beregnet werden. Dazu war die Ermittlung einer flächenmäßigen Fruchtartenverteilung für jeden Wassernutzer Voraussetzung, die sich an vorhandenen Praxisdaten orientieren soll.

Als Datengrundlage zur Ableitung dieser Fruchtartenverteilungen wurden die wasserrechtlichen Erlaubnisse zur Wasserentnahme in den Einzugsgebieten von Nuthe, Plane und Buckau, die landwirtschaftlichen Nutzungsdaten aus InVeKoS sowie die statistischen Erhebungen auf Landkreisebene im Rahmen der Landwirtschaftszählung 2010 verwendet.

Bei der Ableitung der Fruchtartenverteilung wurden nur die wasserrechtlichen Erlaubnisse zur Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser zum Zweck der Beregnung betrachtet. Jede Wasserentnahme wird im Weiteren als ein Nutzer betrachtet und wurde über die zugehörigen Koordinaten den bereits in WBalMo festgelegten Simulationsteilgebieten der Einzugsgebiete von Nuthe, Plane und Buckau zugeordnet (Abbildung 4).

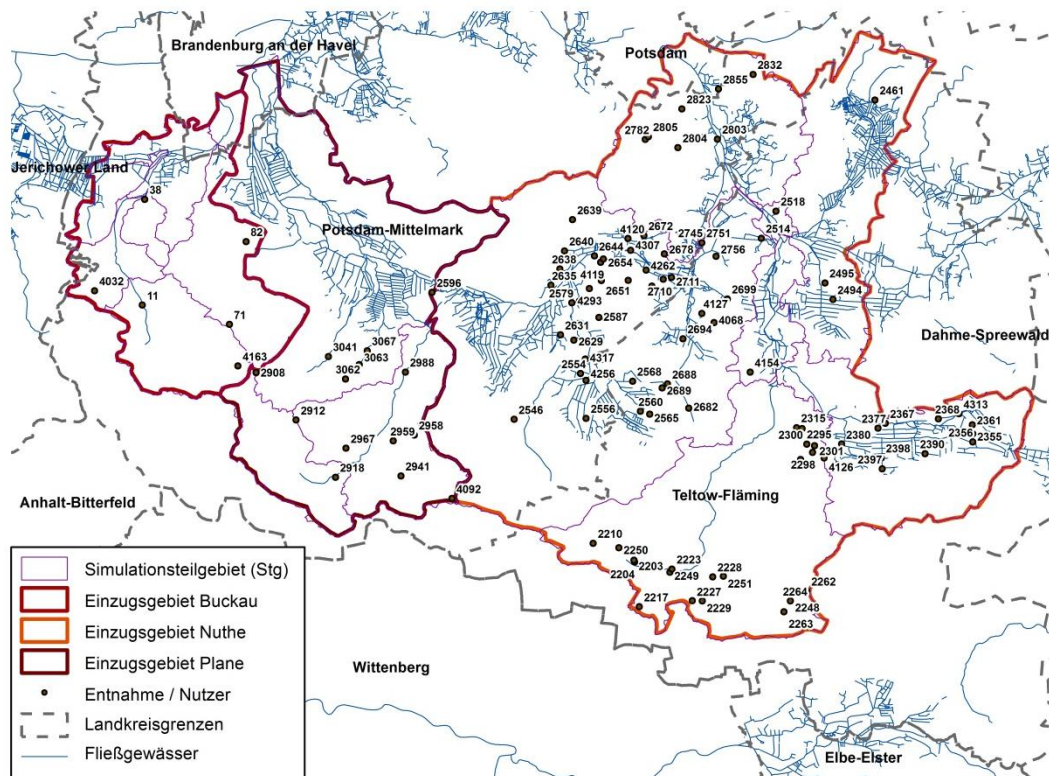


Abbildung 4: Lage der Simulationsteilgebiete und Berechnungsnutzer im Modell-Gebiet

Diese Simulationsteilgebiete wurden in ArcGIS mit dem Digitalen Feldblock Kataster (Kurzbezeichnung: DFBK14/BB) verschnitten (Geobroker 2014), so dass mittels einer InVeKoS-Datenbankabfrage die Gesamtbruttoflächen der in jedem Simulationsteilgebiet angebauten Fruchtarten ermittelt werden konnten. Die InVeKoS-Daten wurden für das Jahr 2009 abgerufen, da sich die verwendeten Daten der Landwirtschaftszählung ebenfalls auf dieses Jahr beziehen.

Anschließend wurden die Simulationsteilgebiete je nach Lage den Landkreisen Teltow-Fläming oder Potsdam-Mittelmark zugeordnet. Nur das Simulationsteilgebiet 12 lag in beiden Kreisen und wurde aufgrund des größeren Flächen- und Nutzeranteils dem Landkreis Potsdam-Mittelmark zugewiesen.

Mit den Daten der Landwirtschaftszählung lagen die Flächengrößen der im Jahr 2009 bewässerten Fruchtarten vor, so dass jeweils der bewässerte Anteil einer Fruchtart an deren absoluter Anbaufläche je Landkreis berechnet werden konnte (Gl 2).

$$f_{ber\ LK_F} = \frac{A_{LK_F}}{A_{ber\ LK_F}}$$

Gl 2

mit  $f_{ber\ LK_F}$  - Anteil der Beregnungsfläche an der Gesamtanbaufläche der Fruchtart im Landkreis

$A_{LK_F}$  Gesamtanbaufläche der Fruchtart im Landkreis (Quelle: Statistisches Landesamt 2012)

$A_{ber\ LK_F}$  beregnete Anbaufläche der Fruchtart im Landkreis (Quelle: Statistisches Landesamt 2012)

Anhand der für jeden Berechnungsnutzer angegebenen Flächengrößen aus den Erlaubnissen zur Wasserentnahme wurde jeweils die gesamte bewässerte Fläche pro Simulationsteilgebiet ermittelt.

Mit der Gl 3 konnte schließlich in jedem Simulationsteilgebiet die Größe der Berechnungsflächen der betreffenden Fruchtarten ermittelt und eine flächenhafte Verteilung dargestellt werden. In wenigen Fällen ergaben sich für einen Nutzer bei dieser Berechnung Kleinstflächen, die dann jeweils der Fruchtart mit der größten Bewässerungsfläche zugeschlagen wurden.

$$A_{ber.,stg_F} = A_{stg_F} \cdot f_{ber_{stg_F}}$$

Gl 3

mit  $f_{ber_{stg_F}}$  Anteil der Berechnungsfläche an der Gesamtanbaufläche der Fruchtart F im Simulationsteilgebiet stg - entspricht je nach Lage des Simulationsteilgebiets  $f_{ber_{LK_F}}$

$A_{stg_F}$  Gesamtanbaufläche der Fruchtart im Simulationsteilgebiet (Quelle: InVeKoS)

$A_{ber.,stg_F}$  berechnete Anbaufläche der Fruchtart im Simulationsteilgebiet

Aus dem Anteil der absoluten Flächen an der Gesamtbewässerungsfläche im Simulationsteilgebiet wurde dann der bewässerte Flächenanteil pro Fruchtart berechnet und jedem Nutzer eines Simulationsteilgebiets zugewiesen.

### 2.3.4 Untersuchung von Bewirtschaftungsszenarien

Für das Fallbeispiel wurden zwei Bewirtschaftungsszenarien entwickelt. Mit dem ersten Szenario (Sz1) soll die aktuelle und künftige Situation der Feldberegnung untersucht werden. Dabei werden die heutigen Beregnungsflächen und deren Bewirtschaftung unverändert belassen. Dieses Szenario wird verwendet, um den Einfluss des Klimas auf die Wirtschaftlichkeit der Beregnung sowie die Verfügbarkeit von Beregnungswasser in der Zukunft zu bewerten. Dazu werden die Ergebnisse dieses Bewirtschaftungsszenarios auf Basis des HYRAS-Datensatzes (Referenzszenario - Ref) und mit der Projektion einer Klimaänderung (Klimaänderungsszenario - KISz) verglichen. Als Klimaänderungsszenario werden die Ergebnisse der Modellkette C20-A1B-EH5r3\_RE-ENS des Max-Planck-Institut für Meteorologie verwendet. Für den Vergleich wurden für eine nahe Zukunft die Periode 2023-2027 und für eine ferne Zukunft die Periode 2048-2052 ausgewählt.

Ein zweites Bewirtschaftungsszenario (Sz2) stellt eine mögliche Zunahme (Verdopplung) der Beregnungsflächen in den Einzugsgebieten dar. Diese soll bis zum Beginn der nahen Zukunft erreicht werden. Danach erfolgt keine weitere Zunahme der Beregnungsfläche. Die auf der Basis des Klimaänderungsszenarios berechneten Ergebnisse des zweiten Bewirtschaftungsszenarios (Sz2) werden für die genannten Perioden mit denen auf derselben Basis im ersten Bewirtschaftungsszenario (Sz1) berechneten verglichen und belegen so den Einfluss eines durch die Flächenvergrößerung entstehenden größeren Wasserbedarfs auf die Wirtschaftlichkeit der Beregnung und den Gebietswasserhaushalt.

## 2.4 Möglichkeiten großräumiger Wassermanagementverfahren

Auf Grundlage einer Literaturrecherche wurden Informationen zu bestehenden Wasserüberleitungen zusammengetragen und an zwei Beispielen (Main-Donau-Kanal, Mittellandkanal) erläutert.

In einer räumlichen Analyse wurden potentielle Flächen ermittelt, die in Reichweite von existierenden Wasserstraßen liegen und somit für eine Wasserüberleitung in Frage kommen. Aus dem Elbe-Seitenkanal wird derzeit entnommenes Wasser auf einer Fläche von 11.250 ha in einem Korridor von 2 km westlich und östlich des Kanals für die landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt (Behrens 2012). Auf dieser Grundlage wurde in ArcGIS für alle existierenden großen Kanäle, die mindestens zwei Flussgebietseinheiten 1. und 2. Ordnung (Quelle: European Environment Agency) durchqueren, ein 2-km-Korridor zu beiden Uferseiten des jeweiligen Kanals angelegt und diese Flächen mit den Ackerflächen aus der BÜK1000 überschritten. Auf den so ermittelten potentiellen Bewässerungsflächen könnte das entnommene Oberflächenwasser in einem Umkreis von max. 2 km verteilt werden, ohne dass weitere Überleitungssysteme in Anspruch genommen werden müssen.

## **2.5 Mögliche politische Konsequenzen**

Basierend auf den Ergebnissen zum landwirtschaftlichen Wassermanagement werden mögliche Konsequenzen für die Politik abgeleitet. Diese politischen Handlungsempfehlungen stützen sich dabei auf die Analyse rechtlicher Hindernisse oder Schwachstellen und dem damit einhergehenden Regelungsbedarf bei den betrachteten Managementsystemen (Bundesgesetze und Verordnungen). Erfahrungsgemäß sind rechtliche Vorgaben bei der Errichtung oder dem Betrieb solcher Systeme ein bedeutendes Element für die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen.

Für die in diesem Zusammenhang gefundenen Aspekte mit Regelungsbedarf wurden Ansätze zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens für eine Politikempfehlung aufbereitet. Dazu gehört die Bewertung künftiger Fördermöglichkeiten von Initiativen zum landwirtschaftlichen Wassermanagement. Hierzu zählt insbesondere die Eignung einzelner Managementsysteme als Anpassungsmaßnahmen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union und dort insbesondere in der zweiten Säule.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Das landwirtschaftliche Wassermanagement in Deutschland heute

#### 3.1.1 Wasserdargebot für die Landwirtschaft

##### Niederschlag und Klimatische Wasserbilanz

Die Jahresniederschläge fallen in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich aus. 64 % der Flächen der neuen Bundesländer und Niedersachsens erhalten nur 400-600 mm Niederschlag pro Jahr. In den anderen Bundesländern liegt der Jahresniederschlag auf mehr als 70 % der Flächen über 600 mm. In der Vegetationsperiode von April bis Oktober stehen für die landwirtschaftlichen Kulturen in Sachsen-Anhalt und Brandenburg, im Südosten Mecklenburgs sowie im Rheingraben weniger als 400 mm Niederschläge im Mittel der Jahre 1981-2010 zur Verfügung (Abbildung 5).

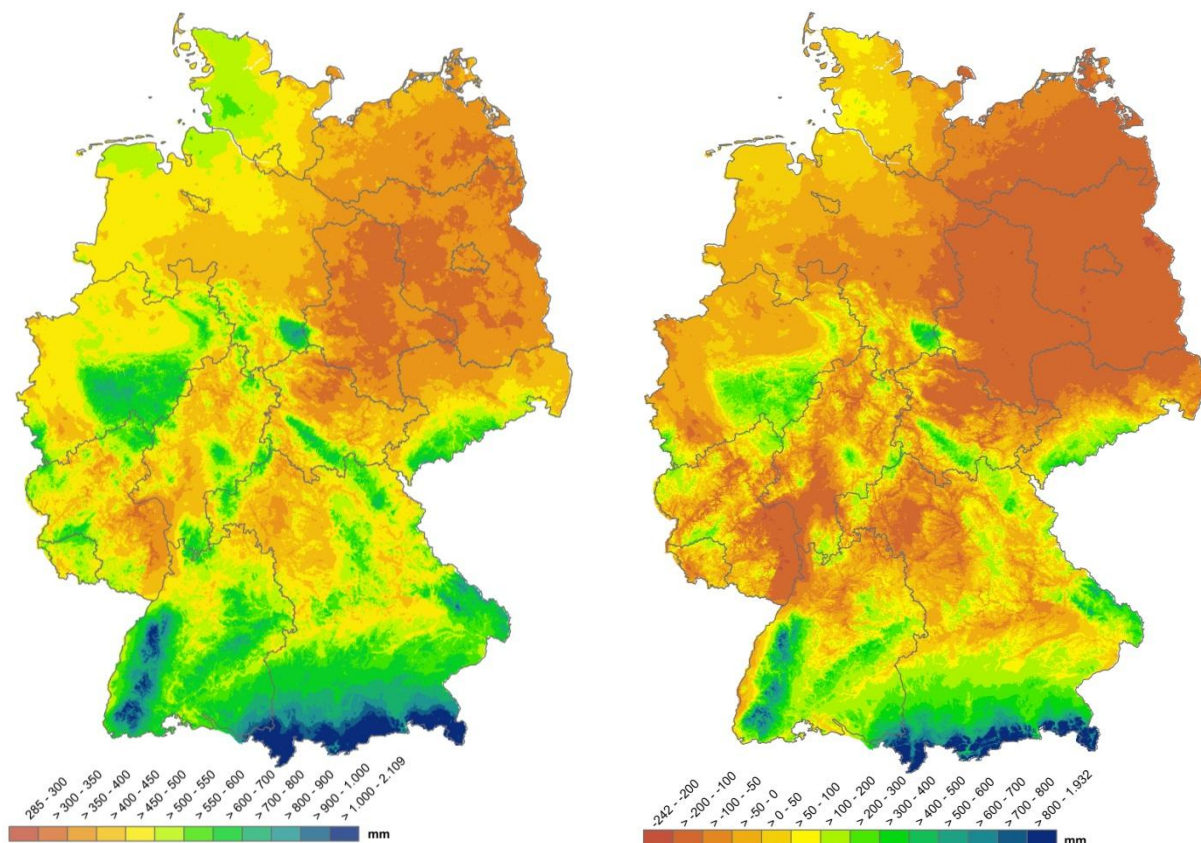


Abbildung 5: Niederschlag (links) und Klimatische Wasserbilanz (rechts) für die Vegetationsperiode April bis Oktober der Jahre 1981-2010 (DWD)

Mit der klimatischen Wasserbilanz desselben Zeitraums (Abbildung 5) lassen sich Standorte an denen die Verdunstung höher als die Niederschlagsmenge ausfällt als Defizitstandorte bewerten. Das betrifft den gesamten Bereich des Nordöstlichen Tieflandes von Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg sowie für Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. Weitere Regionen mit negativer klimatischer Wasserbilanz während der Vegetationsperiode sind die Lüneburger Heide, sowie Teile des Oberrheinischen Tieflandes und der Region Franken. In diesen Regionen ist, dort wo das Wasserdefizit nicht durch die kapillare Nachlieferung aus dem Grundwasser abgebaut werden kann, potentiell Trockenstress und somit ein hoher Be-

wässerungsbedarf zu erwarten. Auf Bundeslandebene gerechnet existiert in Bayern und Baden-Württemberg ein Wasserüberschuss.

## Boden

Neben den klimatischen Faktoren bestimmt auch die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers im Boden den Wasserhaushalt eines Pflanzenstandortes. Entscheidend für die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers sind vor allem die Wasserspeichermöglichkeit, die Wasserleitfähigkeit sowie ggf. der Grundwasserflurabstand. Das in der BÜK1000 angegebene pflanzenverfügbare Wasservolumen ( $nFK_{we}$ ) für die Ackerflächen in Deutschland ist in der Abbildung 6 dargestellt. Dabei haben Sandböden eher eine geringe  $nFK_{we}$ , während Löß-Böden (z.B. in der Magdeburger Börde oder im Thüringer Becken) deutlich höhere Werte aufweisen.

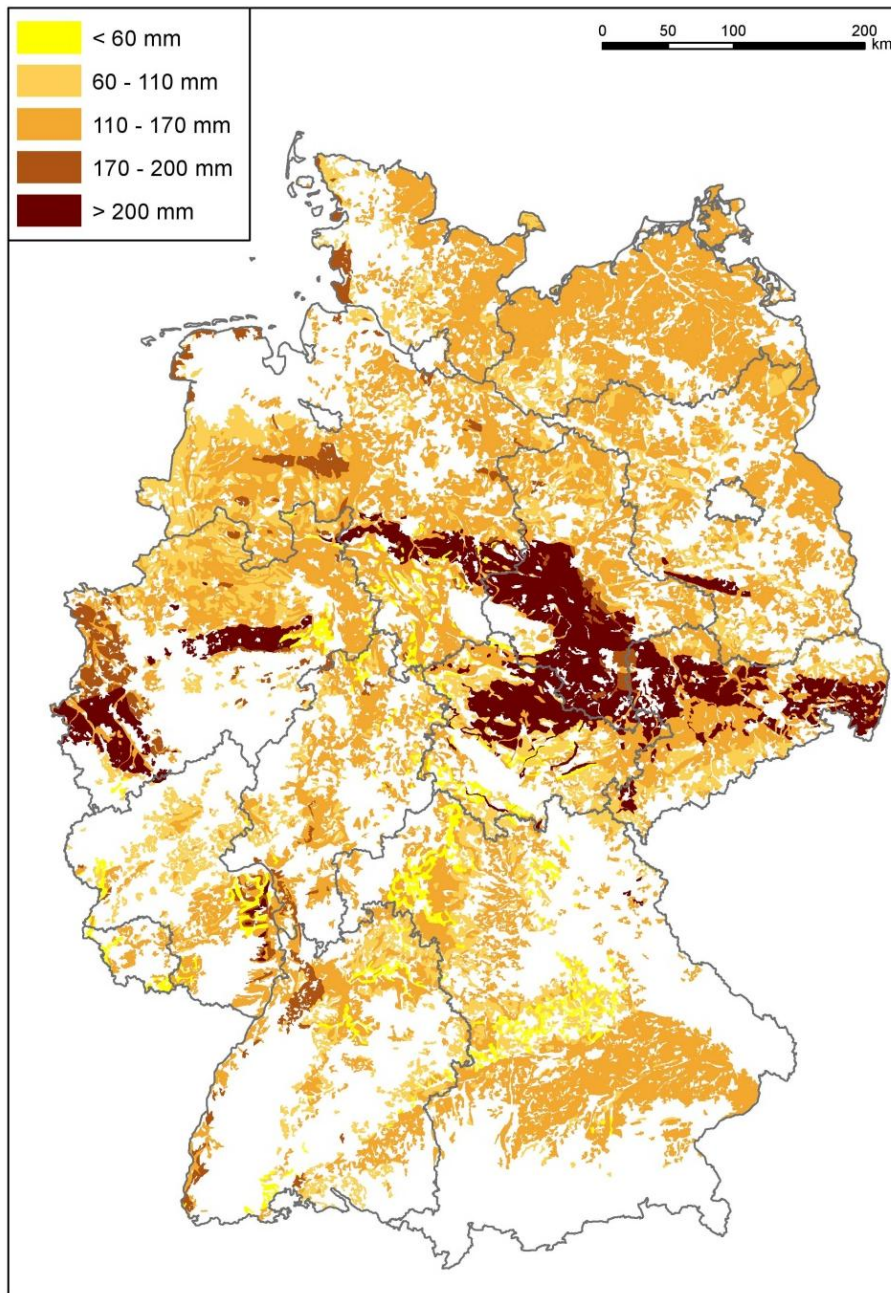


Abbildung 6: Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nach BÜK1000)

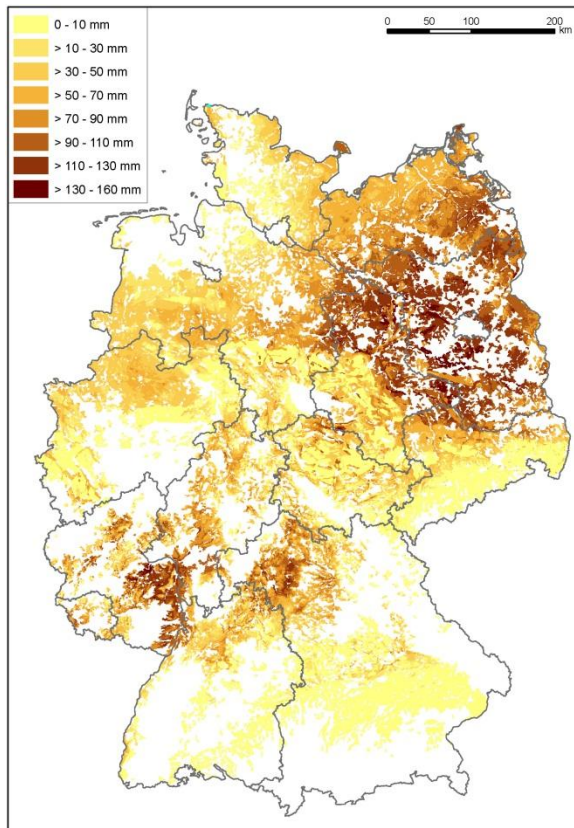
### **3.1.2 Zusatzwasser für die Landwirtschaft**

#### **3.1.2.1 Zusatzwasserbedarf**

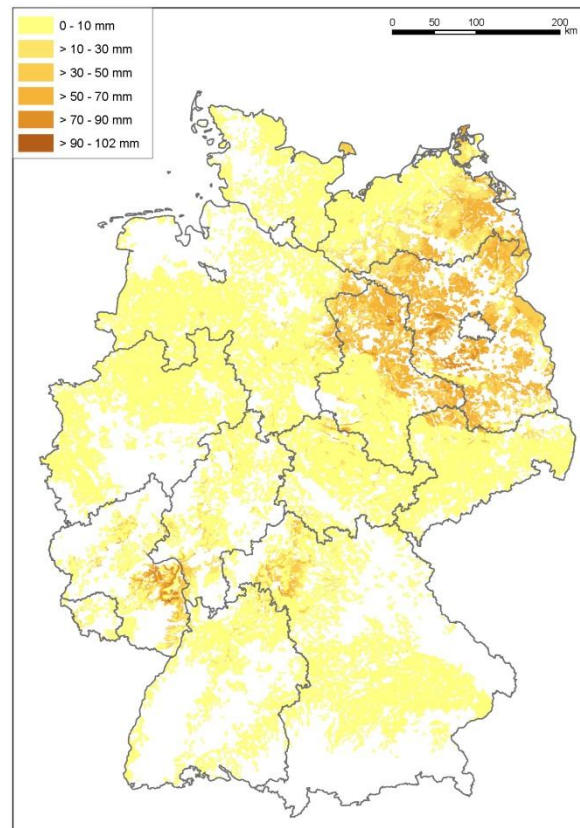
Wasser, das zusätzlich zum natürlichen, pflanzenverfügbaren Wasserdargebot für die Landwirtschaft nutzbar sein soll, wird als Zusatzwasser bezeichnet und wird gewöhnlich aus dem Grund- oder Oberflächenwasser entnommen. Ist das nicht möglich, könnte es mit Wasserspeichern oder Wasserüberleitungen gestützt werden. Wasserspeicher werden dazu in der Zeit mit Wasserüberschuss aufgefüllt, so dass das Beregnungswasser bei späterem Bedarf daraus entnommen werden kann. Aus benachbarten Einzugsgebieten, die einen ausreichenden Wasserüberschuss zur Verfügung haben, könnte mittels Wasserüberleitung auch Wasser zur Beregnung herangeführt werden.

Zum mittleren jährlichen Zusatzwasserbedarf ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen gibt Abbildung 7 einen groben regionalen Überblick für Deutschland. Wie gut die Böden für den Anbau einzelner Fruchtarten geeignet sind bleibt dabei unberücksichtigt und wegen der verwendeten stark aggregierten Eingangsdaten ist die Ableitung punktgenauer Aussagen kaum möglich.

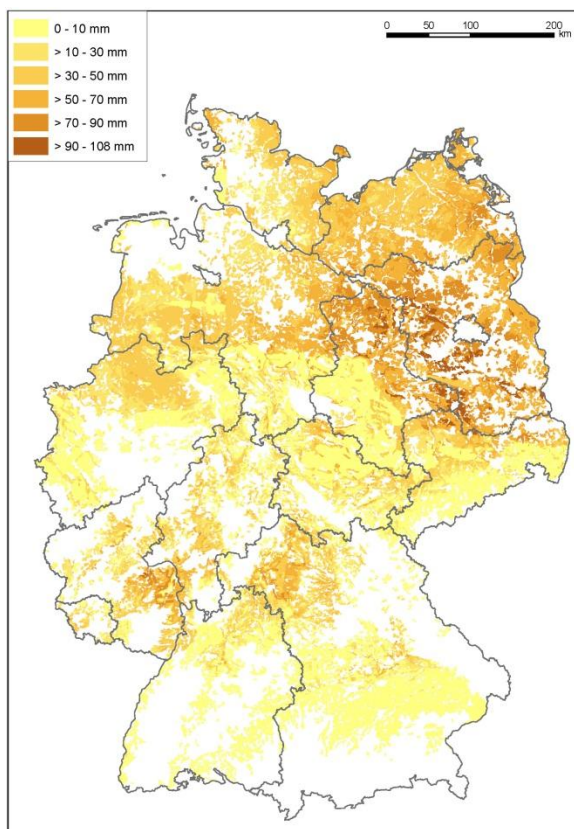
Die höchsten Zusatzwasserbedarfe bestehen erwartungsgemäß in Gebieten mit geringen Niederschlägen während der Vegetationsperiode und Böden, die eine geringe Wasserspeicherfähigkeit aufweisen (vgl. dazu auch Abbildung 5 und Abbildung 6). Das betrifft vor allem Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, den Norden Sachsens-Anhalts, Niedersachsen aber auch Rheinlandpfalz. Die Zusatzwasserbedarfe variieren stark je nach Kulturart. So werden für Kartoffeln im Flächenmittel 46 mm mit im Maximum bis zu 160 mm Zusatzwasser benötigt. Den größten flächengewichteten mittleren Zusatzwasserbedarf hat mit 63 mm allerdings der Winterweizen, wobei das Maximum noch deutlich unter dem der Kartoffeln liegt. Mit 29 mm beim Winterroggen und 9 mm beim Mais wird im Flächenmittel deutlich weniger Zusatzwasser benötigt. Die maximalen Werte beider Kulturen liegen bei etwas über 100 mm eng bei einander.



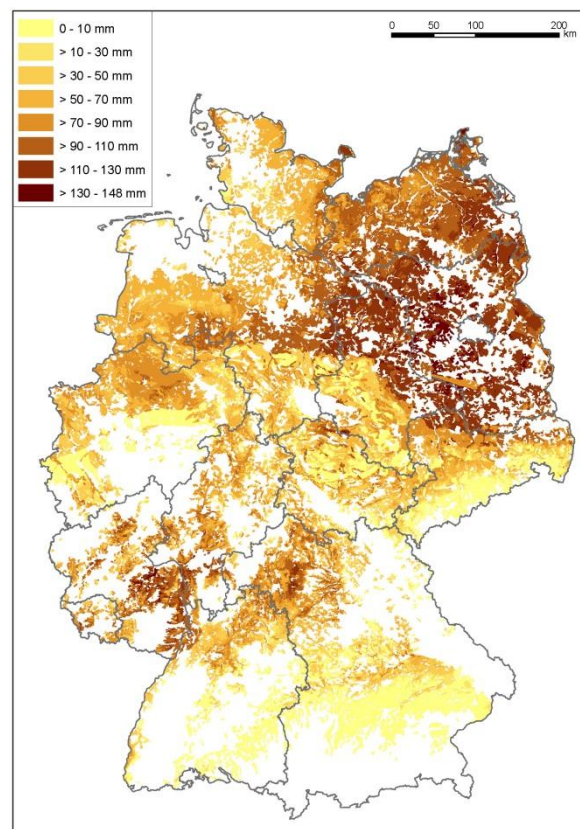
ZWB Kartoffeln



ZWB Mais



ZWB Winterroggen



ZWB Winterweizen

Abbildung 7: Mittlerer Zusatzwasserbedarf (ZWB) für Kartoffeln, Mais, Winterroggen und Winterweizen (Datenquelle: DWD, BÜK1000)



### 3.1.2.2 Grundwasser

Etwa 49 Mrd. m<sup>3</sup>, also 26 % des Gesamtwasserdargebots Deutschlands, sind Grundwasser. In Deutschland sind 980 Grundwasserkörper (abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter) ausgewiesen, deren Größen zwischen einigen km<sup>2</sup> und mehr als 1.000 km<sup>2</sup> variieren (Bannick 2008).

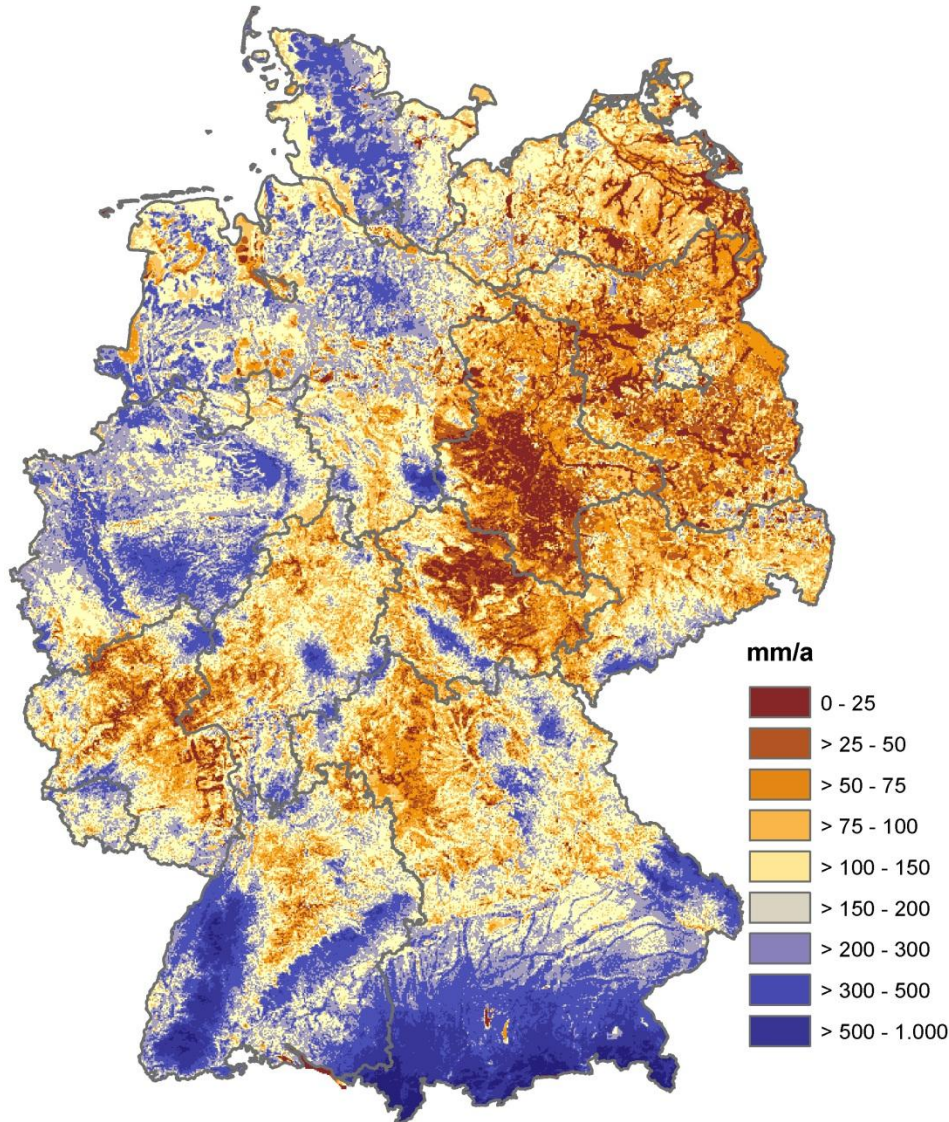


Abbildung 8: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung 1961-1990 (Datenquelle: HAD 2003)

Die Grundwasserneubildung berechnet sich für ein bestimmtes Einzugsgebiet aus der jährlichen Niederschlagsrate, der Evapotranspiration und dem oberirdischen Abfluss. Sie ist abhängig von den Klima- und Bodenverhältnissen eines Standortes sowie dessen Nutzungsart.

Im Nordosten Deutschlands, insbesondere in Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen, werden die geringsten Grundwasserneubildungsraten ausgewiesen (Abbildung 8). Hier liegt die Grundwasserneubildung zum Teil unter 25 mm/a. Besonders in Brandenburg und Vorpommern ist dafür die hohe Verdunstung der zahlreichen Gewässer und grundwassernahen Niederungsgebieten maßgeblich, die insgesamt einen hohen Flächenanteil aufweisen (HAD 2003). Aber auch im Südwesten Deutschlands ist die Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz eher gering. Die höchsten Grundwasserneubildungsraten zeigen Bayern und Baden-Württemberg mit über 500 mm/a Grundwasserneubildung in den Hochlagen der Alpen.

### 3.1.2.3 Gesamtabfluss

Der Gesamtabfluss ist die Summe des unter- und oberirdischen Abflusses und kann mittels Flächenaggregation zur Schätzung des mittleren Wasserdargebotes in Oberflächengewässern genutzt werden. Als Bilanzgröße aus den langjährigen Mitteln aus Niederschlag und Verdunstung, Zu- und Abfluss sowie den durch Wasserentnahmen hervorgerufenen Nutzungsverlusten ist er klimatisch gesteuert sowie zeitlich und räumlich variierend.

Die in Abbildung 9 dargestellte Abflusshöhe liegt in Deutschland zwischen  $< 100$  mm/a im Nordosten bis  $> 2.000$  mm/a in den Hochlagen der Alpen und ist geprägt durch die großräumigen unterschiedlichen Niederschlagshöhen. Boden und Landnutzung beeinflussen den Gesamtabfluss zusätzlich. Die maximale Schwankungsbreite reicht von  $-258$  mm/a im Nordosten (geringer Niederschlag, hohe tatsächliche Verdunstung) bis  $3.344$  mm/a in den Hochlagen der Alpen (sehr hohe Niederschläge, Schneebedeckung, fehlende Vegetation).

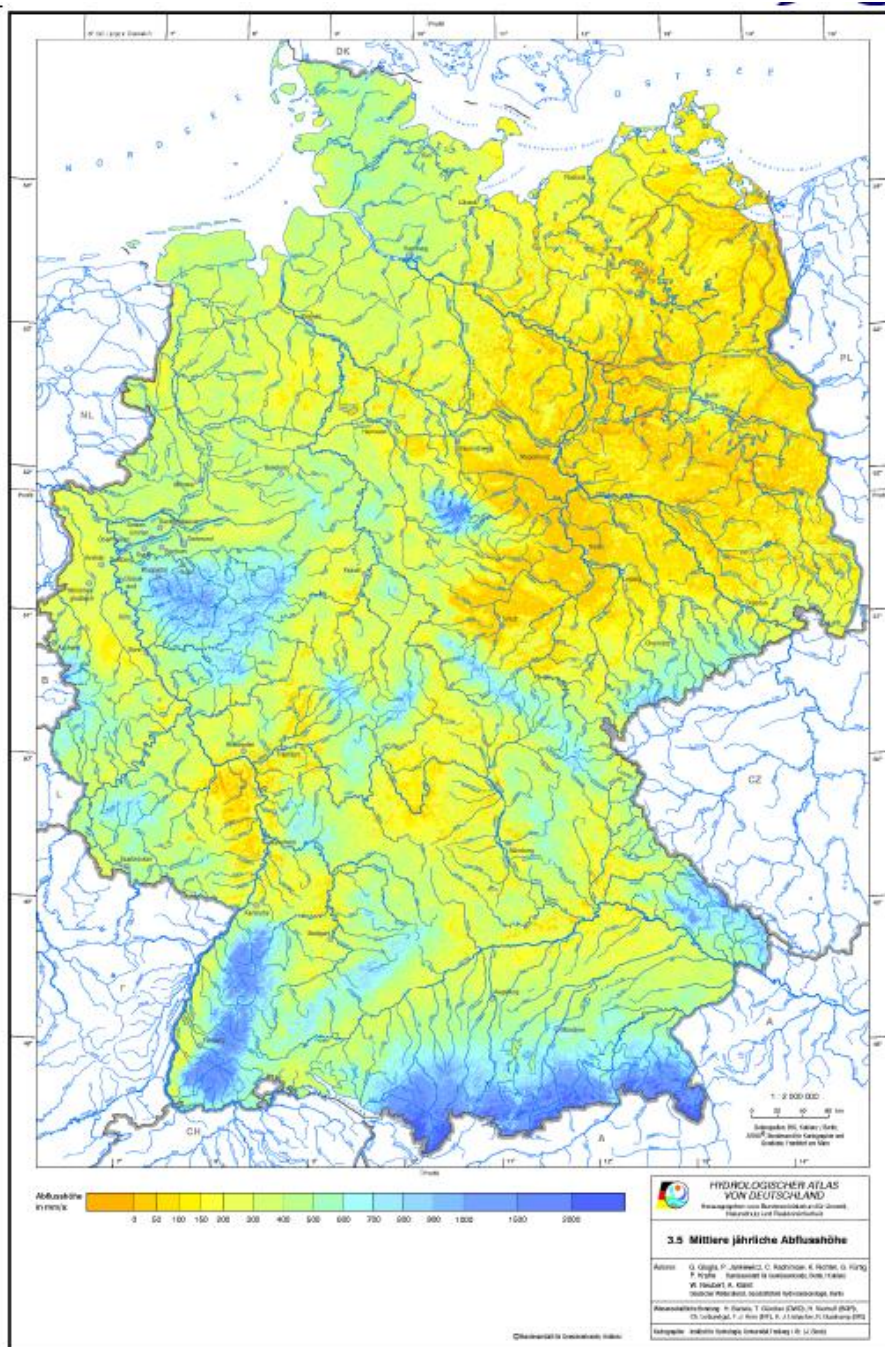


Abbildung 9: Mittlere jährliche Abflusshöhe für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD 2003)

### 3.1.2.4 Trink- und Brauchwasserentnahmen ohne Landwirtschaft

Etwa zwei Drittel des Trinkwasserbedarfs werden in Deutschland aus dem Grundwasser gedeckt. Im Jahr 2010 wurden bundesweit 5.080.663.000 m<sup>3</sup> für die öffentliche Wasserversorgung gefördert. Davon stammten 3.103.917.000 m<sup>3</sup> aus dem Grundwasser, das entspricht 61 % der Gesamtmenge.

Dabei gibt es jedoch große Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern. Während einige nahezu 100% des Trinkwassers aus dem Grundwasser entnehmen, nutzen andere auch Oberflächenwasser oder Uferfiltrat (s. Abbildung 10) (Statistisches Bundesamt 2013b).

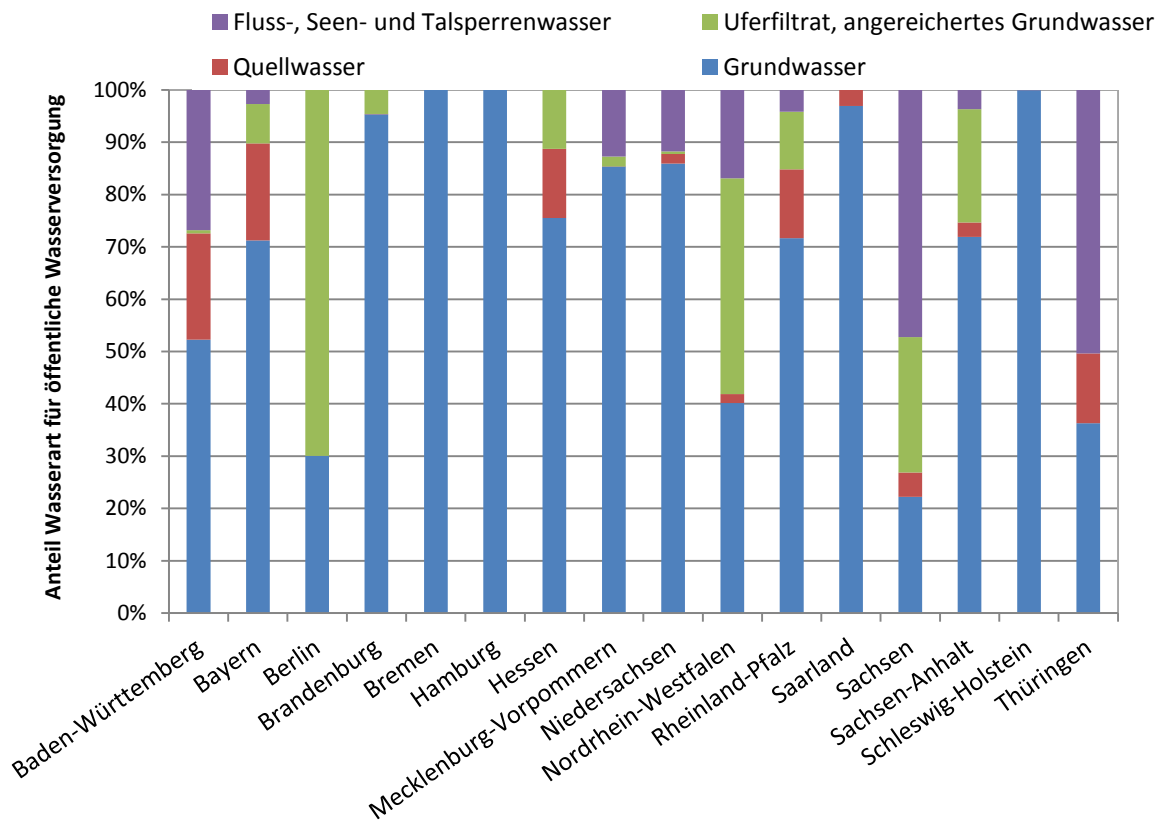


Abbildung 10: Anteil der Wasserart an der Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung im Jahr 2010 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2013b).

Den größten Wasserbedarf haben jedoch die produzierenden oder verarbeitenden Industrien. Kraftwerke zur Strom- und Wärmeerzeugung entnehmen nahezu alles benötigte Wasser (meist Kühlwasser) aus Oberflächengewässern. Ein großer Teil der für die Industrie entnommenen Wassermengen wird jedoch nicht verbraucht, sondern geht zurück in die Gewässer. Bei anderen Wirtschaftszweigen liegt der Grundwasseranteil bei etwa 30 %. Im Jahr 2010 wurden bundesweit 27.955.332.000 m<sup>3</sup> für die nichtöffentliche Wasserversorgung gewonnen. Davon stammten 25.125.626.000 m<sup>3</sup> aus Oberflächengewässern, das entspricht nahezu 90 %. Es gibt jedoch auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern (s. Abbildung 11). Die Grundwasserentnahmen für die nichtöffentliche Wasserversorgung lagen 2010 insgesamt bei 2.246.914.000 m<sup>3</sup> (Statistisches Bundesamt 2013a). (Bannick 2008). Im Vergleich dazu fallen die Wasserentnahmen zum Zweck der landwirtschaftlichen Bewässerung von 293.374.000 m<sup>3</sup> im Jahr 2009 (Statistisches Bundesamt 2011) gering aus (vgl. Kapitel 0).

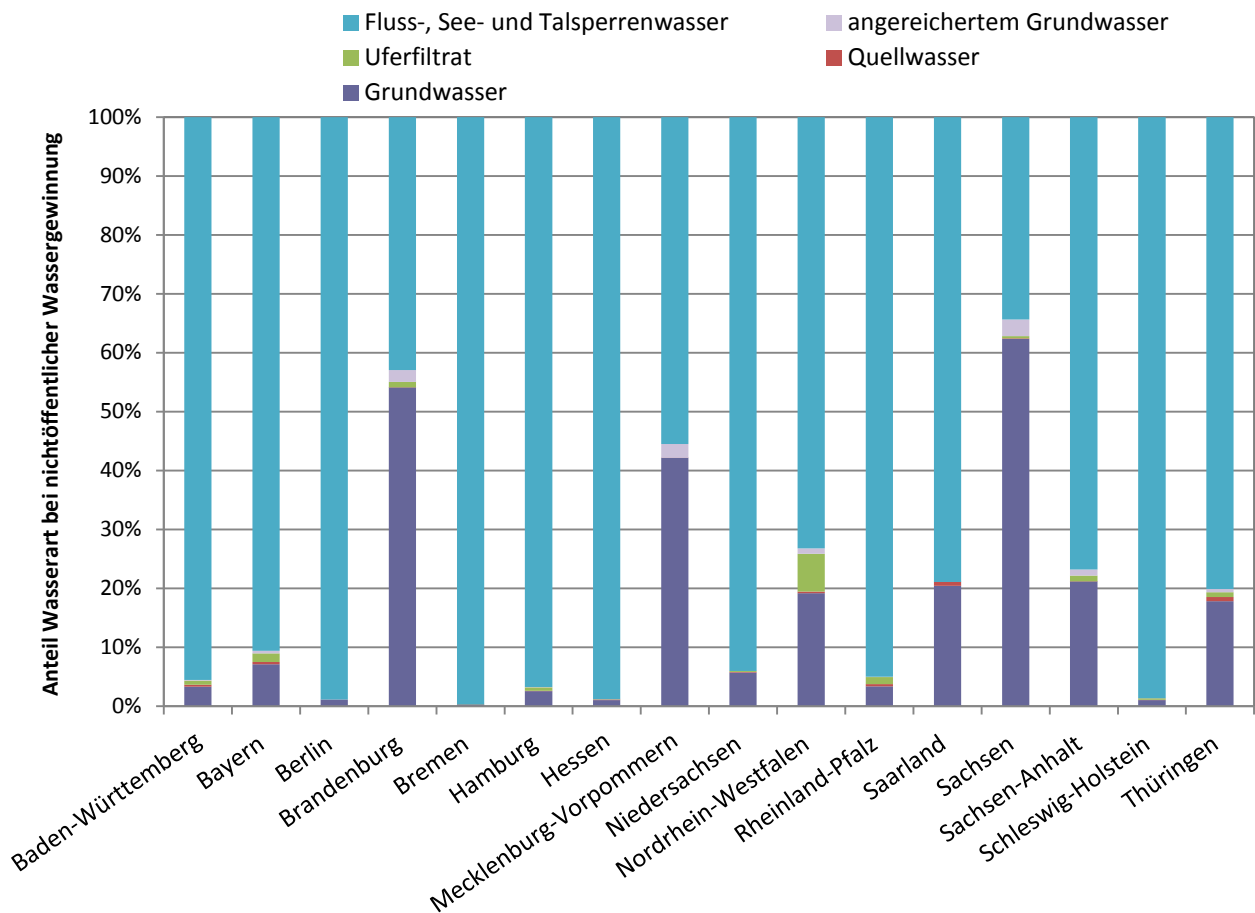


Abbildung 11: Anteil der Wasserart an der Wassergewinnung für die nichtöffentliche Wasserversorgung im Jahr 2010 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2013a)

### 3.1.2.5 Mengenmäßiger Zustand des Grundwassers

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert für alle Grundwasserkörper einen guten mengenmäßigen Zustand. Parameter ist der Grundwasserspiegel. Der mengenmäßige Zustand wird als „gut“ bewertet, wenn die mittlere jährliche Entnahme langfristig nicht höher als das nutzbare Grundwasserdargebot ist. Weiterhin darf der Grundwasserspiegel keinen anthropogenen Veränderungen unterliegen, die zu einem Verfehlen der ökologischen Qualitätsziele für die mit dem Grundwasserkörper in Verbindung stehenden Oberflächengewässer, zu einer signifikanten Verringerung der Qualität dieser Gewässer oder zu einer signifikanten Schädigung der unmittelbar vom Grundwasserkörper abhängigen Landökosysteme führen würden (Grundwasserverordnung des Bundes).

2010 wiesen lediglich 4 % der Grundwasserkörper keinen mengenmäßig guten Zustand nach EU-WRRL auf (Bannick 2008). Diese befinden sich vor allem in Bergbauregionen (Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Brandenburg), da hier über viele Jahrzehnte die Grundwasserspiegel stark abgesenkt wurden (Abbildung 12). Durch landwirtschaftliche Wasserentnahmen überbeanspruchte Grundwasserkörper sind bislang nicht bekannt.

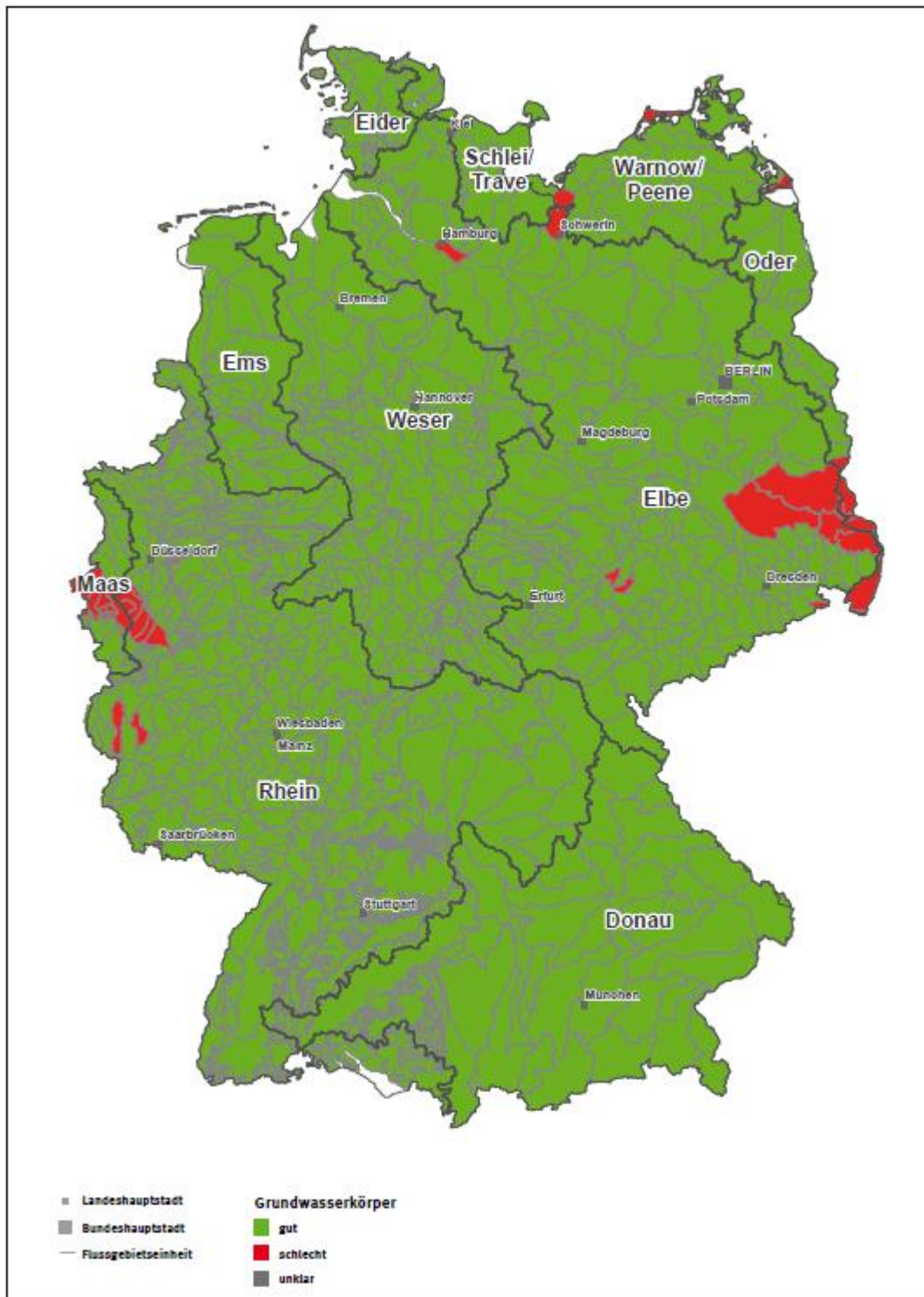


Abbildung 12: Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper (Arle 2013)

### 3.1.2.6 Wasserspeicherung

Die Wasserspeicherung ist in Talsperren, Stauseen oder künstlich angelegten Wasserspeicherbecken möglich. Speicher können unterschiedliche Nutzungsansprüche bedienen, die dann auf einander abzustimmen sind. Das für die landwirtschaftliche Bewässerung verfügbare Speichervolumen kann dadurch auch beschränkt sein. So werden Talsperren häufig primär zur Trink- und Brauchwassergewinnung, aber auch als Hochwasserschutz oder zur Stromerzeugung eingesetzt. Die meisten Talsperren werden in Nordrhein Westfalen betrieben, gefolgt von Sachsen und Thüringen.

Die Thüringer Fernwasserversorgung (TFW) betreibt z.B. 34 Brauchwassertalsperren, wovon einige auch Rohwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung liefern. Abbildung 13 zeigt die jährlichen Rohwasserentnahmen aus drei ausgewählten Talsperren für die Jahre 1999 bis 2010. Der größte Anteil des Bewässerungswassers wird aus der Talsperre Seebach bereitgestellt. Die Entnahmemengen liegen insgesamt im Bereich zwischen 500.000 m<sup>3</sup>/a und > 100.000 m<sup>3</sup>/a. Im „Trockenjahr“ 2003 stiegen die Entnahmen jedoch bis auf etwa 1.000.000 m<sup>3</sup>/a an.

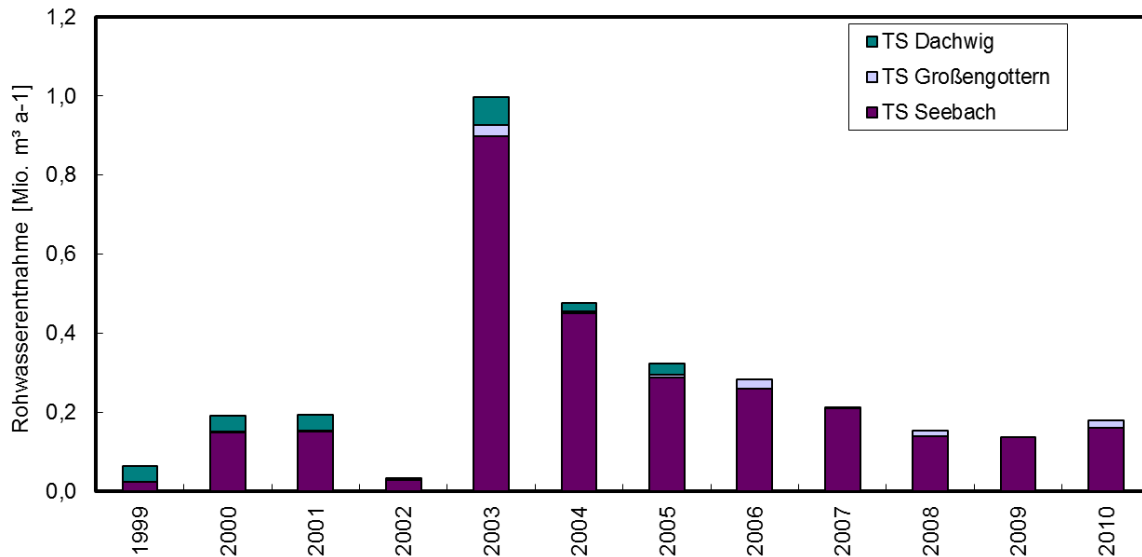


Abbildung 13: Jährliche Rohwasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerung aus ausgewählten Talsperren des Thüringer Fernwasserversorgungsnetzes (TFW) (Quelle: Herr Möller, Thüringer Fernwasserversorgung 2014)

In Thüringen gibt es aber auch etwa 60 Talsperren, die seit den 1960er Jahren speziell zur landwirtschaftlichen Bewässerung angelegt wurden für die jedoch kein Staurecht existiert bzw. kein Staurechtsinhaber ermittelt werden konnte. Da der Betrieb und die Unterhaltung dieser sogenannten „herrenlosen Speicher“ seit einigen Jahren nicht mehr ordnungsgemäß erfolgte, wurde mit der Novellierung des Thüringer Wassergesetzes im Jahr 2009 (§ 67 Abs. 5 ThürWG) die Unterhaltung, Instandsetzung oder Beseitigung dieser Anlagen auf die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) übertragen (TLUG, 2014).

Diese Talsperren befinden sich zum größten Teil in Ostthüringen, wo das natürliche Niederschlagsdargebot in der Vegetationszeit mehr als 400 mm beträgt, nur etwa ein Zehntel befindet sich im zentralen Thüringer Becken, welches mit seinen geringen Niederschlägen zu den trockensten Regionen Deutschlands zählt (vgl. Kapitel 3.1.1 und 3.1.2.1).

Eines der wenigen Beispiele für die Speicherung von landwirtschaftlichem Zusatzwasser im Tiefland findet sich östlich von Uelzen. Seit 2003 wird hier das Produktionsabwasser einer Zuckerfabrik während der Zuckerproduktion (September bis Januar) in einem 14 ha großen und 750.000 m<sup>3</sup> fassenden, künstlich angelegten Speicherbecken gesammelt (Wasserspeicher Stöcken). Nach einer Karenzzeit, in welcher auch Wasseruntersuchungen durchgeführt werden, wird das Wasser in den Monaten Mai bis August zur landwirtschaftlichen Bewässerung verwendet. Aufgrund der großen Mengen an anfallendem Produktionsabwasser und scheinbar positiven Erfahrungen wird derzeit ein weiterer Wasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 400.000 m<sup>3</sup> errichtet (Wasserspeicher Borg) (Behrens 2012).

### **3.1.2.7 Grundwasseranreicherung**

Bei der Grundwasseranreicherung wird dem Grundwasser über Versickerungsanlagen Oberflächenwasser oder gereinigtes Abwasser (Klarwasser) zugeführt. Dabei soll der infolge einer Entnahme entstandene Absenktrichter wiederaufgefüllt werden. Das dafür benötigte Wasser muss oft erst an die Versickerungsanlagen herangeführt werden. Soll dafür Oberflächenwasser verwendet werden bestehen allerdings zeitliche Einschränkungen hinsichtlich seiner Verfügbarkeit. Die ist nur in den oft kürzeren Zeitspannen ausreichender Abflussüberschüsse, im späten Winter und frühen Frühjahr, weniger im Sommer gegeben. Eine Grundwasseranreicherung durch Infiltration von aufbereitetem Rheinwasser wird beispielsweise im Hessischen Ried vom dortigen Wasserverband zur Stabilisierung der Grundwasserstände gemäß Grundwasserbewirtschaftungsplan betrieben. Die Infiltration wird von den Wasserbehörden überwacht und so gesteuert, dass sie Wald und Naturschutz nützt, jedoch den Siedlungsflächen nicht schadet (HMULV Hessisches Ministerium für Umwelt 2005).

Dem Einsatz von Klarwasser im landwirtschaftlichen Bereich stehen oft Bedenken zu Wassergüterisiken gegenüber. Dies wird derzeit in einem UFOPLAN-Forschungsprojekt „Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung“ untersucht (UFOPLAN Kennziffer: 371321232).

### **3.1.2.8 Wasserüberleitung**

Wird Wasser aus einem Einzugsgebiet in ein anderes transportiert, um es dort nutzen zu können, spricht man von Wasserüberleitungen. Höhenunterschiede werden dabei mittels Pumpensystemen überwunden. Die Überleitungen können kleinräumig mit ober- oder unterirdischen Systemen realisiert sein oder großräumig sowohl aktuelle oder nicht mehr benutzte Schifffahrtsstraßen als auch Kanäle umfassen, die zu anderen Zwecken angelegt wurden. Aber auch natürliche Gewässer, wie Fluss, Fließ oder Bach werden für die Brauchwasserweiterleitung genutzt. Während insbesondere bei den Schifffahrtsstraßen durchaus größere Entfernungen der Wasserüberleitung über mehrere Einzugsgebiete hinweg möglich scheinen, werden diese bei den natürlichen Gewässern meist durch ihre Länge begrenzt.

Beträchtliche Wasserüberleitungen sind vorwiegend im internationalen Kontext bekannt. Großräumige Projekte, wie z.B. in Spanien (Tagus-Segura-Überleitung), bei denen große Wassermengen aus vermeintlichen „Überschussgebieten“ in trockenere Regionen mit einem hohen Bedarf an Bewässerungs- oder Brauchwasser umgeleitet werden, sind jedoch nicht nur aus gewässerökologischer Sicht umstritten. Aufgrund des höheren Wasserangebots entstehen Anreize den Wasserverbrauch in den Empfängerregionen nicht zu reduzieren, sondern noch weiter auszudehnen. Zwischen beiden Regionen entwickeln sich Konflikte, da aufgrund der Überleitung auch in der wasserliefernden Region Wasserknappheit entsteht, die wasserempfangenden Regionen das übergeleitete Wasser hingegen als gegeben ansehen (WWF Germany 2009).

Wenn auch nicht in solch großen Maßstäben, so sind doch auch in Deutschland Wasserüberleitungen zwischen oder innerhalb von Flusseinzugsgebieten bekannt. Ziele der Wasserüberleitungen sind vor allem die Trinkwasserversorgung, die Bereitstellung von Zusatzwasser für die Schifffahrtsstraßen oder die Wiederauffüllung der Grundwasserabsenkungen aus dem Ta-gebaubetrieb.

Ein Beispiel für Wasserüberleitungen innerhalb eines Flusseinzugsgebiets ist die Fernwasserversorgung in Baden-Württemberg, bei der Wasser aus dem Bodensee (FGG Rhein) zur Wasserversorgung der Ballungsräume entlang des Neckars entnommen wird. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts wird für den Ballungsraum zwischen Stuttgart und Heilbronn vom Bodensee, dem westlichen Schwarzwald sowie zum Teil aus der Donau Wasser zugeführt, das als Abwasser letztendlich dem Neckar zugutekommt. Diese Form der Überleitung ist größtenteils

einzugsgebietsneutral, da das Wasser über Kläranlagen wieder dem Neckar zugeführt wird und so innerhalb des Rheineinzugsgebietes bleibt. Seit den achtziger Jahren beträgt der Wassertransfer ca. 200 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr (Kahlenborn und Kraemer 1999).

Ein Beispiel für die Zusatzwasserbereitstellung für die Schifffahrtstraßen (Abbildung 14) findet sich am „Westdeutschen Kanalnetz“, das verkehrsreichste Wasserstraßennetz in Europa, welches vom Wasserverband Westdeutsche Kanäle (WWK) betrieben wird (MUNLV NRW 2014).

Es umfasst den Niederrhein, Rheingraben-Nord, Ruhr, Emscher und Lippe bis zum Einzugsgebiet der Weser. Zum Ausgleich der Verluste durch Schleusen und Undichtigkeiten können über Pumpanlagen bis zu 40 m<sup>3</sup>/s Wasser aus der Ruhr (Duisburg) und – in Trockenzeiten zusätzlich – aus dem Rhein (Wesel) in den Rhein-Herne-Kanal und Wesel-Datteln-Kanal überführt werden. Diese Pumpkette dient auch der Sicherstellung eines Mindestabflusses in der Lippe, die bei Hamm mit Kanalwasser beaufschlagt werden kann. Bei erhöhter Wasserführung der Lippe kann dort auch Wasser in das Kanalnetz übergeleitet werden (MUNLV NRW 2014).

Überleitungen an der Elbe und Spree sind meist in Zusammenhang mit der Weiterleitung von Sumpfungswässern, zur Trinkwassergewinnung oder der Aufrechthaltung von Mindestabflussmengen angelegt worden. So werden jährlich 126 Mio. m<sup>3</sup> aus dem Elbe-Havel-Kanal in die Havel übergeleitet, ca. 70 Mio. m<sup>3</sup> aus der Bode in die Rappode zur Trinkwassergewinnung geleitet und ca. 55 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr (Ø der Jahre 2005 bis 2008) an Flutungswasser aus der Spree zur Flutung der Bergbaufolgeseen im sächsischen Teil des Lausitzer Braunkohlenreviers verwendet (FGG Elbe 2009).

Zwei Überleitungen, die auch für die landwirtschaftliche Bewässerung eine Rolle spielen, sind der Main-Donau-Kanal und der Elbe-Seitenkanal. Sie werden im Folgenden näher erläutert. Der Wasserstandsausgleich in Flussgebieten wird dabei am Beispiel der Wasserüberleitung von der Donau zum Main dargestellt.



# BUNDESWASSERSTRASSEN



Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Januar 2014, Karte W 162 o  
 Kartographie: Fachstelle für Geoinformationen Süd, Regensburg, zur Verfügung gestellt gemäß GeoNutzV  
 Bundeswasserstraßen, die eine Länge von unter 5 km aufweisen, sind maßstabsbedingt teilweise nicht dargestellt.

- Hoheitsgrenze
- - - Staatsgrenze
- · · Landesgrenze
- ▨ Seewasserstraßen des Bundes
- ▬ Binnenwasserstraßen des Bundes
- ▬ nicht klassifizierte BinWaStr
- ▬ WaStr-Klasse I - III
- ▬ WaStr-Klasse IV - VI

Abbildung 14: Karte der Bundeswasserstraßen (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Januar 2014)

### **Main-Donau-Kanal**

Der Main-Donau-Kanal verbindet die Einzugsgebiete des Mains (FGG Rhein) und der Donau (Abbildung 15). Der Kanal wurde im Jahre 1992 fertiggestellt und überquert die europäische Wasserscheide im Gebiet der fränkischen Alb. Das für die Scheitelhaltung benötigte Wasser wird aus der Donau über fünf Stufen und einen Höhenunterschied von 67,8 m gepumpt. Dabei sind die Pumpen so dimensioniert, dass mehr als nur das für die Schifffahrt benötigte Wasser befördert wird (14m<sup>3</sup>/s), sondern insgesamt ein Überschuss von ca. 21 m<sup>3</sup>/s in das von Wasserknappheit bedrohte Main-Regnitz-Gebiet verbracht wird (im Durchschnitt 125 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr) (Wasser- und Schifffahrtsamt Nürnberg 2014).

Zusätzlich zu dem über den Main-Donau-Kanal gepumpten Wasser aus der Donau wird auch ein Teil des Altmühlhochwassers über ein System aus Stollen und Stauseen mit einer Jahresleistung von 25 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr dem Main-Regnitz-Gebiet zugeführt. Insgesamt wird durch dieses System ein Mindestabfluss der Regnitz von mehr als 20m<sup>3</sup>/s im Sommer sichergestellt, wobei insgesamt über beide Systeme 150 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr übergeleitet werden (Wasserwirtschaftsamt Ansbach 2014).

Nutznieser der Überleitung sind sowohl Kraftwerke, die Industrie als auch die Landwirtschaft. Dabei werden alleine die Kraftwerke an den Kosten der Wasserüberleitung beteiligt, landwirtschaftliche Verbraucher tragen keinerlei Kosten für das als Uferfiltrat aus der Regnitz gewonnene Wasser (Hr. Liepold, WWA Ansbach 2014).

Dies ist umso erstaunlicher, da von der Bewässerung stark abhängige Gemüseanbaugelände, wie z.B. das nördlich von Nürnberg gelegene Knoblauchsland ohne das Zusatzwasser aus der Überleitung nicht ausreichend Wasser zur Verfügung hätten. In der Vergangenheit hatte sich durch eine Übernutzung der Grundwasserspeicher der Grundwasserspiegel bereits stark gesenkt. Obwohl eine fehlende finanzielle Beteiligung der Wassernutzer an der Wasserbereitstellung nicht konform mit der WRRL ist, erhebt das Bundesland Bayern generell keine Gebühren für die Grund- oder Oberflächenwasserentnahme (IHK Pfalz 2013).

## Main-Donau-Wasserstraße



Abbildung 15: Main-Donau-Wasserstraße mit Main-Donau-Kanal (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Januar 2014)

### ***Elbe-Seitenkanal***

Der Elbe-Seitenkanal schafft seit 1976 eine Verbindung zwischen dem Mittellandkanal und der Elbe (Abbildung 16). Der Elbe-Seitenkanal durchzieht eine von Wasserknappheit geprägte Region um den Landkreis Uelzen; Bewässerung spielt hier aufgrund der Spezialisierung auf den Kartoffel- und Feldgemüseanbau auf leichten Böden schon seit langem eine bedeutende Rolle (vgl. dazu Abbildung 7 und Abbildung 17). Dabei stößt die aus Grundwasserbrunnen gespeiste Bewässerung an die Grenzen einer grundwasserneutralen Nutzung, so dass für die Bewässerung zunehmend auf Oberflächenwasser aus dem Elbe-Seitenkanal zurückgegriffen wird.

Das für den Kanal erforderliche Zusatzwasser kann nicht allein über den Grundwasserzufluss und auf „natürlichem“ Weg über Weser und Werra (Mittellandkanal) für die untere Wasserhaltung zur Verfügung gestellt werden. Weiteres Wasser wird aus anderen Flussgebieten übergeleitet und muss in die Scheitelhaltung zwischen Uelzen und Lüneburg gepumpt werden.

Zur besseren Koordination der Bewässerung in der Region haben sich bewässernde Betriebe in 23 Beregnungsverbänden organisiert, die in einem Dachverband, dem Beregnungsverband Elbe-Seitenkanal (BV ESK), zusammengeschlossen sind. Die Gesamtfläche der ESK-Verbände beträgt 11.245 ha. Die Summe der im Verbandsgebiet erlaubten bzw. bewilligten Entnahmemengen beträgt 11,2 Mio. m<sup>3</sup>/a, wobei seit 1976 durchschnittlich 6,1 Mio. m<sup>3</sup>/a entnommen wurden. Die Summen der maximalen sekundlichen Entnahmen aus dem Kanal betragen in der oberen Haltung 2 m<sup>3</sup>/s (mittlere Haltung = 3 m<sup>3</sup>/s). Für die untere Haltung, die im Rückstaubereich des Elbwehres bei Geesthacht liegt, gibt es keine Entnahmebeschränkungen (BV ESK 2014).

Zu den Aufgaben des BV ESK zählt u.a. die Bereitstellung des Beregnungswassers zu regeln, die Einholung der erforderlichen wasserbehördlichen Erlaubnisse bzw. Bewilligungen und sonstigen Genehmigungen, die zur Entnahme des Beregnungswassers aus dem Elbe-Seitenkanal erforderlich sind, der Abschluss von Verträgen mit der Wasser- und Schifffahrtsdirektion über den Wasserpreis, die Vermittlung öffentlicher Förderungsmittel zum Ausbau der Unternehmen seiner Mitgliedsverbände, die Mithilfe bei der Aushandlung von Stromversorgungstarifen sowie die Abrechnung der Wasserentnahmegebühr nach dem Nds. Wassergesetz (WVG § 2) (BV ESK 2014).



Abbildung 16: Verlauf der nordwestdeutschen Wasserstraßen (Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Außenstelle Mitte, Fachstelle Vermessungs- und Kartenwesen Mitte, 2011)

Die Mitgliedsverbände zahlen für die Wasserentnahme neben den üblichen Entgelten zusätzlich ein Wasserentnahmeentgelt an die Wasser- u. Schifffahrtsdirektion für die dabei entstandenen Pumpkosten an den Schiffshebewerken bzw. den Schleusen. Das derzeitige Wasserentnahmeentgelt an die Wasser- u. Schifffahrtsdirektion für die entstandenen Pumpkosten beträgt 2,3 ct/m<sup>3</sup> (Hr. Martens, BV ESK, 20.3.2014).

### 3.1.3 Bewässerung

#### 3.1.3.1 Aktuelle Situation der Bewässerung

In der Landwirtschaftszählung 2010 der Statistischen Ämter wurden für das Bezugsjahr 2009 insgesamt 299.134 Landwirtschaftsbetriebe in Deutschland erfasst. Davon besaßen 17.067 Betriebe (entspricht 5,7 %) die Möglichkeit ihre Anbauflächen zu bewässern.

Dies betrifft etwa 639.000 ha (3,8 %) landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland. In Abbildung 17 ist der Anteil der bewässerbaren Fläche, im Jahr 2009, an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche für die Landkreise dargestellt.

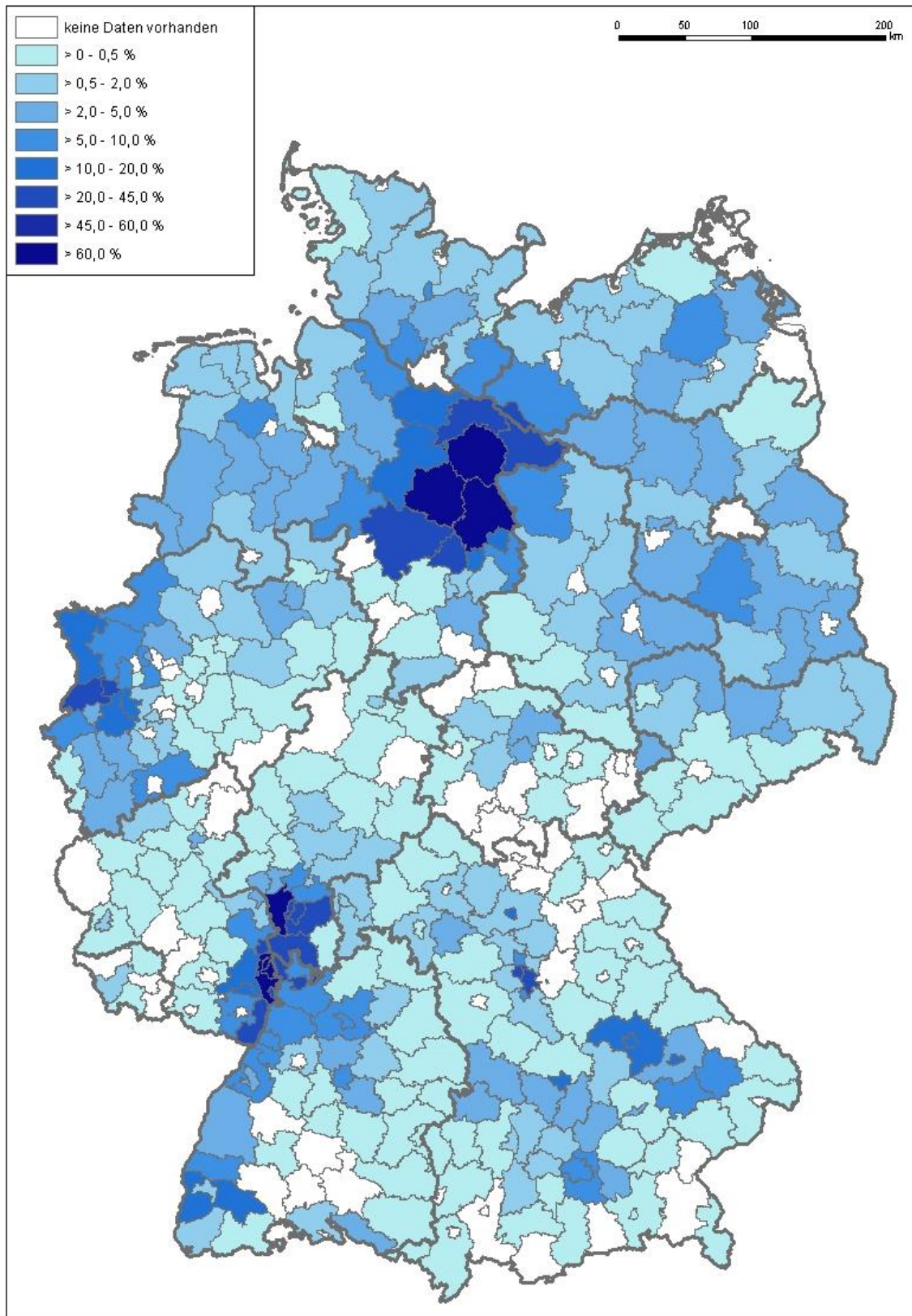


Abbildung 17: Anteil bewässerbarer Flächen an landwirtschaftlich genutzter Gesamtfläche auf Landkreisebene (Datenquelle: Statistische Landesämter 2011/2012).

In Nordost-Niedersachsen befindet sich das größte geschlossene Beregnungsgebiet Deutschlands. Der Anteil bewässerbarer Landwirtschaftsflächen liegt im Landkreis Uelzen bei ca. 82 %, insgesamt sind hier über 60.000 ha für die Bewässerung erschlossen. In den angrenzenden Landkreisen Celle und Gifhorn trifft das auf über 60 % der landwirtschaftlich genutzten

Flächen zu. Weitere größere Beregnungsgebiete sind die Vorderpfalz, das Hessische Ried, das Niederrheingebiet, das sogenannte „Knoblauchsland“ nahe Fürth/Nürnberg und in der Region um Regensburg.

Im Gebiet der neuen Bundesländer wurden im Jahr 1989 noch ca. 535.000 ha der landwirtschaftlichen Nutzfläche beregnet. Zusätzlich wurde auf über 600.000 ha Staubewässerung betrieben. Somit wurden 18,6 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche bewässert, welche sich in 9,9 % Staubewässerung und 8,7 % Beregnung unterteilen lassen (Simon 2009). Nach der Wiedervereinigung kam es in den neuen Bundesländern zu einer deutlichen Verringerung der Bewässerungsflächen. Im Jahr 2009 wurden gerade noch etwa 111.000 ha bewässert (Statistische Landesämter 2011/2012; Statistisches Bundesamt 2011). Die Gründe dafür sind auf die agrarstrukturellen und -politischen Veränderungen zurückzuführen.

In Abbildung 18 sind die Bewässerungshöhen (mm/a) im Jahr 2009 bezogen auf die Landkreisfläche dargestellt. Dabei lag die gesamtdeutsche durchschnittliche Bewässerungshöhe bei 1,2 mm/a. Die deutlich größten Bewässerungsintensitäten werden mit mehr als 20 mm/a in Niedersachsen für die Landkreise Uelzen und Gifhorn sowie in der Pfalz mit mehr als 30 mm/a für die Landkreise Rhein-Pfalz und Frankenthal ausgewiesen. Aber auch in Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg treten einige Landkreise mit einer intensiveren landwirtschaftlichen Bewässerung als im übrigen Land hervor. Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, weisen diese Regionen eine negative klimatische Wasserbilanz mit geringen Niederschlägen in der Vegetationsperiode auf.

Die durchschnittliche Bewässerungshöhe bezogen auf die bewässerten landwirtschaftlichen Flächen lag bei 78,7 mm/a. In Gotha wurden mit 10 mm/a die geringsten Bewässerungshöhen bezogen auf die landwirtschaftlichen Flächen ermittelt, während in Aschaffenburg 380 mm/a auf den landwirtschaftlichen Flächen bewässert wurden. Diese hohen Werte können beispielsweise bei der Bewässerung von Gemüse, Obst und Sonderkulturen mit hohem Wasserbedarf auftreten, die ebenfalls in der Landwirtschaftszählung erfasst wird. Die Bewässerungsregion Uelzen liegt mit 83,5 mm knapp über dem Durchschnitt.

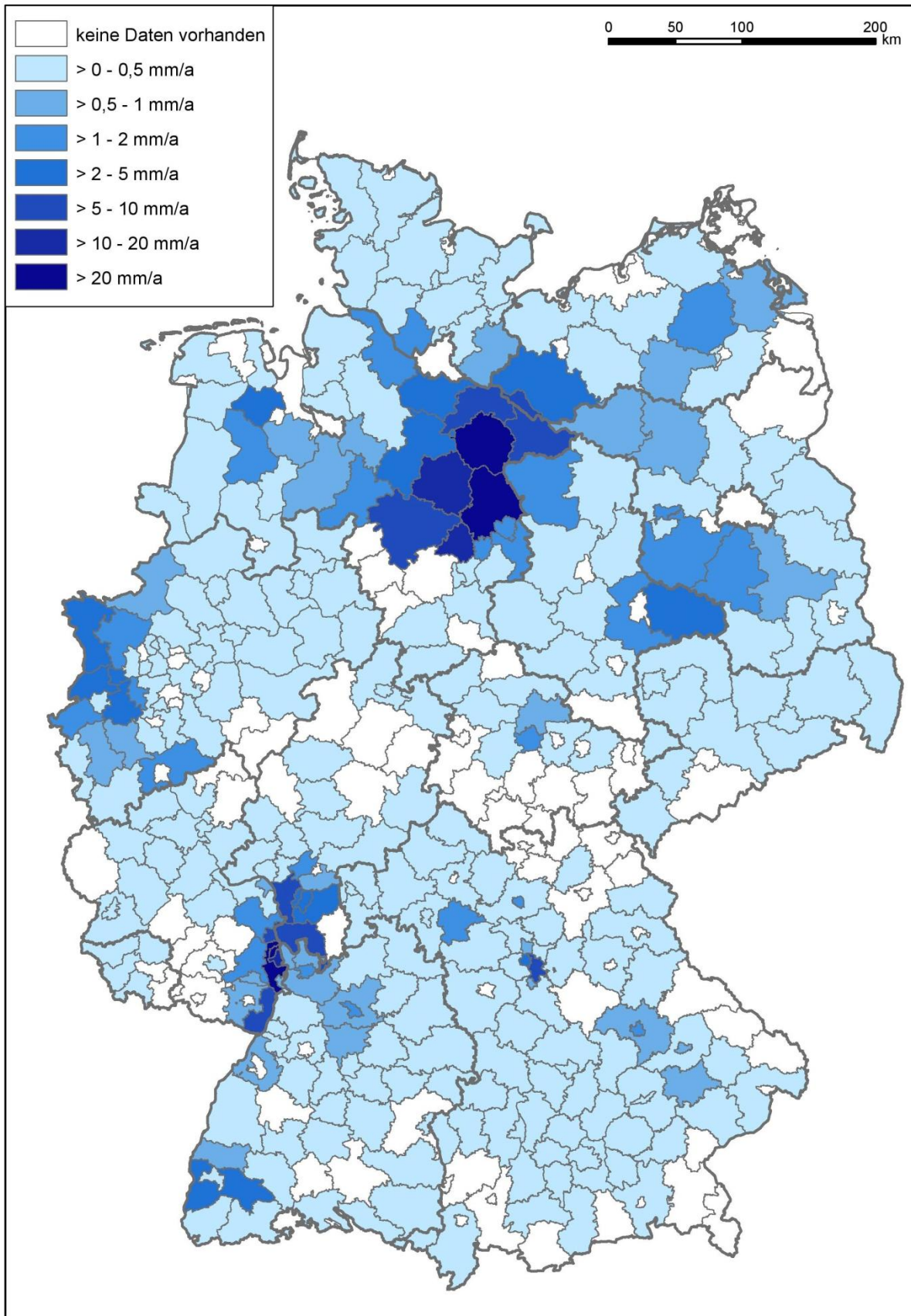


Abbildung 18: Bewässerungshöhen in den Landkreisen im Jahr 2009 (Datenquelle: Statistische Landesämter 2011/2012)

### 3.1.3.2 Bewässerte Fruchtarten

Bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Fruchtarten wird unterschieden zwischen Bewässerungsbedürftigkeit (ohne Bewässerung kann kein gesicherter Ertrag erreicht werden) und Bewässerungswürdigkeit (Bewässerung ist wirtschaftlich sinnvoll).

Im Bezugsjahr 2009 wurde in Deutschland auf 111.405 ha der Landwirtschaftsfläche Getreide bewässert - gefolgt von Kartoffeln auf insgesamt 81.900 ha. In Abbildung 19 ist zu erkennen, dass sich jedoch der Hauptanteil dieser Flächen in Niedersachsen befindet. Hier werden überdurchschnittlich viele Getreide- und Kartoffelanbauflächen bewässert. Ansonsten machte das Freilandgemüse einschließlich Erdbeeren in den meisten Bundesländern flächenmäßig den größten Anteil der bewässerten Fruchtarten aus. Während der Freilandgemüseanbau deutschlandweit generell ohne Zusatzwasser kaum möglich ist, werden Fruchtarten wie Getreide, Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben vor allem auf Standorten mit leichten Böden und unzureichenden Niederschlägen bewässert.

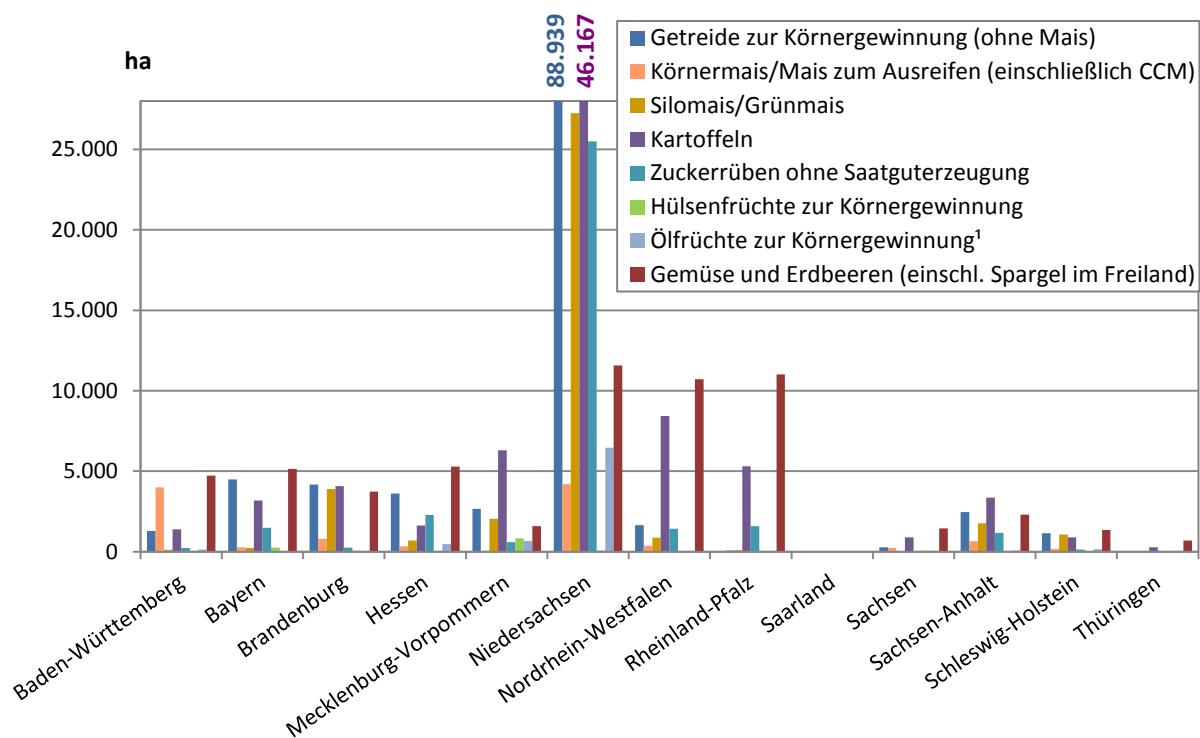


Abbildung 19: Bewässerte Fläche im Jahr 2009 nach Fruchtarten und Bundesland (Datenquelle: Statistische Landesämter 2010)

Tabelle 1 zeigt die Angaben der befragten Beregnungsverbände zu den auf dem jeweiligen Verbandsgebiet bewässerten Fruchtarten. Gemüse und Erdbeeren (einschl. Spargel) wurden dabei von allen teilnehmenden Verbänden genannt. Dies unterstützt auch die Aussage aus den statistischen Daten der Landwirtschaftszählung (Abbildung 19). Kartoffeln wurden von vier, Zuckerrüben von drei Verbänden als bewässerte Fruchtarten angegeben. Im Hessischen Ried werden außerdem Getreide, Mais, Hülsen- und Ölfrüchte bewässert.

Nach Aussage der befragten Verbände erfolgt die Bewässerung vor allem um den Ertrag und die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte zu sichern bzw. zu erhöhen, wozu auch die mehrfach genannte Frostschutzberegnung notwendig sein kann. Im Hessischen Ried wird die Beregnung auch eingesetzt um die Erbringung vertraglich vereinbarter Liefermengen zu gewährleisten.



Tabelle 1: Ergebnisse der Befragung BV zu den bewässerten Fruchtarten im Verbandsgebiet

<b>Bundesland</b> <i>(Name Verband)</i>	<b>bewässerte Fruchtarten</b>
Baden Württemberg <i>(BV Dossenheim)</i>	Gemüse und Erdbeeren (einschließlich Spargel) im Freiland, Apfelplantagen
Bayern <i>(WV Knoblauchsland)</i>	Getreide, Kartoffeln, Gemüse und Erdbeeren (einschließlich Spargel) im Freiland
Hessen <i>(WV Hessisches Ried)</i>	Getreide, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Hülsenfrüchte, Ölfrüchte, Gemüse und Erdbeeren (einschließlich Spargel) im Freiland, Kräuter, Rollrasen
Rheinland Pfalz <i>(WBV zur Beregnung der Vorderpfalz)</i>	Kartoffeln, Zuckerrüben, Gemüse und Erdbeeren (einschließlich Spargel) im Freiland, Obst, Weinbau
<i>(WBV für die Feldberegnung Hatzenbühl)</i>	Kartoffeln, Zuckerrüben, Gemüse und Erdbeeren (einschließlich Spargel) im Freiland, Tabak

### **3.1.3.3 Wasserbereitstellung und -gewinnung für die landwirtschaftliche Bewässerung**

Zur Bewässerung nutzbares Wasser kann verfügbar sein aus Seen, Flüssen oder Gräben (Oberflächengewässer), Flach- oder Tiefbrunnen (Uferfiltrat/Grundwasser) sowie aus dem öffentlichen oder privaten Versorgungsnetz (z. B. über Beregnungsverbände). Wichtige Entscheidungsfaktoren für die Wahl der Bezugsquellen von Bewässerungswasser sind die verfügbare Menge, die Amplitude, beim Grundwasser die Entnahmetiefe und die Qualität (Fricke et al. 2014).

Bezüglich der Qualität des Bewässerungswassers gibt es keine gesetzlich verbindlichen Vorgaben, es kann lediglich auf Richtlinien wie die DIN 19650 (1999) oder Empfehlungen (Albrecht, Pflieger 2004) für Richtwerte zurückgegriffen werden. Eine allgemeine Grobabschätzung kann anhand der Herkunft vorgenommen werden (Pflieger 2010). Grundwasser, welches aus Brunnen entnommen wird, verfügt dabei in der Regel über eine gute bis sehr gute Qualität. Die Qualität von Bewässerungswasser aus stehenden Gewässern wird als ausreichend beurteilt, während das Wasser aus Fließgewässern oft starke Verunreinigungen enthält und somit die bakteriologischen Güteanforderungen meist nicht erfüllt, was vor allem in der Obst- und Gemüseproduktion, im Rahmen der Anforderungen des Produkthaftungsgesetzes und des Verbraucherschutzes, bei der Wahl der Bezugsquelle des Bewässerungswassers zu berücksichtigen ist.

Die zur Bewässerung benötigte Wassermenge muss in den Bewässerungszeiträumen (etwa von Mai bis Oktober) jederzeit verfügbar sein und die Entnahme sollte möglichst den Abfluss bzw. den mengenmäßigen Zustand des Wasserkörpers nicht negativ beeinflussen.

Zur Ermittlung der benötigten Wassermenge ist der fruchtartenabhängige Zusatzwasserbedarf zu bestimmen. Zur Entnahme des Bewässerungswassers aus Grund- oder Oberflächenwasser ist eine Genehmigung erforderlich, die von der Unteren Wasserbehörde erteilt wird. Für die Nutzung von überbetrieblich bereitgestelltem Bewässerungswasser werden üblicherweise Beregnungsverbände gegründet.

Zur Antragsstellung für ein Wasserentnahmerecht (s. Kapitel 3.1.3.5) bei der Unteren Wasserbehörde müssen die jeweils erforderlichen Unterlagen mit Angaben zu technischen Daten, Wasserbedarf usw. zur Prüfung vorgelegt werden. Bei Grundwasserentnahmen ist ein hydrogeologisches Gutachten und, wenn erforderlich, ein bodenkundliches Gutachten einzureichen.

Das hydrogeologische Gutachten dient zur Abschätzung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme auf den Wasserhaushalt des Entnahmegebietes. Anhand des Gutachtens soll nachgewiesen werden, dass ein ausreichendes Grundwasserdargebot zur Verfügung steht und eine zusammenfassende Bewertung möglicher Veränderungen durch die Entnahme beschrieben werden (König 2009).

Das Gutachten beinhaltet allgemeine Angaben zur Entnahme, d.h. Entnahmebrunnen, Grundwassermessstellen, derzeitiges und beantragtes Wasserrecht, andere Grundwassernutzer sowie Lage- und Ausbaupläne. Die hydrologischen, geologischen, klimatischen und morphologischen Gegebenheiten im Gebiet werden im hydrogeologischen Gutachten mittels klimatologischer und hydrologischer Daten, geologischen Karten bzw. Schnitten dargestellt. Insbesondere die Grundwasserverhältnisse werden hierbei berücksichtigt. Anhand der Grundwasserstandsdaten, -ganglinien oder -flurabstände soll der Zustand ohne Entnahme (Nullzustand), bei bestehender Entnahme (Ist-Zustand) und bei beantragter Entnahme (Prognose-Zustand) beschrieben werden. Mögliche Auswirkungen durch die Entnahme, insbesondere der Einfluss von Altlasten oder der eventuelle Anstieg des Nitritgehaltes, werden ermittelt (König 2009).

### **Wassergewinnung**

Das Verfahren der Wassergewinnung wird meist von den strukturellen und natürlichen Gegebenheiten bestimmt und ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Investitions- und Energiekosten.

Die Entnahme von Beregnungswasser direkt aus Oberflächengewässern erfolgt mittels Pumpen - hier entfallen die Brunnenbohrkosten. Für die Entnahme von Uferfiltrat muss ein Flachbrunnen, für die Grundwasserentnahme ein Tiefbrunnen vorhanden sein bzw. angelegt werden. Meist wird das Bewässerungswasser aus Tiefbrunnen von 25 bis 80 m Tiefe - teilweise auch bis zu 130 m Tiefe - entnommen. Die Brunnenbohrkosten fallen umso höher aus, je tiefer der benötigte Brunnen ist. Wenn der Wasserstand im Brunnen unter 7 m liegt, werden zudem Unterwasserpumpen benötigt. Auch die Pumpkosten variieren je nach Pumpstrecke, Pumpenbauart und -leistung (König 2009).

Bei der Gewinnung von Bewässerungswasser werden sowohl Pumpenantriebe mit Elektro- bzw. Dieselmotoren, als auch zapfwellengetriebene Pumpen eingesetzt. Der Elektroantrieb ist meist die wirtschaftlichste Methode, er ist relativ wartungsarm und hat vergleichsweise geringe Energiekosten. Abhängig von der Lage und Tiefe des Brunnens kann, beispielsweise bei größeren Entfernungen von mehr als 1 km zwischen Brunnen und Stromanschluss, ein Dieselantrieb kostengünstiger sein. Der Einsatz von Dieselpumpaggregaten oder vom Schlepper betriebenen Zapfwellenpumpen sind mobiler und flexibler im Einsatz und können dadurch auch für mehrere Brunnen genutzt werden. Beim Schleppereinsatz ist eine zusätzliche Überwachung erforderlich um den Motor nach Beenden der Wasserförderung abzuschalten (Döhler 2009, Fricke et al. 2014).

Das durch die Pumpe gewonnene Wasser wird über eine Rohrleitung, die ober- oder unterirdisch verlaufen kann, zur Bewässerungsmaschine geleitet. Die unterirdischen Zuleitungen sind zwischen Pumpe und Hydrant fest verlegt, während oberirdische Leitungen versetzt und somit für verschiedene Flächen genutzt werden können.

### ***Herkunft des Zusatzwassers***

Im Jahr 2009 wurden in Deutschland rund 293.374.000 m<sup>3</sup> Wasser zum Zweck der Bewässerung verbraucht. Ausgehend von einem in Deutschland jährlich verfügbaren Wasserdargebot von ca. 188 Mrd. m<sup>3</sup> entspricht der Anteil des für die Bewässerung verwendeten Wassers lediglich 0,16 %. Im Hinblick auf die ungleiche Niederschlagsverteilung und damit einhergehenden immer wieder auftretenden Wasserdefiziten in den Sommermonaten in großen Teilen Deutschlands, muss die Situation des Wasserdargebots für die landwirtschaftliche Bewässerung jedoch regional und jahreszeitlich differenziert betrachtet werden (vgl. Abbildung 5). Im Hessischen Ried kam es z.B. in den Jahren 1991/92 zu einer Trockenperiode bei der die Grundwasserstände so weit absanken, dass die entnommene Grundwassermenge nicht mehr vollständig durch die Grundwasserneubildung ersetzt werden konnte. In den Jahren 2000 bis 2003 erreichten die Grundwasserstände wiederum das höchste Niveau seit etwa 30 Jahren, was zu massiven Vernässungen führte und landwirtschaftliche Nutzflächen ganzjährig unbewirtschaftbar machte (HMULV Hessisches Ministerium für Umwelt 2005).

Die lokalen Wasserentnahmen müssen außerdem die Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie berücksichtigen. Diesbezügliche Konflikte bestehen beispielsweise in der Beregnungsregion rund um Uelzen (Niedersachsen). Es werden derzeit Maßnahmen erarbeitet (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2008), um den Zusatzwasserbedarf für die Beregnung zukünftig decken und einen „Guten Zustand“ der Grundwasserkörper herstellen und langfristig sichern zu können.

In Deutschland wird das zur landwirtschaftlichen Bewässerung verwendete Wasser vorwiegend aus Grundwasser bzw. Uferfiltrat entnommen, es gibt jedoch Unterschiede in den einzelnen Bundesländern. In einigen neuen Bundesländern (Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg) überwiegt die Entnahme aus Oberflächengewässern (Abbildung 20).

Die Bereitstellung von Bewässerungswasser durch einen Beregnungsverband fließt hier in die Kategorie „öffentliche und private Versorgungsnetze“ ein, deshalb ist der Anteil in Rheinland-Pfalz entsprechend hoch. Die Verwendung von Klarwasser zur Beregnung erfolgt derzeit nur in Niedersachsen, wo das gereinigte Abwasser der Stadt Braunschweig und einiger Gemeinden auf den landwirtschaftlichen Flächen der Mitglieder des Abwasserverbands Braunschweig verregnet wird (Abwasserverband Braunschweig 2004).

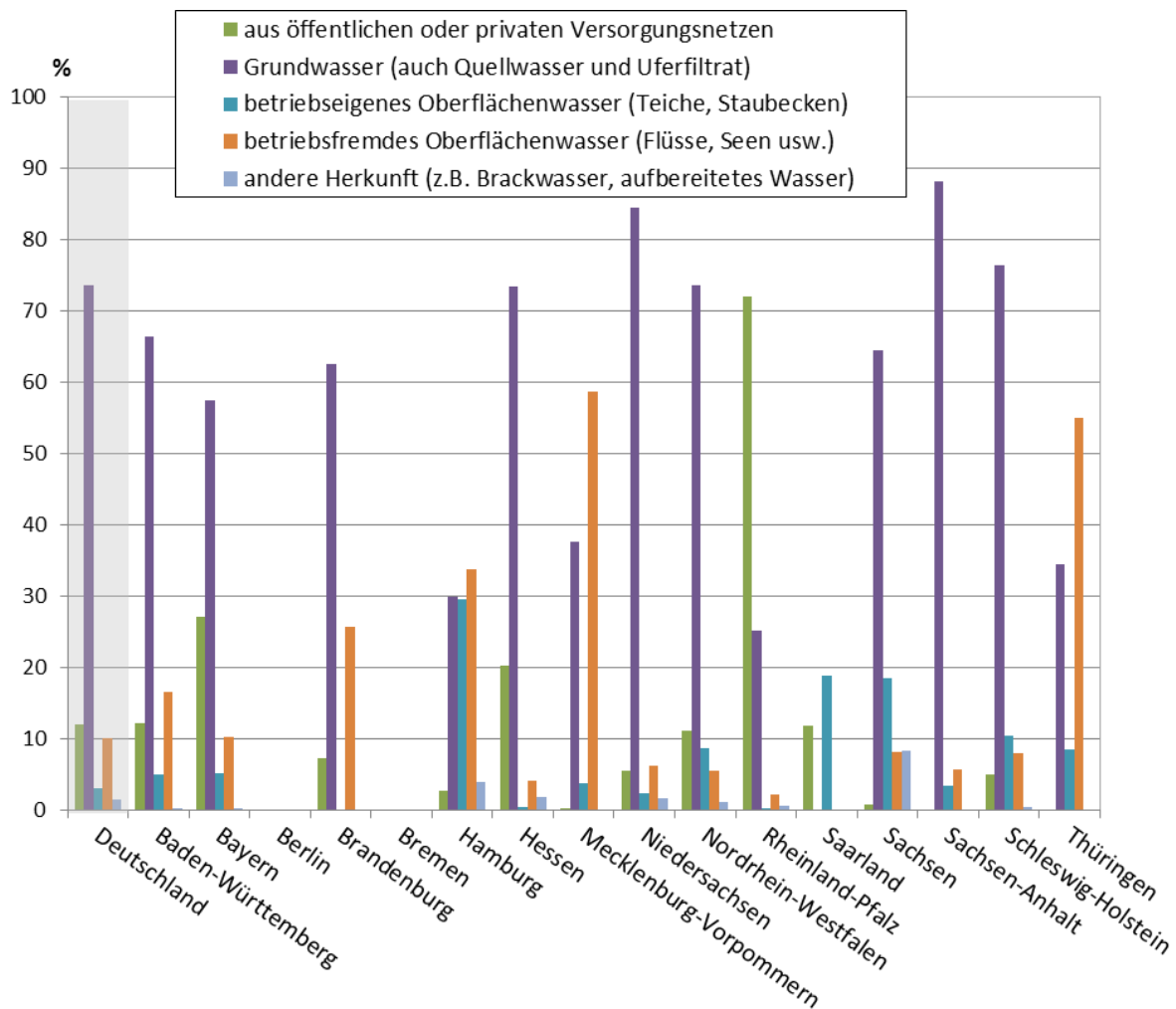


Abbildung 20: Verbrauchte Wassermenge landwirtschaftlicher Betriebe anteilig nach Wasserherkunft im Jahr 2009 (Datenquelle: Statistische Landesämter 2010)

### 3.1.3.4 Bewässerungsverfahren/-techniken

Bewässerungsverfahren lassen sich zunächst grob unterteilen in Mikrobewässerung und Beregnung (DIN 19655 2008, Paschold 2010, Fricke et al. 2014). Stau- und Rieselfverfahren werden in Deutschland nicht angewendet und deshalb hier nicht weiter betrachtet.

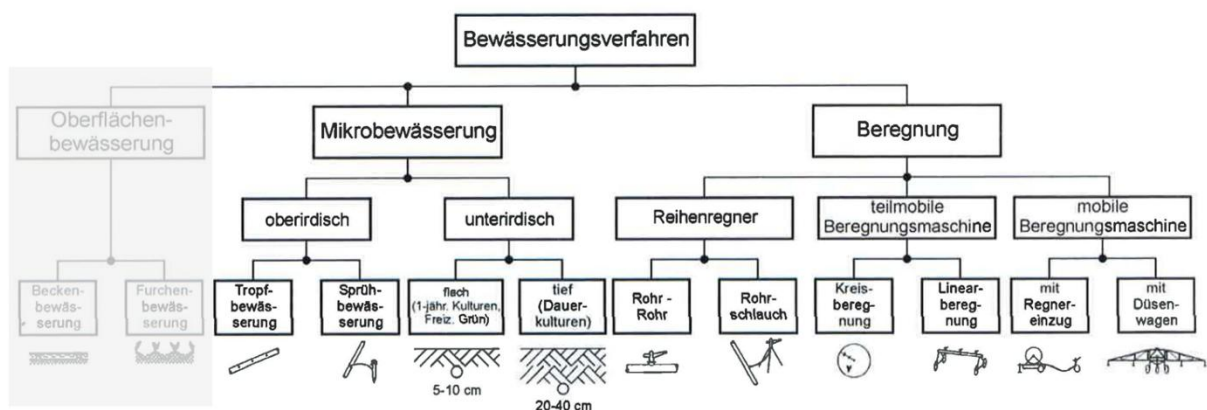


Abbildung 21: Übersicht der Bewässerungsverfahren (Döhler 2009)

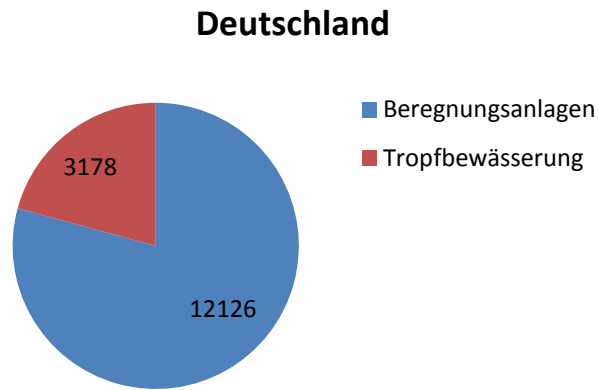


Abbildung 22: Anzahl Betriebe mit Bewässerungsverfahren im Jahr 2009 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2011)

In Deutschland erfolgt die landwirtschaftliche Bewässerung überwiegend über Beregnungsanlagen (Abbildung 22). Die Möglichkeit zur Tropfbewässerung besaßen im Jahr 2009 etwa  $\frac{1}{5}$  der bewässerungsfähigen Betriebe.

Eine Bestandsaufnahme im Hessischen Ried ergab, dass zu 85 % mobile Beregnungsmaschinen, 12% Reihenregnerverfahren, 2 % teilmobile Beregnungsverfahren sowie 1 % Mikrobewässerung eingesetzt werden (HLUG 2008). In der Südpfalz hingegen findet überwiegend die Rohrberegnung Anwendung (BGS Umwelt 2011). Bei einer Betriebsbefragung durch das LfULG in Sachsen im Jahr 2010 wurde ermittelt, dass die mobile Beregnung mit Großregnern dominiert, gefolgt von Kreisberegnung, Tropfbewässerung und Rollregnern (LfULG 2012).

Die Landwirtschaftskammer in Niedersachsen gibt an, dass auf 98 % der Flächen das Verfahren der mobilen Beregnung mit Regnereinzug eingesetzt wird. Die Beregnung mittels Düsenwagen, teilmobile Beregnung sowie Tropfbewässerung spielen jeweils mit < 1% nur eine geringe Rolle (Behrens et al. 2012).

Bei der Befragung der Beregnungsverbände gaben alle fünf Teilnehmer die mobile Beregnung mit Regnereinzug als ein auf ihrem Verbandsgebiet angewendetes Verfahren an. Auch die Tropfbewässerung sowie Reihenregnerverfahren werden jeweils auf vier von fünf Verbandsgebieten angewendet. Im Hessischen Ried kann der mobilen Beregnung mit Regnereinzug ein Prozentanteil von 92 % zugeordnet werden. Weitere 5 % fallen auf die Kreisberegnung, der Rest verteilt sich auf Reihenregner sowie Verfahren der Mikrobewässerung.

### ***Mikrobewässerung***

Die Mikrobewässerung kann im Sinne von Tropfbewässerung oberirdisch oder unterirdisch erfolgen. Ein weiteres oberirdisches Verfahren stellt die Sprühbewässerung dar, welches für die Freilandbewässerung in Deutschland jedoch irrelevant ist. Angaben zu den Kostenfaktoren und der Wirtschaftlichkeit der Mikrobewässerung finden sich in Kapitel 3.2.

Bei der Tropfbewässerung wird das Wasser unter geringem Betriebsüberdruck (< 2 bar) in Form von Tropfen abgegeben (DIN 19655 2008). Dies erfolgt durch Tropfrohren und Tropfelemente die sich an einer Tropfleitung befinden. Das Wasser wird mit möglichst geringer Intensität von 1 bis 4 mm/h direkt der Pflanze zugeführt. Somit werden Energie eingespart und Wasserverluste weitgehend reduziert.

## **Beregnungsverfahren**

Die Wasserverteilung bei der Beregnung erfolgt durch Reihenregner (Rohr, Rohr-Schlauch, Schlauch), teilmobile Beregnungsmaschinen (Linear- und Kreisberegnung) oder mobile Beregnungsmaschinen (mit Regnerinzug oder Düsenwagen). Die Kostenfaktoren und Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Beregnungsverfahren werden in Kapitel 3.2 behandelt.

### **Reihenregnerverfahren**

Bei den Reihenregnerverfahren werden entweder eine oder mehrere Regnerleitungen an eine Hauptleitung angeschlossen oder direkt auf das Rohr aufgesetzt. Dabei kommen Mittelstark- oder Schwachregner zum Einsatz. Bei einer Beregnungsintensität von 5 bis 15 mm/h ist ein Wasserdruck von etwa 5 bar am Hydranten erforderlich (Paschold 2010).

Die Reihenregnerverfahren lassen sich unterteilen in Rohr-, Rohr-Schlauch-, Schlauch- oder Schlauch-Schlauch-Beregnung, wobei die beiden erstgenannten am weitesten verbreitet sind. Der Auf- und Abbau bzw. das Umsetzen der Reihenregner erfordert einen hohen Arbeitszeitbedarf.

Vor allem in der Gemüseproduktion finden Reihenregnerverfahren derzeit noch Anwendung.

### **Teilmobile Beregnungsverfahren**

Als teilmobile Beregnungsverfahren werden Techniken bezeichnet, die im Betrieb beweglich, jedoch schlaggebunden, d.h. nicht ohne größere Umbaumaßnahmen umsetzbar, sind. Das Entnahgebauwerk, die Pumpe sowie die Wasserzuleitung zu den einzelnen Beregnungsflächen sind fest installiert, während die Wasserverteilung auf dem Feld über bewegliche Anlagenteile erfolgt.

Diese Verfahren werden für die großflächige Bewirtschaftung mit häufiger Beregnung eingesetzt. Sie werden vor allem auf den größeren zusammenhängenden Flächenkomplexen, wie sie häufig in den neuen Bundesländern vorkommen, verwendet.

Die in Deutschland am häufigsten eingesetzten teilmobilen Beregnungsverfahren sind die Linear- und Kreisberegnung.

Bei der Kreisberegnung wird eine an einem Drehzapfen befestigte Rohrleitung auf Rädern bewegt. Diese Rohrleitung ist mit Schwachregnern oder Düsen ausgestattet. Der durchschnittliche Radius einer Kreisberegnungsmaschine beträgt 400 m. Die Wasserverteilung erfolgt über radgestützte Gestänge mit daran befindlichen Wassersprinklern bzw. Düsen bei einem Betriebsdruck von 2 bis 4 bar. Der Antrieb erfolgt elektrisch oder hydraulisch.

Die Kreisberegnung ermöglicht eine vollautomatisierte, unbeaufsichtigte Beregnung hat aber den Nachteil der schlechten Flächennutzung. Lediglich 80% eines quadratischen Feldes können mit einem Kreis beregnet werden. Um einen Eckenausgleich zu erreichen, werden verschiedene Lösungen, beispielsweise Wurfdüsen oder einklappbare Teilsegmente am Ende der Anlage, durch die Hersteller der Maschinen angeboten, die jedoch mit erhöhten Kosten verbunden sind.

Linearberegnungsmaschinen funktionieren ähnlich wie Kreisberegnungsmaschinen und können eine Arbeitsbreite von 400 m bei einseitiger oder 800 m bei mittiger Wasserzuführung und eine Arbeitslänge von 400 bis 1.200 m haben (KTBL 2013). Die Wasserzuleitung ist oft problematischer, meist werden Zuleitungskanäle, flexible Zuleitungsschläuche oder PE-Rohre verwendet. Linearberegnungsmaschinen sind durch ihre Mobilität jedoch flexibler in Bezug auf die Flächenform und -auslastung, als Kreisberegnungsmaschinen.

### **Mobile Beregnungsmaschinen**

Mobile Beregnungsmaschinen bestehen aus einer Schlauchtrommel und einem Regner- bzw. Düsenwagen und werden entweder mit Regnereinzug oder mit Maschinenvorschub betrieben. Diese Maschinen werden trotz des erhöhten Arbeitsaufwandes relativ häufig, vor allem bei kleinen und mittleren Betrieben, eingesetzt. Für Flächen von 5-10 ha eignen sich kleine Beregnungsmaschinen und für Flächen von 15-30 ha mobile Beregnungsmaschinen mittlerer Bauart mit Rohrlängen bis zu 300 m, während große Beregnungsmaschinen mit Rohrlängen bis zu 700 m auf Flächen von 40-60 ha eingesetzt werden können (Fricke et al. 2014).

Bei Maschinen mit Regnereinzug wird die Regnerleitung über einen hydraulischen Antrieb und eine Rohrtrommel eingezogen. Die Beregnungsmaschine steht dabei am Feldrand. Der am freien Ende angekuppelte Regnerwagen ist mit einem Starkregner oder mehreren Mittelstarkregnern bzw. Düsen ausgestattet und wird je nach Typ mit einer Winde oder Heberampe angehoben oder hinterhergezogen.

Die Rohrtrommel kann entweder quer zur Fahrgestellachse - das wickelbare PE-Rohr kann nur ausgezogen werden - oder parallel zur Fahrgestellachse angeordnet sein. Das wickelbare PE-Rohr kann ausgelegt oder ausgezogen werden. Eine weitere Möglichkeit ist die drehbare Rohrtrommelanordnung auf dem Grundrahmen. Das wickelbare PE-Rohr kann ausgelegt oder ausgezogen werden (Lüttger et al. 2005).

Beim Verfahren mit Maschinenvorschub wird die Beregnungsmaschine auf Auslegergestellen an einem am gegenüberliegenden Feldrand verankerten PE-Rohr geführt. Der Antrieb erfolgt entweder hydrodynamisch oder hydrostatisch. Das Verfahren mit Maschinenvorschub hat sich jedoch in Deutschland nicht durchgesetzt (Fricke et al. 2014).

#### **3.1.3.5 Rechtliche Rahmenbedingungen**

Die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen wird auf verschiedenen Ebenen durch Gesetze und Richtlinien geregelt. Hier wird ein Überblick zu Regelungen auf EU-, Bundes- und Länderebene gegeben.

Innerhalb der EU wurde der rechtliche Rahmen für die Wasserpolitik durch die Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) vereinheitlicht. Im Vordergrund steht dabei die stärkere Ausrichtung der Wasserpolitik auf eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung. In Deutschland bildet das Bundeswasserhaushaltsgesetz (WHG) den Hauptteil des deutschen Wasserrechts. Infolge der Föderalismusreform regelt es das Wasserhaushaltsrecht abschließend. Außer bei stoff- oder anlagenbezogenen Vorschriften dürfen die Länder von den Regelungen des Bundes abweichen (Art. 72 Abs. 3 GG). Zudem sind im WHG Öffnungsklauseln für Regelungen der Länder enthalten. Bestehendes Recht der Länder wird vom WHG allerdings nur dort verdrängt, wo es selbst konkret regelt. Das betrifft insbesondere die Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer und das Grundwasser sowie für Küsten- und Meeresgewässer. Das betrifft aber nicht die Regelungen zum Gebrauch oberirdischer Gewässer und der Benutzung des Grundwassers. Hier haben und nutzen die Länder die Möglichkeiten der Regelung.

In den Ländern sind daran oft unterschiedliche Vorgaben sowohl für die nutzbare Wassermenge als auch für die daran gebundenen Nutzungsentgelte gebunden. So bedarf die Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser zur Feldberegnung in allen Bundesländern einer Erlaubnis durch die untere Wasserbehörde oder muss bis zu einer festgelegten Fördermenge mindestens angezeigt werden. So ist z.B. in Hessen die Anzeige einer Entnahme von bis zu 3.600m<sup>3</sup> pro Jahr für die Landwirtschaft nur anzeigepflichtig (§ 29 Hessisches WG). Vor der Erteilung einer Erlaubnis werden die Art und der Umfang der aus der Wassernutzung resultierenden Beeinträchtigungen des Wasserhaushaltes sowie die Wahrung weiterer Nutzungsrechte geprüft und beurteilt. Für die Antragstellung sind ein hydrogeologisches und, ggf., ein bo-

denkundliches Gutachten erforderlich (König 2009). Oft ist die Erlaubnis zur Entnahme dabei befristet. Zum Ende der Erlaubnis bedarf es meist einer neuen Prüfung zur Weiterführung oder Neureglung. So können neue Erkenntnisse zum Grund- oder Oberflächenwasserzustand und -dargebot berücksichtigt werden.



Tabelle 2: Tatbestand und Bemessung für Grund- und Oberflächenwasser

Bundesland	Tatbestand	Bemessung: Grundwasser in Cent/m <sup>3</sup>	Bemessung: Oberflächenwasser in Cent/m <sup>3</sup>
Baden-Württemberg	Grundwasser, Oberflächenwasser	5,1	1
Berlin	Grundwasser	31	-
Brandenburg	Grundwasser, Oberflächenwasser	10	2
Bremen	Grundwasser, Oberflächenwasser	Grundwasserabsenkung: 2,5 Beregnung/Berieselung: 0,5 Fischhaltung: 0,25 Sonstige Zwecke: 6	Oberflächenwasser: bis 500 Mio.m <sup>3</sup> : 0,5, über 500 Mio.m <sup>3</sup> : 0,3
Hamburg	Grundwasser	Oberflächennah: 13 Tiefer: 14	-
Mecklenburg-Vorpommern	Grundwasser, Oberflächenwasser (auch Grundwasser, das bei Gewinnung v. Sand, Kies o.ä. freigelegt wurde)	5 (Bei Wiedereinleitung in das Gewässer aus dem es entnommen wurde bei weniger als 1% Verlust, wird die Höhe des Entgelts auf 10% ermäßigt.)	2
Niedersachsen	Grundwasser, Oberflächenwasser	Wasserhaltung: 2,556 Beregnung und Berieselung: 0,511 Fischhaltung: 0,256 Sonstige Zwecke: 6,136	Beregnung und Berieselung: 0,511 Sonstige Zwecke: 2,045
Nordrhein-Westfalen	Grundwasser, Oberflächenwasser	5	5
Rheinland-Pfalz	Grundwasser, Oberflächenwasser	6	2,4
Saarland	Grundwasser	Wasserhaltung (über 1 Jahr): 3 Bewässerung land-/forstwirtsch., gärtnerisch: 0,6 Fischhaltung: 0,6 Sonstige Zwecke: 8	-
Sachsen	Grundwasser, Oberflächenwasser	Bewässerung: 2,5 Wasserabsenkung in Lagerstätte 1,5 Dauerhafte Wasserhaltung: 1,5 Sonstige Zwecke: 7,6	Bewässerung: 0,5 Sonstige Zwecke: 2 Wasserkraftnutzung: 0,01
Sachsen-Anhalt	Grundwasser, Oberflächenwasser	Beregnung: 2 Aufbereitung Sand/Kies: 2 Fischzucht, Fischhaltung: 0,25 Sonstige Zwecke: 7	Beregnung: 0,5 Aufbereitung Sand/Kies: 0,5 Sonstige Zwecke: 4
Schleswig-Holstein	Grundwasser, Oberflächenwasser	Gewerbebetriebe (ab 1500m <sup>3</sup> /a) Sonstige Endverbraucher: 11 Wasserhaltung: 2 Beregnung/Berieselung: 2 Aufbereitung Sand, Kies, sofern Rückleitung: 2 Fischhaltung: 2 Sonstige Zwecke: 7	0,77 Wasserkraftnutzung, sofern Rückleitung: 0,077

Quelle: IHK Pfalz 2013

Eine andere Möglichkeit der Gewährung einer Wasserentnahme besteht in einer Bewilligung. Diese ist meist unbefristet und nicht widerruflich; ein Widerrufsvorbehalt ist im Bescheid nicht zulässig. Für den Nutzer ist die Bewilligung die günstigste Form der wasserrechtlichen Gestattung. Im landwirtschaftlichen Bereich werden allerdings kaum Bewilligungen erteilt.

Ganz unterschiedlich werden die Tatbestände sowie die Höhe für die Abgaben für das geförderte Wasser geregelt. Die Tatbestände werden grundsätzlich unterschieden zwischen einer Erhebung auf die Wasserentnahme aus dem Grundwasser oder einer erweiterten aus Grund- und Oberflächenwasser. In neun der 13 Bundesländer wird eine gesonderte Abgabe für Grund- und Oberflächenwasser erhoben. In Berlin, Hamburg und Saarland ist dagegen nur die Grundwasserentnahme abgabenpflichtig. In Schleswig-Holstein existieren zwei separate Gesetze: eines regelt die Abgaben für die Grundwasser- und eines für die Oberflächenwasserentnahmen (IHK Pfalz 2013).

Die Höhe der Abgabesätze und die Tatbestände für die Bemessung sind in Tabelle 2 dargestellt. Unterschiede ergeben sich aus der Herkunft des Wassers, dem Verwendungszweck und der geförderten Menge.

### **3.1.4 Entwässerung**

#### **3.1.4.1 Aktuelle Situation der Entwässerung**

Entwässerungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen werden auf Standorten erforderlich, an denen die Gefahr der Vernässung besteht, d. h. die agronomisch optimale Bodenfeuchte wird permanent oder über einen längeren Zeitraum überschritten. Bei der Vernässung des Bodens wird die Bodenstruktur und das Bodenleben - und damit die Fruchtbarkeit - geschädigt sowie die Bearbeitbarkeit erschwert, es besteht die Gefahr erhöhter Nährstoffauswaschung und die Befahrung der Flächen ist nicht oder nur zeitverzögert möglich. Aufgrund der schlechten Durchlüftung des Bodens durch zu hohe Wassersättigung und Verdichtung durch maschinelle Bearbeitung, entstehen anaerobe Verhältnisse, die das Wurzelwachstum hemmen und die Nährstoffaufnahme erschweren.

Eine Entwässerung kann reguliert oder frei erfolgen. Dabei ist zwischen oberirdischer (Graben) und unterirdischer (Dränung) Entwässerung zu unterscheiden.

Schätzungen zufolge werden in Deutschland 2 bis 2,6 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche durch Rohrdränung entwässert (Tetzlaff & Wendland 2008). Die Ermittlung der existierenden Dränsysteme auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ist aufgrund der schlechten Datenlage kaum möglich, da für Dränanlagen in Deutschland zum Zeitpunkt des Baus keine Anzeigepflicht besteht und auch keine zentrale Erfassung erfolgt. Unterlagen über die Standorte und Lagen der entwässerten Flächen existieren kaum oder sind schwierig zu beschaffen, da sie nicht digital verfügbar und Zuständigkeiten bzw. „Besitzer“ der Altunterlagen unklar sind. In einigen neuen Bundesländern gibt es Studien zu vorhandenen Entwässerungsflächen, z.B. Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt (Mehl & Hoffmann 2010, Steininger 2011, Steininger et al. 2013).

In Sachsen erfolgte die Ausweisung potentieller Entwässerungsflächen beispielsweise im Rahmen eines mehrstufigen Untersuchungsprogramms. Im ersten Schritt wurde die Entwässerungsbedürftigkeit eines Standortes mittels Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) anhand eines speziellen Einstufungssystems ermittelt. Die Ergebnisse wurden durch die Auswertung der Bodenkonzeptionskarte Sachsen in einem zweiten Schritt konkretisiert. Zur Validierung der Ergebnisse wurden zuletzt Sekundärinformationen aus Statistik, vorhandenen Unterlagen, Literatur, DGM und der Isohypsenkarte herangezogen (Steininger 2011).

Ein Verfahren zur luftbildgestützten Erfassung gedränter Flächen wurde von Tetzlaff, B., Kuhr, P. & Wendland, F. entwickelt und in Niedersachsen angewandt (Tetzlaff et al. 2008). Zunächst wurden dazu mittels Luftbildauswertung gedränte Flächen in Testgebieten erfasst. Auf Grundlage dieser Daten wurde ein GIS-gestütztes Verfahren entwickelt, mit welchem durch Kombination verschiedener Standortfaktoren die potentielle Lage gedränter Flächen im mittleren Maßstabbereich abgeleitet werden kann (Tetzlaff et al. 2008).

### **3.1.4.2 Entwässerungsverfahren**

#### ***Oberirdische Entwässerung (Grabenentwässerung)***

Entwässerung durch Binnengräben (Grabenentwässerung) wird vorrangig in grundwasserbeeinflussten Niederungsgebieten bzw. auf Standorten mit hohem Grundwasserstand angewandt.

Die Gräben sind meist künstlich angelegt bzw. ausgebaut oder begradigt. Sie werden je nach Größe und Funktion in Haupt- und Nebengräben unterteilt. Zur regulierten Entwässerung dienen ggf. Stauanlagen. So kann in Nässeperioden eine Entwässerung und in Trockenperioden durch Anstau eine Bewässerung über die Gräben erfolgen.

Verglichen mit der Dränung können die Gräben größere Wassermengen aufnehmen und ableiten. Außerdem erfordern sie ein weitaus geringeres Mindestgefälle und Abflussstörungen können leichter identifiziert und beseitigt werden.

Andererseits wird die Bewirtschaftung großer landwirtschaftlicher Flächen durch Grabensysteme erschwert bzw. der Einbau von Durchlässen erforderlich. Weitere Nachteile sind der Verlust von landwirtschaftlicher Nutzfläche sowie der erhöhte Unterhaltungsaufwand (Möller et al. 1968).

#### ***Unterirdische Entwässerung (Dränung)***

Bei der Entwässerung durch Dränung wird das Bodenwasser, das eine schädliche Bodennässe für die Bodenbearbeitung, die Entwicklung der Kulturpflanzen und für deren Ernte verursacht, durch künstlich angelegte unterirdische Hohlräume aufgenommen und abgeführt. Die Entwässerung erfolgt entweder als systematische Dränung, auf einer zusammenhängend vernässten Fläche mit mehreren parallelen Entwässerungsleitungen, oder als Bedarfsdränung, die bei kleineren vernässten Flächen, Nassstellen oder Flächen mit starker Hangneigung angewendet wird.

Man unterscheidet zwischen rohrloser Dränung und Rohrdränung, die Verfahren lassen sich jedoch auch kombinieren. Die Wahl des geeigneten Dränverfahrens richtet sich nach den Ursachen der Bodenvernässung (TGL 42812).

Bei der Rohrdränung wird das überschüssige Bodenwasser meist von Kunststoffrohren (Sauger) aufgenommen und größeren Rohrleitungen (Sammler) zugeführt, die dann in den Vorfluter münden. Die Aufnahme des überschüssigen Bodenwassers erfolgt unter hydraulischem Druck über schmale Schlitze der meist außen gewellten Kunststoffrohre. An den Ausmündungen der Sammler werden häufig Rückschlagklappen eingesetzt, um zurückdrängendes Wasser oder Tiere zurückzuhalten. Die Anordnung der Sauger erfolgt parallel zueinander und quer oder schräg zum stärksten Geländegefälle. Die Dräntiefe richtet sich nach der Bodenart und der Nutzung, der grundwasserfreie Bodenraum sollte aber mindestens 80 cm betragen (Döhler 2009 und TGL 42812).

Vorteile der Rohrdränung gegenüber der Grabenentwässerung sind das Vermeiden von Flächenverlust, der geringe Unterhaltungsaufwand, die lange Wirksamkeit und die verbesserte Trittfestigkeit (Döhler 2009).

Ein Verfahren der rohrlosen Dränung ist die Maulwurfsdränung. Hierbei wird mittels einer schmalen Pflugschar, an deren unterem Ende sich ein Presskopf befindet, ein etwa 60 cm tiefer Hohlraum im Boden geformt. Diese Methode wird bei bindigen, ausreichend plastischen Böden, z.B. auf pseudovergleyten oder schweren Standorten, meist zur Unterstützung der Rohrdränung eingesetzt (Steininger 2011).

Bei dem kombinierten Verfahren der wechselseitigen Grundwasserregulierung (oder auch Dräneinstau) erfolgt in Nässeperioden eine Entwässerung und in Trockenperioden eine Bewässerung über die bestehenden Dränsysteme. Dieses Verfahren findet insbesondere auf Tiefstandorten Anwendung (Steininger 2011).

Bei einer kontrollierten Dränung (Dränanstau, controlled drainage) ermöglichen zusätzliche Regulierungselemente den Rückhalt des Bodenwassers bis zum höchsten durch die Bewirtschaftung und/oder das Pflanzenwachstum vorgegebenen Wasserstand (Hilliger 1986, Hoffmann 1988, Stein 1988, Wesström et al. 2001). Damit bleibt ein größerer Wasservorrat im Boden erhalten, der in folgenden Trockenperioden den Pflanzen zur Verfügung steht. Gleichzeitig lässt sich der oft mit der Dränung verbundene Stoffaustrag aus dem Boden reduzieren (Lalonde et al. 1996, Tan et al. 1998, Wesström et al. 2014).

### **3.1.4.3 Rechtliche Rahmenbedingungen**

Ein Überblick zu den rechtlichen Regelungen des Wassermanagements auf EU-, Bundes- und Länderebene wurde bereits in Kapitel 3.1.3.5 gegeben.

So regelt das Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) im § 46 Abs. 1 die erlaubnisfreie Gewässerbenutzung beim Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten von Grundwasser für Zwecke der gewöhnlichen Bodenentwässerung landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzter Grundstücke, soweit keine signifikanten nachteiligen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu besorgen sind. Wird das Wasser aus der Bodenentwässerung tatsächlich in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet, findet der durch mögliche signifikant nachteilige Auswirkungen auf den Gewässerzustand einschränkende Satz 2 aus dem § 25 WHG allerdings keine Anwendung. Im Zuge der EU-WRRRL werden im Dränwasser enthaltene Nährstoffe und ihre Wirkungen auf die Gewässerqualität jedoch immer kritischer betrachtet.

Durch Landesrecht kann die diesbezügliche Erlaubnis- oder Bewilligungspflicht allerdings verändert werden. So beschränkt Brandenburg z. B. die erlaubnisfreie Benutzung des Grundwassers zum Zweck der gewöhnlichen Bodenentwässerung landwirtschaftlich genutzter Grundstücke auf eine Flächengröße von höchstens einem Hektar, während Mecklenburg-Vorpommern die Landwirtschaft außerhalb besonders geschützten Teilen von Natur und Landschaft vom Erlaubnis- oder Bewilligungserfordernis ausnimmt sofern keine signifikanten nachteiligen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu besorgen sind.

Für die Unterhaltung der Gewässer ist der Eigentümer zuständig und muss dabei die Bewirtschaftungszielen nach Maßgabe der §§ 27 bis 31 einhalten. Im Landesrecht wird diese Aufgabe Gebietskörperschaften, Wasser- und Bodenverbänden, gemeindlichen Zweckverbänden oder sonstigen Körperschaften des öffentlichen Rechts übergeben. Die Zuständigkeiten für die Unterhaltung und Instandsetzung der Vorfluter liegen bei Gewässern erster Ordnung beim Land. Für Gewässer zweiter Ordnung ist der jeweilige Unterhaltungsverband, z.B. Wasser- und Bodenverband, zuständig. Im Allgemeinen wird nur der Wasserlauf im rechtlichen Sinne als Gewässer bezeichnet, der mehr als zwei Anlieger hat. So ist der Landwirt bzw. Flächenbesitzer zuständig für die Unterhaltung und Instandsetzung der Entwässerungsanlagen.

Für die Entwässerung von Grünlandflächen gilt in vielen Fällen nur noch der Bestandsschutz. Im Bundesland Schleswig-Holstein gilt seit 7. Oktober 2013 das Dauergrünlanderhaltungsgesetz, welches nach § 5 „die Erstanlage einer Entwässerung von Dauergrünland durch Dränung oder die Anlage neuer Gräben“ verbietet (DGLG 2013). Von dem Verbot kann zwar „auf An-

trag eine Befreiung erteilt werden, wenn es im Einzelfall zu einer unzumutbaren Belastung der Landwirtin oder des Landwirts führen würde“, die Tendenz in der Gesetzgebung wird hier jedoch sehr deutlich.

## 3.2 Die Wirtschaftlichkeit des landwirtschaftlichen Wassermanagements heute

### 3.2.1 Auswahl der aktuell relevanten Wassermanagementverfahren

#### 3.2.1.1 Bewässerung

Für den Bereich Bewässerung zeigt Abbildung 23 einen Überblick zu den einzelnen Verfahrensstufen Herkunft, Speicher und Ausbringung.

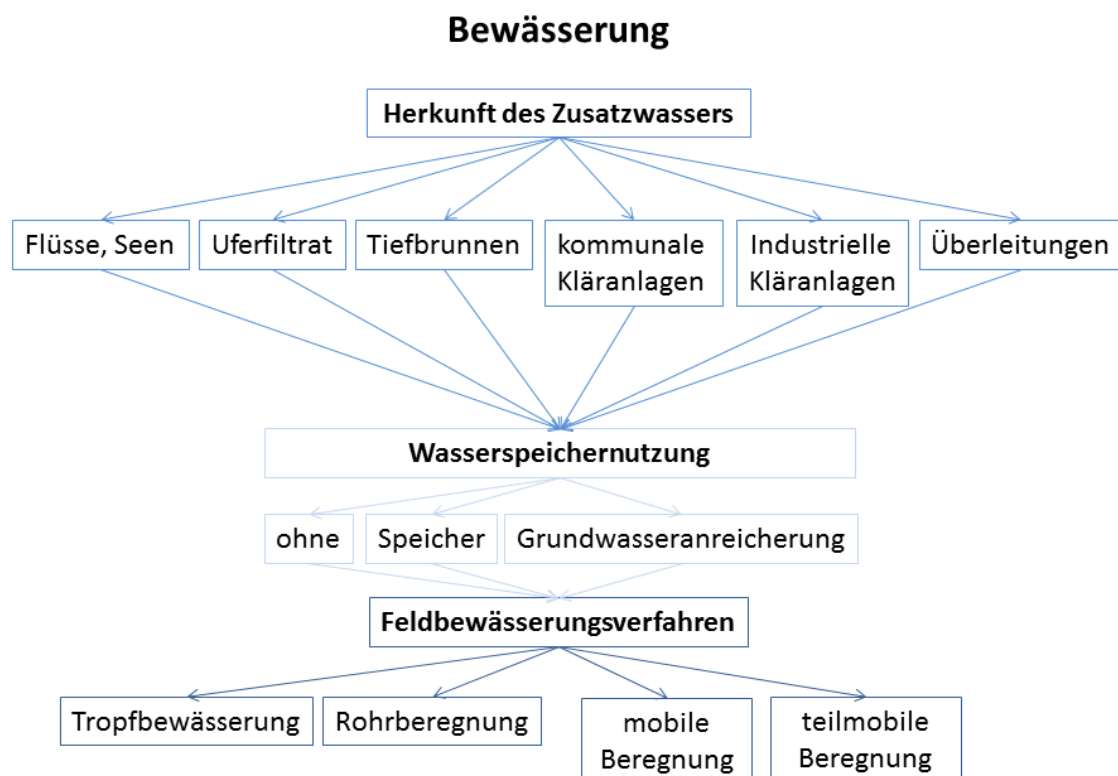


Abbildung 23: Schema der Wassermanagementverfahren für die Bereitstellung von Zusatzwasser für Feldbewässerung

Für den Bereich der Wasserbereitstellung können die Entnahmen aus Grundwasser und Oberflächenwasser als Hauptquellen angesehen werden. Je nach Bundesland ist der Anteil an Oberflächen- und Grundwasser an der Bewässerung unterschiedlich.

Bestimmungsgründe für die Nutzung der beiden Formen sind das verfügbare Angebot, der Aufwand bei der Gewinnung des Wassers und die damit verbundenen Kosten. Wie weiter unten genauer dargestellt, ist die Verwendung von Oberflächenwasser zumindest bis zu einer bestimmten Entfernung zwischen Feld und Entnahmepunkt kostengünstiger. Die Förderung von Grundwasser aus Tiefbrunnen ist zwar energieintensiver, hat aber den Vorteil, dass das Wasser relativ nah am Verbrauchsort gehoben werden kann, so dass Kosten für Wasserleitungen günstiger ausfallen oder ganz entfallen können.

Die Verwendung von Abwässern aus kommunalen Kläranlagen ist aufgrund der stark schwankenden Güte immer noch nicht für die landwirtschaftliche Verwendung geeignet, ob-

wohl das Dargebot aus dieser Herkunft im Umfeld von Metropolregionen beträchtlich ist und einen Beitrag zur Entspannung angespannter Dargebotssituationen leisten könnte. Hierzu wird derzeit das UFOPLAN-Forschungsprojekt „Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung“ durchgeführt (UFOPLAN Kennziffer: 371321232).

In Einzelfällen kann die Verwendung industrieller Abwässer (Bsp. Zuckerrübenfabrik) sinnvoll sein, da hier die Wassergüte einheitlich ist. Diese Form der Wasserbereitstellung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Wasserdargebot in der Region bereits durch hohe Entnahmemengen stark beansprucht wurde. Aufgrund der regionalen Begrenztheit dieser Form der Wasserbereitstellung ist diese Quelle jedoch mengenmäßig wenig relevant. Zudem bedeutet die erforderliche Errichtung von Speicherbecken einen hohen finanziellen Aufwand.

Wasserüberleitungen für landwirtschaftliche Zwecke spielen zwar im internationalen Vergleich in Deutschland eine geringere Rolle, dennoch gibt es einige Beispiele, bei denen Wasser über das Gewässernetz zu den landwirtschaftlichen Nutzern transportiert wird (vgl. Kapitel 3.1.2.8).

Wasserspeicher in Form von kleineren Speicherbecken spielten insbesondere in Thüringen eine größere Rolle für die Landwirtschaft, sind in ihrer Bedeutung aber auch dort zurückgegangen. Die größeren Talsperren bundesweit sind vorrangig für die Trinkwassergewinnung vorgesehen. Die Anreicherung des Grundwasserspeichers wird zwar in einigen Pilotprojekten untersucht, ist aber stark von einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit abhängig, so dass auch in diesem Fall entweder auf Abwässer oder Überleitungen zurückgegriffen werden muss. Dabei ergeben sich bereits oben genannten Probleme.

Bei der Ausbringungstechnik sind im landwirtschaftlichen Bereich (Feldberegnung) die mobile Beregnung (mobile Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug) auf kleineren Flächen sowie die Kreisberegnung auf größeren landwirtschaftlichen dominierend. Im gartenbaulichen Bereich hat die Rohrberegnung immer noch die größte Bedeutung. Aufgrund der flächenmäßig geringeren Bedeutung des Gartenbaus wird hier jedoch nicht weiter darauf eingegangen.

Die jeweiligen technischen und ökonomischen Parameter werden in den folgenden Kapiteln genauer benannt und mit Kennzahlen beschrieben.

### **3.2.1.1 Entwässerung**

Im Bereich der Entwässerung lassen sich die Wassermanagementverfahren zunächst in regulierte und nicht-regulierte Varianten einteilen (Abbildung 24). Beide Verfahren lassen sich sowohl mit der Grabenentwässerung als auch mit der unterirdischen Rohrdränung oder in Kombination beider verwirklichen.

Flächenmäßig sind beide Verfahren bundesweit etwa gleich häufig in Verwendung, wobei die Rohrdränung meist nicht reguliert wird, während die Grabenentwässerung meist durch den Anstau einer Regulierung unterliegt.

Die jeweiligen technischen und ökonomischen Parameter für die regulierten sowie die nicht regulierten Entwässerungssysteme werden in den folgenden Kapiteln genauer benannt und mit Kennzahlen beschrieben.

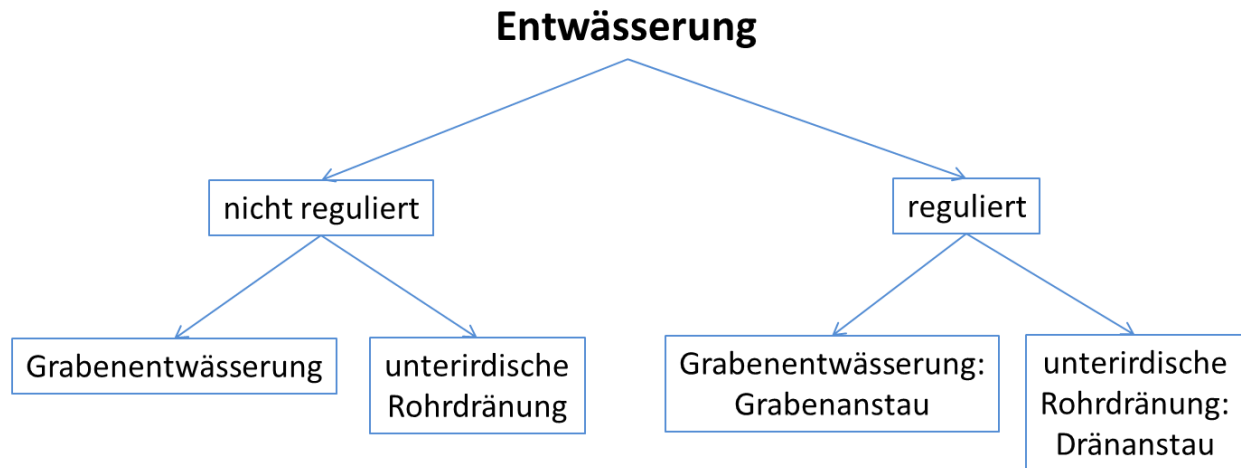


Abbildung 24: Schema der Wassermanagementverfahren für die Bodenwasserregulierung

## 3.2.2 Mögliche Effekte der Wassermanagementsysteme für die Landwirtschaft

### 3.2.2.1 Ertragssicherung durch Bewässerung

Die Abschätzung von Mehrerträgen, die durch die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen erreicht werden können, wurde in verschiedenen Bewässerungsversuchen untersucht. Der tatsächliche Mehrertrag durch die Bewässerung ergibt sich immer durch die Differenz zwischen dem natürlichen Ertragspotential und dem aufgrund von Wasserstress reduzierten, tatsächlich realisierten Ertrag. Daher steigert die Bewässerung im Grunde die Erträge bis zum natürlichen Ertragspotential und sichert diese Erträge ab. Es wird daher von einem in bestimmten Grenzen linearen Verlauf der Mehrerträge durch Bewässerung ausgegangen. Tabelle 3 beschreibt für typische landwirtschaftliche Beregnungskulturen die zu erwartenden Mehrerträge.

Tabelle 3: Landwirtschaftliche Mehrerträge durch Bewässerung bezogen auf die Zusatzwassermenge

Fruchtart	Mehrertrag kg/ha/mm
Hafer	17
Kartoffeln	120
Silomais	120
Sommergerste	15
Spargel*	25
Wintergerste	12
Winterraps	9
Winterweizen	15
Zuckerrüben	95

Quellen: Mirschel et al. 2014, \*Spargel: Planungsdaten Sachsen 2014, Herleitung aus TGL\_39477\_03

### 3.2.2.2 Ertragssicherung durch Dränung

Wie bei der Bewässerung wird der Nutzen der Dränung von den damit möglichen Mehrerträgen bestimmt. Muth (1991) beschreibt eine Ertragsdepression für Nutzpflanzen bei einer Wassersättigung der oberen Bodenschicht um mehr als 30 %. Bei völliger Überflutung der

Flächen kann es zum Totalausfall der Ernte kommen. Armstrong (1978) kommt in Dränversuchen auf eine Ertragszunahme von 10 dt/ha durch Dränung bei Weizen. Schröder (1968) nennt die in Tabelle 4 aufgeführten Mehrerträge, die aber heutzutage aufgrund der insgesamt höheren Ertragsersparnis wahrscheinlich noch höher ausfallen können.

Tabelle 4: Mehrerträge durch Dränung

Fruchtart	Mehrertrag (dt/ha)
Roggen	5
Weizen	6
Hafer	7
Kartoffeln	60
Zuckerrüben	100

Quelle: Schröder 1968

Werden Flächen, die vor der Dränung nur als Grünland genutzt werden konnten, nach der Entwässerung als Ackerland genutzt, lässt sich der Mehrertrag in einer Zunahme des Deckungsbeitrages der neu angebauten Fruchtart messen.

Durch kontrollierte Dränung (controlled drainage) können möglicherweise ähnliche Effekte wie bei der Bewässerung erzielt werden, da im Gegensatz zur herkömmlichen Dränung die Entwässerung reduziert wird und in Trockenphasen mit dem dadurch verfügbaren Bodenwasser Mehrerträge erzielt werden könnten.

### 3.2.3 Kostenfaktoren der Wassermanagementsysteme

#### 3.2.3.1 Bewässerung

Bei der Beschreibung der ökonomischen Kennzahlen von Bewässerungsverfahren wurde in erster Linie auf die Datensammlung zur Feldbewässerung des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 2013) in der neuesten Fassung von 2013 zurückgegriffen.

Die folgenden Annahmen liegen bei allen Kalkulationen zugrunde:

- Alle Preise sind ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen und Ausgleichszahlungen, Investitionszuschüsse oder Prämien werden nicht berücksichtigt.
- Der Lohnansatz für festangestellte Arbeitskräfte beträgt 15 €/AKh und 7 €/AKh für Saisonarbeitskräfte.
- Der Zinssatz für gebundenes Kapital (Betriebsmittel, Maschinen und Anlagen) beträgt 4 %.
- Der Preis für Dieselkraftstoff wird mit 1,00 €/l angenommen.
- Für Maschinen- und Anlagekostenkalkulation wird von einer Auslastung von 100 % ausgegangen (jährlicher Einsatz an der Auslastungsschwelle).
- Anschaffungspreise für Maschinen, Anlagen und Geräte sind Listenpreise der Landmaschinenhändler. Abschreibung auf den Restwert von 0 €.

#### **Investitionskosten**

Einen Überblick zum Kapitalbedarf ausgewählter Wasserentnahmeanlagen gibt Abbildung 25. Hier zeigt sich die Auswirkung der Förderhöhe des Beregnungswassers auf die Erschließungskosten. Sowohl der Brunnenbau als auch die Dimensionierung der Pumpen tragen bei grundwassergespeisten Anlagen zu den weitaus höheren Kosten bei. Bei Verwendung von Oberflächenwasser zur Beregnung entfallen die Kosten für die Brunnenerstellung (Bohrung, Bauwerk usw.).



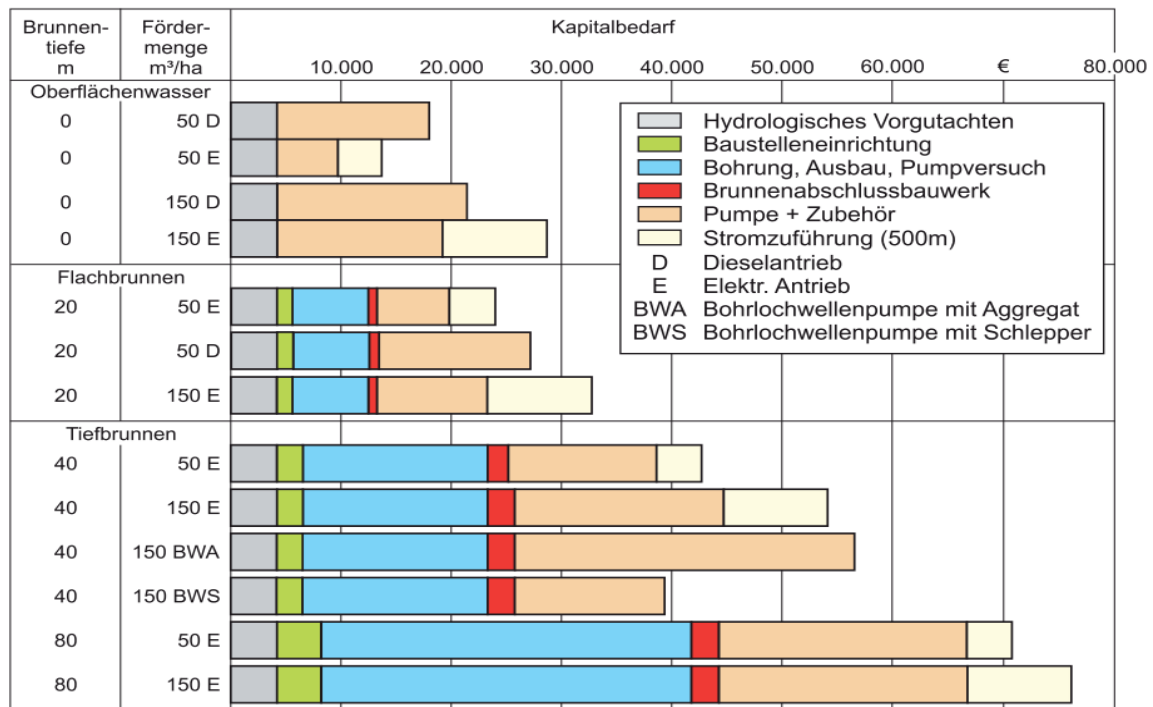


Abbildung 25: Kapitalbedarf ausgewählter Wasserentnahmeanlagen (Sourell et al. 2010)

Für die Planung, Antragstellung und Genehmigung sind, abhängig von der Entnahmemenge, der Lage (z.B. Naturschutz- oder FFH-Gebiet) und den länderspezifischen Auflagen, Kosten von 500 bis über 50.000 € anzusetzen (KTBL 2013).

Die Investitionskosten für den Brunnenbau reichen von ca. 10.000 € für einen 20 m Flachbrunnen bis zu 43.100 € für einen 80 m Tiefbrunnen. Hinzu kommen ggf. Investitionskosten für die Stromzuführung, die etwa mit 4.410 € für Pumpen mit einer Leistung 50 m³/h bis 10.160 € für Pumpen mit einer Leistung von 150 m³/h zu veranschlagen sind (KTBL 2013).

### Verfahrenskosten

Die Struktur der gesamten Verfahrenskosten ist in Abbildung 26 dargestellt. Insgesamt haben die fast nur im Gartenbau verwendeten Verfahren Tropfbewässerung und stationäre Rohrbe-regnung die höchsten Verfahrenskosten. Das günstigste Verfahren ist die Kreisberegnungs-maschine, wenn sie auf einer ausreichend großen Fläche verwendet wird. Je nach Einsatz-zweck und Flächenleistung sind jedoch auch mobile Beregnungsmaschinen vorteilhaft. Insbe-sondere wenn unterschiedliche Kulturen auf wechselnden Flächen beregnet werden sollen, ist bereits ein Vorteil der mobilen Beregnungsmaschinen gegeben.

Abhängig von der gewählten Antriebsart reichen die gesamten variablen Pumpkosten von 1,63 €/h für eine mit Strom betriebene Pumpe mit einer Leistung von 30 m³/h bis zu 15,30 € für eine mit Dieselmotor angetriebene Pumpe mit einer Leistung von 100 m³/h (König 2009).

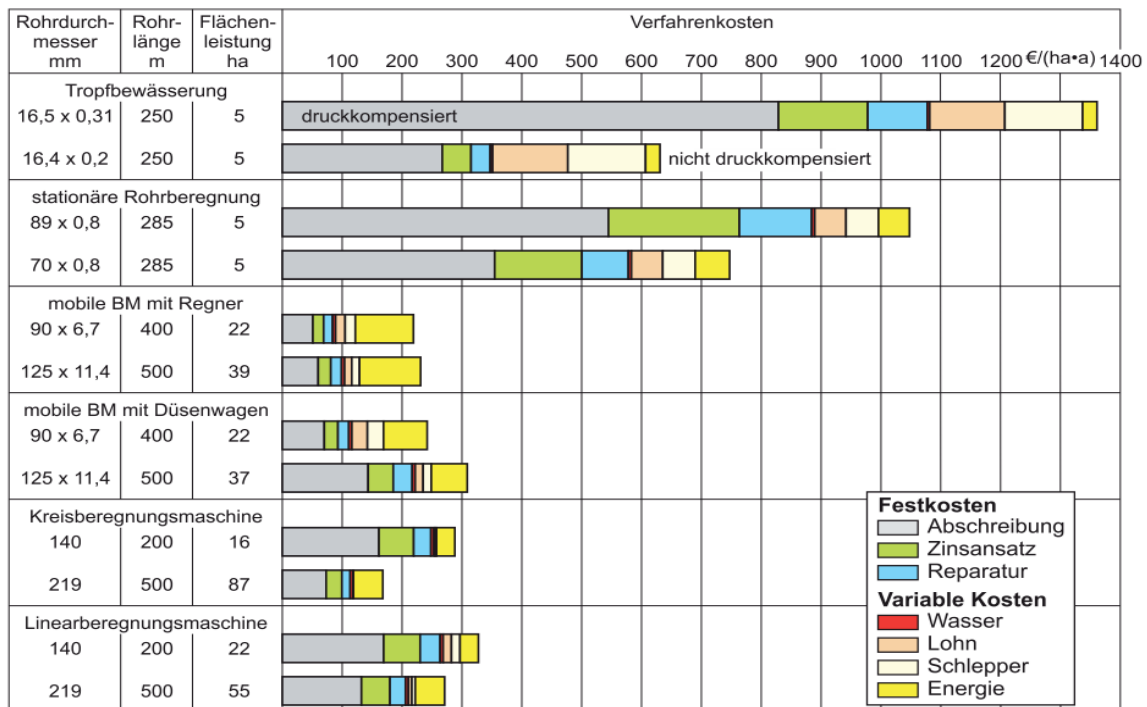


Abbildung 26: Verfahrenskosten ausgewählter Bewässerungsverfahren und deren Struktur (Sourell et al. 2010)

Die Jahreskosten der einzelnen Verfahren werden in einer Kalkulation des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) wie in Tabelle 5 ausgewiesen. Die höchsten Kosten je ha sowie je mm Beregnungswasser weist die Tropfbewässerung auf. Die Kreis- und Linearberegnungsmaschinen sind aufgrund der angenommenen Flächenleistung von 33 ha teurer als mobile Beregnungsmaschinen mit Einzelregner. Außerdem muss zu dieser Aufstellung angemerkt werden, dass hier Erschließungskosten nicht direkt ausgewiesen werden, sondern in den Kosten für Zusatzwasser von einem Beregnungsverband enthalten sind.

Tabelle 5: Vergleich der Jahreskosten von Bewässerungssystemen; Mobile Beregnungsmaschinen, Rohrberegnung, Tropfbewässerung sowie stationäre Kreis- und Linearberegnungsmaschinen; Bewässerung eines 5 bzw. 33 ha Schlages

	Fläche	Zeit	Kosten				Summe	Je mm
			Lohn	Maschinen	Zusatzwasser			
System	ha	AKh/ha	€/ha				€/mm	
Rohrberegnung	5	7,4	55,4	931,64	230	1.217,04	12,17	
Tropfbewässerung	5	27,31	298,47	1.932,12	230	2.460,59	24,61	
Beregnungsmaschine mit Einzelregner	5	1,44	21,6	139	230	390,60	3,91	
Beregnungsmaschine mit Düsenwagen	5	1,76	26,4	263,31	230	519,71	5,20	
Kreisberegnungsmaschine	33	0,15	2,25	252,75	230	485,00	4,85	
Linearberegnungsmaschine	33	0,55	8,25	303,65	230	541,90	5,42	

Quelle: KTBL 2013

Annahmen:

- Hof-Feld-Entfernung 2 km
- Rohr-, Tropf- und Mobile Beregnung: vier Zusatzwassergaben von jeweils 25 mm
- Rohrberegnung (5 x 20 mm), Tropfbewässerung (7 x 4 mm und 9 x 8 mm)
- fünf Zusatzwassergaben von jeweils 20 mm
- Zusatzwasser von Beregnungsverband zum Preis von 0,23 €/m<sup>3</sup>

Tabelle 6 zeigt die Kenndaten wie sie in einem Pilotprojekt in Brandenburg ermittelt wurden. In dieser Darstellung sind die Pumpkosten in der Spalte Energie enthalten. Für das Zusatzwasser wurde kein Preis angesetzt, da es aus betriebseigenen Brunnen gefördert wurde. Erschließungskosten sind in dieser Tabelle ebenfalls nicht enthalten. Als günstigstes Verfahren bei den Gesamtkosten je ha zeigt sich hier die Kreisberegnungsmaschine, wenn eine ausreichende Flächenausstattung gegeben ist. Bei einer Gesamtbewässerungsmenge von 90 mm entstehen somit Beregnungskosten von 2,28 bis 6,89 €/mm. Fricke (2006) kalkuliert Beregnungskosten für mobile Beregnungsmaschinen je nach Pumpenart und Brunntiefe von 2,70 €/mm und 3,50 €/mm.

Tabelle 6: Kenndaten, Kapitalbedarf und Kosten verschiedener Beregnungsverfahren (3 Gaben ca. 30 mm/a)

Verfahren	Anlagen- größe	Flächen- leistung	Kapitalbedarf		Festkosten	Energie	Arbeit + Schlep- per	Ge- sam- kosten	
			€	€/ha					
		ha	€	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/mm
Mini-Pivot	108m	3,7	14.616	3.950	572	40	8	620	6,89
Rohr- trommel	500m	27,5	22.851	831	124	71	21	216	2,40
Kreis- bereg- nungs- maschine	208m	13,6	25.498	1.875	269	40	8	317	3,52
	Radius 425m	57	61.959	1.087	157	40	8	205	2,28
Linear- maschine	Länge 400m	60	79.250	1.320	189	40	15	244	2,71

Quelle: Lüttger et al. 2005, eigene Darstellung

### 3.2.3.2 Entwässerung

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten für den Bau von Entwässerungsanlagen umfassen die Kosten für die Planung, das benötigte Material, den Einbau der Dränrohre sowie den Anschluss an die Vorflut.

Diese Kosten werden maßgeblich auch von den standörtlichen Parametern beeinflusst. So erfordern geringer wasserleitfähige Böden einen dichteren Dränabstand oder gar den Einbau von Sickerschlitzen. Und eine große Hangneigung bedingt den Einbau von Ausgleichsschächten, da die Neigung der Dränrohre auf 8 % zu begrenzen ist (Quentin und Schwerdtle 2013). Neben den Arbeitsaufwendungen werden damit auch die Materialaufwendungen höher. Darüber hinaus können standörtlichen Bedingungen auch die Bauausführung erschweren und damit höhere Kosten hervorrufen, wenn z. B. höherer Steinbesatz angetroffen wird.

Weitere Parameter, die die Kosten beeinflussen können, entstehen durch die Ausführung der Dränung. Mittels der herkömmlichen Dränung wird der Boden über eine für die Bewirtschaft-

tung und das Pflanzenwachstum erforderliche Maß hinausgehende Tiefen, die frostfreie Bedingungen liefern oder technisch bedingt sind, entwässert. Der Abfluss aus dem Dränsystem erfolgt frei.

Bei einer kontrollierten Dränung (s. Kap. 0) ist jedes benötigte Regulierungselement mit Investitionskosten und je nach Ausführung ebenso mit Arbeitskosten für die Bedienung verbunden. In flachen Gebieten kann mit einem Regulierungselement eine sehr große Fläche gesteuert werden. In stärker geneigten Gebieten wird aber schnell eine Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht. In Deutschland liegen allerdings keine praktischen Erfahrungen zur kontrollierten Dränung vor (DVWK 2012), so dass Wirkungen und Preise kaum abgeschätzt werden können.

Die flächenbezogenen Kosten der Rohrdränung beziffern sich nach Döhler (2009) auf die in der folgenden Tabelle (Tabelle 7) dargestellten Größen. Die Angaben in dieser Tabelle beziehen sich jedoch nur auf einzeln ausmündende Dräne. In der Praxis werden meist Dränsysteme mit Saugern und Sammlern verbaut, um je nach Geländeform einen Anschluss an die Vorflut zu gewährleisten.

Tabelle 7: Kosten je ha bei 12 m Dränabstand inkl. Verfüllen der Drängräben (2009)

Rohrtyp	Ohne Filter (€/ha)	Mit Filter (€/ha)
DN50	1000	1200
DN60	1200	1400

Quelle: Döhler (2009)

Um eine größere Praxisnähe abzubilden, zeigt Tabelle 8 eine Beispielkalkulation für zwei Schläge mit je 1 ha und 20 ha ohne Hindernisse. Als Richtwert gilt zudem unter Landwirten ein Wert von ca. 2000 €/ha, der aber je nach Dränmaterial, Standort und möglichen Hindernissen (Wege, Leitungen im Boden) sehr variieren kann (agrowissen 2014).

Tabelle 8: Kostenbeispiel Dränung landwirtschaftlicher Flächen, Verfüllen der Gräben in Eigenleistung

	Gesamtpreis €/ha
Einbau Dränung mit Fräse ohne Hindernisse 1 ha	4845,-
Einbau Dränung mit Fräse ohne Hindernisse 20 ha	1726,-

Quelle: Quentin und Schwerdtle 2013

Die Nutzungsdauer beträgt bei der Rohrdränung ungefähr 30 Jahre, nach dieser Zeit sollte eine neue Dränung installiert werden (Eggelsmann 1981).

### **Instandhaltungskosten**

Die Instandhaltungskosten von Dränanlagen entstehen in erster Linie durch in bestimmten Zeitintervallen anfallende Dränspülungen. Die Zeiträume sind von der Bodenart abhängig. So wird von Zeitintervallen für Spülungen der Dränungen in Sandböden alle 1-2 Jahre, Marschböden alle 5-8 Jahre und feinschluffige Böden alle 1-2 Jahre ausgegangen (Quentin und Schwerdtle 2013). Operative Reparaturen fallen an wenn Dräne durch mechanische Einflüsse beschädigt wurden. Eggelsmann (1981) empfiehlt 1-4 % der Baukosten pro Jahr als Instandhaltungskosten anzusetzen. Dies führt bei Zugrundelegung der Zahlen aus Tabelle 8 zu jährlichen Unterhaltungskosten von 17 bis 193 €/ha und Jahr.

### 3.2.3.3 Wasserspeicher

Bei der Errichtung von Wasserspeichern zur Bereitstellung von Beregnungswasser müssen die Baukosten in die Wasserbereitstellungskosten mit einbezogen werden. Anhand zweier Speicherbecken im Landkreis Uelzen lassen sich grob die Bereitstellungskosten aus Wasserspeichern abschätzen. Aus Baukosten und Speichervolumen lassen sich näherungsweise Kosten für die Errichtung von Speichervolumen von 6,6 bis 11,25 €/m<sup>3</sup> ableiten (Tabelle 9). Bei einem Nutzungszeitraum von mindestens 20 Jahren ergeben sich Bereitstellungskosten von 0,33 bis 0,56 €/m<sup>3</sup>. Bei einem tatsächlich längeren Nutzungszeitraum reduzieren sich die Kosten entsprechend. Anzumerken ist hierbei, dass in dieser Berechnung noch keine Pumpkosten zwischen Speicher und Feld enthalten sind, so dass die Wasserkosten am Feld noch um einiges höher sein können.

Tabelle 9: Bereitstellungskosten von Speichervolumen für Beregnungswasser

Name	Volumen m <sup>3</sup>	Investitionskosten €	Kosten Speicher €/m <sup>3</sup>
Stöcken	750.000	5 Mio.	6,6
Borg	400.000	4,5 Mio.	11,25

### 3.2.3.4 Überleitungen

Bei der Nutzung von Schifffahrtsstraßen zur Überleitung von Beregnungswasser für die Landwirtschaft sollten nur die Pumpkosten berücksichtigt werden. Beispiel hierzu ist die Kostenumlage für Beregnungswasser am Elbe-Seitenkanal, die als Wasserentnahmeentgelt an die Wasser- u. Schifffahrtsdirektion für die entstandenen Pumpkosten mit 2,3 ct/m<sup>3</sup> verrechnet wird (Hr. Martens, BV ESK, 20.3. 2014). Falls jedoch Systeme zur Überleitung von Wasser errichtet werden, die allein zur Deckung des Bedarfs von Beregnungswasser verwendet werden, sind dafür sämtliche Investitionskosten zu veranschlagen. Genauere Zahlen sind für Deutschland kaum erhältlich. Ein sehr grober Anhaltspunkt sind die Baukosten von Entwässerungskanälen, für die es gesetzlich festgelegte Kostenrichtwerte gibt. So sind für Gräben mit einer Breite von 1,80 m reine Baukosten von 1.275 €/m anzusetzen, so dass für einen Kanal von 10 km Länge bereits 12,7 Mio. € veranschlagt werden müssten. Gegenüber den hier beschriebenen Entwässerungsgräben sind eventuell noch Dichtungen nötig, die den Preis weiter erhöhen könnten. Weiterhin sind Anschluss- und Pumpbauwerke hierin noch nicht enthalten (Landesrecht Hessen 2015). Die Baukosten liegen somit bedeutend höher als bei einer Grundwasserentnahme und bringen auch hohe Betriebskosten mit sich (s. Kapitel 3.2.3.1). Diese Größenordnung deckt sich auch mit konkreten Planungen zu einer Wasserüberleitung in Sachsen-Anhalt, bei der mit einem Kanal von 14 km Länge Beregnungswasser aus dem Mittellandkanal an landwirtschaftliche Beregnungsflächen herangeführt werden sollte. Die ermittelten Baukosten von 9,9 -12,5 Mio. € führten zum Abbruch weiterer Planungen (Hönl 2013).

Anhaltspunkte geben auch Projekte, bei denen Wasser zwar nicht zwischen Einzugsgebieten übergeleitet wird, jedoch auf größere Strecken gepumpt wird. Eine Kostenschätzung für eine Wasserentnahme aus der Nähe des Rheins in der Pfalz und einem Transport über 14 km führt zu einem Kostendeckungspreis von 1,41 €/m<sup>3</sup> (BGS Umwelt 2011).

### 3.2.4 Monetarisierung des Nutzens des Wassermanagements für die Landwirtschaft

#### 3.2.4.1 Bewässerung

##### *Berechnungskostenfreie Leistung*

Beispiele zur berechnungskostenfreien Leistung einzelner Fruchtarten aus Versuchsergebnissen in Brandenburg sind in Lüttger et al. (2005) aufgeführt (siehe Tabelle 10). In den Ergebnissen wird deutlich, dass es durch die Beregnung sowohl zu einer Erhöhung des naturalen Ertrages als auch (zumindest bei einigen Fruchtarten) zu einer Qualitätsverbesserung kommt. Die Qualitätsverbesserung zeigt sich in höheren Preisen bei diesen Fruchtarten. Die in der Tabelle dargestellte Erlösdifferenz entspricht dem monetären Mehrertrag, die gesamten Beregnungskosten sind die Mehrkosten der Beregnung. Die Differenz aus diesen beiden Größen ist die berechnungskostenfreie Leistung in €/ha. Die Zahlen zeigen, dass die Beregnung für alle Kulturen kostendeckend war. Während für Kartoffeln und Zuckerrüben relativ hohe berechnungskostenfreie Leistungen erzielt werden können, sind diese bei Körnermais und Winterweizen relativ niedrig. Hierbei zeigen sich zwei Einflussgrößen: sowohl ein hoher Mehrertrag (kg/mm) durch die Beregnung, als auch ein hoher Produktpreis führen zu einer hohen Rentabilität der Beregnung.

Tabelle 10: Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis (Preise 2005)

	Speisekartoffeln	Körnermais	Winterweizen	Zuckerrüben	Braugerste
Ertrag (dt/ha) unberechnet	380	61	58	517	43
Ertrag (dt/ha) berechnet	526	82	68	630	55
Ertragsdifferenz (dt/ha)	146	21	10	113	12
Preis (€/dt) (niedrige Qualität, o. Bereg.)	6	11	9	4,5	9
Preis (€/dt) (hohe Qualität; mit Bereg.)	6	11	10	4,5	11
Erlöse (€/ha) unberechnet	2.280	671	522	2.326,5	387
Erlöse (€/ha) berechnet	3.156	902	680	2.835	605
Erlösdifferenz (€/ha)	876	231	158	508,5	218
Zusatzwasser (mm)	100	80	62	116	50
Gesamte Beregn.-kosten (2,50 €/mm)	250	200	155	290	125
Berechnungskostenfreie Leistung (€/ha)	626	31	3	218,5	93
Speisekartoffeln mit 6,- €/dt, Qualitätsweizen (A) mit 10,- €/dt, Brotweizen (B) mit 9,- €/dt, Braugerste mit 11,- €/dt und Futtergerste mit 9,- €/dt, Körnermais mit 11,- €/dt und Zuckerrüben mit 4,5 €/dt, Mischkalkulation A/B Rüben mit 17% Zucker					

Quelle: Lüttger et al. 2005, eigene Darstellung

Die in Tabelle 10 aufgeführten Produktpreise sowie Beregnungskosten sind im Vergleich zum gegenwärtigen Niveau relativ niedrig. Unterstellt man Produktpreise zum gegenwärtigen Preisniveau (2014) und etwas höhere Beregnungskosten (3 €/mm) ergeben sich die in Tabelle 11 aufgeführten Werte. Die nur leicht gestiegenen Beregnungskosten reduzieren kaum die durch die höheren Marktpreise gestiegenen Mehrerlöse. In diesem Beispiel können alle Fruchtarten rentabel beregnet werden.

Tabelle 11: Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis (Preise 2014)

	Speisekartoffeln	Körnermais	Winterweizen	Zuckerrüben	Braugerste
Ertrag (dt/ha) unberechnet	380	61	58	517	43
Ertrag (dt/ha) beregnet	526	82	68	630	55
Ertragsdifferenz (dt/ha)	146	21	10	113	12
Preis (€/dt) (niedrige Qualität, o. Bereg.)	12	15	14,8	4,7	14,2
Preis (€/dt) (hohe Qualität; mit Bereg.)	12	15	17,3	4,7	17,7
Erlöse (€/ha) unberechnet	4.560	915	858,4	2.429,9	610,6
Erlöse (€/ha) beregnet	6.312	1.230	1.176,4	2.961	973,5
Erlösdifferenz (€/ha)	1.752	315	318	531,1	362,9
Zusatzwasser (mm)	100	80	62	116	50
Gesamte Beregn.-kosten (3,0 €/mm)	300	240	186	348	150
Beregnungskostenfreie Leistung (€/ha)	1.452	75	132	183,1	212,9
Speisekartoffeln mit 12,- €/dt, Qualitätsweizen (A) mit 17,3 €/dt, Futterweizen (B) mit 14,8 €/dt, Braugerste mit 17,7 €/dt und Futtergerste mit 14,2 €/dt Körnermais mit 15,- €/dt und Zuckerrüben mit 4,7 €/dt, Mischkalkulation A/B Rüben mit 17% Zucker					

Quelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

Die oben dargestellten Beispiele gehen alle von einem bestimmten, auf den Standort ausgerichteten Zusatzwasserbedarf aus. In der folgenden Tabelle (Tabelle 12) wird von einem halbierten Zusatzwasserbedarf ausgegangen, der sich z.B. aus einer besseren natürlichen Wasserversorgung durch Niederschläge oder aber durch eine höhere nutzbare Feldkapazität des Bodens ergibt. Die Beregnungskosten je mm erhöhen sich aufgrund der Umlage der Festkosten auf weniger Beregnungswasser; die variablen Kosten der Beregnung werden halbiert, so dass die Beregnungskosten mit 5 €/mm angesetzt werden können. In diesem Beispiel zeigt sich, dass auf Standorten mit einem niedrigen Beregnungsbedarf bei den Fruchtarten Körnermais und Zuckerrüben die Beregnung nicht mehr kostendeckend ist, während bei den anderen Fruchtarten weiterhin die Beregnung rentabel bleibt.

Tabelle 12: Auswirkung der Beregnung einiger Fruchtarten auf das Betriebsergebnis bei halbiertem Beregnungsbedarf (Preise 2014)

	Speisekartoffeln	Körnermais	Winterweizen	Zuckerrüben	Braugerste
Ertrag (dt/ha) unberechnet	453	71,5	63	573,5	49
Ertrag (dt/ha) beregnet	526	82	68	630	55
Ertragsdifferenz (dt/ha)	73	10,5	5	56,5	6
Preis (€/dt) (niedrige Qualität, o. Bereg.)	12	15	14,8	4,7	14,2
Preis (€/dt) (hohe Qualität; mit Bereg.)	12	15	17,3	4,7	17,7
Erlöse (€/ha) unberechnet	5.436	1.072,5	932,4	2.695,45	695,8
Erlöse (€/ha) beregnet	6.312	1.230	1.176,4	2.961	973,5
Erlösdifferenz (€/ha)	876	157,5	244	265,55	277,7
Zusatzwasser (mm)	50	40	31	58	25
Gesamte Beregn.-kosten (5,0 €/mm)	250	200	155	290	125
Beregnungskostenfreie Leistung (€/ha)	626	-42,5	89	-24,45	152,7

Quelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

### **Abschätzung der langfristigen Rentabilität mittels Kapitalwertmethode**

Da Kartoffeln und Zuckerrüben im obengenannten Beispiel (Tabelle 11) eine weitaus höhere berechnungskostenfreie Leistung als die anderen Fruchtarten aufweisen, soll zunächst am Beispiel von Winterweizen als flächenmäßig dominante Anbaukultur eine Rentabilitätsbetrachtung durchgeführt werden.

Über eine Nutzungsdauer von 12 Jahren wird eine Kreisberegnungsanlage zur Beregnung von Winterweizen verwendet (Tabelle 13). Dabei wird die Beregnungshöhe als Mittelwert über die Nutzungsdauer betrachtet. Die Investitionssumme von 120.000 € (Beregnungsanlage, Brunnenbau) sowie die Einnahmen und Ausgaben werden mit einem Zinssatz von 5% auf den Gegenwartswert abgezinst. Alle Kennzahlen entsprechen den bereits dargestellten Zahlen aus den vorangegangenen Kapiteln. Die am Ende der Tabelle angegebenen Werte zu fixen und variablen Kosten sind nur zur Information ohne Verzinsung auf ein Jahr bezogen. Bei einer mittleren Beregnungshöhe von 80 mm/a ist das Verfahren rentabel, da der Kapitalwert positiv ist. Die Barwerte der Überschüsse liegen über den Anschaffungskosten.

Tabelle 13: Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Winterweizen)

Kreisberegnung 87 ha	
Fruchtart	Winterweizen
Mehrertrag je mm (dt/ha)	0,15
Mehrertrag (dt/ha)	12,00
Marktpreis (€/dt)	18,5
Hektar	87
Einnahmen	Jahr 1
Mehrerlöse	19.314,00 €
<b>Summe</b>	<b>19.314,00 €</b>
<b>Mehrerlös pro ha</b>	<b>222,00 €</b>
<b>Beregnung mm</b>	<b>80</b>
<b>Beregnung ges. m<sup>3</sup></b>	<b>69.600</b>
<b>Mehrkosten je dt (Dünger/PSM)</b>	<b>3,05 €</b>
Ausgaben	
Reparatur (0,02 €/m <sup>3</sup> )	1.392,00 €
Personal (0,045h/mm * 15 €)	54,00 €
Mehrkosten (Dünger/PSM)	3.184,20 €
Energiekosten (0,06 kWh*m <sup>3</sup> * 0,20 €)	835,20 €
<b>Summe</b>	<b>5.465,40 €</b>
<b>Variable Kosten pro ha</b>	<b>62,82 €</b>
<b>Fixe Kosten pro ha</b>	<b>114,94 €</b>
<b>Gesamtkosten pro ha</b>	<b>177,76 €</b>
<b>Barwert der Überschüsse</b>	<b>122.743,63 €</b>
<b>Anschaffungskosten</b>	<b>120.000,00 €</b>
<b>Kapitalwert</b>	<b>2.743,63 €</b>
<b>Annuität</b>	<b>309,55 €</b>

Quelle: Lüttgen et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

Um einen Überblick zur Auswirkung unterschiedlicher mittlerer Beregnungshöhen zu erhalten, sind in Abbildung 27 die Kapitalwerte zu unterschiedlichen Beregnungshöhen dargestellt. Dabei zeigt sich, dass erst ab einer mittleren Beregnungshöhe von ca. 79 mm unter den angenommenen Voraussetzungen die Investition gerade noch rentabel ist.



Das dargestellte Beispiel bezieht sich zunächst auf mittlere, gleichbleibende Beregnungshöhen über den gesamten Betrachtungszeitraum. Eine einmalige Trockenperiode, die einen erhöhten Beregnungsbedarf mit einem Wiederkehrintervall von z.B. 12 Jahren mit sich bringt, erhöht den Mittelwert über den Planungszeitraum. Beispielsweise würde bei einer Zunahme der Beregnungshöhe um 12 mm in einem Jahr die mittlere Beregnungshöhe im Planungszeitraum also nur um 1 mm steigen. Die geringe Bedeutung von Einzelereignissen auf die Rentabilität über die gesamte Nutzungsdauer einer Beregnungsanlage muss bei der Planung berücksichtigt werden.

Nach TGL 39\_477/03 (1985) wird für mittlere Trockenjahre ein zusätzlicher Beregnungsbedarf von 40 mm für Winterweizen ausgewiesen (120 mm statt 80 mm). Als mittlere Trockenjahre werden die 12 Jahre aus 29 Beobachtungsjahren mit einer hohen klimatischen Wasserbilanz definiert, d.h. in rund 40 % der Jahre wird von einem zusätzlichen Wasserbedarf ausgegangen. Diese Werte sind aber nur als Richtwerte für die Auslegung von Beregnungsanlagen sowie die Abschätzung der Beregnungsmenge in sehr trockenen Jahren gedacht, die mittleren Beregnungsmengen sind hiervon jedoch nicht betroffen.

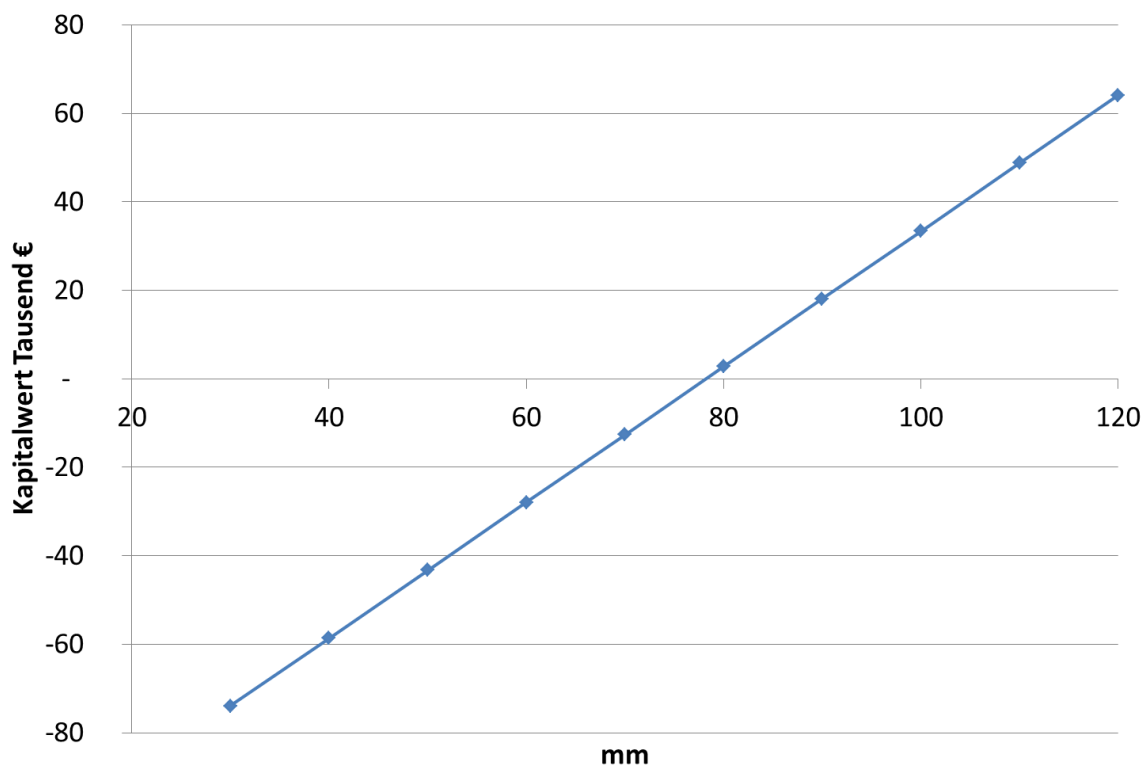


Abbildung 27: Kapitalwerte zu unterschiedlichen Gesamtberegnungshöhen (Datenquelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012)

Im Folgenden sind auch die Kapitalwerte für die Fruchtarten Kartoffeln, Silomais und Winterroggen dargestellt. Die Beispiele zeigen jeweils Mindest-Beregnungshöhen und Verkaufspreise, bei denen die Verfahren gerade noch rentabel sind, also einen Kapitalwert größer Null erzielen.

Bei der Kartoffel zeigt sich die große Vorzüglichkeit der Beregnung von Kartoffeln. Aufgrund der hohen Mehrerlöse wird schon bei einem mittleren Zusatzwasserbedarf von 15 mm ein positiver Kapitalwert erzielt. Hierbei ist anzumerken, dass die Verkaufspreise für Kartoffeln starken Schwankungen unterworfen sind, und hier nur näherungsweise ein langfristiger Durchschnittspreis angenommen wurde.

Tabelle 14: Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Kartoffeln)

Kreisberegnung 87 ha	
<b>Fruchtart</b>	<b>Kartoffeln</b>
Mehrertrag je mm (dt/ha)	1,2
Mehrertrag (dt/ha)	18,00
Marktpreis (€/dt)	10
Hektar	87
Einnahmen	Jahr 1
Mehrerlöse	15.660,00 €
<b>Summe</b>	<b>15.660,00 €</b>
<b>Mehrerlös pro ha</b>	<b>180,00 €</b>
<b>Beregnung mm</b>	15
<b>Beregnung ges. m<sup>3</sup></b>	13.050
<b>Mehrkosten je dt (Dünger/PSM)</b>	<b>0,90 €</b>
Ausgaben	
Reparatur (0,02 €/m <sup>3</sup> )	261,00 €
Personal (0,045h/mm * 15 €)	10,13 €
Mehrkosten (Dünger/PSM)	1.409,40 €
Energiekosten (0,06 kWh*m <sup>3</sup> * 0,20 €)	156,60 €
<b>Summe</b>	<b>1.837,13 €</b>
<b>Variable Kosten pro ha</b>	<b>21,12 €</b>
<b>Fixe Kosten pro ha</b>	<b>114,94 €</b>
<b>Gesamtkosten pro ha</b>	<b>136,06 €</b>
<b>Barwert der Überschüsse</b>	<b>122.515,62 €</b>
<b>Anschaffungskosten</b>	<b>120.000,00 €</b>
<b>Kapitalwert</b>	<b>2.515,62 €</b>
<b>Annuität</b>	<b>283,83 €</b>

Quelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

Die Beregnung von Silomais ist unter den getroffenen Annahmen erst bei einem Beregnungsbedarf von 167 mm rentabel, ein Wert der unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen kaum erreicht wird. Der Verkaufspreis für Maissilage wurde als Gleichgewichtspreis zu einem alternativen Anbau von Winterweizen errechnet, der aus dem obengenannten Weizenpreis von 18,5 €/dt abgeleitet wurde. Tatsächlich erzielen Landwirte durch die Verwertung des Mais in Biogasanlagen zum Teil weit höhere Preise, so dass sich die Beregnung dann schon bei einem niedrigeren Beregnungsbedarf lohnt. Hervorzuheben ist auch, dass die variablen Kosten der Beregnung durch den Mehrlös gedeckt sind, so dass eine stationär errichtete Beregnungsanlage innerhalb einer Fruchtfolge mit z.B. Kartoffeln auch unter diesen Annahmen rentabel ist.

Tabelle 15: Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Silomais)

Kreisberegnung 87 ha	
<b>Fruchtart</b>	<b>Silomais</b>
Mehrertrag je mm (dt/ha)	1,2
Mehrertrag (dt/ha)	200,40
Marktpreis (€/dt)	2,7
Hektar	87
Einnahmen	Jahr 1
Mehrerlöse	47.073,96 €
<b>Summe</b>	<b>47.073,96 €</b>
<b>Mehrerlös pro ha</b>	<b>541,08 €</b>
<b>Beregnung mm</b>	167
<b>Beregnung ges. m<sup>3</sup></b>	145.290
<b>Mehrkosten je dt (Dünger/PSM)</b>	<b>1,65 €</b>
Ausgaben	
Reparatur (0,02 €/m <sup>3</sup> )	2.905,80 €
Personal (0,045h/mm * 15 €)	112,73 €
Mehrkosten (Dünger/PSM)	28.767,42 €
Energiekosten (0,06 kWh*m <sup>3</sup> * 0,20 €)	1.743,48 €
<b>Summe</b>	<b>33.529,43 €</b>
<b>Variable Kosten pro ha</b>	<b>385,40 €</b>
<b>Fixe Kosten pro ha</b>	<b>114,94 €</b>
<b>Gesamtkosten pro ha</b>	<b>500,34 €</b>
<b>Barwert der Überschüsse</b>	<b>120.048,62 €</b>
<b>Anschaffungskosten</b>	<b>120.000,00 €</b>
<b>Kapitalwert</b>	<b>48,62 €</b>
<b>Annuität</b>	<b>5,49 €</b>

Quelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

Auch das Beispiel Winterroggen zeigt, dass langfristig eine Beregnung von Winterroggen kaum kostendeckend ist, da hierzu ein mittlerer Zusatzwasserbedarf von 140 mm nötig wäre, um über den Mehrerlös die Gesamtkosten zu decken. Aber an diesem Beispiel zeigt sich, dass die variablen Kosten unter dem Mehrerlös liegen, so dass bei einer ausreichend rentablen Fruchtart in der Fruchtfolge sogar Winterroggen beregnet werden kann.

Tabelle 16: Berechnung des Kapitalwertes einer Kreisberegnungsanlage (Winterroggen)

Kreisberegnung 87 ha	
<b>Fruchtart</b>	<b>Winterroggen</b>
Mehrertrag je mm (dt/ha)	0,15
Mehrertrag (dt/ha)	21,00
Marktpreis (€/dt)	12,65
Hektar	87
Einnahmen	Jahr 1
Mehrerlöse	23.111,55 €
<b>Summe</b>	<b>23.111,55 €</b>
<b>Mehrerlös pro ha</b>	<b>265,65 €</b>
<b>Beregnung mm</b>	140
<b>Beregnung ges. m<sup>3</sup></b>	121.800
<b>Mehrkosten je dt (Dünger/PSM)</b>	<b>3,05 €</b>
Ausgaben	
Reparatur (0,02 €/m <sup>3</sup> )	2.436,00 €
Personal (0,045h/mm * 15 €)	94,50 €
Mehrkosten (Dünger/PSM)	5.572,35 €
Energiekosten (0,06 kWh*m <sup>3</sup> * 0,20 €)	1.461,60 €
<b>Summe</b>	<b>9.564,45 €</b>
<b>Variable Kosten pro ha</b>	<b>109,94 €</b>
<b>Fixe Kosten pro ha</b>	<b>114,94 €</b>
<b>Gesamtkosten pro ha</b>	<b>224,88 €</b>
<b>Barwert der Überschüsse</b>	<b>120.071,36 €</b>
<b>Anschaffungskosten</b>	<b>120.000,00 €</b>
<b>Kapitalwert</b>	<b>71,36 €</b>
<b>Annuität</b>	<b>8,05 €</b>

Quelle: Lüttger et al. 2005, Offermann et al. 2012, eigene Darstellung

Der Einfluss von unterschiedlichen Preisszenarien auf die Rentabilität wird in Kapitel 3.3.4 dargestellt.

### 3.2.4.2 Entwässerung

Die durch die Entwässerung möglichen Mehrerträge ermöglichen unter Zugrundelegung der in Tabelle 17 gezeigten Marktpreise die aufgeführten Mehrerlöse. Zieht man die obengenannten Unterhaltungskosten pro Jahr (17 bis 193 €/ha und Jahr) heran, zeigt sich, dass bei einigen Fruchtarten die Mehrerlöse nicht ausreichen, um alleine die Unterhaltungskosten zu decken. Unterstellt man durchschnittliche Investitionskosten von 2000 €/ha bei einer Lebensdauer der Dränage von 30 Jahren entstehen ohne die Berücksichtigung einer Verzinsung jährliche Kosten von 67 €/ha, hinzukommen angenommene 50 €/ha Instandhaltungskosten, so dass sich Gesamtkosten von 127 €/ha jährlich ergeben würden. Diese werden in den in Tabelle 17 gezeigten Mehrerlösen nur bei Kartoffeln und Zuckerrüben erreicht. Quentin und Schwerdtle (2013) gehen bei einer Investitionssumme von 2000 €/ha und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren von jährlichen Kosten von 138 €/ha aus, steigt die Nutzungsdauer auf 50 Jahre sinken die jährlichen Kosten auf 82 €/ha.

Tabelle 17: Mehrerlöse durch Dränung

Fruchtart	Mehrertrag (dt/ha)	Marktpreis (€/dt)	Mehrerlös (€/ha)
Roggen	5	12,65	63,25
Weizen	6	18,50	111
Hafer	7	12,00	84
Kartoffeln	60	12,80	768
Zuckerrüben	100	4,70	470

Quelle: Schröder 1968, Offermann et al. 2012

### 3.2.5 Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Wassermanagementsysteme

Unter aktuellen klimatischen Bedingungen sind die betrachteten, bereits in der Praxis angewandten Wassermanagementsysteme als rentabel anzusehen und bieten beim Eintreten von Extremwetterlagen besondere Vorteile zur Abmilderung der negativen Auswirkungen von Wasserdefiziten oder Wasserüberschüssen.

Bei der Bewässerung ergeben sich für Regionen, in denen auch unter aktuellen klimatischen Bedingungen ein ausreichend hoher durchschnittlicher Zusatzwasserbedarf besteht, Möglichkeiten der Ertragssicherung und Stabilisierung. Für Regionen mit einer durchschnittlich eher niedrigen Bewässerungsbedürftigkeit, in denen nur in größeren Abständen sehr trockene Jahre auftreten, ist eine Investition in Beregnungsanlagen selten rentabel.

Bei der Entwässerung stellt sich die Situation ähnlich dar. Auch in diesem Fall müssen die durchschnittlichen Mehrerträge über den Nutzungszeitraum die Investitionskosten und Unterhaltungskosten decken. Relativ selten auftretende Vernässungen durch Starkregenereignisse rechtfertigen noch keine Investition in Dränanlagen.

## 3.3 Die Wirtschaftlichkeit der Anpassungsmaßnahme landwirtschaftliches Wassermanagement an künftige Extremwittersituationen

### 3.3.1 Mögliche Effekte der Wassermanagementsysteme in extremen Witterungssituationen für die Landwirtschaft

#### 3.3.1.1 Bewässerung

Für den Zeitraum 1951-1980 weist die TGL 39\_477/03 (1985) Spannen zwischen dem mittlerem Zusatzwasserbedarf einzelner Fruchtarten und dem für mittlere Trockenjahre zwischen 50 und 65 mm aus. Bei einer Zunahme der Häufigkeit oder der Ausprägung von Trockenjahren würde die Beregnungswürdigkeit steigen. Das betrifft Standorte, die bereits beregnet werden, als auch Standorte, bei denen bislang noch keine Beregnungswürdigkeit bestand (Grenzstandorte). Somit könnte der Umfang der bewässerten Flächen zunehmen, solange der Wasserbedarf noch gedeckt werden kann.

#### 3.3.1.2 Entwässerung

Der mittlere Bedarf für Entwässerung ist aus pflanzenbaulicher Sicht eher gleichbleibend. Es kann davon ausgegangen werden, dass dränwürdige Flächen bereits gedränt sind. Eventuell ist durch die Zunahme von Extremereignissen eine intensivere Entwässerung notwendig und rentabel (frühere Befahrbarkeit, sichere Erntetermine). Der größte Handlungsbedarf dürfte allerdings beim altersbedingten Ersatz vorhandener Anlagen bestehen.

Die Dränwürdigkeit ist aus pflanzenbaulicher Sicht ebenfalls weiterhin gegeben. Extreme Niederschlagsereignisse in der Bewirtschaftungsperiode bedingen eine erhöhte Dränwürdig-

keit. Zunehmende Trockenheit in der Vegetationsperiode erhöht die Notwendigkeit der Reduzierung der Dränung auf das unbedingt notwendige Maß. Kontrollierte Dränanlagen (controlled drainage) bieten die Technologie dafür, trotz Entwässerung mehr Wasser im Boden zurückzuhalten. Diese Verfahren erreichen allerdings auf Flächen mit größerer Hangneigung schnell ihre wirtschaftlichen und technischen Grenzen.

### 3.3.2 Änderung der Kostenfaktoren der Wassermanagementsysteme in der Zukunft

Die Bau- und Unterhaltungskosten von Wassermanagementsystemen unterliegen zunächst generellen Preisänderungen. Wirtschaftlich bedeutsam sind nur relative Änderungen im Verhältnis zu Preisen anderer Betriebsmittel und der Verkaufsprodukte. Die in den letzten Jahren ständig gestiegenen Preise für Energie sind in den letzten Monaten überraschend gefallen. Sollte dieser Trend bestehen bleiben, ergeben sich bei der Bewässerung neue Spielräume für Regionen mit einem Wasserdefizit, das unter bisherigen Bedingungen noch nicht ausreichend hoch war, um in eine Beregnungsanlage zu investieren. In diesem Fall besteht jedoch das Risiko, dass ein Wiederanstiegen der Energiepreise zu einer Fehlinvestition führt. Technischer Fortschritt im Bereich der Beregnungseffizienz führt zu einer besseren Verwertung des eingesetzten Wasser in Form von Mehrerträgen, kann aber auch die Kosten erhöhen.

### 3.3.3 Entwicklung der Monetarisierung des landwirtschaftlichen Nutzens

Die Entwicklung des Nutzens von Maßnahmen des Wassermanagements ist abhängig von der Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktpreise. Die Preise für Marktfrüchte sind nach Offermann et al 2012 für die nächsten Jahre als relativ stabil anzusehen. Damit kann die Monetarisierung der Mehrerträge aus Be- und Entwässerung also als relativ stabil angesehen werden (Abbildung 28).



Abbildung 28: Entwicklung der Marktpreise für Winterweizen, Mais und Winterroggen (Datenquelle: Offermann et al. 2012)

Einflussfaktoren auf die Preisbildung sind weiterhin die Entwicklung der Märkte für nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) sowie die Entwicklung der globalen Nachfrage nach Nah-

rungsmitteln. Sowohl im Bereich der biogenen Kraftstoffe als auch im Bereich der Biogasproduktion sind aufgrund der in der Öffentlichkeit diskutierten Nahrungsmittelkonkurrenz bereits politische Gegensteuerungen in Angriff genommen worden. Der preiserhöhende Effekt einer Zunahme der globalen Nachfrage nach Nahrungsmitteln könnte daher durch den preissenkenden Effekt eines Rückgangs der NawaRo-Produktion ausgeglichen werden.

### 3.3.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter den künftigen ökonomischen und klimatischen Rahmenbedingungen in Extremwetterituationen für die Landwirtschaft

#### 3.3.4.1 Bewertung der künftigen ökonomischen Rahmenbedingungen

Bei den in Kapitel 3.2.4 dargestellten Rentabilitätsbetrachtungen auf Grundlage des Kapitalwertes einer Beregnungsanlage wurden Preise zum Stand 2014 herangezogen. Um den Einfluss von längerfristigen Preissteigerungen oder Preissenkungen bei den Verkaufspreisen der landwirtschaftlichen Produkte darzustellen, wurde für einen Preiskorridor um die Preise von 2014 mit jeweils 80 und 120 % kalkuliert. Zielgröße ist wiederum der Zusatzwasserbedarf, welcher gegeben sein muss, um die Anlage zumindest rentabel zu betreiben. Zusätzlich wird in der Tabelle noch der Zusatzwasserbedarf dargestellt, der benötigt wird, um mindestens einen Gegenwartswert von 10 % der Investitionssumme zu erhalten (sehr rentabel) (Tabelle 18).

Tabelle 18: Erforderlicher Zusatzwasserbedarf für eine langfristig rentable Investition in eine Beregnungsanlage

	Winterweizen		Kartoffeln		Silomais		Winterroggen	
	rentabel	sehr rentabel	rentabel	sehr rentabel	rentabel	sehr rentabel	rentabel	sehr rentabel
Preisniveau %	mm							
100	78	86	15	16	167	184	140	154
80	108	119	19	21	547	602	212	234
120	61	67	12	13	98	108	104	115

rentabel = Kapitalwert (KW) > 0, sehr rentabel KW = 10 % der Investitionssumme (120.000 €); Nutzungszeitraum 12 Jahre; eigene Darstellung

Quelle: eigene Berechnungen

Bei einem steigenden Preisniveau kann auch für die Fruchtarten Silomais und Winterroggen von rentablen Bedingungen ausgegangen werden kann. Ein um 20 % niedrigeres Preisniveau erhöht auch beim Winterweizen den für eine rentable Nutzung erforderlichen Beregnungswert. Der in der Tabelle dargestellte Zusatzwasserbedarf muss jedoch immer im Zusammenhang mit seiner technologischen Realisierbarkeit betrachtet werden. Mehr als 200 mm Beregnungswassergaben sind in der Praxis kaum möglich und kaum genehmigt.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Kapitalwerte für einzelne Fruchtarten für die verschiedenen Preisszenarien sowie bei unterschiedlichen Zusatzwasserbedarfen. Abbildung 29 zeigt für Winterweizen, dass bei einem 20 % höheren Preisniveau eine Beregnung bereits bei einem Zusatzwasserbedarf von 61 mm rentabel ist. Sinkt der Preis um 20 %, ist die Beregnung nur an Standorten rentabel, die im Durchschnitt einen Zusatzwasserbedarf von mindestens 108 mm aufweisen. Bei Kartoffeln liegen die Schwellenwerte der rentablen Beregnungshöhen für unterschiedliche Verkaufspreise aufgrund der relativ hohen Produktpreise sehr nahe beieinander (Tabelle 18 und Abbildung 30). Für Silomais und Winterroggen kann nur bei einem höheren Preisniveau von einer rentablen Bewässerung ausgegangen werden.

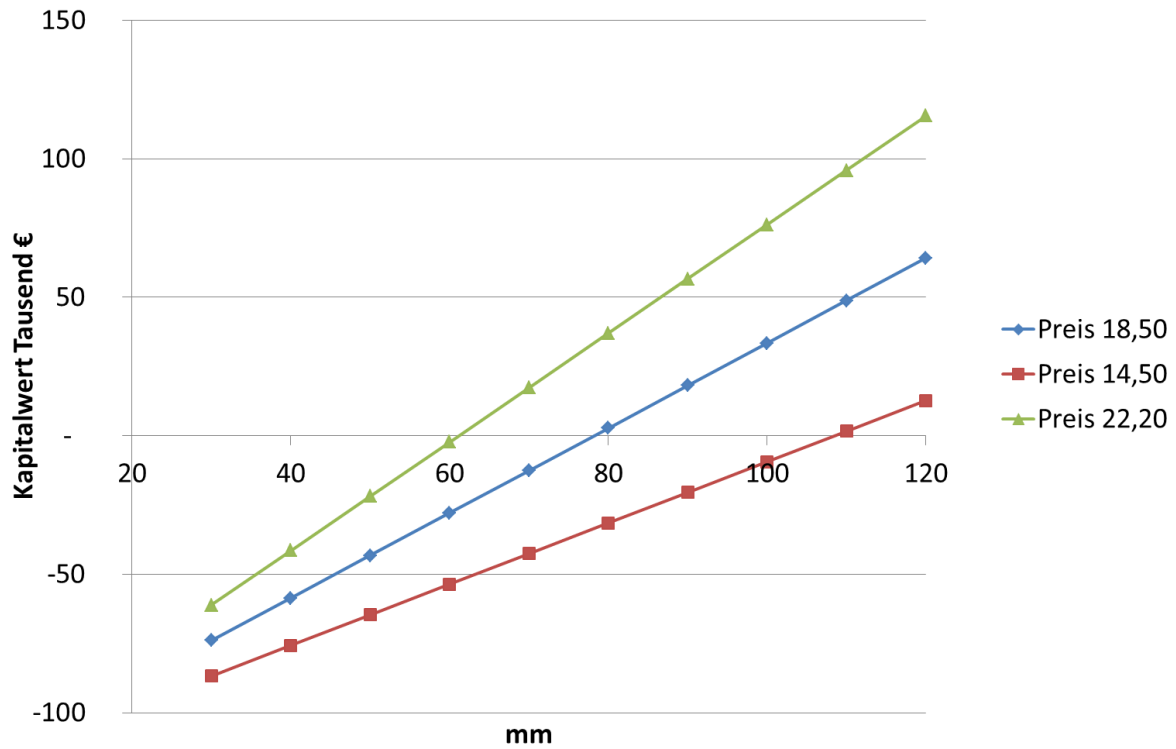


Abbildung 29: Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Beregnungsmengen und Verkaufspreisen bei Winterweizen

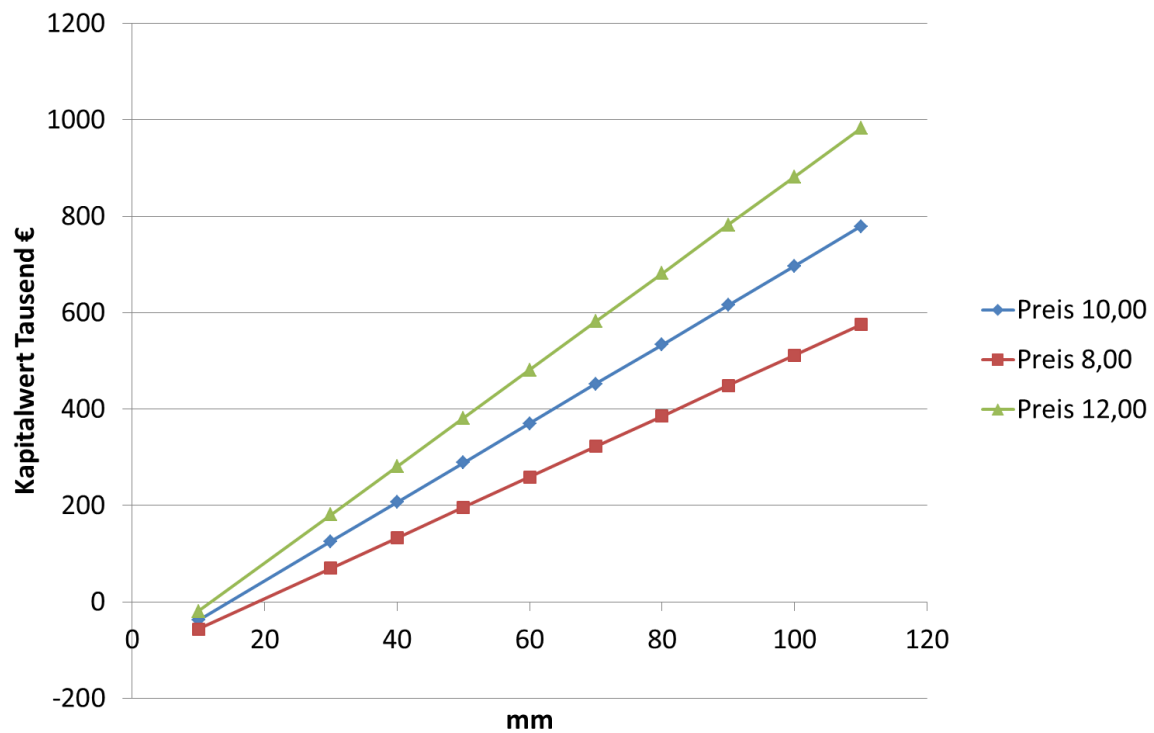


Abbildung 30: Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Beregnungsmengen und Verkaufspreisen bei Kartoffeln



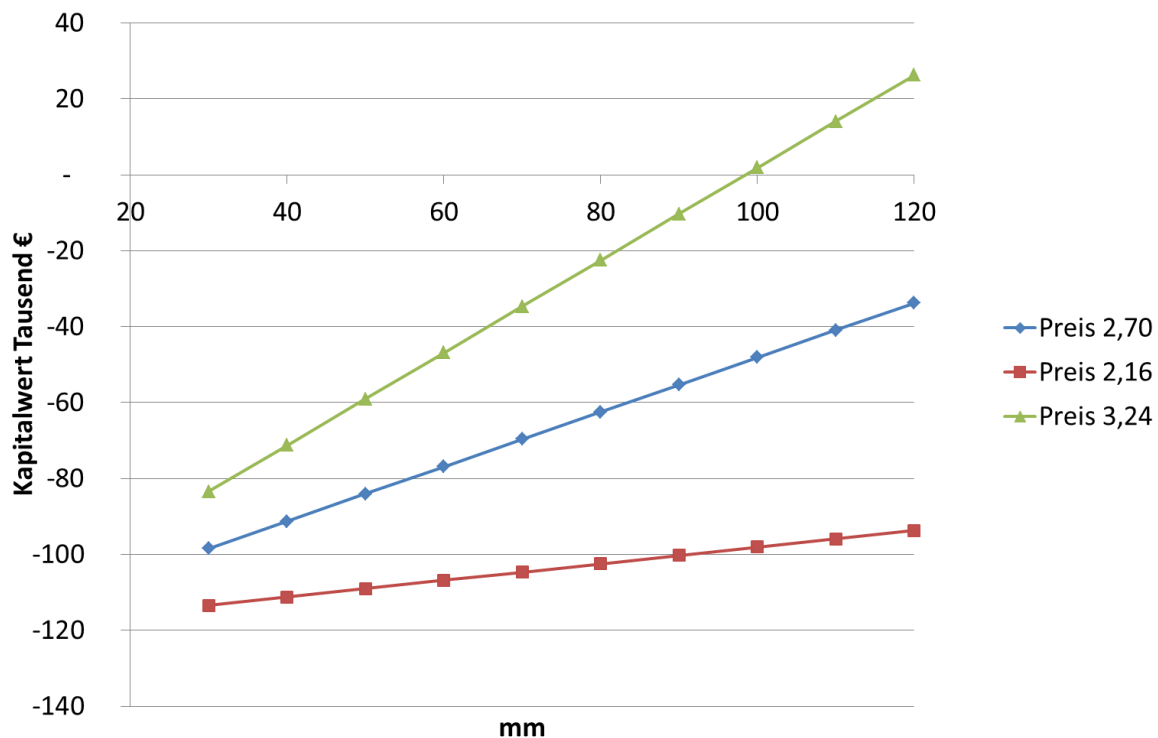


Abbildung 31: Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Beregnungsmengen und Verkaufspreisen bei Silomais

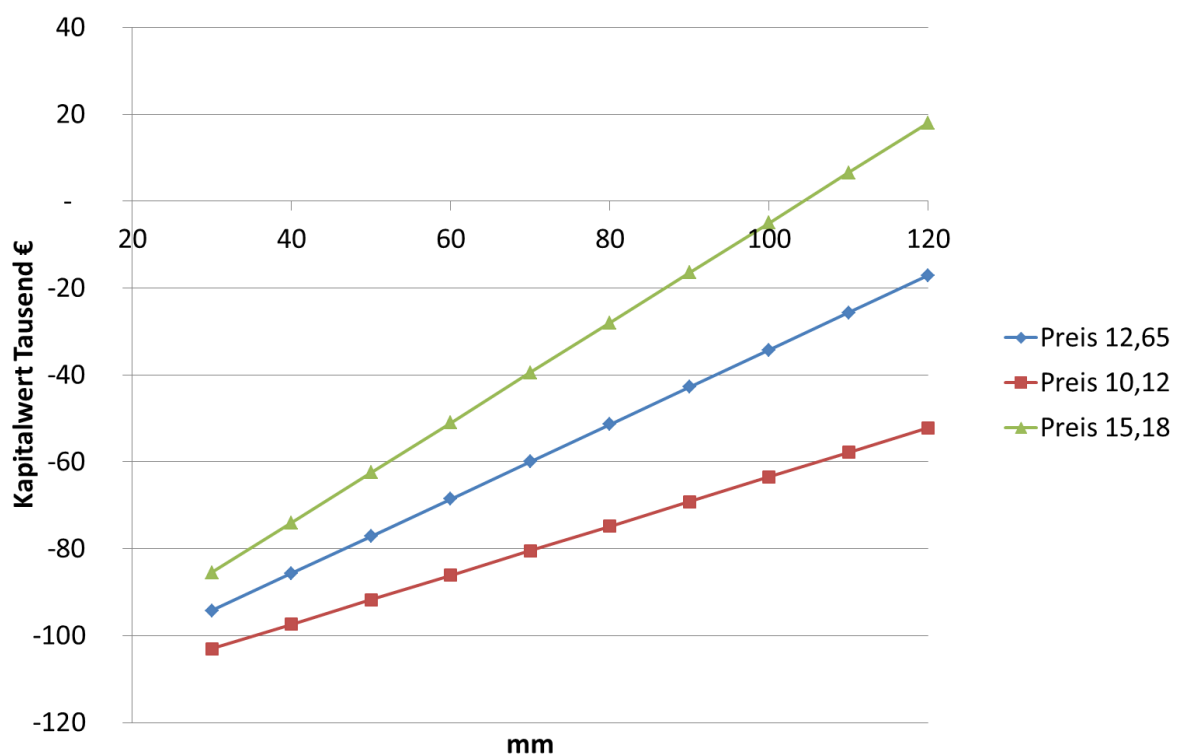


Abbildung 32: Entwicklung des Kapitalwertes bei unterschiedlichen Beregnungsmengen und Verkaufspreisen bei Winterroggen

Auf der Basis der berechneten aktuellen mittleren Zusatzwasserbedarfe (Abbildung 7) lassen sich aus diesen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen regionale Auswirkungen möglicher Preisänderungen auf die Entwicklung der Rentabilität der Beregnung abschätzen. Dazu repräsentie-

ren die in der Abbildung 33 rot und gelb dargestellten Flächen die aktuell für die Beregnung von Winterweizen rentable Ackerfläche in Deutschland. Bei einem Preisanstieg ab 20 % würde sich diese Fläche um etwa 39 % erweitern (grün). Bei einem Preisverfall bis zu 20 % bleiben immerhin noch 40 % der aktuell rentablen Fläche weiterhin rentabel (gelb). Für etwa 60 % der aktuell rentablen Fläche ginge bei einem Preisverfall ab 20 % allerdings die Rentabilität verloren (rot).

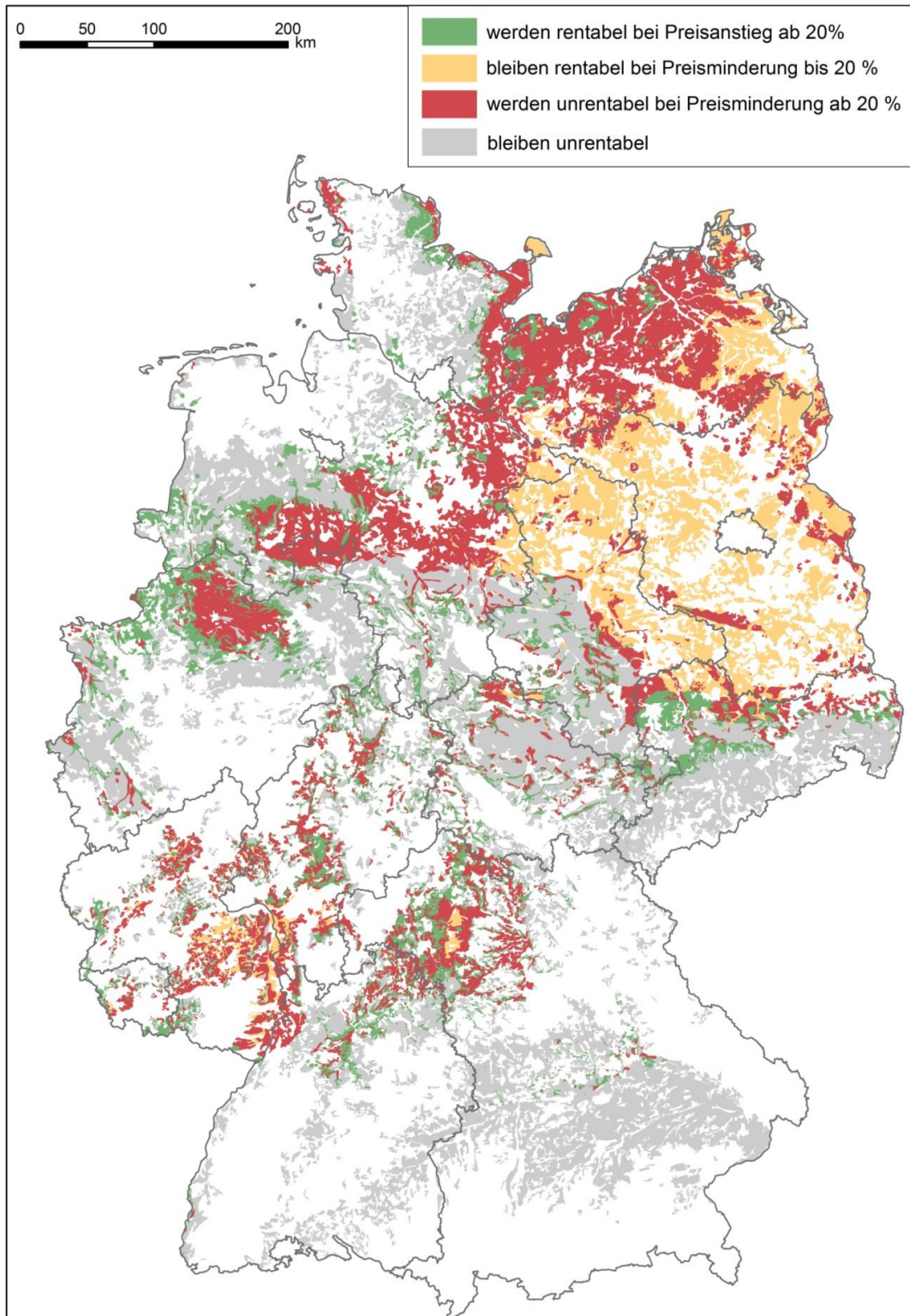


Abbildung 33: Rentabilität der Beregnung von Winterweizen bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %)

Für Winterroggen und Silomais ist die Beregnung weder aktuell noch bei einem Preisanstieg bis zu 20 % rentabel (Abbildung 34).

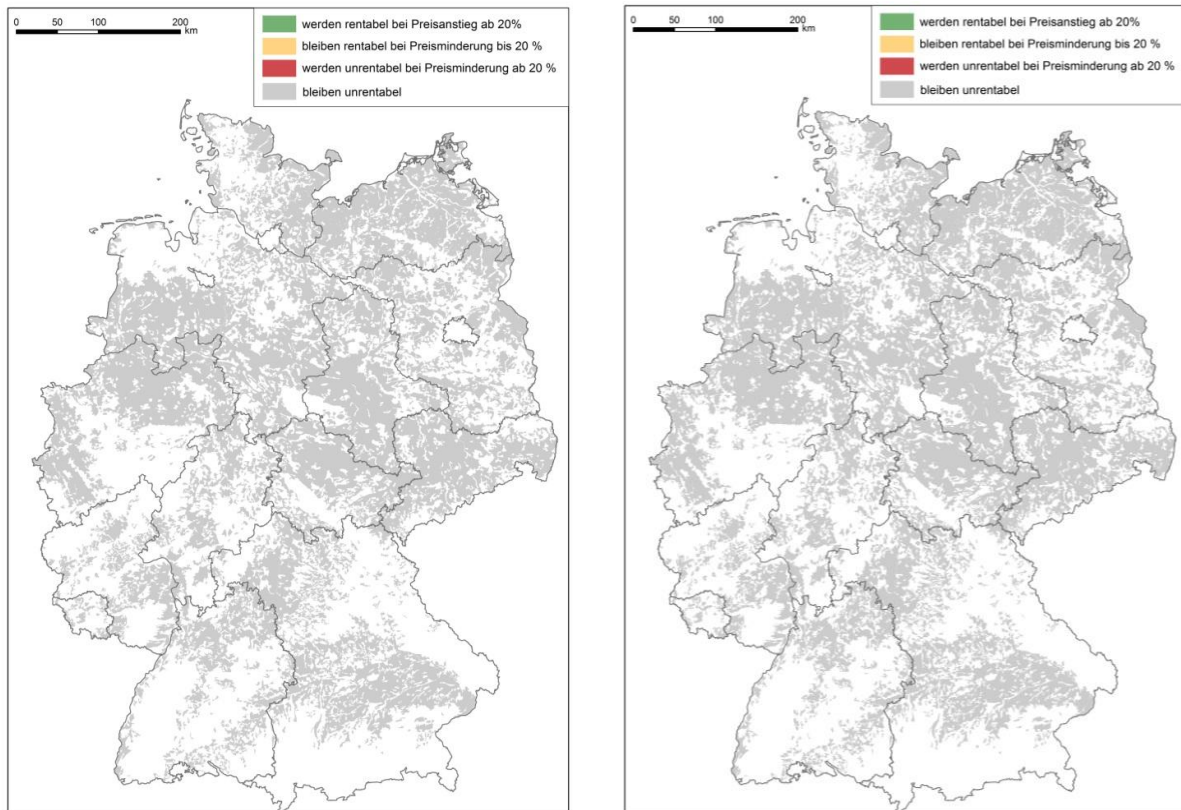


Abbildung 34: Rentabilität der Beregnung von Winterroggen (links) und Silomais (rechts) bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %)

Die aktuell für die Beregnung von Kartoffeln rentable Ackerfläche in Deutschland repräsentieren die in der Abbildung 35 rot und gelb dargestellten Flächen. Bei einem Preisanstieg ab 20 % würde sich diese Fläche lediglich um etwa 1 % erweitern (grün), da die Beregnung aufgrund der relativ hohen Produktpreise schon bei geringen Zusatzwassermengen rentabel wird. Bei einem Preisverfall bis zu 20 % bleibt die Rentabilität weiterhin auf 97 % der aktuell rentablen Fläche bestehen (gelb). Für nur etwa 3 % der aktuell rentablen Fläche ginge bei einem Preisverfall ab 20 % die Rentabilität verloren (rot).

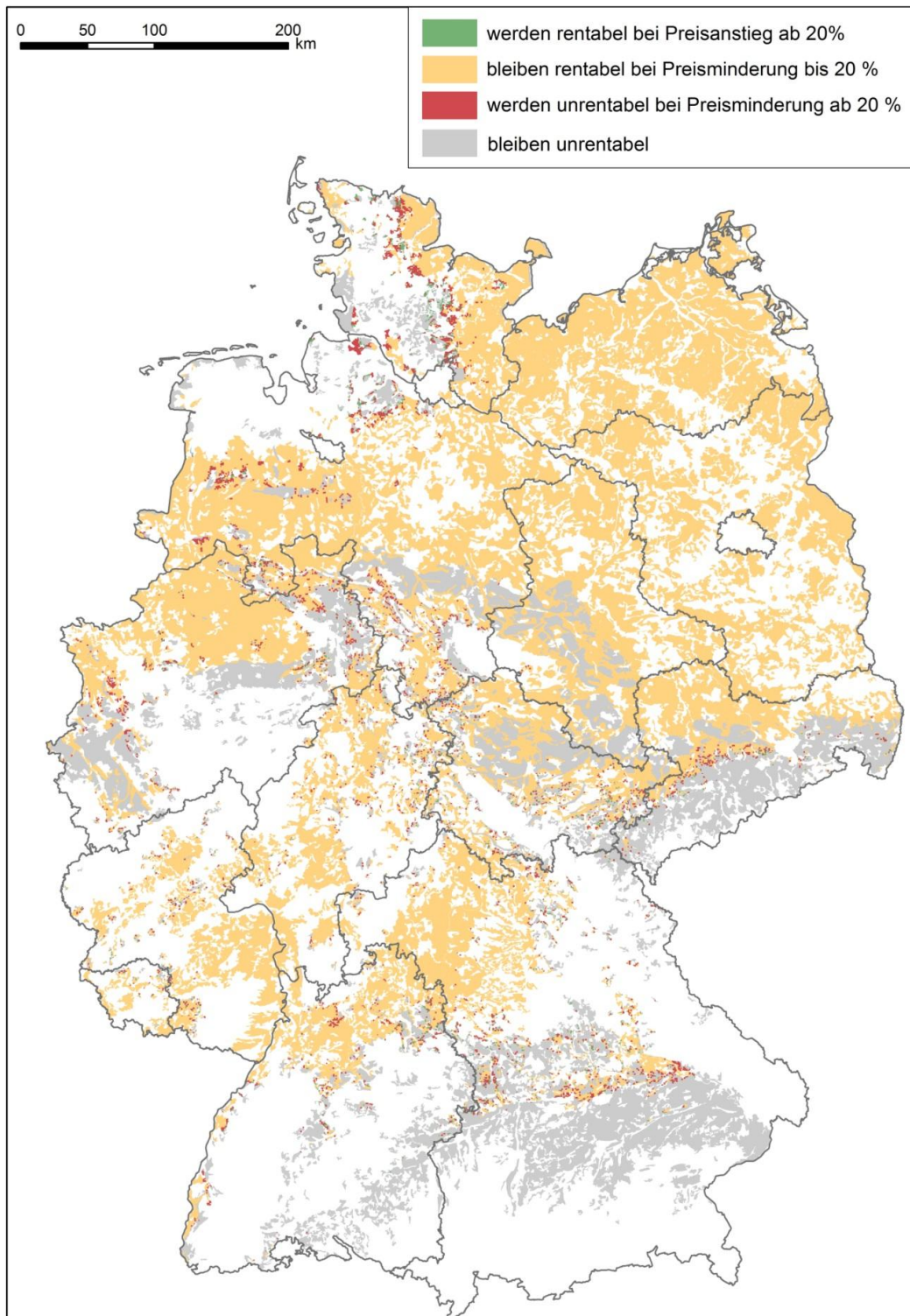


Abbildung 35: Rentabilität der Beregnung von Kartoffeln bei unterschiedlichen Preisniveaus (Preis 2014 sowie Zu- und Abschläge von 20 %)

### 3.3.4.2 Bewertung der künftigen klimatischen Rahmenbedingungen

Aufgrund fehlender deutschlandweiter Klimaszenarien können vergleichbare Bewertungen wie zu den ökonomischen Rahmenbedingungen nicht dargestellt werden. Generell lässt sich jedoch aussagen, dass bei einer Zunahme von Trockenperioden die Bewässerung rentabler wird. In Bezug auf Abbildung 33 kann so abgeleitet werden, dass häufigere und intensivere Trockenperioden den Beregnungsbedarf steigen lassen und damit die grüne Fläche vergrößern würde. In ihrem Effekt sind zunehmende Trockenperioden einem Anstieg der Verkaufspreise

vergleichbar. Ein erhöhter mittlerer Zusatzwassereinsatz von 20 mm führt bei einem Weizenpreis von 18,50 €/dt zu einem zehnfach höheren Kapitalwert (rund 1500 €/mm Zusatzwasserbedarf). Je nach fruchtartspezifischem Mehrertrag und Marktpreis wirkt sich ein erhöhter Zusatzwasserbedarf umso drastischer aus; bei Kartoffeln vervielfacht er sich am stärksten (rund 8000 €/mm Zusatzwasserbedarf bei 10 €/dt Verkaufspreis). Insgesamt führt bei allen betrachteten Fruchtarten z.B. eine 10 %ige Preissteigerung fast zum gleichen Ergebnis wie ein 10 %iger Anstieg des Zusatzwasserbedarfs. Fraglich ist dabei, ob der mittlere Zusatzwasserbedarf in der Zukunft (2050) mehr steigen wird als die Preiserwartungen.

### 3.4 Fallbeispiel Berechnung in Brandenburg

#### 3.4.1 Modellaufbau zur Berechnung in den Modellgebieten

Das WBalMo-Untersuchungsgebiet beinhaltet die Einzugsgebiete der Buckau, Nuthe und Plane, die sich innerhalb der Brandenburger Landkreise Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming befinden. Innerhalb dieses Untersuchungsgebietes wurden 119 Berechnungsnutzer ermittelt (Abbildung 36).

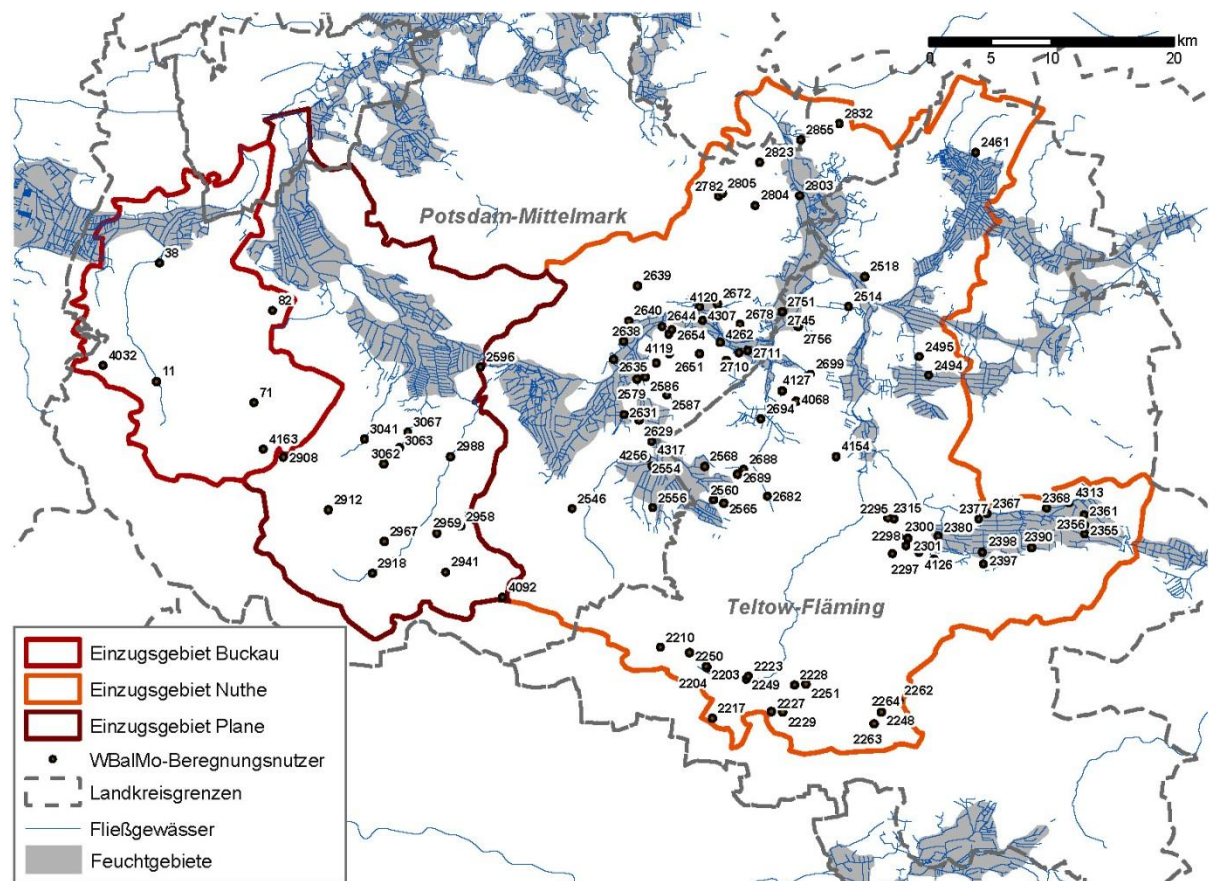


Abbildung 36: WBalMo-Untersuchungsgebiet mit Lage der im Modell abgebildeten Berechnungsnutzer

Eine Tabelle der Berechnungsnutzer mit der jeweiligen Nutzernummer und der Größe der zugehörigen Berechnungsfläche findet sich im Anhang 7.2.

Das Einzugsbiet der Nuthe hat sowohl die größte Fläche als auch die höchsten mittleren Abflüsse, gefolgt von Plane und Buckau, die das kleinste Einzugsgebiet hat (Tabelle 11). Der Anteil der Berechnungsflächen an der Einzugsgebietsfläche ist ebenfalls für die Nuthe am größten.

Tabelle 19: Landwirtschaftliche Berechnung in den Modellgebieten

Gebiet Name	Landwirtschaftliche Berechnung				Einzugsgebiet (EZG)		
	Fläche	Anteil an $A_{EZG}$	Erlaubte Höhen		Fläche	Mittlerer Abfluss	
	ha		$\text{mm a}^{-1}$	$1 \text{ m}^{-2} A_{EZG}$	ha	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	$\text{mm a}^{-1}$
Nuthe	6991	4%	137,3	5,3	180600	6,46	112,8
Plane	1006	2%	117,0	2,0	60200	1,79	93,8
Buckau	375	1%	119,7	1,3	35200	0,98	87,8

Wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben wurden den Simulationsteilgebieten und somit den Berechnungsnutzern verschiedene Fruchtarten zur Berechnung anteilmäßig zugeordnet. Tabelle 20 zeigt die berechneten Fruchtarten im WBalMo-Untersuchungsgebiet mit deren monatlichen kc-Werten sowie den möglichen Berechnungszeiträumen. Die Berechnung dieser Fruchtarten folgt deren Priorität im Modell solange Berechnungswasser zur Verfügung steht.

Tabelle 20: Berechnete Fruchtarten im Untersuchungsgebiet mit monatlichen kc-Faktoren und möglichen Berechnungszeiträumen (blau unterlegt).

Fruchtart	Priorität	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Spargel	1	0,4	0,5	0	0,43	1,3	1,3		
Kartoffeln	2		0,5	0,9	1,1	1,4	1,2		
Silomais	3		0,5	0,6	0,7	0,75	0,95		
Zuckerrüben	4		0,5	0,75	1,1	1,3	1,25	1,1	0,85
Winterweizen	5	0,9	0,95	1,15	1,35	1,3			
Wintergerste	6	0,95	1	1,3	1,4	1,35			
Winterroggen	7	0,85	0,9	1,2	1,3	1,25			
Sommergerste	8		0,75	1,3	1,4	1,3			
Winterraps	9	0,85	1	1,35	1,35	1,1			
Hafer	10		0,7	1,1	1,4	1,35			

Abbildung 37 zeigt die Verteilung der bewässerten Fruchtarten in jedem Simulationsteilgebiet. Danach dominiert der bewässerte Maisanbau im Untersuchungsgebiet deutlich. Dem folgt der bewässerte Spargelanbau, der in den Simulationsteilgebieten 10 und 38 den größten Flächenanteil erreicht. Der bewässerte Kartoffelanbau hingegen dominiert nur im Simulationsteilgebiet 13, erreicht aber auch im Simulationsteilgebiet 14 eine größere Bedeutung. Die Bewässerung weiterer Fruchtarten spielt überall eine eher untergeordnete Rolle.

Ohne Berücksichtigung der Simulationsteilgebiete ließen sich aus den Informationen zu den berechneten Fruchtarten und der dafür verwendeten Flächen bei den einzelnen Berechnungsnutzer drei Berechnungsnutzergruppen ableiten:

- 1) Nutzer mit dominierendem **Kartoffelanbau**
- 2) Nutzer mit dominierendem **Maisanbau** sowie
- 3) Nutzer mit dominierendem **Spargel-** oder **Gemüseanbau**.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt nach dieser Zuordnung für jede Nutzergruppe.

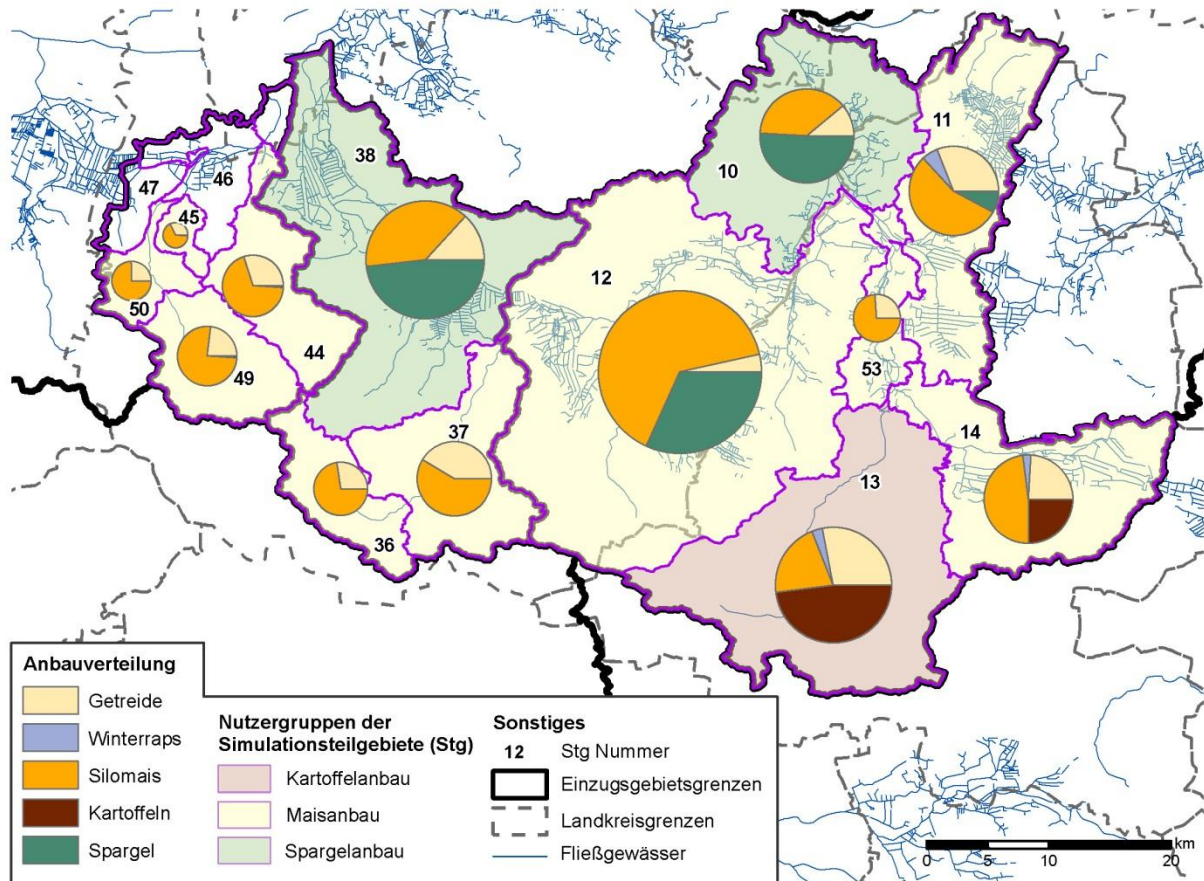


Abbildung 37: Verteilung bewässerter Fruchtarten je Simulationsteilgebiet (Kreisdiagramme mit Durchmesser proportional zur Anbaufläche) sowie Zuordnung der Simulationsteilgebiete zu Nutzergruppen (Datenquelle: InVeKoS)

### 3.4.2 Modellkalibrierung

Zur Kalibrierung des entwickelten WBalMo-Moduls für die Analysen der Berechnungsnutzer wurden die behördlich erlaubten Wasserentnahmemengen der einzelnen Nutzer herangezogen. Der jährliche Berechnungswasserbedarf sollte unter den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen die für einen Berechnungsnutzer erlaubte Wassermenge nicht überschreiten. Für den Vergleich wurden für die das Referenzszenario (Ref) berechnete Mediane des Berechnungswasserbedarfs verwendet und beide Größen auf die Berechnungsfläche der jeweiligen Nutzer bezogen. Der Berechnungswasserbedarf wurde jeweils aus der flächengewichteten Summe der Wasserbedarfe der berechneten Fruchtarten zusammengesetzt. Aus Abbildung 38 wird deutlich, dass die Berechnungswasserbedarfe eher deutlich unter den erlaubten Wasserentnahmemengen als darüber liegen. Berechnungsnutzer des Typs Kartoffelanbau haben den höchsten Wasserbedarf, der für viele Nutzer die erlaubte Wassermenge leicht überschreitet. Der hohe Wasserbedarf für die Kartoffel erklärt sich aus der möglichen Berechnungszeit in den drei Sommermonaten. Das ist sonst nur bei Zuckerrüben der Fall, die im Untersuchungsgebiet allerdings keine Rolle spielen. Die leichte Überschreitung dürfte aber im Bereich des Modellfehlers liegen und wurde so belassen. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass der erlaubten Wasserentnahmemenge allenfalls grobe Erfahrungswerte zugrunde liegen können. Vergleichsweise sehr hohe Werte einzelner Nutzer deuten weiterhin auf andere Wasserverwendungen als ausschließlich für die Beregnung hin.

Als ein weiteres Kalibrierungskriterium wurde das jährliche Wasserdefizit aus dem Beregnungswasserbedarf und dessen Verfügbarkeit herangezogen. Betrug der Median aus dem jährliche Wasserdefizit mehr als  $10 \text{ mm a}^{-1}$  wurde das Modell angepasst. Das betraf vor allem

Grundwasserentnahmen in so genannten Kopfeinzugsgebieten, die kein oberliegendes Teileinzugsgebiet aufweisen. Dort gibt es oft Diskrepanzen zwischen den unterirdischen und oberirdischen Einzugsgebieten. Da die WBalMo-Modelle nur an oberirdischen Einzugsgebietsgrenzen orientiert sind, entstehen damit auch Diskrepanzen zwischen den genehmigten Wasserentnahmemengen aus einem unter Umständen deutlich größeren Dargebotsgebiet als das dem WBalMo-Modell zugrundeliegende. Um diesen Effekt zu begrenzen, wurden virtuelle Speicherelemente eingeführt, die in Monaten ohne Beregnungswasserentnahmen aus dem Wasserdargebot um den entnommenen Betrag wieder gefüllt werden und im Fall eines zu geringen Wasserdargebots die Beregnungswasserentnahme stützen können. Zu beachten ist dabei eine gewisse Beeinflussung des Durchflusses mindestens in den Monaten in denen ein geringer Teil des Dargebotes für Auffüllung der virtuellen Speicherelemente benötigt wird. Bessere Lösungen verspricht das Einbeziehen von Grundwassermodellen, die im Rahmen dieser Untersuchungen auch aus Kapazitätsgründen nicht zur Verfügung standen.

Insgesamt kann damit eingeschätzt werden, dass das Modul und die WBalMo-Modelle für die hier vorgesehenen Fragestellungen hinreichend kalibriert ist.

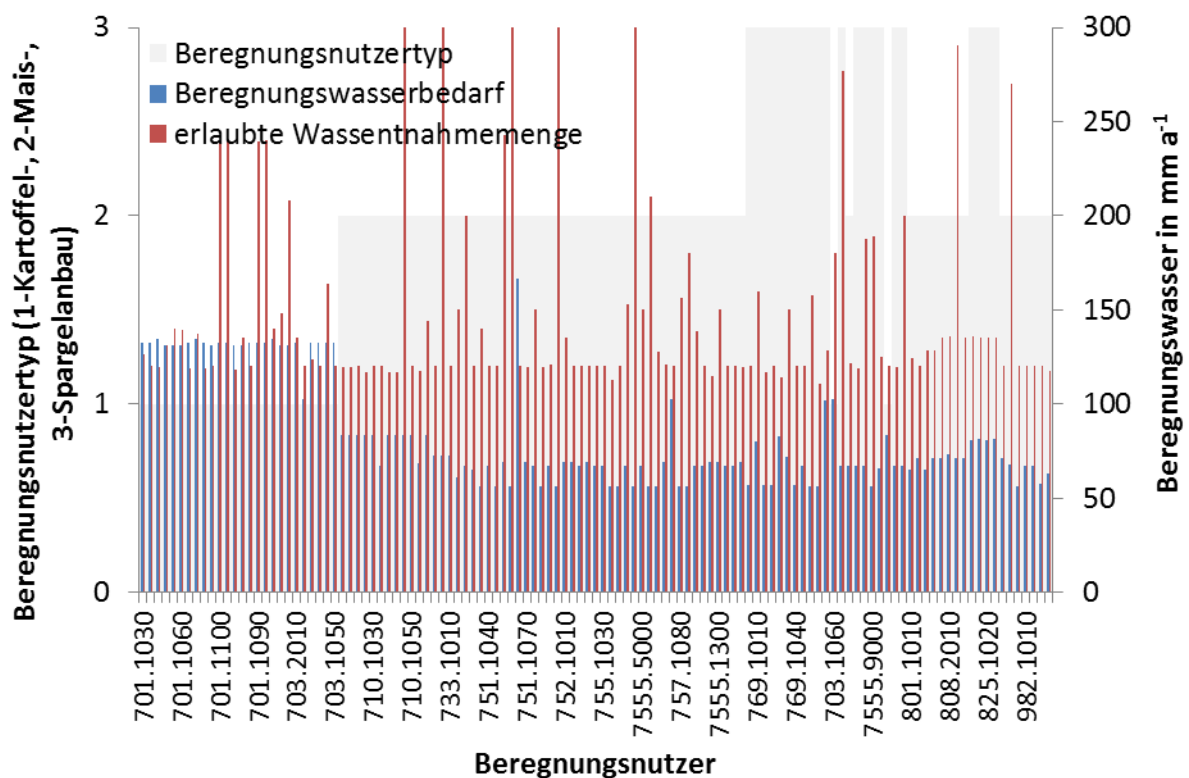


Abbildung 38: Vergleich des berechneten jährlichen Beregnungswasserbedarfs und der erlaubten Wasserentnahmemenge sowie die Typen der Beregnungsnutzer

### 3.4.3 Effekte der Klimaänderung auf den Gebietswasserhaushalt und die Beregnungswassererfügbarkeit (Bewirtschaftungsszenario I)

Der Vergleich der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse im Klimaänderungsszenario mit denen im Referenzszenario (Abbildung 39) zeigt in allen drei Gebieten ein ähnliches zeitliches Muster. In allen Gebieten sind danach in den Monaten Mai, Juli und August, die ohnehin schon sehr geringe Abflüsse aufweisen, künftig noch geringere zu erwarten. Während diese Abflussrückgänge bei der Buckau in allen Monaten vergleichbar sind, liegen sie bei den anderen Gewässern im Monat Mai deutlich unter denen im Juli und August. Allerdings fällt diese Verringerung für die Buckau insgesamt deutlich gedämpfter aus als für die anderen Gewässer.





Abbildung 39: Änderungen der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse im Klimaänderungs-szenario (KISz) gegenüber dem Referenzszenario (Ref) in den Einzugsgebieten Nuthe, Plane und Buckau in der nahen und fernen Zukunft

Eine Zunahme der mittleren Abflüsse, ist zukünftig im Juni zu erwarten. Während diese für die Nuthe und Plane 17 bis 20 % über denen des Referenzszenarios liegen, sind es bei der Buckau mit 1 bis 3 % wie auch bei den Abflussrückgängen deutlich geringere Unterschiede. Nur die Plane zeigt auch im September um 7 bis 16 % höhere Abflüsse als im Referenzszenario. Bei der Nuthe und Buckau sind in diesem Monat hingegen etwas geringere Abflüsse zu erwarten.

Der Wasserbedarf für die Beregnung erscheint bei der Nutzergruppe Maisanbau etwas geringer als bei den anderen beiden Nutzergruppen (Abbildung 40). Dies ist der Situation des größeren Anteils an Böden mit einem höheren Wasserspeichervermögen geschuldet. Wie erwartet wird der Beregnungswasserbedarf im Klimaänderungsszenario (KISz) über dem im Referenzszenario (Ref) liegen. Besonders davon betroffen ist der Winterweizen mit einem Anstieg von 12 bis 25 mm a<sup>-1</sup> bzw. 8 bis 20 %, aber auch der Silomais mit 8 bis 10 mm a<sup>-1</sup> bzw. 12 bis 18 %. Für alle anderen Fruchtarten wurden im Klimaänderungsszenario Zunahmen der Beregnungswasserbedarfe um weniger als 10 % über denen des Referenzszenarios berechnet. Ein Vergleich von naher und ferner Zukunft zeigt, dass der Beregnungsbedarf in der fernen Zukunft in derselben Größenordnung über dem im Referenzszenario (Ref) liegt.

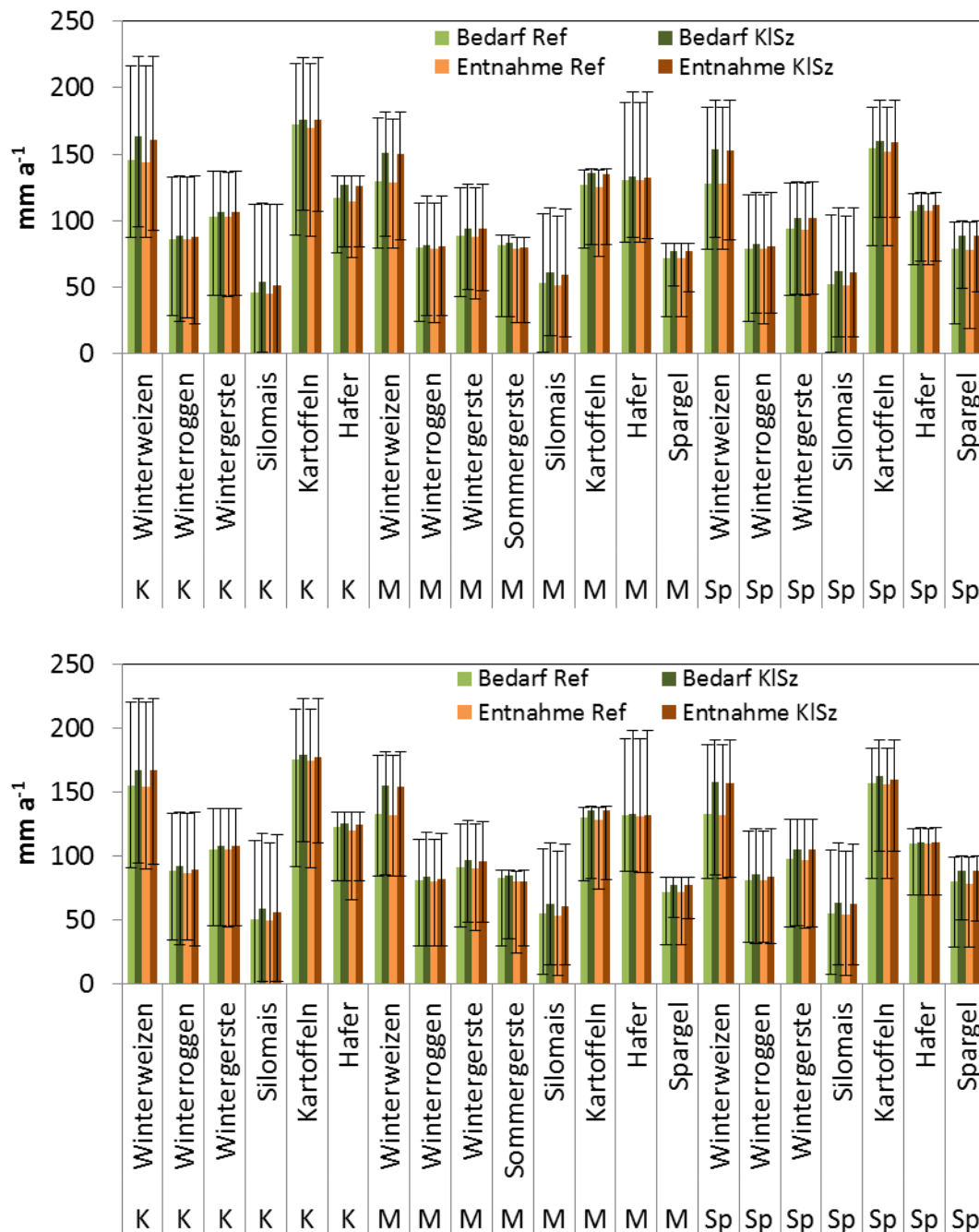


Abbildung 40: Wasserbedarf und Wasserentnahme zur Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten in der nahen Zukunft (unten) und in der fernen Zukunft (oben) (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile)

Auch wenn die Mediane der Wasserentnahmen für fast alle Fruchtarten der Nutzergruppen geringfügig unter denen des Wasserbedarfs liegen, lassen die ebenfalls berechneten Defizite bei der Verfügbarkeit des Beregnungswassers in der Zukunft allenfalls für Winterweizen, Silomais, Kartoffeln und Hafer bei der Nutzergruppe Maisanbau weniger als einem Millimeter erwarten.

Der Beregnungswasserbedarf steigt auch in den trockenen Jahren für die meisten Fruchtarten an. Abbildung 41 zeigt die 10. Perzentile des Beregnungswasserbedarfs der beiden zukünftigen Perioden im Klimaänderungsszenario gegenüber dem Referenzszenario. Mit mehr als 5 mm a<sup>-1</sup> sind davon in allen Nutzergruppen der Silomais sowie die Kartoffeln in den Nutzergruppen Kartoffel- und Spargelanbau, aber auch der Hafer in der Nutzergruppe Spargelanbau betroffen. Ernstzunehmende Defizite bei der Verfügbarkeit des Beregnungswassers für die Nutzer konnten daraus allerdings nicht abgeleitet werden.

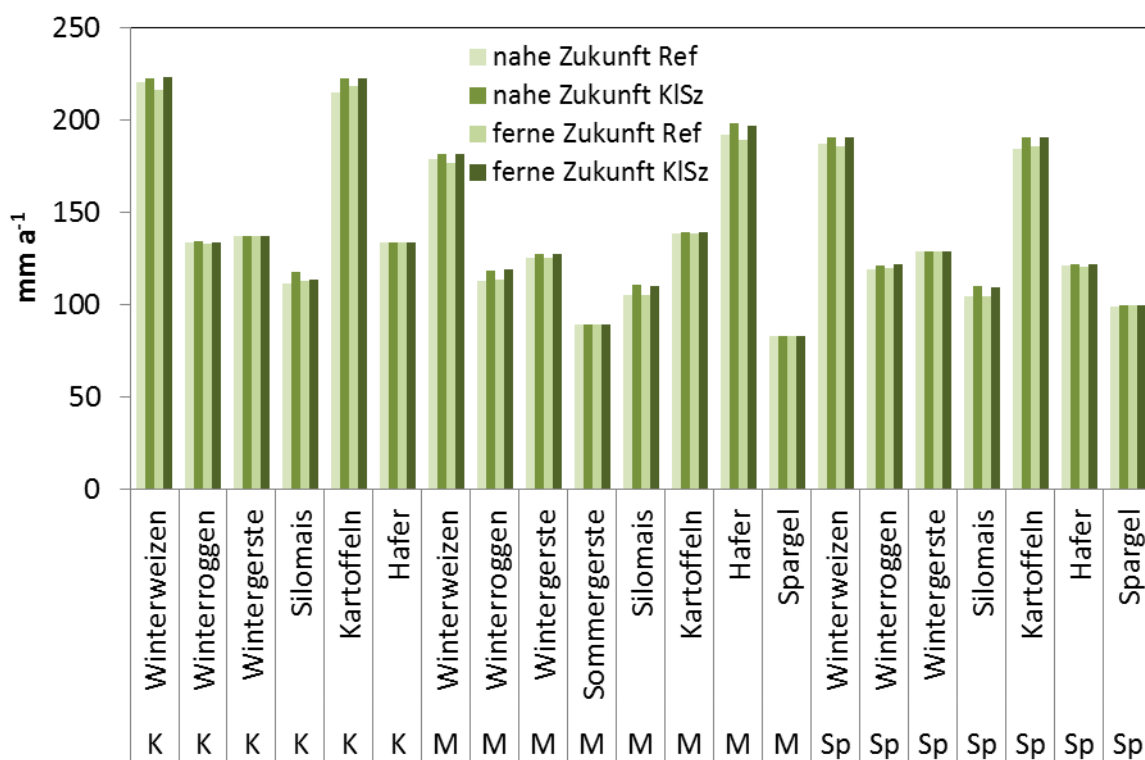


Abbildung 41: Zusatzwasserbedarfe in trockenen Jahren im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (10. Perzentile)

### 3.4.4 Effekte der Klimaänderung auf die Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung (Bewirtschaftungsszenario I)

Die im Modell unterstellten Mehrerträge durch Beregnung ( $(\text{kg ha}^{-1}) \text{ mm}^{-1}$ ) führen bei den einzelnen Fruchtarten zu den in Abbildung 42 dargestellten Mehrerträgen in  $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  in den betrachteten Perioden. Im Klimaänderungsszenario (KISz) werden sowohl in der nahen Zukunft als auch in der fernen Zukunft bei allen Fruchtarten höhere Beregnungswasserentnahmen und damit auch höhere Mehrerträge berechnet als im Referenzszenario (Ref). Allerdings sind diese höheren Erträge als geringfügig zu betrachten. Nur für Winterweizen, Silomais und Spargel einiger Nutzergruppen liegen die Mediane der Mehrerträge im Klimaänderungsszenario (KISz) um mehr als 10 % über denen im Referenzszenario (Ref). Für die meisten anderen Fruchtarten jedoch unter 5 %. Damit ist der Einfluss der Klimaänderung auf die durch Bewässerung erzielbaren Mehrerträge zumindest in diesen Gebieten als sehr gering zu betrachten.

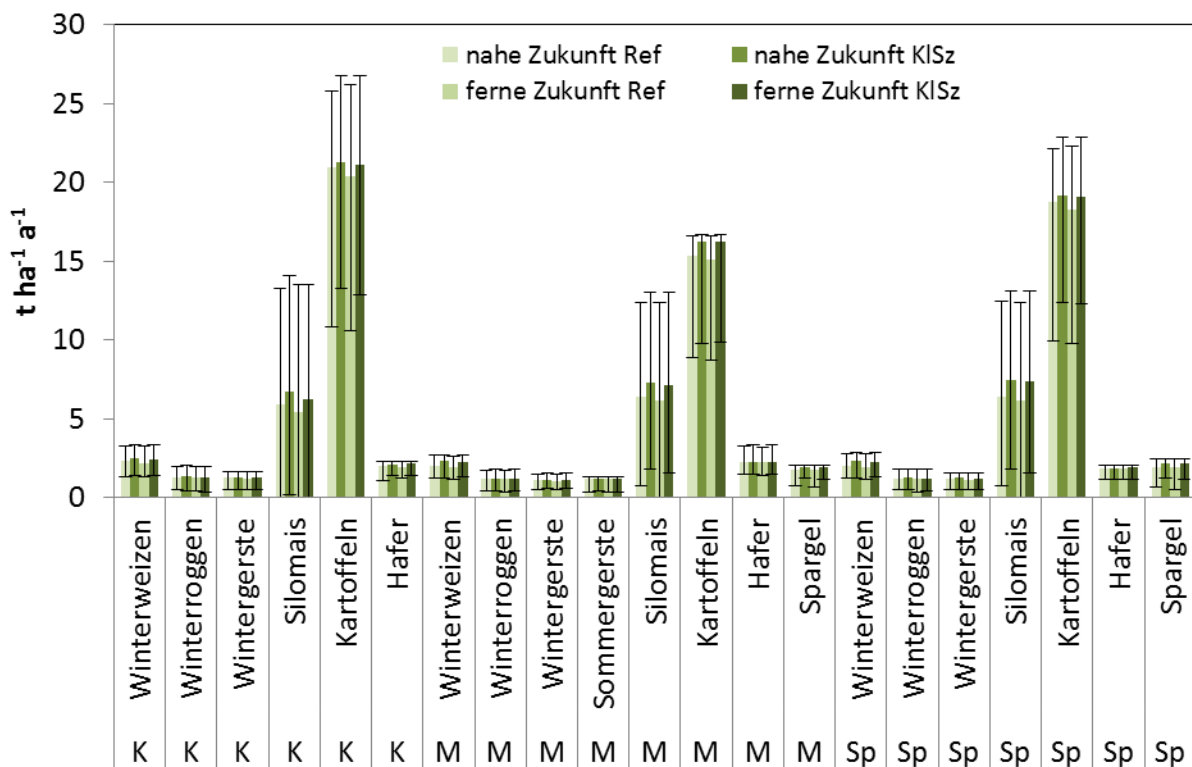


Abbildung 42: Mehrerträge durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile)

Die Wasserkosten der Beregnung sind in Abbildung 43 dargestellt. Bei Kartoffeln entstehen z.B. im Median Wasserkosten zwischen 360 und 460 €/ha, in trockeneren Jahren (10. Perzentil) zum Teil aber auch Kosten von 580 €/ha. Selbst bei der Bewässerung von Winterweizen entstehen im Median beim Nutzertyp „Kartoffelanbau“ Kosten von etwa 440 €/ha, die in trockeneren Jahren auf mehr als 580 €/ha ansteigen können. Gegenüber dem Referenzszenario (Ref) entstehen für den Winterweizen im Klimaänderungsszenario (KISz) aber auch die am deutlichsten höheren Wasserkosten als bei den übrigen Fruchtarten. Wegen der aus Vereinfachungsgründen angenommen durchschnittlichen Wasserkosten wird allerdings der Fixkostenanteil bei einem hohen Wasserverbrauch überschätzt und bei einem niedrigen Verbrauch unterschätzt. Zusätzlich muss beachtet werden, dass die Kosten auch durch die Wasserherkunft beeinflusst werden (s. 2.3). Analog zu den Mehrerträgen ist aber auch hier der Einfluss der Klimaänderung zumindest in diesen Gebieten als sehr gering zu betrachten.

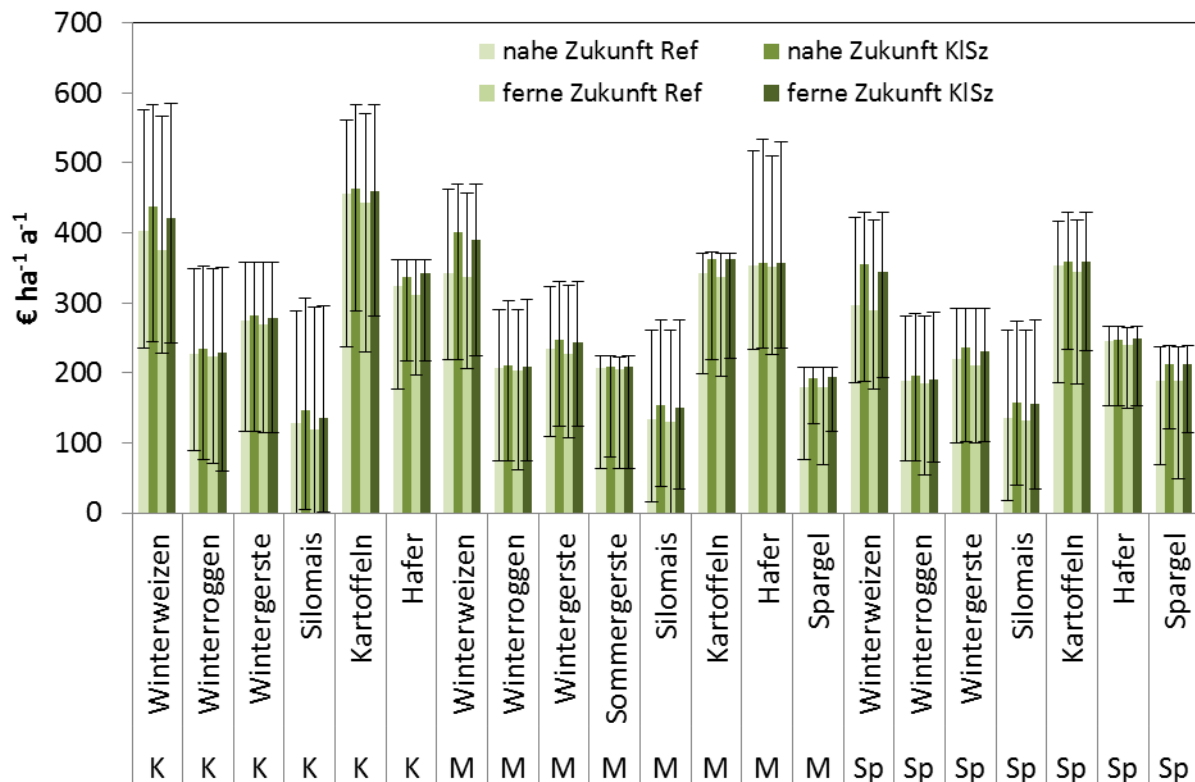


Abbildung 43: Kosten durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile)

Abbildung 44 beschreibt die Mehrerlöse, die sich aus der Beregnung für die einzelnen Fruchtarten der Nutzergruppen ergeben. Aufgrund der hohen Marktpreise sind diese beim Spargel besonders hoch, die Schwankungsbreite zwischen trockenen und feuchten Jahren (10. und 90. Perzentil) ist beim Spargel damit aber auch am größten. Der Flächenanteil von Spargel ist jedoch relativ gering. Bei der Kartoffel werden ebenfalls recht hohe Mehrerlöse erzielt. Für alle anderen Kulturen sind die Mehrerlöse aufgrund der zugrundeliegenden Marktpreise und spezifischen Mehrerträge eher gering. In allen Jahren sind jedoch die Mehrerlöse für alle Fruchtarten höher als die Kosten der Beregnung. Bei einzelnen Fruchtarten ist die Spanne jedoch schon relativ gering. Ein Preisanstieg bei den Wasserkosten oder sinkende Marktpreise könnte somit die Beregnung für einzelne Fruchtarten unrentabel machen.

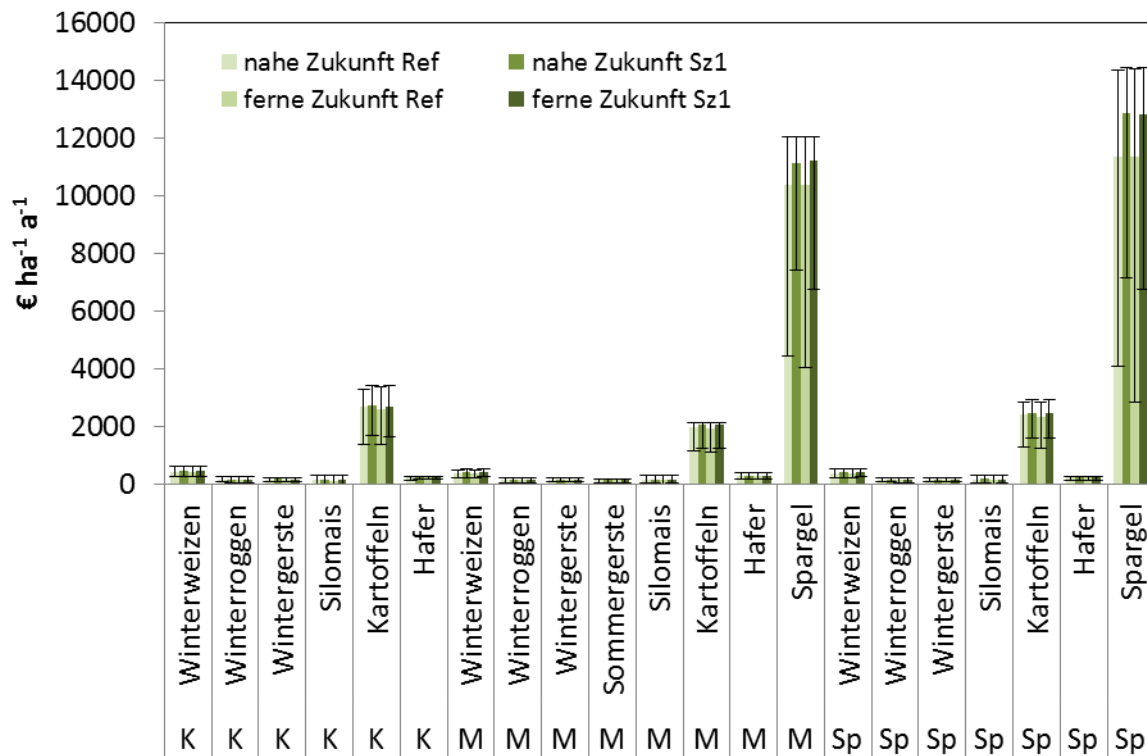


Abbildung 44: Mehrerlöse durch Beregnung im Referenzszenario (Ref) und Klimaänderungsszenario (KISz), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten (Mediane sowie 10. und 90. Perzentile)

### 3.4.5 Effekte der Beregnungszunahme auf den Gebietswasserhaushalt und die Beregnungswasserverfügbarkeit (Bewirtschaftungsszenario II)

Abbildung 45 stellt die durch eine mögliche Verdopplung der Beregnungsfläche (Sz2) zu erwartenden Änderungen der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse in den drei untersuchten Einzugsgebieten dar. Bei der Verdopplung der Beregnungsfläche (Sz2) sind die Abflüsse in jedem Monat in allen Gebieten geringer als bei der aktuellen Beregnungsfläche (Bewirtschaftungsszenario I - Sz1). Allerdings sind diese Abflussrückgänge deutlich geringer als die allein durch die Klimaänderung zu erwartenden (vgl. dazu Abbildung 39). Insbesondere bei der Buckau sind diese Rückgänge auch wegen des geringen Anteils der Beregnungsfläche an der Fläche des Einzugsgebietes noch deutlich geringer als in den anderen Gebieten und liegen nur im Bereich von ein bis drei Promille. Der Anteil der Beregnungsfläche liegt hier bei nur etwa 1% an der Einzugsgebietsfläche. Bei der Plane und Nuthe sind das immerhin 2 bzw. 4% (Tabelle 19). Der Abflussrückgang liegt in der Nuthe für die Monate Juli, August und September 2,5- bis 3-mal höher als in den Monaten Mai und Juni.

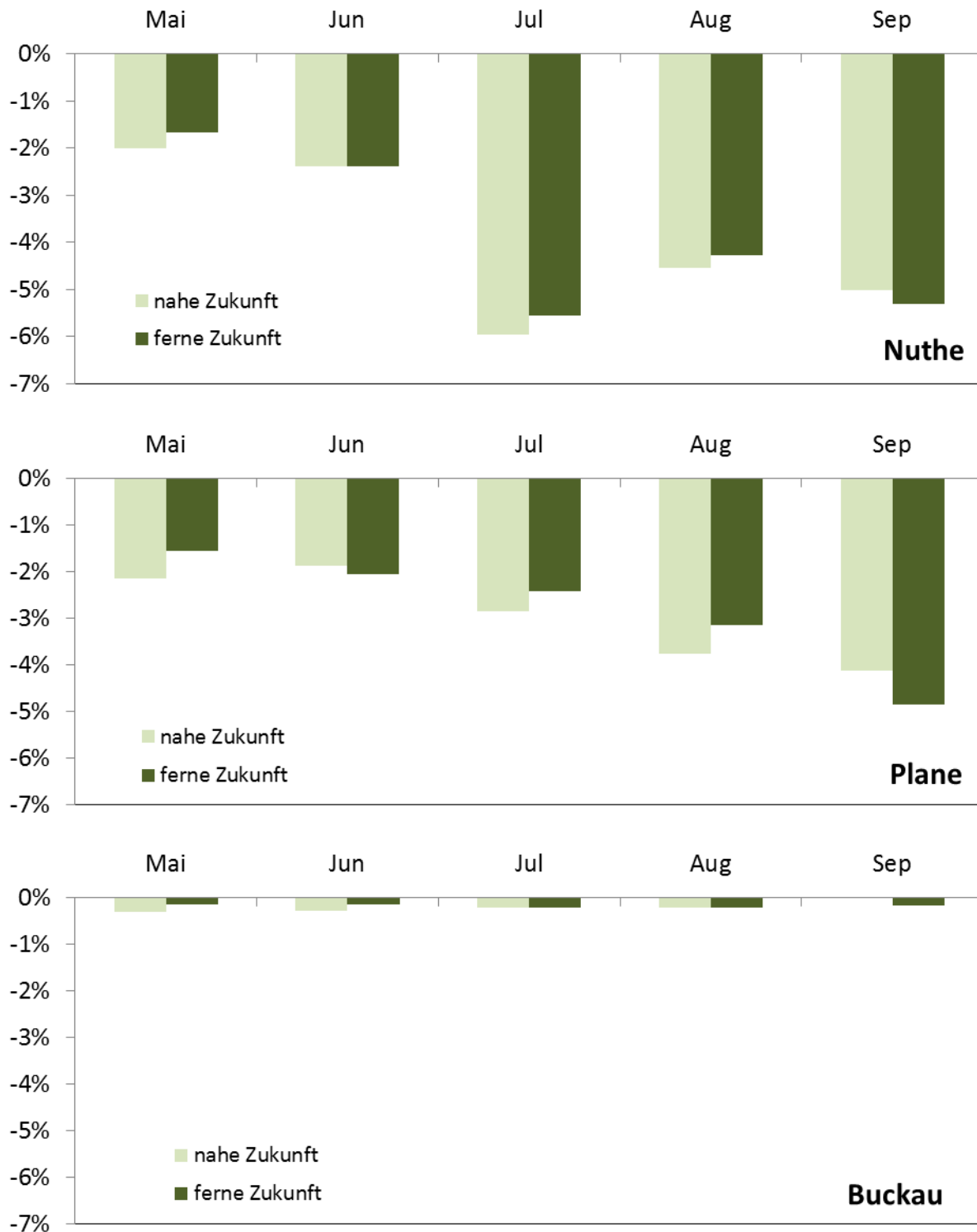


Abbildung 45: Änderungen der mittleren monatlichen Gebietsabflüsse durch Verdoppelung der Beregnungsfläche in den Einzugsgebieten Nuthe, Plane und Buckau in der nahen und fernen Zukunft

Mit der doppelten Beregnungsfläche (Sz2) steigt der Zusatzwasserbedarf in den Einzugsgebieten. Ob der jedoch gedeckt werden kann, wird durch das Wasserdargebot an der Entnahmestelle bestimmt. Dieses Wasserdargebot wird künftig nicht immer für alle Beregnungsnutzer ausreichend sein. Auch wenn bei den Medianen nur für Winterweizen, Silomais, Kartoffeln und Hafer der Nutzergruppe Maisanbau ein Defizit aus dem Beregnungswasserbedarf und dessen Verfügbarkeit von unter einem Millimeter entsteht, stellt sich die Situation in

trocknen Jahren anders dar (s. Abbildung 46). Mit der Flächenzunahme steigt dieses Defizit in solchen Jahren bei Hafer der Nutzergruppe Kartoffelanbau, bei Kartoffeln in der Nutzergruppe Maisanbau und bei Winterweizen der Nutzergruppe Spargelanbau um mehr als zehn Millimeter sowie bei Silomais der Nutzergruppe Spargelanbau um mehr als sechs Millimeter. Das macht allerdings nur 6 bis 8% des Wasserbedarfs aus, was noch keine ernstzunehmenden Einschränkungen hervorrufen wird.

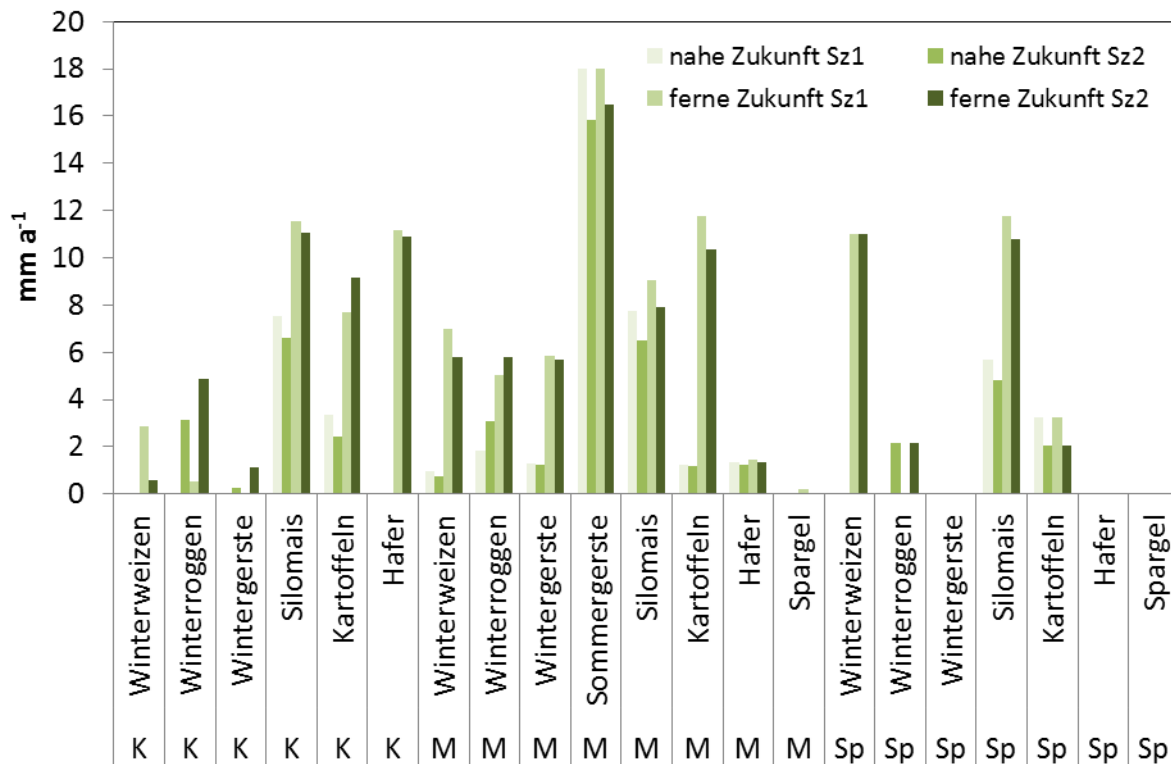


Abbildung 46: Defizite zwischen Beregnungswasserbedarf und -entnahme in trockenen Jahren (10. Perzentil) mit der aktuellen Beregnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten in trockenen Jahren

### 3.4.6 Effekte der Beregnungszunahme auf die Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung (Bewirtschaftungsszenario II)

Eine Verdopplung der Beregnungsfläche bewirkt bei den Mehrerträgen je Hektar der einzelnen Fruchtarten kaum eine Veränderung (Abbildung 47). Ein Vergleich der Mehrerträge der nahen Zukunft von den Erträgen der nahen Zukunft in Sz1 mit denen einer verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2) zeigt, dass aufgrund der nur leicht zurückgehenden Beregnungsmengen auch die Mehrerträge nur geringfügig zurückgehen. Am stärksten ist der Rückgang bei Silomais in der Nutzergruppe Kartoffelanbau, bei dem auch die 10. Perzentile sehr geringe Werte aufweisen. Beim Vergleich der Szenarien in der fernen Zukunft treten ebenfalls kaum Veränderungen auf.



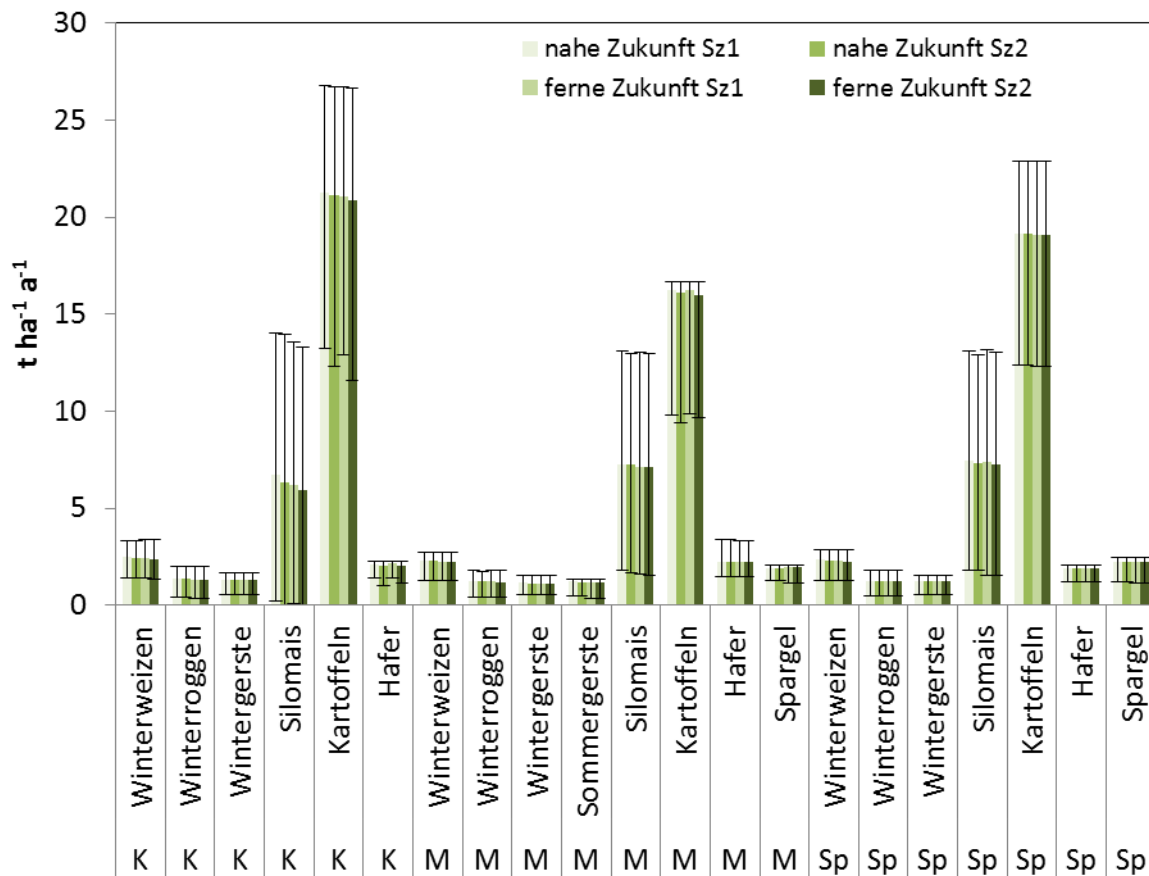


Abbildung 47: Änderungen der Mehrerträge durch Beregnung zwischen der aktuellen Beregnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Beregnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten

Aufgrund der geringen Änderungen bei den Mehrerträgen je Hektar führt eine Verdopplung der Beregnungsfläche bei den Mehrerlösen ebenfalls nur zu geringfügigen Änderungen. Aufgrund der hohen Marktpreise für Spargel sind die Mehrerlöse zwar absolut gesehen sehr hoch, die Unterschiede zwischen den Szenarien sind jedoch auch hier eher gering. Zunahmen zeigen sich stärker im Vergleich der Zeitabschnitte als im Vergleich der Bewirtschaftungsszenarien.

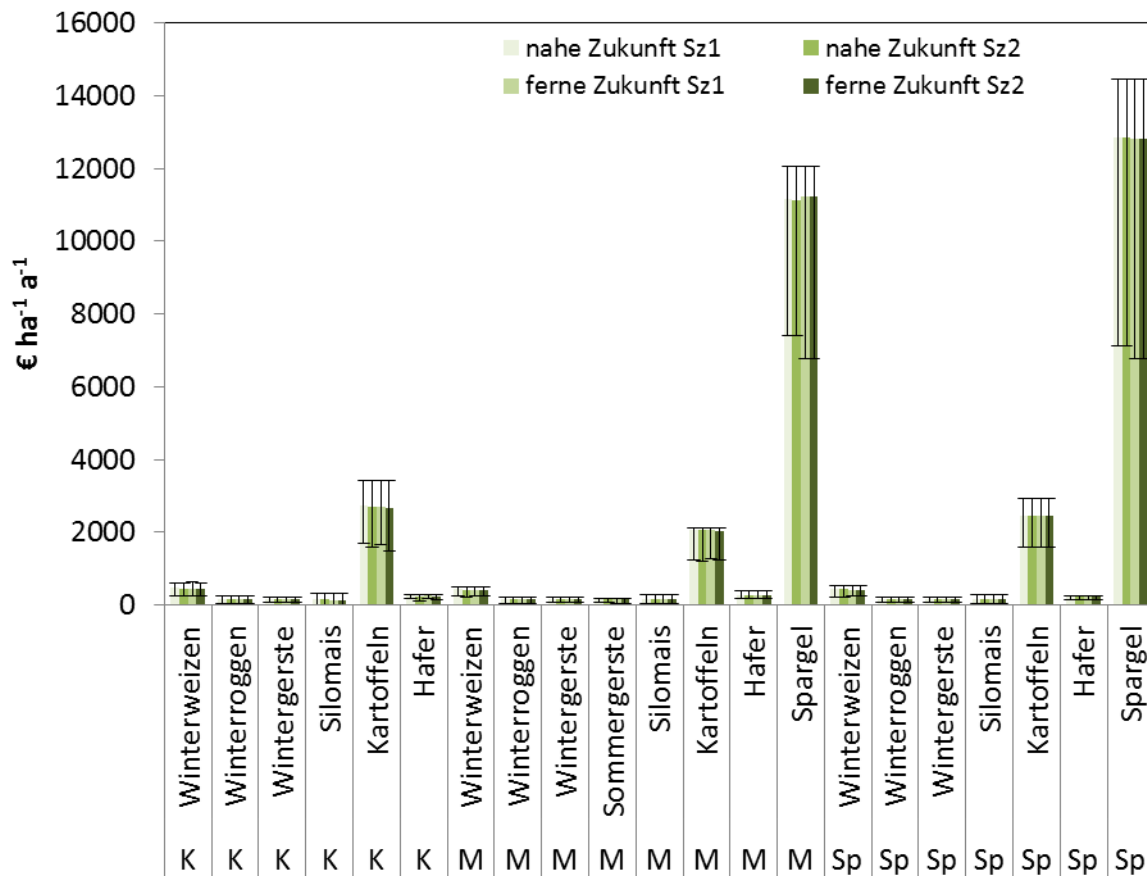


Abbildung 48: Änderungen der Erlöse zwischen der aktuellen Berechnungsfläche (Sz1) und der verdoppelten Berechnungsfläche (Sz2), gruppiert nach Nutzertypen und Fruchtarten

### 3.4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Fallbeispiel Beregnung in Brandenburg

Die Änderung des Klimas im verwendeten Szenario wirkt sich auf die Gebietsabflüsse aus. So können in den Monaten Mai, Juli und August deutliche Abflussrückgänge erwartet werden. Der Beregnungsbedarf steigt hingegen etwas an. Trotzdem bleibt der Einfluss der Beregnung auch wegen der geringen Anteile der berechneten Flächen an der Einzugsgebietsfläche (vgl. dazu Tabelle 19) eher gering. Ernstzunehmende Defizite beim Wasserdargebot konnten allerdings nicht abgeleitet werden. Der leichte Anstieg des Beregnungsbedarfs beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Beregnung positiv. Bei fast allen Fruchtarten wurden leicht zunehmende Mehrerträge festgestellt. Eine Beregnung wäre daher in der Zukunft bei Eintreten des Klimaänderungsszenarios rentabler als unter heutigen Klimabedingungen. Die Zunahmen sind jedoch sehr gering und können leicht von Änderungen der Markt- und Betriebsmittelpreise überlagert werden.

Die angenommene Verdopplung der heute berechneten Flächen bis zur nahen Zukunft zeigt zwar deutlich geringere Änderungen der Gebietsabflüsse als die ohne Flächenverdopplung, würde aber die in den beregnungsrelevanten Monaten ohnehin schon geringen Abflüsse der Nuthe und Plane um weitere 2 bis 6% reduzieren. Der infolge der Flächenverdopplung gestiegenen Beregnungswasserbedarf kann aber noch überwiegend gedeckt werden. Nur in trockenen Jahren sind für wenige Fruchtarten Defizite von mehr als 6 bis 8% zu erwarten. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der Beregnung jedoch nicht beeinträchtigt. Nur wenn es zu größeren Engpässen bei der Wasserbereitstellung kommen sollte, wäre die Rentabilität der Beregnungsanlagen gefährdet. Aufgrund der in dieser Region noch immer relativ geringen Beregnungs-

nungsflächen wäre zumindest unter den Modellannahmen eine Verdopplung der Flächen wirtschaftlich vorteilhaft.

### **3.5 Möglichkeiten großräumiger Wassermanagementverfahren**

Die bereits existierenden großräumigen Wasserüberleitungen Deutschlands sind in Kapitel 3.1.2.8 beschrieben. Sie dienen meist anderen Zielen als denen eines landwirtschaftlichen Wassermanagements (Trinkwassergewinnung, Zusatzwasserbereitstellung für die Schifffahrtsstraßen etc.), besitzen jedoch Potentiale für eine künftige Nutzung auch zu landwirtschaftlichen Zwecken, insbesondere der Bereitstellung von Bewässerungswasser für angrenzende landwirtschaftliche Flächen. Mit der in Kapitel 2.4 beschriebenen Vorgehensweise wurde insgesamt eine landwirtschaftliche Fläche von ca. 359.000 ha ermittelt, die mittels Entnahme von Oberflächenwasser aus Kanälen, ohne den Einsatz weiterer Überleitungssysteme, bewässert werden könnte (Abbildung 49). Das entspräche etwa einer Verdopplung der im Jahr 2009 insgesamt bewässerten landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland (vgl. Kapitel 3.1.3.1). Aufgrund der Lage der Kanalsysteme befinden sich die potentiellen Bewässerungsflächen hauptsächlich in Norddeutschland wo ohnehin aktuell schon ein größerer Zusatzwasserbedarf ausgewiesen wurde (vgl. Abbildung 7).

Die ermittelten potentiellen Flächen stellen jedoch nur einen groben Überblick dar. Die Möglichkeit der Nutzung von Oberflächenwasser aus Kanälen ist für jeden Einzelfall zu prüfen. Dabei müssen neben den ackerbaulichen Voraussetzungen und administrativen Anforderungen vor allem die technologische Realisierbarkeit, z.B. die Kapazität der erforderlichen Pumpentechnik, und damit einhergehende wirtschaftliche Faktoren, vor allem Kostenfaktoren, berücksichtigt werden.

Im Projekt des Elbe-Seitenkanal Dachverbandes „AQuaVia“ zur Erweiterung der Beregnung aus dem Elbe-Seitenkanal sollen Flächen über den bisherigen 2-km-Korridor hinaus bewässert werden. Derzeit wird die Machbarkeit dieses Vorhabens geprüft. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Baukosten zur Versorgung dieser Flächen die Kosten für eine Entnahme aus dem Grundwasser übersteigen, die ständigen Betriebskosten ebenso. Vorteile ergeben sich jedoch aus der höheren Temperatur des Wassers in den Sommermonaten sowie der höheren erlaubten Zusatzwassermenge von  $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Behrens et al. 2012).

Auch die Eignung der Wassergüte ist vor der Entnahme von Oberflächenwasser zu prüfen, da bei diesen häufig die Gefahr der Verunreinigung besteht bzw. es große Unterschiede im Jahresverlauf der chemischen und biologischen Kennwerte sowie zwischen den einzelnen Gewässern gibt. Je nach zu beregnender Fruchtart werden unterschiedliche Ansprüche an die Wassergüte gestellt. Vor allem für die Beregnung im Gemüsebau ist eine gute Wasserqualität erforderlich, da bei evtl. Kontamination der Pflanze durch verschmutztes Wasser der Erzeuger im Rahmen der Produkthaftung belangt werden könnte (Pfleger 2010).

Die Kosten von Überleitungen wurden bereits in Kapitel 3.2.3.4 dargestellt.

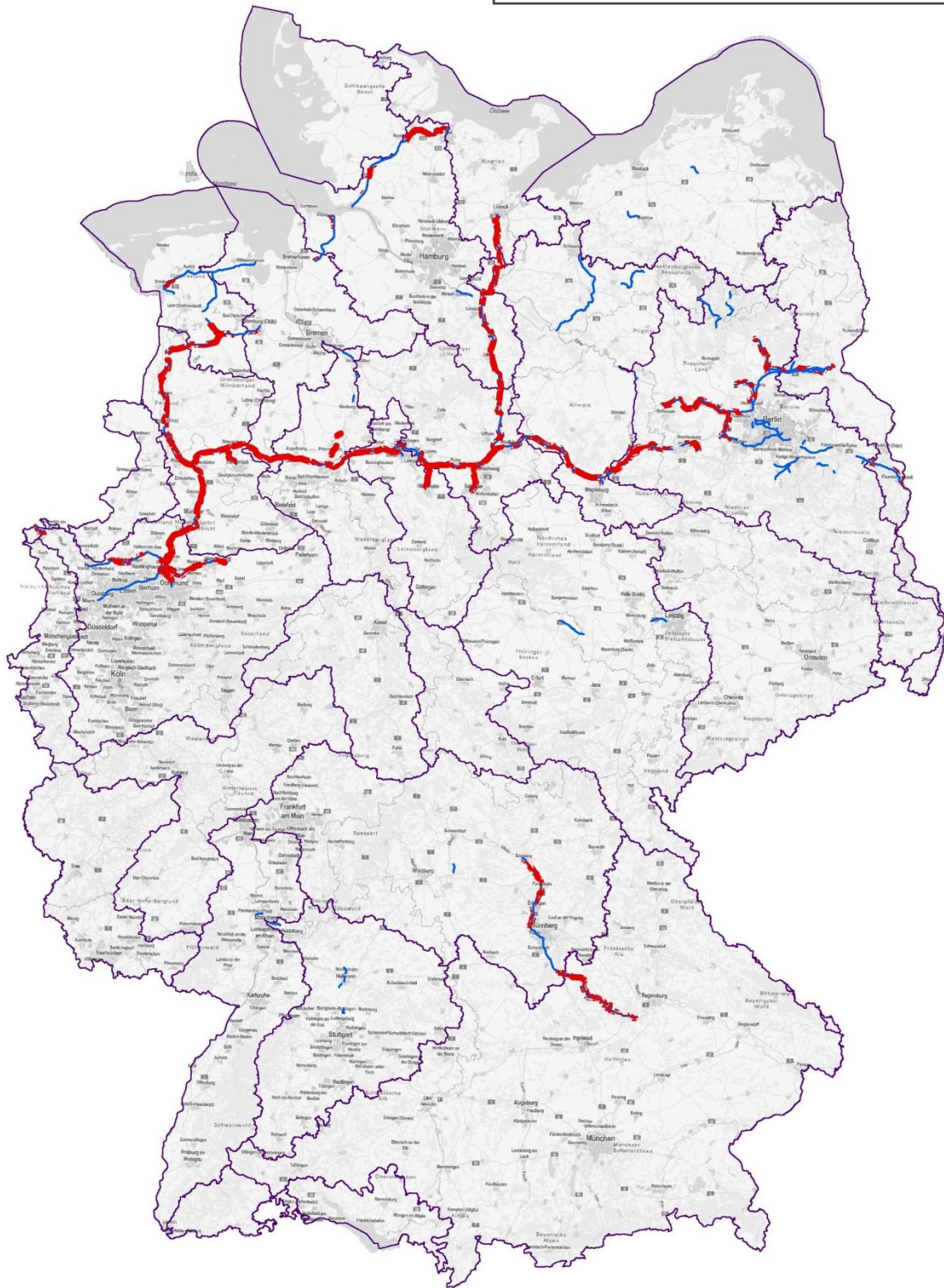
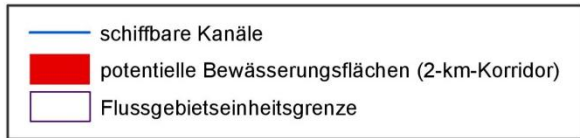
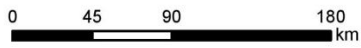


Abbildung 49: Potentielle Flächen zur landwirtschaftlichen Bewässerung mittels Oberflächenwasser aus Kanälen

## **3.6 Politische Konsequenzen**

### **3.6.1 Ansätze zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens**

Eine Wasserknappheit ist in Deutschland, zumindest gegenwärtig und auf nationaler Ebene, nicht gegeben. Engpässe ergeben sich, wenn überhaupt, regional sowie jahreszeitlich bedingt, beispielsweise durch länger anhaltende sommerliche Trockenphasen. Insbesondere bei künftig zunehmenden intensiveren Trockenphasen gilt es daher aus Sicht eines nachhaltigen Wassermanagements, dann entstehende größere Engpässe durch geeignete politische Instrumente, technische Maßnahmen und geeignete Bewirtschaftungssysteme zu vermeiden. Im Bereich der agrarrelevanten Extremwetterlagen sind daher während der Vegetationsperiode temporär auftretender Trockenheit insbesondere die Bewässerung landwirtschaftlicher Fruchtarten und die Bereitstellung des dafür notwendigen Wassers aus Grund- und Oberflächenwasser möglichst ohne negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von Bedeutung.

Wasser, das zur Vernässung landwirtschaftlicher Flächen durch Stau- oder Grundwasser führt, kann im Rahmen der bestehenden Entwässerungssysteme, in Form von Gräben oder Dränung, auf fast allen dafür in Frage kommenden Flächen abgeleitet werden. Bei Bedarf sind die Entwässerungssysteme zu erneuern, sofern der erwartete Nutzen die Kosten übersteigt. Der geltende Rechtsrahmen erlaubt in den meisten Fällen die Instandhaltung und Erneuerung bestehender Dränanlagen und Grabensysteme. Ausnahmen hiervon können aufgrund von Naturschutzauflagen in bestimmten Gebieten bestehen. Um Schäden durch Überflutungen landwirtschaftlicher Flächen bei Hochwasserereignissen zu vermeiden, wird von der Wasserwirtschaft innerhalb des Ordnungsrahmens der EU-Hochwasserrahmenrichtlinie ein Hochwasserrisikomanagement betrieben. In das regionale Hochwasserrisikomanagement sind betroffene Landwirte meist bereits integriert.

Die Entnahme von Beregnungswasser aus Grund- und Oberflächenwasser ist in Deutschland rechtlich eindeutig in den Wasserhaushaltsgesetzen und entsprechenden Verordnungen der Länder geregelt. Im Rahmen der Umsetzung der WRRL sind die betreffenden Gesetze und Verordnungen angepasst worden. So verlangt z. B. die Grundwasserverordnung (GrwV) die Einstufung des mengenmäßigen Grundwasserzustandes. Die Zielvorgabe ist ein mengenmäßig guter Grundwasserzustand, der erreicht wird, wenn die langfristige mittlere jährliche Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot nicht übersteigt und durch menschliche Tätigkeiten bedingte Änderungen des Grundwasserstandes kein Verfehlen der Bewirtschaftungsziele und keine Verschlechterung des Zustandes von Oberflächengewässern sowie keine Schädigung grundwasserabhängiger Landökosysteme nach sich zieht.

Die Umsetzung dieser Vorgaben findet in den Wasserbehörden der Länder statt. Dabei werden auch mögliche Änderungen des Klimas oder der Nutzeransprüche berücksichtigt indem Erlaubnisse oder Bewilligungen zur Wasserentnahme befristet erteilt werden und nach Ablauf erneut zu beantragen sind. Seitens der Behörde werden dann auch mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen z. B. ein geringeres nutzbares Wasserdargebots geprüft, bevor eine neue Erlaubnis oder Bewilligung erteilt wird. Erteilte Erlaubnisse werden hinsichtlich ihrer mengenmäßigen Realisierung und möglicherweise dadurch hervorgerufenen Veränderungen (mengenmäßig und chemisch) im Grund- oder Oberflächenwasser geprüft.

Eine Notwendigkeit zur Weiterentwicklung dieses Rechtsrahmens lässt sich aus den Ergebnissen dieses Projektes aber nicht ableiten.

Empfohlen wird allerdings eine in den Bundesländern einheitlich geregelte Erhebung von Gebühren für die Wassernutzung einzuführen, um regionale Probleme bei der Wasserbereitstellung besser vermeiden zu können. Je nach Wasserdargebot kann die auch unterschiedlich hoch sein bzw. ansteigen. Eine Mindestgebühr ist alleine schon zur Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen zwischen den Ländern geboten. Für die Landwirtschaft können dabei

niedrigere Sätze als für andere Sektoren erhoben werden, sie sollte aber nicht vollständig befreit werden (Lenkungsabgabe). Eine gesetzliche Regelung für eine Zweckbindung dieser Abgabe für Maßnahmen im Gewässerschutz oder ähnlichen Bereichen ist dabei äußerst sinnvoll und wird mit Erfolg in einigen Bundesländern praktiziert.

Die Erfahrungen in bewässerungsintensiven Regionen zeigen außerdem, dass bei regionaler Wasserknappheit, z. B. in Folge von Extremwetterereignissen wie Trockenheit, die Bewässerung bislang kaum zurückgefahren wurde. Die dort entstandenen Verwertungsbedingungen für landwirtschaftliche Produkte veranlassten stattdessen die Erschließung neuer Zusatzwasserquellen wie Wasserüberleitungen oder gar gereinigtes Abwasser (Bsp. Knoblauchland, Uelzen). Hier sollte analysiert werden, welche konkreten Rahmenbedingungen diese hohe Bewässerungsintensität fördern (z.B. Konzentrationen der verarbeitenden Industrie). Es wäre dabei zu prüfen, ob solche Produktionsschwerpunkte auf andere Regionen verlagert werden können, in denen bei vergleichbaren Klima- und Bodenbedingungen bislang kaum bewässert wird aber ein ausreichendes Wasserdargebot zur Verfügung steht. Sind diese Produktionsschwerpunkte räumlich nicht zu verlagern, wäre abzuwägen, welche politischen Steuerungsinstrumente geeignet sind, um eine Umverteilung der Bewässerungsintensität zu ermöglichen. Bei zunehmender regionaler Knappheit von Beregnungswasser wäre die Steuerung über höhere lokale Abgaben (s.o.) eine sinnvolle Möglichkeit. Außerdem sollten schon bei der Genehmigung neuer verarbeitender Anlagen oder insbesondere bei weiteren Konzentrationen (z.B. der Stärke- oder Zuckerproduktion) die Auswirkungen auf den Beregnungsbedarf in einer Region geprüft werden.

Wie in Kapitel 3.1.2.8 beschrieben, wird in Deutschland bereits Wasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung mit Wasserüberleitungen über größere Entfernungen und zum Teil aus anderen Einzugsgebieten bereitgestellt. Für solche Wasserüberleitungen wird das Wasserstraßennetz genutzt (z. B. Elbeseitenkanal oder Main-Donau-Kanal) oder wurden mit immensen Finanzvolumen öffentlicher Förderquellen Leitungssysteme errichtet (z. B. Rheinland-Pfalz, Beregnungsverband Vorderpfalz). Um weitere bereits existierende großräumige Überleitungssysteme, wie z. B. das Wasserstraßennetz zur Wasserbereitstellung für die landwirtschaftliche Bewässerung zu nutzen (Kapitel 0), müssen neben den wirtschaftlichen Faktoren auch die technischen Möglichkeiten der Beaufschlagung mit weiteren Überleitungen und die rechtlichen Rahmenbedingungen, z.B. resultierend aus der WRRL, dem jeweiligen Wasserhaushaltsgesetz oder dem Bundesnaturschutzgesetz, für jeden Einzelfall geprüft bzw. berücksichtigt werden.

Bei der Errichtung neuer Überleitungssysteme aus Regionen mit einem stärkeren Wasserdargebot in solche mit einem schwächeren, sind Konflikte sowie negative Umweltauswirkungen vermeidbar, wenn die politischen Entscheidungsträger sowie die beteiligten Wasserbehörden der Einzugsgebiete mit dem „scheinbaren“ Wasserdefizit zunächst alle Möglichkeiten ausschöpfen, ihre eigenen Wasserressourcen besser zu bewirtschaften, indem sie die folgenden Punkte berücksichtigen (vgl. Ghassemi & White 2006):

- Beseitigung von Verlusten im aktuellen Wasserversorgungsnetz;
- Erhöhung der Effizienz der Wassernutzung;
- Kombinierte Verwendung von Oberflächen- und Grundwasserressourcen;
- Erhöhung der Wasserpreise zur Förderung der Effizienz der Wassernutzung sowie eine Umschichtung der Wassernutzung von niedrig- zu höherwertigen Produktionssystemen;
- Rückgewinnung von kommunalen und gewerblichen Abwasserquellen;
- Überprüfung bestehender gesetzlicher Bestimmungen und Vorschriften; sowie
- eine Verbesserung des Monitorings der bestehenden Wassernutzung.

Ghassemi & White (2006) argumentieren, dass bei fast allen größeren Wasserüberleitungen, die bisher weltweit gebaut wurden, dies mit geringer oder ohne Anhörung der Öffentlichkeit geschehen ist, so dass Politiker und Planer die Autorität hatten, diese Projekte selbständig zu planen, zu finanzieren und zu bauen. Heutzutage beteiligt sich die Öffentlichkeit, insbesondere in Industrieländern, an der Projektentwicklung und -bewertung, so dass ohne ihre Zustimmung ein Projekt nicht umgesetzt werden kann. Die Planung für jede vorgeschlagene Wasserüberleitung muss sich daher nach den Grundsätzen einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung ausrichten, unter der aktiven Beteiligung aller Akteure auf lokaler, Landes- und Bundesebene.

Die planenden Wasserbehörden spielen dabei eine wichtige Rolle bei der Präsentation neuer Projekte gegenüber den Akteuren, indem ihre Anliegen in einem überarbeiteten Vorschlag aufgegriffen werden und sie in die endgültige Entscheidung mit einbezogen werden. Die Entscheidung, große Mengen an Wasser von einem Einzugsgebiet in ein anderes überzuleiten, kann nur gelingen, wenn alle Beteiligten davon überzeugt sind, dass die Vorteile einer Überleitung viel größer als die Vorteile der sonstigen Alternativen sind (Ghassemi & White 2006).

### **3.6.2 Bewertung künftiger Fördermöglichkeiten**

Bei der Beurteilung von Fördermöglichkeiten zu einzelnen Managementsystemen stehen zwei politische Ziele im Mittelpunkt. Zum einen ist die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft Gegenstand der Förderung, zum anderen muss als weiteres Ziel die Erhaltung der Qualität und Quantität von Grund- und Oberflächenwasser berücksichtigt werden.

Im Bereich der agrarrelevanten Extremwetterlagen sollte sich die Förderpolitik aus Sicht des Wassermanagements auf die Abmilderung der Effekte von Trockenphasen konzentrieren. In Regionen in denen heute schon der Wasserhaushalt durch die Bewässerung stark beansprucht wird, wird sich bei einer Zunahme von Trockenphasen zusammen mit einer Erhöhung der Durchschnittstemperaturen allerdings die Versorgung mit ausreichend Beregnungswasser immer schwieriger gestalten. Auch wenn es wärmer wird und sich ein Teil der sommerlichen Niederschläge auf den Winter verschieben sollte und somit die Grundwasserneubildung steigt, steht dem trotzdem ein erhöhter landwirtschaftlicher Zusatzwasserbedarf gegenüber.

Deshalb sollte sich eine Investitionsförderung zur Ausdehnung der Bewässerungsflächen weiterhin an der regionalen Verfügbarkeit von Beregnungswasser orientieren. Zusätzlich sollten dabei aber regionale Entwicklungstrends berücksichtigt werden, um künftig unerwünschte Effekte auf die verfügbaren Wasserressourcen zu vermeiden. Solche Entwicklungstrends können z. B. dort entstehen, wo sich landwirtschaftliche Anbausysteme und Verarbeitungssysteme regional sehr stark konzentrieren. Dazu wäre die Einrichtung und Nutzung von Gebietskulissen angeraten. In den Gebieten mit einem auch künftig ausreichenden Zusatzwasserdargebot können Bewässerungsmaßnahmen gefördert werden, die sich allerdings aus Gründen einer ressourcenschonenden Wassernutzung an die bereits in den Förderprogrammen einiger Bundesländer verfolgte Fokussierung auf wassersparende bzw. effizienzsteigernde Bewässerungsmaßnahmen orientieren sollten. In Gebieten mit einem künftig nicht mehr ausreichend verfügbaren Zusatzwasserdargebot böten sich unter bestimmten Bedingungen Förderungen für eine Wasserbereitstellung aus anderen Gebieten an. Dabei sollte aber genau geprüft werden, ob der gesellschaftliche Nutzen die gesellschaftlichen Kosten tatsächlich übersteigt, wenn Maßnahmen über die hier gezeigten Möglichkeiten der großräumigen Wasserüberleitung hinausgehen sollen (vgl. dazu Ghassemi & White 2006). In den betrachteten Fällen der großräumigen Wasserüberleitung werden die landwirtschaftlichen Nutzer nur zum Teil oder gar nicht an den Kosten der Überleitungen beteiligt, profitieren aber wegen der Nutzung vorhandener Kanalsysteme inklusive Pumptechnik von der relativ günstigen Bereitstellung von Beregnungswasser. Die Möglichkeiten der Nutzung bestehender Kanalnetze sollten bei zukünftig erhöhten Engpässen ausgenutzt werden können. Die Förderung des Baus neuer,

rein für die Bewässerung dienenden Wasserüberleitungssysteme ist aber ökonomisch und ökologisch fraglich.

Unabhängig vom verfügbaren Zusatzwasserdargebot ist die Förderung der Beratung zu wassersparenden Produktionsverfahren (Sortenwahl, Anbauweisen, Bodenbearbeitung) anzuraten. Hier kann auch die Förderung von Forschungsvorhaben zu o. g. wassersparenden Anbauverfahren bzw. Bewässerungstechnologien einen großen Beitrag leisten.

Insbesondere bei Extremwetterlagen ist eine Förderung von Versicherungslösungen möglicherweise günstiger als eine Förderung von Investitionen in neue, leistungsfähigere Bewässerungsanlagen, da Wasser bei Extremwetterlagen ohnehin knapp bzw. nicht verfügbar ist. Wie die Ergebnisse des Teilprojektes zu externen Risikomanagementverfahren zeigen, ist die Absicherung von Ertragsschwankungen über Versicherungen oder Wetterderivate in den meisten Fällen günstiger als die Investition in Beregnungsanlagen (Feil, J.-H., et al. 2014).

### **3.7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Die Ergebnisse dieses Projekts geben den derzeitigen Kenntnisstand zur Beschreibung des aktuellen landwirtschaftlichen Wassermanagements zur Be- und Entwässerung in Deutschland wieder. Hierzu zählt eine Abschätzung des für die Beregnung zur Verfügung stehenden Wasserdargebots unter Berücksichtigung von Grund- und Oberflächenwasser sowie der Möglichkeit von Wasserüberleitungen zwischen Flusseinzugsgebieten.

Weiterhin liefert das Projekt eine Zusammenfassung von Wissen, Daten und Methoden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des aktuellen landwirtschaftlichen Wassermanagements zur Be- und Entwässerung. Zusätzlich wurde unter Berücksichtigung von möglichen Entwicklungen von Klima und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine Zusammenfassung von Wissen, Daten und Methoden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Anpassungsmaßnahme landwirtschaftliches Wassermanagement an künftige Extremwettersituationen erarbeitet. Hierbei wurde auch auf weiteren Forschungsbedarf zu wassersparenden Anbauverfahren verwiesen.

Anhand eines Fallbeispiels in einer beregnungsintensiven Region in Brandenburg wurde eine WBALMO-Modellerweiterung entwickelt, getestet und angewendet. Dieses Modell kann für weitere modellgestützte Analysen zum Wasserdargebot und nachhaltigen Ressourcennutzung angewendet werden.

Die Ergebnisse dienen zunächst als Grundlage zur Verwertung im BMEL-Forschungsvorhaben „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements“ und fließen in einen umfassenden Endbericht mit ein. Die in diesem Bericht formulierten Hinweise zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens sowie zur Bewertung künftiger Fördermöglichkeiten können bei der Politik- und Fördergestaltung der damit befassten Ministerien auf Bundes- und Landesebene zu einem verbesserten Wassermanagement beitragen.

## **4 Zusammenfassung**

Eine Wasserknappheit ist in Deutschland, zumindest gegenwärtig und auf nationaler Ebene, nicht gegeben. Die Darstellung der Niederschlagsverteilung, klimatischen Wasserbilanz sowie der nutzbaren Feldkapazität ( $nFk_{we}$ ) in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede für die Vegetationsperiode. Es lassen sich Defizitstandorte ermitteln, an denen die Verdunstung höher ausfällt als der Niederschlag (Bsp. in Nordostdeutschland) und die Wirtschaftlichkeit des Anbaus einiger Fruchtarten durch Bewässerung verbessert werden könnte. Das benötigte Zusatzwasser kann durch Entnahme aus Grund- bzw. Oberflächenwasser, Wasserspeichern, Grundwasseranreicherung oder Wasserüberleitungen verfügbar gemacht werden. Daten zur



aktuellen Situation der landwirtschaftlichen Bewässerung wurden in der Landwirtschaftszählung 2010 erhoben. Diese beinhaltet auf Landkreisebene Angaben zu Flächenanteilen, Wassermengen, bewässerten Fruchtarten und zur Herkunft des Zusatzwassers. Etwa 3,8 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands werden demnach bewässert. Das größte geschlossene Beregnungsgebiet befindet sich in Nordost-Niedersachsen, weitere Beregnungsgebiete sind die Vorderpfalz, das Hessische Ried, das Niederrheingebiet sowie das „Knoblauchsland“. Den flächenmäßigen Hauptanteil der bewässerten Fruchtarten bildeten im Bezugsjahr 2009 Getreide, gefolgt von Kartoffeln. Das verwendete Wasser wird vorwiegend aus dem Grundwasser entnommen, wobei große regionale Unterschiede bestehen. Zu etwa 80 % werden Beregnungsverfahren angewendet (20 % Tropfbewässerung).

Die Entnahme von Beregnungswasser aus Grund- und Oberflächenwasser ist in Deutschland rechtlich eindeutig in den Wasserhaushaltsgesetzen und entsprechenden Verordnungen der Länder, die - oft unterschiedliche - Vorgaben für Entnahmemengen und Nutzungsentgelte enthalten, geregelt und wird von den Wasserbehörden der Länder umgesetzt und überprüft. Die Erlaubnisse / Bewilligungen zur Wasserentnahme werden befristet erteilt, um mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen z. B. ein geringeres nutzbares Wasserdargebots ggf. abzufangen.

Auf Standorten mit Gefahr zur Vernässung werden Entwässerungsverfahren angewendet. Diese können unter- sowie oberirdisch, als Dränung oder Grabenentwässerung, sowie frei oder reguliert erfolgen. Schätzungen nach werden in Deutschland 2 - 2,6 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche durch Rohrdränung entwässert, jedoch ist eine Ermittlung der tatsächlich existierenden Dränsysteme aufgrund der schlechten Datenlage kaum möglich. Stau- oder Grundwasser kann auf fast allen dafür in Frage kommenden Flächen abgeleitet werden. Der geltende Rechtsrahmen erlaubt in den meisten Fällen die Instandhaltung und Erneuerung bestehender Dränanlagen und Grabensysteme.

Sowohl die Be- als auch Entwässerung als Wassermanagementsystem für die Landwirtschaft dient der Ertragssicherung sowie der Abmilderung der Auswirkungen beim Eintreten von Extremwetterlagen. Die Ergebnisse von verschiedenen Bewässerungsversuchen zeigen einen in bestimmten Grenzen linearen Verlauf der Mehrerträge durch Bewässerung. Auch durch Dränung kann eine Ertragszunahme erreicht werden. Die Rentabilität der Wassermanagementsysteme Bewässerung, Entwässerung, Wasserspeicher oder -überleitungen wird durch die dabei anfallenden Investitionskosten, Verfahrenskosten sowie den Instandhaltungskosten bestimmt. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist die Gegenüberstellung des Nutzens (z.B. Erlöse durch Mehrertrag) entscheidend.

Die beregnungskostenfreie Leistung als Differenz aus monetärem Mehrertrag und Mehrkosten kann als verfahrensbezogene Bewertungsmethode für die Rentabilität der Beregnung verwendet werden. Mittels der Kapitalwertmethode kann die langfristige Rentabilität der Beregnung für verschiedene Fruchtarten mit unterschiedlichen Zusatzwasserbedarfen ermittelt werden. Unregelmäßig auftretende Extremwetterlagen, wie Trockenphasen, erhöhen den Mittelwert des Zusatzwasserbedarfs über den Planungszeitraum und haben somit einen, wenn auch niedrigen Einfluss auf die Rentabilität von Bewässerungsanlagen. Bei einer Zunahme der Häufigkeit oder der Ausprägung von Trockenjahren steigt die Beregnungswürdigkeit sowohl bereits beregneter Standorte als auch solcher, bei denen bislang noch keine Beregnungswürdigkeit bestand. Die Entwicklung ist außerdem abhängig von der zukünftigen Änderung der Kostenfaktoren der Wassermanagementsysteme sowie der Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktpreise. So würde ein steigendes Preisniveau die Rentabilität der Beregnung für einige Fruchtarten und Standorte erhöhen, während ein fallendes Preisniveau zum Verlust der Rentabilität auf Grenzstandorten führt. Für Winterroggen und Silomais ist die Beregnung weder aktuell noch bei einem Preisanstieg bis zu 20 % rentabel, während sie für Kartoffeln sogar bei einer Preisminderung bis 20 % noch 97 % der aktuell rentablen Flächen bestehen bleibt.

Für ein Fallbeispiel zur Beregnung in einem Brandenburger Untersuchungsgebiet mit 119 ermittelten Beregnungsnutzern wurden der Einfluss der Klimaänderung und der Verdopplung der Beregnungsfläche auf Abflusssituation und die Wirtschaftlichkeit der Beregnung untersucht. Infolge der Änderung des Klimas können in den Monaten Mai, Juli und August deutliche Gebietsabflussrückgänge erwartet werden. Der Beregnungsbedarf steigt hingegen etwas an. Trotzdem bleibt der Einfluss der Beregnung auch wegen der geringen Anteile der beregneten Flächen an der Einzugsgebietsfläche eher gering. Ernstzunehmende Defizite beim Wasserdargebot konnten allerdings nicht abgeleitet werden. Bei fast allen Fruchtarten wurden leicht zunehmende Mehrerträge festgestellt. Eine Beregnung wäre daher in der Zukunft rentabler als unter heutigen Klimabedingungen. Die Zunahmen sind jedoch sehr gering und können leicht von Änderungen der Markt- und Betriebsmittelpreise überlagert werden.

Die angenommene Verdopplung der heute beregneten Flächen bis zur nahen Zukunft zeigt zwar deutlich geringere Änderungen der Gebietsabflüsse als die ohne Flächenverdopplung, würde aber die in den beregnungsrelevanten Monaten ohnehin schon geringen Abflüsse der Nuthe und Plane weiter reduzieren. Der infolge der Flächenverdopplung gestiegene Beregnungswasserbedarf kann aber noch überwiegend gedeckt werden. Nur in trockenen Jahren sind für wenige Fruchtarten geringe Defizite zu erwarten. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der Beregnung jedoch nicht beeinträchtigt. Aufgrund der in dieser Region noch immer relativ geringen Beregnungsflächen wäre zumindest unter den Modellannahmen eine Verdopplung der Flächen wirtschaftlich vorteilhaft.

In Deutschland werden einige großräumige Wasserüberleitungen zur Bereitstellung von landwirtschaftlichem Bewässerungswasser genutzt. Ausgehend von der technisch möglichen Verteilung des entnommenen Oberflächenwassers in einem Korridor von 2 km zu beiden Uferseiten ohne Inanspruchnahme weiterer Überleitungssysteme, könnten ca. 359.000 ha landwirtschaftliche Fläche zusätzlich durch die Entnahme von Bewässerungswasser aus Kanalsystemen bewässert werden. Im Einzelfall ist das jedoch abhängig von den ackerbaulichen Voraussetzungen, den administrativen Anforderungen, der technischen Realisierbarkeit und schließlich der tatsächlichen Wasserverfügbarkeit. Vor der Errichtung neuer Überleitungssysteme sollten zunächst alle Möglichkeiten die regionalen Wasserressourcen besser zu bewirtschaften sowie der Wasserbeschaffung und der Erhöhung der Effizienz der Wassernutzung im eigenen Einzugsgebiet beurteilt und ausgeschöpft werden. Die Planung für jede vorgeschlagene Wasserüberleitung muss sich nach den Grundsätzen einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung ausrichten, unter der aktiven Beteiligung aller Akteure auf lokaler, Landes- und Bundesebene.

In bewässerungsintensiven Regionen zeigt sich, dass bei regionaler Wasserknappheit die Bewässerung kaum runtergefahren wird. Die dort entstandenen Verwertungsbedingungen für landwirtschaftliche Produkte veranlassen stattdessen die Erschließung neuer Bewässerungsquellen wie Überleitungen oder gar gereinigtes Abwasser (Bsp. Knoblauchland, Uelzen). Eine Analyse der Rahmenbedingungen, die diese hohe Bewässerungsintensität fördern (z.B. Konzentrationen der verarbeitenden Industrie), und die Prüfung einer möglichen Verlagerung der Produktionsschwerpunkte auf andere Regionen mit ähnlichen Klima- und Bodenbedingungen sowie ausreichend verfügbarem Wasserdargebot sind zu empfehlen. Jedoch kann auch auf andere politische Steuerungsinstrumente für eine Umverteilung der Bewässerungsintensität, wie z.B. die Steuerung über höhere lokale Abgaben zurückgegriffen werden. In den Bundesländern ist eine einheitlich geregelte Erhebung von Gebühren für die Wassernutzung zu empfehlen, die je nach Wasserdargebot auch unterschiedlich hoch sein bzw. ansteigen können. Eine Mindestgebühr ist zur Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen zwischen den Ländern geboten.

Fördermöglichkeiten sollten sich auf ein Wassermanagement zur Abmilderung der Effekte von Extremwetterlagen, z.B. Trockenphasen, konzentrieren. Da schon heute in einigen Regi-

onen der Wasserhaushalt durch die Bewässerung stark beansprucht wird, sollte sich eine Investitionsförderung zur Ausdehnung der Bewässerungsflächen an der regionalen Verfügbarkeit des Zusatzwassers orientieren (z. B. Gebietskulissen). Bewässerungsmaßnahmen sollten nur in den Gebieten mit einem ausreichenden Zusatzwasserdargebot gefördert werden und sich dort aus Gründen einer ressourcenschonenden Wassernutzung an bereits in Förderprogrammen einiger Bundesländer verfolgte Fokussierung auf wassersparende bzw. effizienzsteigernde Bewässerungsmaßnahmen konzentrieren. In Gebieten mit einem nicht mehr ausreichend verfügbaren Zusatzwasserdargebot böten sich Förderungen für eine Wasserbereitstellung aus anderen Gebieten an. Dabei sollte aber geprüft werden, ob der gesellschaftliche Nutzen die gesellschaftlichen Kosten tatsächlich übersteigt, wenn Maßnahmen über die hier gezeigten Möglichkeiten der großräumigen Wasserüberleitung hinausgehen sollen. Die Förderung des Baus neuer, rein für die Bewässerung dienenden Wasserüberleitungssysteme ist ökonomisch und ökologisch fraglich. Unabhängig vom Zusatzwasserdargebot sollte eine Beratung zu wassersparenden Produktionsverfahren (Sortenwahl, Anbauweisen, Bodenbearbeitung) und Forschungsvorhaben zu den wassersparenden Anbauverfahren bzw. Bewässerungstechnologien gefördert werden. Letztlich können auch Versicherungslösungen günstiger als eine Förderung von Investitionen in neue, leistungsfähigere Bewässerungsanlagen sein.

## **5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen**

Das Gesamtziel des Projektes besteht in der Analyse der Möglichkeiten und Erfordernisse eines landwirtschaftlichen Wassermanagements, mit dem erwartete, unerwünschte Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich der Zunahme von Extremwetterereignissen auf die Landwirtschaft gemindert werden können. Darüber hinaus soll die wirtschaftliche Bewertung von Wassermanagementsystemen und -konzepten und deren Änderungen bei zunehmenden Extremwetterereignissen abgeschätzt werden. Schließlich sollen mögliche politische Konsequenzen zur Gestaltung der Rahmenbedingungen für tragfähige Konzepte des Wassermanagements abgeleitet werden.

Mit den vorgestellten Ergebnissen wurde dieses Gesamtziel erreicht. Kleinere Einschränkungen ergaben sich bei einigen Teilaufgaben, die sich jedoch nicht wesentlich auf die Erfüllung der Gesamtzielstellung auswirkten.

So konnte die aktuelle Situation des landwirtschaftlichen Wassermanagements mittels Literaturrecherche und Auswertung statistischer Daten für Deutschland unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten eingeordnet werden. Die Wirkungsweise, Kostenfaktoren und Möglichkeiten zur Verbesserung des Wasserdargebots für den Pflanzenbau dieser Wassermanagementsysteme wurden wie geplant beschrieben, wobei die Kosten für Wasserspeicher und -überleitungen nur überschlägig dargestellt werden konnten.

Die technische und ökonomische Parameter der ausgewählten Managementsysteme Be- und Entwässerung, Wasserspeicher sowie großräumige Wasserüberleitungen wurden wie vorgesehen ermittelt und systematisiert dargestellt. Aufgrund der unzureichenden deutschlandweiten Datenlage bezüglich der landwirtschaftlichen Entwässerung konnten diesbezüglich allenfalls grobe Abschätzungen vorgenommen werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse konnte ein Berechnungsmodul für ein verfügbares Wasserbewirtschaftungsmodell entwickelt werden, das den Bedarf und die Verfügbarkeit des Beregnungswassers für landwirtschaftliche Wassernutzer abbilden kann. Dieses Modell konnte später für ein Fallbeispiel angewendet werden.

Für die ausgewählten Wassermanagementverfahren erfolgte die Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter den aktuellen und künftigen klimatischen Bedingungen. Auch hier lag der Fokus auf die landwirtschaftliche Bewässerung. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter künftigen klimatischen Bedingungen geschah auf der Basis allgemeiner Schlussfolgerungen.

Wie geplant konnte für ein Fallbeispiel in einer berechnungsintensiven Region Brandenburgs mit einem Wasserbewirtschaftungsmodell die Wirtschaftlichkeit der Berechnung sowie deren Auswirkungen auf das Wasserdargebot mittels Zukunftsszenarien, die eine Klimaänderung sowie eine Zunahme der Berechnungsintensität berücksichtigen, ermittelt werden.

Die Analyse und Bewertung großräumiger Wassermanagementverfahren konzentrierte sich auf existierende Wasserüberleitungen, die sowohl landwirtschaftlichen als auch anderen Zwecken (z.B. Trinkwasserversorgung) dienen. Eine Erweiterung des bestehenden Wasserüberleitungssystems erschien allerdings aus wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Gründen nicht durchsetzbar, so dass stattdessen die Potentiale vorhandener Wasserstraßen für die Wassergewinnung zur landwirtschaftlichen Bewässerung ermittelt und wirtschaftlich bewertet wurden.

Basierend auf einer Analyse der Bundesgesetze und Verordnungen, welche die landwirtschaftlichen Wassermanagementsysteme betreffen, konnten keine rechtlichen Hemmnisse festgestellt werden. Es wurden jedoch Anregungen zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens gegeben, sowie Ansätze zu künftigen Fördermöglichkeiten entwickelt.

## 6 Literaturverzeichnis

- Abwasserverband Braunschweig (2004): Abwasserverband Braunschweig - 50 Jahre erfolgreich tätig für Mensch und Umwelt durch Reinigung und landwirtschaftliche Verwertung kommunaler Abwässer
- Agrowissen-Forum (2014): Drainagekosten, Landwirtschaftliches Diskussionsforum, <http://www.agrowissen.de/de/forum/index.php?topic=2286.0> (11.12.2014)
- Albrecht, M. und Pflieger, I. (2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thür. Landesanstalt für Landwirtsch. Jena, 1. bis 3. Auflage, Eigenverlag, 21 S.
- Arle, J.; Blondzik, K.; Claussen, U.; Duffek, A.; Grimm, S.; Hilliges, F.; Hoffmann, A.; Leujak, W.; Mohaupt, V.; Naumann, S.; Pirntke, U.; Richter, S.; Schilling, P.; Schroeter-Kermani, C.; Ullrich, A.; Wellnitz, J.; Werner, S.; Wolter, R. (2013): Wasserwirtschaft in Deutschland - Teil 2 - Gewässergüte. In: Umweltbundesamt (Ed.), Bonn, p. 116.
- Armstrong, A. C. (1978): The effect of drainage treatments on cereal yields: results from experiments on clay lands. *The Journal of Agricultural Science*, 91, pp 229-235.
- ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2002): Merkblatt ATV-DVWK-M 504 - Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Hennef.
- Bannick, C.; Engelmann, B.; Fendler, R.; Frauenstein, J.; Ginzky, H.; Hornemann, C.; Ilvonen, O.; Kirschbaum, B.; Penn-Bressel, G.; Rechenberg, J.; Richter, S.; Roy, L. & Wolter, R. (2008): Grundwasser in Deutschland. In: Bundesministerium für Umwelt, N.u.R.B. (Ed.), Reihe Umweltpolitik, Berlin, p. 72.
- Becker, A.; Lahmer, W. (Hrsg.) (2004) Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung. – Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 1. Weißensee Verlag Berlin.
- Behrens, R., Bruns, M.; Fricke, E.; Grocholl, J.; Heuer-Jungemann, H.; Kraft, M.; Nolting, K.; Ostermann, U.; Radmann, K.; Riedel, A.; Reusch, H.; Sourell, H.; Schulz, E.; Thörmann, H.; van Straaten, L.; Thiem, H. (2012): AQUARIUS - Dem Wasser kluge Wege ebnen. In: Niedersachsen, L. (Ed.), AQUARIUS - Farmers as water managers, Uelzen, p. 159.
- BGS Umwelt (2011): Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz - Vertiefende wasserwirtschaftliche Untersuchungen für den Raum Hochstadt und in den Flächen der Tabakkonversion. Neustadt, 80 S.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 3. Lfg., Bonn/Berlin.
- BV ESK (Dachverband der Beregnungsverbände am Elbe-Seitenkanal), 2014. <http://wasseruelzen.de/wbv10/index.php/die-mitgliedsverbaende/1-der-dachverband-der-beregnungsverbaende-am-elbe-seitenkanal>
- Deutsche Norm DIN 19650 (1999): Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 4 S.
- Deutsche Norm DIN 19655 (2008): Bewässerung - Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren. Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

- DGLG Gesetz zur Erhaltung von Dauergrünland (Dauergrünlanderhaltungsgesetz - DGLG). Vom 7. Oktober 2013\*
- Dietrich, O.; Dannowski, R.; Schramm, M. & Stille, P. (1999): Probleme der Wasserbewirtschaftung eines staureguliertennordostdeutschen Niedermooses. *Wasser & Boden* 51 (4): 36-40.
- Dietrich, O.; Appel, U.; Fahle, M.; Lischeid, G.; Steidl, J. (2012): Grundlagen für eine flexible und ressourcenschonende Wasserbewirtschaftung in Niederungsgebieten zur verbesserten Anpassung an den Klimawandel. - In: Grünewald, U.; Bens, O.; Fischer, H.; Hüttl, R.F.; Kaiser, K.; Knierim, A. (Hrsg.): *Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel*: 138-147; Stuttgart (Schweizerbart).
- Dietrich, O.; Pavlik, D.; Schweigert, S.; Steidl, J. (2013): Wasserhaushalt großer Feuchtgebiete im Elbe-Tiefland. In: Wechsung, F.; Hartje, V.; Kaden, S.; Venohr, M.; Hansjürgens, B.; Gräfe, P. (eds), *Die Elbe im globalen Wandel: Eine integrative Betrachtung*. Weißensee-Verlag Berlin, pp. 421-442.
- Dirksen, W.; Huppert, W. (Eds.) (2006): *Irrigation sector reform in Central and Eastern European countries*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Germany.
- Döhler, H. (2009): *Faustzahlen für die Landwirtschaft*. 14. Aufl. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV KTBL, Darmstadt.
- DVWK (2012): *Reduktion der Stoffeinträge durch Maßnahmen im Drän- und Gewässersystem sowie durch Feuchtgebiete*. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2012, ISBN: 978-3-942964-56-2
- Ebner von Eschenbach, A.-D.; Hohenrainer, J.; Ihringer, J.; Preuß, P. und Richter, K. (2011): Modellierung der Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder mit dem Tageswertmodell BEWASYS. In: Blöschl, G. und Merz, R. (2011) (Hrsg.): *Hydrologie & Wasserwirtschaft - von der Theorie zur Praxis Beiträge zum Tag der Hydrologie 2011 24./25. März 2011 an der Technischen Universität Wien*: 186-192. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 30.11.
- Ebner von Eschenbach, A.; Hohenrainer, J.; Kaltofen M.; Müller F.; Schramm M. (2013): *Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin*. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz/Dresden.
- Eggelsmann, R. (1981): *Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau*. 2. Auflage. Paul Parey Verlag, Hamburg/ Berlin.
- European Environment Agency (2015): *WISE River basin districts (RBDs)*, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/wise-river-basin-districts-rbds-1>
- Feil, J.-H., et al. (2014): *Teilprojekt „Risikomanagementsysteme“; Endbericht im BMEL-Forschungsvorhaben „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements“; unveröffentlicht.*
- FGG Elbe (Flussgebietsgemeinschaft Elbe), 2009. *Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe*. [http://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/bewirtschaftungsplaene/doc/elbe\\_bp\\_2009\\_ohnehang.pdf](http://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/bewirtschaftungsplaene/doc/elbe_bp_2009_ohnehang.pdf)
- Fier, A.; Hirt, U.; Holsten, B.; Kahle, P.; Kalettka, T.; Koch, F.; Krämer, I.; Lennartz, B.; Litz, N.; Mahnkopf, J.; Matzinger, A.; Rupp, H.; Steidl, J.; Trepel, M. (2012): *Reduktion der Stoffeinträge durch Maßnahmen im Drän- und Gewässersystem sowie durch Feucht-*

- gebiete: 86, 8 S., Hennef (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall).
- Frei, P. (2003): Pressemitteilung vom 25.07.2003 - Wasserland Bayern. In: AG, B. (Ed.).
- Fricke, E. (2006): Energiekosten der Feldberegnung – was kostet Beregnung zur Zeit? FB Pflanzenbau, Ekkehard Fricke 02/06 Mitgliederversammlung FVF 07.02.2006
- Fricke, E.; Riedel, A. (2008). Wirtschaftlichkeit der Beregnung steigt. L. Niedersachsen. Hannover.
- Fricke, E.; Giermann, H.; Grocholl, J.; Günther, R.; Miegel, K.; Schneider, M.; Schuhmann, P. (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft.
- Ghassemi, F. & White, I. (2006): Inter-basin water transfer: case studies from Australia, United States, Canada, China, and India . Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press.
- Hessisches Wassergesetz (HWG) Vom 14. Dezember 2010 Zum 01.12.2014 aktuellste verfügbare Fassung der Gesamtausgabe.
- Hilliger, D. (1986): Eine Prinziplösung für Dränanstau mittels Glockenheber. Zur Theorie und Anwendung der Bodenwasserregulierung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion.
- HLUG Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Landwirtschaftlicher Zusatzwasserbedarf bei veränderten klimatischen Bedingungen. Vortrag Dr. Georg Berthold 08.09.2008  
[http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim\\_plus/fachtagung\\_darmstadt/Vortrag\\_Berthold.pdf](http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim_plus/fachtagung_darmstadt/Vortrag_Berthold.pdf)
- HMULV Hessisches Ministerium für Umwelt, I.R.u.V. (2005): Das Hessische Ried zwischen Vernässung und Trockenheit: eine komplexe wasserwirtschaftliche Problematik. Wiesbaden, p. 70.
- Hoffmann, J., Stein, H. (1988): Speicherung des Bodenwassers durch Dränanstau. Melioration und Landwirtschaftsbau. Berlin 22 (6), 277-278.
- Hönl, R. (2013): Gründung des Beregnungsverbandes „Altmark West“ Landgesellschaft Sachsen-Anhalt mbH, Vortrag Beregnungstag in Bernburg, 4.4.2013  
[http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/bereg\\_tag13\\_hoenl.pdf](http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/bereg_tag13_hoenl.pdf)
- IHK Pfalz (2013): Die Wasserentnahmeentgelte der Länder - Ein Vergleich, Ludwigshafen.
- Kahlenborn, W.; Kraemer, R.A. (1999): Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland. Springer, Berlin.
- Kaltofen, M.; Koch, H.; Schramm, M. (2005): Wasserwirtschaftliche Handlungsstrategien im Spreengebiet oberhalb Berlins. In: Wechsung, F.; Becker, A. & Gräfe, P. (Eds.) (2005): Auswirkungen des Globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet: 242-259. Weißensee-Verlag, Berlin.
- Kaltofen, M.; Hentschel, M.; Kaden, S.; Dietrich, O.; Koch, H. (2013): Wasserverfügbarkeit im Elbeinzugsgebiet unter Berücksichtigung des globalen Wandels - Analysen mit einem stochastischen Langfristbewirtschaftungsmodell. Berlin.
- König, S. (2009): Wirtschaftlichkeit von Feldberegnungen. Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg.

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2013): Feldbewässerung: Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- Lalonde, V.; Madramootoo, C. A.; Trenholm, L.; Broughton, R. S. (1996): Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge. *Agricultural Water Management*, Volume 29, Issue 2, Pages 187-199
- Landesrecht Hessen (2015): Anlage zur InvZuweisVO. [http://www.landesrecht-hessen.de/gesetze/85\\_Wasserwirtschaft\\_Wasserrecht/85-65-InvZuweisVO/sonstiges/anlage.htm](http://www.landesrecht-hessen.de/gesetze/85_Wasserwirtschaft_Wasserrecht/85-65-InvZuweisVO/sonstiges/anlage.htm), 29.01.2015
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.) (2008): No Regret - Genug Wasser für die Landwirtschaft?!. Uelzen.
- LfULG Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2012): Aktueller Stand der Bewässerung in Sachsen. Vortrag Dr. Kerstin Jäkel 27.06.2013  
[http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/04\\_Bewaessering\\_in\\_Sachsen\\_Jaekel.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/04_Bewaessering_in_Sachsen_Jaekel.pdf)
- Lüttger, A.; Dittmann, B.; Sourell, H. (2005). Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen, Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Bd 6, Heft IV, Potsdam.
- Mehl, D.; Hoffmann., T. (2010): Ermittlung von Art und Intensität künstlicher Flächenentwässerung in Mecklenburg-Vorpommern. *biota*, Bützow, p. 102.
- Mirschel, W.; Wieland, R.; Wenkel, K.-O.; Nendel, C.; Guddat, C. (2014) YIELDSTAT – A spatial yield model for agricultural crops. *European Journal of Agronomy* 52, Part A, 33-46.
- Möller, O.; Boesler, H.; Leue, P. (1968): Hydromelioration Entwässerung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin.
- Muth, W. (1991): Wasserbau. Landwirtschaftlicher Wasserbau - Bodenkultur. 2. Auflage, Werner-Ingenieur-Texte WIT, Düsseldorf.
- MUNLV NRW Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (2014): Bestandsaufnahme Niederrhein - Umsetzung der WRRL in der FGE Rhein.
- Offermann, F.; Banse, M.; Ehrmann, M.; Gocht, A.; Gömann, H.; Haenel, H.-D.; Kleinhanß, W.; Kreins, P.; Ledebur, O. v.; Osterburg, B.; Pelikan, J.; Rösemann, C.; Salamon, P. & Sanders, J. (2012): vTI-Baseline 2011 - 2021: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland - Sonderheft 355. Braunschweig: Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI).
- Paschold, P.; Beltz, H. (2010): Bewässerung im Gartenbau. Stuttgart.
- Pfleger, I. (2010): Bewässerungsqualität. Hygienische und chemische Belange. - Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (Hrsg.), Themenblatt-Nr.: 52.06.
- Pfleger, I.; Rößler, U. (2010). Sorteneinfluss von Bohnen und Zwiebeln auf die Wasserausnutzung. Themenblatt-Nr.: 52.06. T. L. f. Landwirtschaft, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz. 52.06.
- Posthumus, H.; Rouquette, J.R.; Morris, J.; Gowing, D.J.G.; Hess, T.M. (2010): A framework for the assessment of ecosystem goods and services; a case study on lowland floodplains in England. *Ecological Economics* 69, 1510-1523.



- Quentin, U.; Schwerdtle, J. (2013): Dränagen in der Landwirtschaft, 1. Auflage. DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- Rauthe, M.; Steiner, H.; Riediger, U. und Gratzki, A. (2011): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins - Part 1: Generation of a high resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results.
- Roth, D.; Albrecht, M.; Günther, R. (2000). Richtwerte zum Zusatzwasserbedarf und Beregnungseinsatz im Feldgemüsebau Thüringens. T. L. f. Landwirtschaft.
- Roth, D.; Reinhard, G.; Knoblauch, S. & Michel, H. (2005). Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen - Ergebnisse der TLL-Lysimeterstation. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen. Jena, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 1 / 2005: 159.
- Rouquette, J.R.; Posthumus, H.; Morris, J.; Hess, T.M.; Dawson, Q.L.; Gowing, D.J.G. (2011): Synergies and trade-offs in the management of lowland rural floodplains: an ecosystem services approach. *Hydrological Sciences Journal* 56, 1566-1581.
- Schroeder, G. (1968): Landwirtschaftlicher Wasserbau, Springer Verlag, Berlin.
- Simon, M. (2009). Die landwirtschaftliche Bewässerung in Ostdeutschland seit 1949 - Eine historische Analyse vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: PIK (Ed.), PIK Report, p. 106.
- Sourell, H.; Belau, T.; Fröba, N. (2010). Investitionen und Verfahrenskosten für die Feldbewässerung. *Landtechnik*. 65, 189-193.
- Statistische Landesämter (2011-2012): Statistische Berichte zur Landwirtschaftszählung 2010 bzw. persönliche Mitteilung.
- Statistisches Bundesamt (2011): Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente - Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM) 2010. Fachserie 3, Heft 5.
- Statistisches Bundesamt (2013a): Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung 2010. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt. (2013b). Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung -2010. Wiesbaden.
- Stein, H., Quast, J. (1988): Projektierung und Bau von Dränanstaussystemen. *Melioration und Landwirtschaftsbau*, Berlin 22 (6), 274-276.
- Steininger, M. (2011). Überprüfung und Validierung der Dränflächen Sachsen-Anhalts. Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz, Halle (Saale), p. 38.
- Steininger, M.; Wurbs, D.; Deumelandt, P. (2013). Dränsysteme in Sachsen - Bedeutung landwirtschaftlicher Dränsysteme für den Wasser- und Stoffhaushalt. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt, L.u.G.L. (Ed.), Schriftenreihe des LfLUG, Dresden, p. 137.
- Tan, C.S.; Drury, C.F.; Soutani, M.; van Wesenbeeck, I.J.; Ng, H.Y.F.; Gaynor, J.D.; Welacky, T.D. (1998): Effect of controlled drainage and tillage on soil structure and tile drainage nitrate loss at the field. *Water Science and Technology*, Volume 38, Issues 4-5, Pages 103-110
- Tetzlaff, B.; Kuhr, P. & Wendland, F. (2008). Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabsbereich auf Basis von Luftbildern und Geodaten. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 52, 10.

- Tetzlaff, B.; Kuhr, P. & Wendland, F. (2008). Luftbildgestützte Erfassung gedränkter Flächen und deren Bedeutung für die Quantifizierung des Wasser- und Nährstoffhaushalts in Flusseinzugsgebieten. DWA Themen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., p. 29.
- TGL 39\_477/03 (1985): Beregnung - Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. Berlin.
- TGL 42812 (1985): Meliorationen. Bodenwasserregulierung (BWR). Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. Berlin.
- TLUG Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2014): Talsperren gemäß § 67 Abs. 5 ThürWG (früher "Herrenlose Speicher").  
<http://www.thueringen.de/th8/tlug/umweltthemen/wasserwirtschaft/standgewaesser/Speicher/>
- Van der Linden, P. und Mitchell, J.F.B. (2009): ENSEMBLES - Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK: 160.
- Wasser- und Schifffahrtsamt Nürnberg 2014. Wasserwirtschaft. <http://www.wsa-nuernberg.wsv.de/wasserwirtschaft/index.html>
- Wasserwirtschaftsamt Ansbach 2014. Gesamtbilanz der Überleitung. [http://www.wwa-an.bayern.de/fluesse\\_seen/gewaesserportraits/doc/gesamtbilanz.pdf](http://www.wwa-an.bayern.de/fluesse_seen/gewaesserportraits/doc/gesamtbilanz.pdf)
- Wechsung, F.; Becker, A. & Gräfe, P. (Eds.) (2005): Auswirkungen des Globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Weißensee-Verlag, Berlin.
- Wesström, I.; Joel, A.; Messing, I. (2014): Controlled drainage and subirrigation – A water management option to reduce non-point source pollution from agricultural land. Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 198, Pages 74–82
- Wesström, I.; Messing, I.; Linnér, H.; Lindström, J. (2001): Controlled drainage - effects on drain outflow and water quality. Agricultural Water Management, Volume 47, Issue 2, Pages 85-100
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG) Artikel 1 G. v. 31.07.2009: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. BGBl. I S. 2585; zuletzt geändert durch Artikel 2 G. v. 15.11.2014 BGBl. I S. 1724.
- WRRL – Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG): 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 (ABl. Nr. L 327 vom 22/12/2000 S. 0001 – 0073).
- WWF Germany (2009): Interbasin water transfers and water scarcity in a changing world - a solution or a pipedream? <http://assets.panda.org/downloads/pipedreams18082009.pdf>

### **Mündliche Mitteilungen:**

- Hr. Liepold, WWA Ansbach 2014. Abteilungsleiter Überleitung Donau – Main, Gespräch 9.4.14.
- Hr. Martens BV ESK 2014. stellv. Geschäftsführer Beregnungsverbände Uelzen, Gespräch 20.3. 2014.



# 7 Anhang



**7.1 Methodenbeschreibung sowie Datengrundlagen für die Berechnung des landwirtschaftlichen Zusatzwasserbedarfs der zu berücksichtigenden Fruchtarten sowie deren Mehrertrag und Mehrerlöse und der Kosten für die Bewässerung**









**Leibniz-Zentrum für  
Agrarlandschaftsforschung  
(ZALF) e.V.**

**Methodenbeschreibung sowie Datengrundlagen für die Berechnung des landwirtschaftlichen Zusatzwasserbedarfs der zu berücksichtigenden Fruchtarten sowie deren Mehrertrag und Mehrerlöse und der Kosten für die Bewässerung**

**Zum Auftrag:**

**„Untersuchung der Möglichkeiten landwirtschaftlicher Bewässerung und deren Auswirkungen auf das Abflussregime ausgewählter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung zunehmender Extremwetterereignisse“**

**Kontakt:**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg

Dr. Jörg Steidl

Fon: +49(0)33432-82362

Fax: +49(0)33432-82301

E-Mail: [jsteidl@zalf.de](mailto:jsteidl@zalf.de)

Frau Undine Schubert

Fon: +49(0)33432-82169

Fax: +49(0)33432-82301

E-Mail: [Undine.Schubert@zalf.de](mailto:Undine.Schubert@zalf.de)

Müncheberg, den 23.06.2014

# 1 Berechnung der Wassermenge, des Mehrertrages, der Erlöse und der Kosten für die Bewässerung durch Beregnung

Es werden folgende Aussagen zu verschiedenen Szenarien benötigt

- je Fruchtart und je Beregnungsnutzer:
  - monatlicher Wasserbedarf [mm/Monat]
  - monatliche Wasserentnahme [mm/Monat]
  - monatlicher Wasserdefizit [mm/Monat]
  - monatlicher Wasserstresskoeffizient [-]
  - jährlicher Mehrertrag [kg/a]
  - jährliche Kosten für die Wasserentnahmen [€/a]
  - jährlicher Erlös aus dem Mehrertrag [€/a]
  
- je Beregnungsnutzer:
  - monatlicher Wasserbedarf [mm/Monat] (flächengewichteter Mittelwert)
  - monatliche Wasserentnahme [mm/Monat] (flächengewichteter Mittelwert)
  - jährlicher Mehrertrag [kg/a]
  - jährlicher nicht gedeckter Wasserbedarf als Summe der Differenzen zwischen Wasserbedarf und Wasserentnahme [mm/a] (flächengewichteter Mittelwert)
  - jährliche Kosten für die Wasserentnahmen [€/a]
  - jährlicher Erlös aus dem Mehrertrag [€/a]
  
- je Modellgebiet benötigt:
  - jährlicher Wasserbedarf [mm/Monat] (flächengewichteter Mittelwert)
  - jährliche Wasserentnahme [mm/Monat] (flächengewichteter Mittelwert)
  - jährlicher nicht gedeckter Wasserbedarf als Differenz zwischen Wasserbedarf und Wasserentnahme [mm/Monat] (flächengewichteter Mittelwert)
  - monatliche Durchflüsse am Gebietsauslass [m<sup>3</sup>/s]
  - jährlicher Mehrertrag [kg/a]
  - jährlicher Erlös aus dem Mehrertrag [€/a]
  - jährliche Kosten für die Wasserentnahmen [€/a]

## **2 Berechnung des monatlichen Wasserbedarfs eines landwirtschaftlichen Nutzers mit Beregnung:**

Der Beregnungsnutzer entnimmt das Beregnungswasser aus Grund- und/oder Oberflächenwasser.

Er kann verschiedene Fruchtarten beregnen. Es müssen aber nicht alle Fruchtarten gleichzeitig beregnet werden.

Jeder Fruchtart wird der Flächenanteil an der Beregnungsfläche des Beregnungsnutzers zugeordnet.

Jeder Fruchtart werden die Monate zugeordnet, in denen beregnet werden kann.

Der Wasserverbrauch einer Fruchtart für die Evapotranspiration wird unter der Annahme einer gesunden sowie gut mit Nährstoffen und Wasser versorgten Feldfrucht angenommen, die ihre volle Produktivität unter den gegebenen klimatischen Bedingungen erreicht. Die maximal mögliche Evapotranspiration kann im Bereich von 1 bis 9 mm/d liegen. Sie wird durch Verwendung von Korrekturfaktoren aus der potentiellen Verdunstung berechnet.

Einer Fruchtart werden das pflanzennutzbare Wasserspeichervermögen ( $nFKWe$ ) sowie ein Bodenwassergehalt ab dem beregnet werden und ein Bodenwassergehalt bis zu dem beregnet werden soll zugeordnet, entsprechend des Landbaugesbietes in dem sie angebaut wird.

Der Beregnungswasserbedarf ergibt sich aus dem Wasserverbrauch der Fruchtart abzüglich des Wasserangebots aus Niederschlag und dem nutzbaren Bodenwasser. Er kann um einen Verlustfaktor erhöht werden, der von der verwendeten Beregnungstechnologie abhängig ist.

Der Bodenwasserhaushalt wird zur Ermittlung des Beregnungswasserbedarfs in den Monaten März bis Oktober berechnet. Der Bodenwasserspeicher umfasst im Model lediglich das pflanzenverfügbare Wasservolumen  $\leq nFKWe$ . Jedes Jahr beginnt im März mit dem vollständig gefüllten Bodenwasserspeicher. Der Boden wird nur als eine Schicht betrachtet. Versickerung aus dieser Bodenschicht entsteht nur dann, wenn die Summe aus der Niederschlagshöhe und des im Boden pflanzenverfügbaren Wassers des Wasserverbrauch der Fruchtart übersteigt. Das ist meist im März, September und Oktober der Fall. In dem Fall besteht kein Beregnungserfordernis.

Das für die Beregnung tatsächlich entnommene Wasser wird nach Prioritäten auf die Fruchtarten verteilt, die in dem jeweiligen Monat beregnet werden sollen. Dabei werden technologisch bedingte Mindestgaben der Beregnungshöhe berücksichtigt. Wenn das entnommene Wasser nicht vollständig verbraucht wird, kann die Wasserentnahme um das nicht verbrauchte Wasser vermindert werden.

**Gegeben:**

- $P$  – Niederschlag in mm/Monat,
- $ET_p$  – Potentielle Verdunstung in mm/Monat,
- $A$  – Beregnungsfläche in  $m^2$
- $nFKW_{ef}$  – pflanzenverfügbares Bodenwasser als maximaler Bodenwasserspeichergehalt in mm
- $fn$  – Anzahl der Fruchtarten
- $k_{c,f}$  – monatliche Bestandskoeffizienten der Fruchtarten (Methode der  $ET_p$  berücksichtigen)
- $B_{f,m}$  – Monat mit oder ohne Beregnung nach Fruchtarten (0 oder 1), nicht alle Fruchtarten können in jedem Monat bewässert werden.
- $F_{ant,f}$  – Flächenanteil der Fruchtarten an der Beregnungsfläche
- $k_{v,f}$  - Verlustfaktor bei der Beregnung mit verschiedenen Technologien, wird an der Fruchtart festgemacht
- $hb_{min,f}$  - Mindesthöhe der Beregnungswassergabe
- $W_{Start, f}$  - Bodenwassergehaltsanteil bzgl.  $nFKW_e$  ab dem berechnet werden soll
- $W_{Sop, f}$  - Bodenwassergehaltsanteil bzgl.  $nFKW_e$  bis zu dem berechnet werden soll
- $Pr_f$  - Prioritäten der Fruchtarten für die Wasserversorgung
- $A_{fak}$  - Flächenfaktor zur Erhöhung/Reduzierung der Anbaufläche bzgl. Szenarien
- $ER_m$  - monatliches Entnahmerecht je Nutzer in  $m^3$ /Monat
- $ER_{fak}$  - Faktor zur Erhöhung/Reduzierung der Entnahmerechte bzgl. Szenarien

**Bsp. Matrixschema für  $k_c$** 

Fruchtart	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
1	-999	0	1.1	1.05	1.2	-999	-999	-999
2	-999	-999	-999	1.2	1.1	1.15	1.1	-999
..								

**Bsp. Matrixschema für  $B_{f,m}$** 

Fruchtart	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
1	0	1	1	1	1	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1	0
..								

**Bsp. Matrixschema für  $k_{v,f}$  und  $hb_{min,f}$** 

Fruchtart	$k_{v,f}$	$hb_{min,f}$
1	0.1	10
2	0.15	8
..		

**Gesucht:**

- $W_{bed,f,m}$  – Berechnungswasserbedarf der Fruchtarten in mm/Monat
- $WD_{ber,f,m}$  – tatsächlich entnommene Berechnungswassermenge der Fruchtarten in mm/Monat
- $K_{s f,m}$  – Wasserstresskoeffizient (0 – größer bis 1 – kein Stress)
- $SW_{ber,m}$  – Wasserentnahme zur Beregnung für einen landwirtschaftlichen Wassernutzer in  $m^3$ /Monat

**Berechnung:**

- $m$  – Monatszähler
- $f$  – Fruchtartzähler
- $W_{Bf,m}$  – Bodenwassergehalte der Flächen der Fruchtarten im Monat
- $W_{Bf,m-1}$  – Bodenwassergehalte der Flächen der Fruchtarten im Vormonat
- $SW_{bed,m}$  – Berechnungswasserbedarf eines landwirtschaftlichen Wassernutzers in  $m^3$ /Monat

Die Berechnung beginnt im März jeden Jahres mit  $W_{Bf,m-1} = nFKWe$ .

1. Ermittlung des Wasserbedarfes

$$W_{bedf,m} = 0$$

*Bodenwassergehalt für jede Fruchtart ohne Beregnung:*

$$W_{Bf,m} = P_m - k_{c f,m} \cdot ET_{p_m} + W_{Bf,m-1}$$

$$\text{wenn } W_{Bf,m} > nFKWe_f \quad W_{Bf,m} = nFKWe_f$$

$$\text{wenn } W_{Bf,m} < 0 \quad W_{Bf,m} = 0$$

*Beregnungswasserbedarf für jede Fruchtart:*

$$\text{wenn } B_{f,m} == 1 \text{ und } W_{Bf,m} < W_{start_f}$$

$$W_{bedf,m} = (W_{stop_f} - W_{Bf,m}) \cdot (1 + k_{v_f})$$

*Wasserbedarf des Nutzers je Fruchtart:*

$$SW_{bedm,f} = \frac{W_{bedf,m} \cdot F_{ant_f} \cdot A \cdot Afak}{1000}$$

*Wasserbedarf des Nutzers:*

$$SW_{bedm} = \sum_{f=1}^{fn} SW_{bedm,f}$$

2. Ermittlung der tatsächlichen Wasserentnahme eines landwirtschaftlichen Wassernutzers mit Beregnung

$Dx_f$  – Dargebot aus der Wasserentnahme für die einzelnen Fruchtarten mm/Monat

Das verfügbare Beregnungswasserdargebot aus der Wasserentnahme für den Nutzer wird nach der Prioritätenliste  $Pr_f$  auf die Fruchtarten verteilt. Eine Fruchtart erhält keinen Wasserentnahmeanteil, wenn dieser kleiner als  $hb_{min,f}$  ist! Die Entnahme soll um den verbleibenden Rest der Wasserentnahme verringert werden.

*Bodenwassergehalt für jede Fruchtart ohne Berechnung:*

$$W_{B_f,m} = P_m - k_{c_f,m} \cdot ET_{p_m} + W_{B_f,m-1}$$

*Berechnungswassermenge und Bodenwassergehalt mit Berechnung für jede Fruchtart:*

$$\text{wenn } B_{f,m} = 1 \quad \text{und} \quad W_{B_f,m} < W_{\text{Start}_f} \cdot nFKW_{e_f}$$

{

$$\text{wenn } (W_{\text{Stop}_f} - W_{B_f,m}) \cdot (1 + k_{v_f}) \leq hb_{\min,f}$$

$$WD_{\text{ber}_{f,m}} = 0$$

$$\text{wenn } (W_{\text{Stop}_f} - W_{B_f,m}) \cdot (1 + k_{v_f}) \leq \text{Min}(Dx_f, ER)$$

$$WD_{\text{ber}_{f,m}} = (W_{\text{Stop}_f} - W_{B_f,m}) \cdot (1 + k_{v_f})$$

$$\text{sonst } WD_{\text{ber}_{f,m}} = \text{Min}(Dx_f, ER)$$

ER & Dx<sub>f</sub> um bereits versorgte Fruchtarten reduzieren

*Bodenwassergehalt mit tatsächlicher Berechnungswassermenge aktualisieren*

$$W_{B_f,m} = W_{B_f,m} + \frac{WD_{\text{ber}}}{(1 + k_{v_f})}$$

}

*Wasserstresskoeffizient*

$$K_{s_f,m} = \frac{\log\left(\frac{W_{B_f,m}}{nFKW_{e_f}} \cdot 100 + 1\right)}{\log 101}$$

*Wasserentnahme des Nutzers je Fruchtart für Berechnung:*

$$SW_{\text{ber}_{m,f}} = \frac{WD_{\text{ber}_{f,m}} \cdot F_{\text{ant}_f} \cdot A \cdot Af_{ak}}{1000}$$

*Wasserentnahme des Nutzers für Berechnung:*

$$SW_{\text{ber}_m} = \sum_{f=1}^{fn} SW_{\text{ber}_{m,f}}$$

Berechnung des jährlichen Mehrertrages der Fruchtarten und deren Erlöse eines landwirtschaftlichen Berechnungsnutzers:

**Gegeben:**

- $WD_{ber,f,m}$  – tatsächlich entnommene Beregnungswassermenge der Fruchtarten in mm/Monat (s. Berechnung des monatlichen Wasserbedarfs eines landwirtschaftlichen Nutzers mit Beregnung)
  - $EB_f$  – Basisertrag jeder Fruchtart pro mm Beregnung in kg/mm/a,
  - $E_f$  – Mehrertrag jeder Fruchtart pro mm Beregnung in kg/ha/mm/a,
  - $k_{v,f}$  – Verlustfaktor bei der Beregnung mit verschiedenen Technologien, wird an der Fruchtart festgemacht
  - $P_f$  – Preis für den Mehrertrag jeder Fruchtart in €/kg
  - $Pfak_f$  – Faktor zur Erhöhung/Reduzierung des Mehrertragspreises bzgl. Szenarien
- Bsp. Matrixschema für  $E_f$  und  $F_f$

Fruchtart	$E_f$	$P_f$
1	2	0.5
2	5	0.6
..	..	

**Gesucht:**

- $ME_f$  – Mehrertrag jeder Fruchtart in kg/a
- $ER_f$  – Erlös aus Mehrertrag jeder Fruchtart in €/a,

**Berechnung:**

- $f$  – Fruchtartzähler

$$ME_f = \left( \sum_{m=1}^{12} WD_{ber_f} \right) \cdot E_f$$

$$ER_f = P_f \cdot ME_f \cdot Pfak_f$$

### 3 Berechnung der jährlichen Kosten eines landwirtschaftlichen Nutzers für die Beregnung:

#### Gegeben:

- $SW_{berf,m}$  – tatsächliche Entnahme für die Beregnung einer Fruchtart eines Nutzers in  $m^3$ /Monat (s. Berechnung des monatlichen Wasserbedarfs eines landwirtschaftlichen Nutzers mit Beregnung)
- $K_f$  – Kosten zur Gewinnung von Beregnungswasser in €/m<sup>3</sup>/m unter Beachtung der Förderhöhe
- $K_{fak}$  – Faktor zur Erhöhung/Reduzierung der Kosten bzgl. Szenarien

#### Gesucht:

- $SK_f$  – Kosten zur Gewinnung von Beregnungswasser in €/a je Nutzer und Fruchtart
- $SK$  – Kosten zur Gewinnung von Beregnungswasser in €/a je Nutzer

#### Berechnung:

- $m$  – Monatszähler

$$SK_f = \left( \sum_{m=1}^{12} SW_{berf,m} \right) \cdot K_f \cdot K_{fak}$$

$$SK = \sum_{f=1}^{fn} SK_f$$



## 4 Daten und Modellparameter

Die erforderlichen Daten und Parameter für die landwirtschaftlichen Wassernutzer mit Beregnung oder Bewässerung sollen in einer Datenbank gehalten werden (s. Abb. 1).

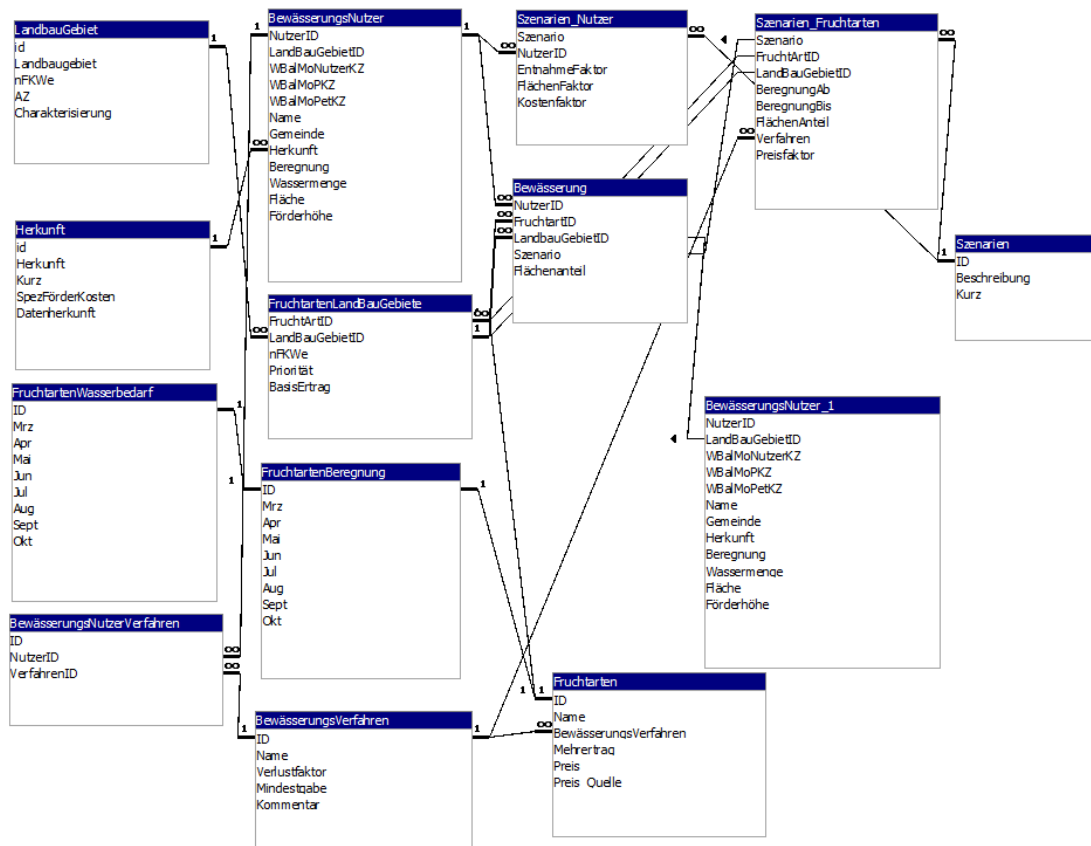


Abb. 1: Datenbank für die Daten und Parameter der landwirtschaftlichen Wassernutzer

Die Füllung der Datenbank erfolgt durch den Auftraggeber und den Auftragnehmer in den folgenden Arbeitsschritten:

- Auftraggeber:** Füllung der Datenbank-Tabellen
  - Bewässerungsverfahren
  - LandbauGebiete
  - Herkunft
  - Fruchtarten
  - FruchartenWasserbedarf
  - FruchartenBeregnung
  - FruchartenLandBauGebiete
  - Szenarien sowie
  - Szenarien\_Fruchtarten
- Auftragnehmer:** Liefert die zur Füllung der Datenbank-Tabelle BewässerungsNutzer erforderlichen Daten.
- Auftraggeber:** Füllung der Datenbank-Tabellen Szenarien\_Nutzer, Szenarien\_Fruchtarten, Szenario\_Bewässerung und sowie Vervollständigung der Datenbank.

Diese Datenbank soll die Grundlagen für die Initialisierung der entsprechenden WBalMo-Wassernutzer im Modell liefern. Um diese Tabellen unabhängig von Änderungen in der Datenbank bereitzustellen werden diese mit Abfragen generiert. Zur Erstellung der Initialisierungs-Tabellen, die von Szenarien unabhängig sind, stehen die folgenden Tabellenerstellungsabfragen für die jeweiligen Tabellen zur Verfügung:

- TabFruchtarten → 0\_Fruchtarten
- TabFruchtartenBeregnung → 0\_FruchtartenBeregnung
- TabFruchtarten-Kc → 0\_Fruchtarten-Kc (Bestandskoeffizient nach Fruchtart und Monat)
- TabNutzer → 0\_Nutzer
- TabSzenarien → 0\_Szenarien

Zur Erstellung der Initialisierungs-Tabellen, die von Szenarien abhängigen sind, stehen die folgenden Tabellenanfügeabfragen für die jeweiligen Tabellen zur Verfügung:

- TabSzFruchtarten → 1\_Sz\_Fruchtarten
- TabSzNutzer → 1\_Sz\_Nutzer

Das Datenbankschema zu diesen Tabellen ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Tabellen, die von Szenarien unabhängig sind, beschreiben, die Werte der Berechnungsgrößen der voneinander unabhängigen Elemente des Modells. Die Namen der Spalten für Berechnungsgrößen sind identisch mit den oben verwendeten und beschriebenen Symbolen der Berechnungsgrößen. Ausnahmen bilden die Tabelle 0\_Fruchtarten-Kc und 0\_FruchtartenBeregnung, die die Monatswerte der Bestandskoeffizienten und Bewässerungsmöglichkeit der Fruchtarten beschreiben. Die Spalte ID enthält die Schlüsselnummer der jeweils beschriebenen Elemente.

Die Tabellen, die von Szenarien abhängigen sind, beschreiben die in den Szenarien vorkommenden Kombinationen der Elemente mit Faktoren oder Anteilen der Elementwerte der oben verwendeten und beschriebenen Berechnungsgrößen. Die Spaltenwerte müssen dementsprechend als Multiplikator verwendet werden, um den für das Szenario vorgesehenen Wert der jeweiligen Berechnungsgröße zu errechnen. Die Namen der Spalten für Berechnungsgrößen sind identisch mit bzw. orientieren sich an den oben verwendeten und beschriebenen Symbolen der Berechnungsgrößen. Der Spaltenname endet jedoch jeweils mit „fak“ (Faktor) oder „ant“ (Anteil). Außerdem sind Spalten vorhanden die Verweise auf die Tabelle der jeweiligen Elemente beinhalten. Dann weist der Spaltenname selbsterklärend auf die jeweilige Tabelle hin und endet mit „ID“ (z.B. NutzerID -> Tabelle 0\_Nutzer, Spalte NutzerID).

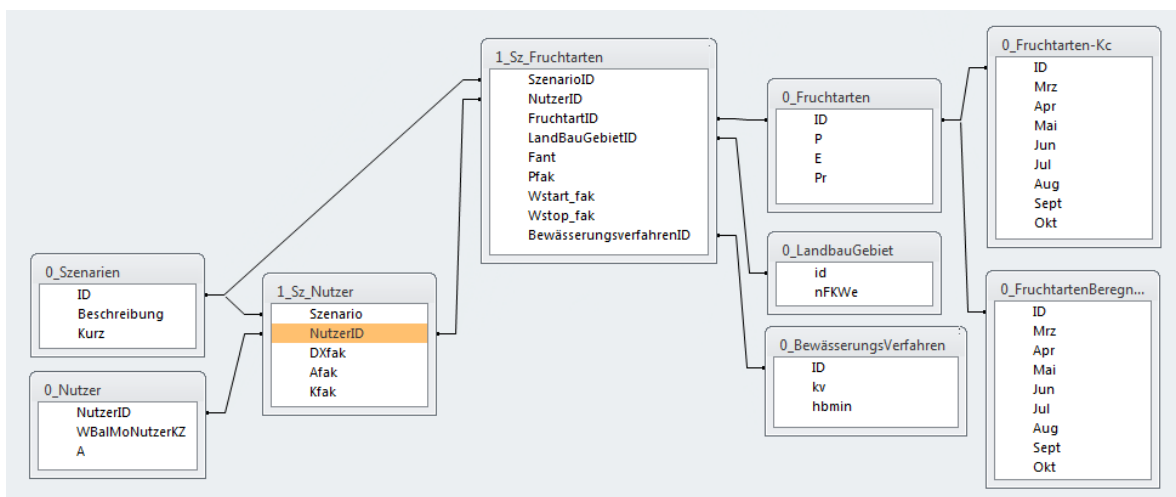


Abb. 2: Datenbankschema für die Initialisierungs-Tabellen

Die erstellten Tabellen können für das Modell verwendet werden, nachdem sie in das durch WBalMo lesbare Format (Textdatei mit Name <Tabellenname aus der Datenbank>.txt und tabulatorgetrennten Spalten) überführt wurden.

## 7.2 Tabelle Berechnungsnutzer

NutzerID	WBalMoNutzer	Modell-ID	BP-Kennzahl	Rangzahl	Berechnungsfläche
2203	701.103	1	701	2,12	7,9
2204	701.102	1	701	2,11	7,5
2210	701.101	1	701	2,1	4,2
2217	701.111	1	701	2,4	122,5
2220	701.108	1	701	2,17	60,8
2221	701.106	1	701	2,15	50,1
2223	701.104	1	701	2,13	37,8
2227	701.112	1	701	2,5	123,6
2228	701.105	1	701	2,14	53,8
2229	701.113	1	701	2,6	165
2232	701.110	1	701	2,3	48
2233	701.114	1	701	2,7	105
2248	702.101	1	702	5,2	13,5
2249	701.116	1	701	2,9	226
2250	701.107	1	701	2,16	66,7
2251	701.109	1	701	2,2	48
2252	701.115	1	701	2,8	105
2262	702.103	1	702	5,4	150
2263	702.201	1	702	5,5	2,7
2264	702.102	1	702	5,3	90
2295	703.201	1	703	8,7	193
2297	703.101	1	703	8,1	19,2
2298	703.102	1	703	8,2	25
2300	703.103	1	703	8,3	30
2301	703.104	1	703	8,4	22
2315	703.105	1	703	8,5	30
2355	710.106	1	710	10,6	36
2356	710.107	1	710	10,7	36
2361	710.104	1	710	10,4	20,8
2367	710.101	1	710	10,1	17,1
2368	710.103	1	710	10,3	20,8
2369	754.104	1	754	40,4	41,7
2377	710.102	1	710	10,2	17,1
2380	711.102	1	711	13,3	17,1
2381	711.103	1	711	13,4	10
2390	710.105	1	710	10,5	30
2397	711.101	1	711	13,2	17
2398	711.104	1	711	13,5	25
2449	730.101	1	730	22,2	400
2461	730.102	1	730	22,5	160
2494	733.101	1	733	28,2	83,3
2495	733.102	1	733	28,5	166
2514	759.101	1	759	48,5	50
2518	749.201	1	749	31,5	62,5
2546	751.203	1	751	36,3	410
2554	751.104	1	751	35,4	26,7
2556	751.111	1	751	36,1	406
2560	751.102	1	751	35,2	7
2565	751.110	1	751	36	62
2567	751.108	1	751	35,8	141,7
2568	751.107	1	751	35,7	87,8
2579	751.201	1	751	36,2	90
2582	751.103	1	751	35,3	16,8
2586	751.105	1	751	35,5	29,7
2587	751.109	1	751	35,9	32,2
2596	752.101	1	752	37,1	90
2602	752.102	1	752	37,2	131,2
2629	754.102	1	754	40,2	50
2631	754.101	1	754	40,1	40

NutzerID	WBalMoNutzer	Modell-ID	BP-Kennzahl	Rangzahl	Berechnungsfläche
2635	754.103	1	754	40,3	125
2638	755.103	1	755	42,4	41,7
2639	755.101	1	755	42,2	7,1
2640	755.102	1	755	42,3	17,5
2644	7555.8	1	755.5	43,8	17
2651	7555.11	1	755.5	44	11
2654	7555.5	1	755.5	43,5	10
2672	7555.15	1	755.5	44,4	150
2678	7555.6	1	755.5	43,6	18
2682	757.107	1	757	46,7	66
2683	757.106	1	757	46,6	59
2688	757.108	1	757	46,8	92
2689	757.109	1	757	46,9	130
2694	757.101	1	757	46,1	18
2699	757.102	1	757	46,2	25
2710	7555.4	1	755.5	43,4	10,4
2711	7555.13	1	755.5	44,2	100
2745	757.201	1	757	47	20,8
2751	757.202	1	757	47,1	20,8
2756	757.203	1	757	47,2	189,5
2782	769.102	1	769	54	9,2
2803	769.101	1	769	53	1,3
2804	769.103	1	769	55	12,8
2805	769.201	1	769	57	5
2823	769.202	1	769	58	8,8
2832	769.203	1	769	59	40
2855	769.104	1	769	56	25
4068	757.105	1	757	46,5	50
4118	7555.14	1	755.5	44,3	95
4119	7555.2	1	755.5	43,2	4,5
4120	7555.1	1	755.5	43,1	2,3
4126	703.106	1	703	8,6	20
4127	757.103	1	757	46,3	13
4154	720.101	1	720	17,1	13,1
4256	751.106	1	751	35,6	31,1
4262	7555.12	1	755.5	44,1	50
4293	7555.9	1	755.5	43,9	28
4307	7555.7	1	755.5	43,7	20
4313	710.109	1	710	10,9	52,5
4317	751.101	1	751	35,1	4,2
4318	7555.3	1	755.5	43,3	4
2908	801.101	2	801	1,5	11,2
2912	809.101	2	809	6,8	383,3
2918	805.201	2	805	3	35
2941	808.202	2	808	5,9	35
2958	808.102	2	808	6,2	97
2959	808.201	2	808	5,85	25
2967	809.201	2	809	6,41	21
2988	815.201	2	814	10,2	45
3041	823.201	2	823	12,3	36
3062	825.101	2	825	12,61	20
3063	825.102	2	825	12,62	80
3067	825.201	2	825	12,63	80
4092	808.101	2	808	6,1	28,3
11	905.201	3	905.1	101,9	40
38	929.101	3	929.1	150	6,6
71	982.101	3	982.1	223	45
82	984.101	3	984	224	208,3
4032	920.101	3	920.1	110	16,7
4163	909.101	3	909	60	7,7