

## **Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz**

Vertiefende wasserwirtschaftliche Untersuchungen für den  
Raum Hochstadt und in den Flächen der Tabakkonversion



Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Bodenschutz  
Neustadt an der Weinstraße

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Entwicklung der landwirtschaftlichen Beregnung in Vorder- und Südpfalz</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bewässerungsbedarf im Verbandsgebiet Hochstadt</b>	<b>9</b>
3.1	Landwirtschaftliche Bodennutzung	9
3.2	Bewässerungstechnik und Einsparpotentiale	11
3.3	Beregnungsbedarf	13
3.3.1	Definition des Beregnungsbedarfs	13
3.3.2	Beregnungspraxis	14
3.3.3	Modellgestützte Berechnung des Beregnungsbedarfs	14
<b>4</b>	<b>Grenzgrundwasserentnahmen aus dem oberflächennahen Grundwasser mittels Einzelbrunnen</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Zentrale Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe</b>	<b>26</b>
5.1	Versorgungszonen	26
5.2	Rheinwasserentnahme bei Mechtersheim	27
5.3	Haupttransportleitung	27
5.4	Zwischenspeicher	28
5.5	Druckhaltepumpwerk Ober-Berg	28
5.6	Druckhaltepumpwerk Lustadt	29
5.7	Kostenschätzung zentrale Entnahme in Rheinnähe	29
5.7.1	Erschließung der Beregnungsfläche	29
5.7.2	Rheinwasserentnahme mit Hauptleitungen und Pumpwerken	29
5.7.3	Kostenvergleichsrechnung	30
5.7.4	Modulares Vorgehen	31
5.7.5	Nutzung vorhandener Beregnungsnetze	32
<b>6</b>	<b>Zentrale Tiefbrunnengalerien</b>	<b>33</b>
6.1	Hydrogeologie im Verbandsgebiet	33
6.2	Standorte und Auslegung	34
6.3	Kostenschätzung Tiefbrunnengalerien	36
6.3.1	Erschließung der Beregnungsfläche	36
6.3.2	Tiefbrunnengalerien	36
6.3.3	Kostenvergleichsrechnung	37
6.3.4	Modulares Vorgehen	38
6.3.5	Nutzung vorhandener Beregnungsnetze	38
<b>7</b>	<b>Einfluss der Varianten zur Gewinnung von Beregnungswasser auf die Grundwasserstände</b>	<b>39</b>
7.1	Dezentrale Beregnung	39
7.2	Zentrale Rheinentnahme	41
7.3	Tiefbrunnenanlagen	43
<b>8</b>	<b>Natur- und forstfachliche Wechselwirkungen im Raum des Verbandsgebiets Hochstadt</b>	<b>46</b>

8.1	Hintergrund	46
8.2	Vom Grundwasser geprägte Standorte	47
8.2.1	Grundwasserflurabstand	47
8.2.2	Bodeneigenschaften	48
8.2.3	Oberflächengewässer	50
8.2.4	Wiesenbewässerung	54
8.2.5	Zusammenfassung der aktuellen Standorteigenschaften	55
8.3	Beeinflussung des Wasserhaushaltes (Vorbelastungen)	57
8.3.1	Oberflächengewässer	57
8.3.2	Witterungsbedingte Entwicklung der Grundwasserstände seit 2003	58
8.3.3	Aktuelle Grundwasserentnahmen	61
8.4	Potentielle Konflikte durch zukünftig höhere landwirtschaftliche Grundwasserentnahmen	62
8.4.1	Einflussbereich der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahme	62
8.4.2	Betroffene Schutzgebiete, Lebensräume und Arten	62
8.4.3	Potentielle Auswirkungen einer gesteigerten Grundwasserentnahme	63
8.4.4	Fazit	66
<b>9</b>	<b>Beregnungsbedarf auf den Flächen der Tabakkonversion</b>	<b>68</b>
<b>10</b>	<b>Wasserwirtschaftliches Monitoring</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Bewertung</b>	<b>72</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Prozesse des Bodenwasserhaushaltes	17
Abb. 2:	Jahreswerte des Beregnungsbedarfs und der Vorwegberegnung im Verbandsgebiet Hochstadt	19
Abb. 3:	Berechnete Tageswerte des Beregnungsbedarfs für das Zukunftsszenario unter den Witterungsverhältnissen der Jahre 1998-2007	22
Abb. 4:	Trockener Hofgraben südlich Hochstadt (oberhalb des Fuchsbachzulaufes) am 06.08.2010	47
Abb. 5:	Verfallener Entwässerungsgraben im Hochstädter Wald (06.08.2010)	50
Abb. 6:	Teilung des Fuchsbaches in Druslach (Bildvordergrund) und den Hofgraben (nach rechts) am „Buweabloß“ (18.08.2010)	52
Abb. 7:	Queich oberhalb des Ottersheimer Teilungswehres (06.08.2010)	53
Abb. 8:	Fuchsbach am „Waschhäusel“ (06.08.2010)	54
Abb. 9:	Grundwasserganglinien der Landesmessstelle 1043 Zeiskamm, 1050 Schwegenheim und 1017 Oberhausen (blaue Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten höhere GW-Stände, rote Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten niedrigere GW-Stände)	60
Abb. 10:	Zusatzwasserbedarf pro Jahr von Tabak- und Gemüsebauflächen für den Raum Raum Kandel, Hatzenbühl/Rheinzabern und Rülzheim	68

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zu den berechneten Kulturen im Verbandsgebiet (Umfrage zu den Anbauverhältnissen 2009)	10
Tabelle 2:	Überblick zu der Flächennutzung im Verbandsgebiet Hochstadt im Vergleich zur Vorderpfalz	11
Tabelle 3:	Niederschläge an dem DLR-Klimastationen für den Zeitraum 01.01.1998 - 31.12.2007	15
Tabelle 4:	Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken im Verbandsgebiet, derzeitige Flächennutzung	20
Tabelle 5:	Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken im Verbandsgebiet, Zukunftsszenario	21
Tabelle 6:	Jahreskosten und Projektkostenbarwert der zentralen Entnahme in Rheinnähe	31
Tabelle 7:	Kenndaten der Brunnengalerien	35
Tabelle 8:	Jahreskosten und Projektkostenbarwert der Tiefbrunnengalerien	38

## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtslageplan
  - Anlage 2: Landwirtschaftsfläche nach Kulturgruppen 2008
  - Anlage 3: Grundflächen bereegneter Kulturen nach Zeiträumen
  - Anlage 4: Landnutzungsklassifikation
  - Anlage 5: Mittlerer Jahresniederschlag (1961-1990)
  - Anlage 6: Bodenhydraulische Einheiten
  - Anlage 7: Einflussbereiche genehmigter und beantragter Grundwasserentnahmen zur Beregnung
  - Anlage 8: Zentrale Entnahme in Rheinnähe - Lageplan
  - Anlage 9: Kostenschätzung zentrale Entnahme in Rheinnähe
  - Anlage 10: Verbreitung der Trennhorizonte
  - Anlage 11: Lageplan Schnittpur und geologische Schnitte
  - Anlage 12: Tiefbrunnenanlagen - Lageplan
  - Anlage 13: Kostenschätzung Tiefbrunnenanlage
  - Anlage 14: Einflussbereiche dezentrale Beregnung aus dem oberflächennahen Grundwasser mittels Einzelbrunnen
  - Anlage 15: Einflussbereiche zentrale Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe
  - Anlage 16: Einflussbereiche Tiefbrunnenanlagen
  - Anlage 17: Untersuchungsraum Hochstadt und Standorteigenschaften
  - Anlage 18: Fließgewässersystem, Wehre und (ehemalige) Wasserwiesen an der Queich
  - Anlage 19: Lageplan Messstellen Monitoring
  - Anlage 20: Tabellarische Gegenüberstellung der Alternativen zur Gewinnung von Beregnungswasser
- 
- Anhang I: Bodennutzungsklassifikation für die Südpfalz, Fernerkundung
  - Anhang II: Naturschutzfachliche Grundlagen
  - Anhang III: Modelldokumentation

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Für das Gutachten ‚Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz‘ wurde ein regionales Grundwassermodell für die Südpfalz aufgebaut und in Modellrechnungen die Einflussbereiche der Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Beregnung abgeschätzt. Bei den untersuchten Beregnungsintensitäten wird offenkundig, dass für einen Bereich südlich von Hochstadt potentielle Konflikte mit feuchteabhängigen Biotopen zu erwarten sind. Für eine differenziertere Betrachtung und Bewertung wurde das bestehende stationäre Grundwassermodell in enger Abstimmung mit dem LUWG und dem LGB für eine instationäre Anwendung (Untersuchung der Beregnungstätigkeit im Zeitraum 2003-2005 mit erhöhtem Beregnungsbedarf) weiterentwickelt.

In einer weiteren Abstimmung zum Ausbau der Beregnung in der Südpfalz wurde mit Vertretern des MWVLW, MUFV, DLR Rheinpfalz, SGD Süd und LUWG am 13.03.2009 die südlichen Bereiche Konversionsflächen des Tabakanbaus und der nördliche Raum Hochstadt, Lustadt, Zeiskam als Bereiche mit hohem Handlungsbedarf zur Sicherstellung einer wasserwirtschaftlich und ökologisch vertretbaren Beregnung identifiziert und das weitere Vorgehen vereinbart.

In einer weitergehenden Begutachtung sind nachfolgende Sachverhalte zu untersuchen und zu bewerten:

- Überprüfung der Bereitstellung der erforderlichen Beregnungsmengen aus dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk mittels der vorhandenen und ggf. zusätzlicher Einzelbrunnen in der Fläche,
- Überprüfung einer Entnahme von Oberflächenwasser (Rheinwasser) zur Beregnung an einer oder mehreren Stellen in Rheinnähe,
- Auffinden optimaler Entnahmestandorte zu den beregnungswürdigen Flächen für den Bau von zentralen Tiefbrunnengalerien und eine entsprechende Kostenschätzung,
- die Entnahme aus Tiefbrunnen, also die Untersuchung der flächenhaften Ausdehnung der Stockwerksabdichtung der unterschiedlichen Grundwasserstockwerke,
- Prüfung der Eignung dieser Stockwerke zur Entnahme unter Berücksichtigung des Vorbehalts, tiefere Grundwasserstockwerke für eine nachhaltige und zukunftssträchtige Trinkwasserversorgung vorzuhalten,
- dezentrale Beregnung auf den potenziellen Konversionsflächen des Tabakbaus.

## 2 Entwicklung der landwirtschaftlichen Beregnung in Vorder- und Südpfalz

Die Klima- und Bodenverhältnisse sind in weiten Teilen der Vorder- und Südpfalz ausgesprochen günstig für den hochwertigen Anbau von Kartoffeln und Gemüse. Auf Grund des trockenwarmen Klimas ist jedoch eine intensive Beregnung erforderlich, um den in der Vegetationszeit oftmals defizitären Bodenwasserhaushalt ausgleichen zu können. Insbesondere die Vorderpfalz ist seit mehreren Jahrzehnten ein bundesweiter Schwerpunkt des Gemüsebaus. Diese Entwicklung wurde in den vergangenen Jahren in der Südpfalz teilweise nachvollzogen.

Bereits im Jahre 1961 wurde der „Generalplan zur Beregnung der Vorderpfalz“ mit den Teilregionen Vorderpfalz und Südpfalz aufgestellt. Hier wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie auf beregnungswürdigen Flächen der Beregnungsbedarf und damit verbunden eine Ertragssteigerung sichergestellt werden kann. Eine Fortschreibung des Generalplanes erfolgte im Jahr 2005. Diese Fortschreibung beinhaltet im Wesentlichen eine Bestandsaufnahme der Beregnungsgebiete, was die Organisation, Beregnungswassermengen, Anbauflächen sowie die Bemessung, Bau und Betrieb von Beregnungsanlagen betrifft. Außerdem wird die Erweiterung und der Ausbau von Beregnungsgebieten beschrieben und schließlich werden Überlegungen zu den Zukunftsszenarien der Beregnung angestellt.

Der ursprüngliche Generalplan bildete die wesentliche Grundlage für die Gründung des Wasser- und Bodenverbandes zur Beregnung der Vorderpfalz in den 1970er Jahren. Der Verband ist heute in der Lage, ca. 12.500 ha landwirtschaftliche Fläche zentral – und damit grundwasserschonend – aus dem Otterstädter Altrhein mit Beregnungswasser zu versorgen. Eine Erweiterung in nördliche Richtung ist geplant. Die mittleren Beregnungsmengen im Verbandsgebiet liegen bei rund 15 Mio. m<sup>3</sup>/a. Im Spitzenjahr 2003 wurden über 20 Mio. m<sup>3</sup> Rheinwasser aus dem Altrhein entnommen.

In der Südpfalz dagegen erfolgt die Versorgung der landwirtschaftlichen Flächen mit Beregnungswasser ausschließlich über Einzelbrunnen aus den oberflächennahen Grundwasserleitern. Die Einzelbrunnen werden größtenteils von den Landwirten selbst unterhalten und betrieben. Außerdem bestehen noch die Wasser- und Bodenverbände Mechttersheim-Römerberg, Ludwigshafen-Süd, Hatzenbühl und Zeiskam, die ebenfalls mit Einzelbrunnen die Versorgung vornehmen.

In der Studie ‚Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz‘ wurde deutlich, dass sich insbesondere mit den westlichen Teilflächen des FFH-Gebiets „Bellheimer Wald mit Queichtal“ (Raum Hochstadt und Zeiskam) Konflikte in der Grundwassernutzung zur landwirtschaftlichen Beregnungen und dem Naturschutz abzeichnen.

Die Umsetzung der diskutierten Alternativen zur dezentralen Beregnung aus Flachbrunnen

- zentrale Entnahme aus der Rheinniederung und
- Grundwasserentnahme aus Tiefbrunnengalerien

ist nur in einem Verband sinnvoll möglich.

Basierend auf den Perspektivplanungen der Landwirtschaftskammer zum Ausbau der landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz wurde das Beregnungsgebiet Hochstadt weiterentwickelt. Die Flächen des zu gründenden Verbandes schließen landwirtschaftliche Flächen aus folgenden Gemarkungen ein (nachfolgend als Verbandsgebiet Hochstadt bezeichnet): Essingen, Kleinfischlingen, Hochstadt, Freimersheim, Hochstadt, Zeiskam, Lustadt, Freisbach, Weingarten, Westheim und Lingenfeld. Insgesamt beträgt die landwirtschaftliche Nutzfläche ca. 5.500 ha, davon wurden in 2008 knapp 4.000 ha ackerbaulich genutzt, ca. 1.000 ha sind Rebflächen. Die Abgrenzung der Flächen des zu gründenden Verbandes zeigt **Anlage 1**.



## 3 Bewässerungsbedarf im Verbandsgebiet Hochstadt

Die klimatische Wasserbilanz ist in der Südpfalz in der Vegetationsperiode negativ und der Wasserbedarf vieler ackerbaulicher Kulturen kann für einen optimale Wuchs nicht aus dem Niederschlag und dem Bodenwasserspeicher gedeckt werden. Durch Beregnung wird der Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode ergänzt, so dass die Pflanzen, deren Wasserbedarf je nach Kultur und Wuchsstadium unterschiedlich ist, auch Trockenperioden unbeschadet überstehen. Eine ausreichende Wasserversorgung ist Grundvoraussetzung, um unter den klimatischen Bedingungen der Südpfalz bei vielen Kulturen hohe und stabile landwirtschaftliche Erträge erwirtschaften zu können. Derzeit werden v.a. sämtliche Kulturen des Gemüsebaus und Kartoffeln beregnet (s. Kap. 3.3.1).

### 3.1 Landwirtschaftliche Bodennutzung

Die Bodennutzungsdaten werden vom Statistischen Landesamt auf Ebene der Landkreise bzw. der Kommunen erhoben und aggregiert, wobei aus Datenschutzgründen einige Angaben nicht veröffentlicht werden. Die räumliche Zuweisung der angebauten Kulturen ist daher nur eingeschränkt möglich und nach Einschätzung der Landwirtschaftskammer geben die statistischen Daten zur ackerbaulichen Bodennutzung nur auf Kreisebene die tatsächlichen Verhältnisse angemessen wieder. Eine weitere räumliche Differenzierung ist jedoch nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde wegen der großen Bedeutung der Flächennutzung für den Beregnungsbedarf für das Verbandsgebiet Hochstadt die räumliche Verteilung der zu Grunde zu liegenden Nutzungen auf mehreren Grundlagen ermittelt.

Die Landwirtschaftskammer stellte auf der Grundlage landwirtschaftlicher Fachdaten eine Nutzungsverteilung nach Kulturgruppen für 2008 zur Verfügung (**Anlage 2**). Insbesondere für den Bereich des Gemüsebaus waren weitere Differenzierungen wünschenswert.

Deshalb wurde eine Umfrage bei den Landwirten, die Flächen im Verbandsgebiet bewirtschaften, durchgeführt. Es wurden abgefragt, welche Kulturen inkl. Anbaufläche in 2009 beregnet wurden. Die Umfrage wurde von der Landwirtschaftskammer in Abstimmung mit dem Bauern und Winzerverband durchgeführt und ausgewertet. Die Umfrage war derart strukturiert, dass sowohl Informationen über die Anbauverhältnisse in bestimmten Zeiträumen innerhalb der Vegetationsperiode als auch über den Gesamtanbau in 2009 gewonnen wurden. Für die Ermittlung des Spitzenbedarfs sind insbesondere die Anbauverhältnisse in bestimmten Zeiträumen (Grundfläche) relevant, während die Anbauflächen mit für die Ermittlung des Gesamtbedarfs heranzuziehen sind. Mit dieser Umfragemethodik konnte insbesondere die Mehrfachbelegung im Gemüsebau für die relevanten Beregnungszeiträume adäquat erfasst werden.

Tabelle 1 zeigt die einzelnen berechneten Kulturen nach ihrer Anbaufläche im Verbandsgebiet.

Tabelle 1: Übersicht zu den berechneten Kulturen im Verbandsgebiet (Umfrage zu den Anbauverhältnissen 2009)

Kulturen	Anbaufläche (ha)	Anteil an der berechneten Fläche (%)
Zuckerrüben/Gründünger/Mais	716	18,55
Kartoffeln (früh)	172	4,46
Kartoffeln (spät)	60	1,57
Radieschen	700	18,13
Salate	691	17,90
Möhren	147	3,81
Lauch, Zwiebeln	375	9,71
Spargel	18	0,45
Chinakohl	48	1,24
Sellerie und Dill	160	4,14
Rettich/Eiszapfen	83	2,15
Blumenkohl	100	2,59
Rucola/Feldsalat	330	8,55
Rot- u. Weißkohl	80	2,06
Pastinaken, Fenchel, Kohlrabi, Rote Beete	50	1,31
Kürbis	24	0,63
Tabak	15	0,39
Erdbeeren	4	0,10
Sonst. Gemüse	30	0,78
Obst	17	0,44
Jungpflanzen (Gewächshaus)	9	0,23
Petersilie (Gewächshaus)	25	0,65
Kopfsalat (Gewächshaus)	6	0,16
<b>Summe</b>	<b>3.861</b>	

Insgesamt wurde in 2009 auf ca. 50 % der ackerbaulich genutzten Fläche von rund 4.000 ha (d.h. ohne Rebflächen) Getreide angebaut. Der Gemüseanteil liegt bei etwas über 25 %. Auf ca. 7 % der Flächen werden Zuckerrüben und auf ca. 3 % Kartoffeln angebaut. Es dominiert bei den sonstigen Flächen mit insgesamt 4 % Flächenanteil das Grünland. Im Vergleich zur Vorderpfalz mit einem Anteil des Gemüsebaus von über 40 % und des Kartoffelanbaus von ca. 25 % werden die berechnungsintensiven Kulturen im Verbandsgebiet derzeit in deutlich geringerem Umfang angebaut (Grundlage Agrarstatistik 2007). Die räumliche Verteilung der Kulturen im Verbandsgebiet wurde über die Fernerkundung ermittelt (s. Anhang 1).

Tabelle 2: Überblick zu der Flächennutzung im Verbandsgebiet Hochstadt im Vergleich zur Vorderpfalz

	Verbandsgebiet Hochstadt Umfrage, Fernerkundung 2009	Vorderpfalz Agrarstatistik 2007
Gemüse	25 % (1.050 ha)	42 %
Kartoffel	7 % (280 ha)	24 %
Zuckerrübe	7 % (270 ha)	7 %
Getreide (inkl. Mais)	50 % (2000 ha)	26 %
Sonstiges (v.a. Grünland)	11 %	1 %

Nach den Umfrageergebnissen ist der Anteil beregneter Kulturen in Frühjahrmonaten mit derzeit rund 1.400 ha am höchsten. Zu diesem Zeitpunkt ist auch der Gemüseanteil mit rund 75 % der beregneten Kulturen am größten. Er liegt in den Sommermonaten zu Beginn bei rund 1.200 ha und reduziert sich im weiteren Verlauf bis in den Herbst noch geringfügig. In **Anlage 3** sind die Nutzungsanteile zu bestimmten Zeitpunkten tabellarisch aufgeführt. Alle Angaben beziehen sich auf das Verbandsgebiet ohne die Gemarkung Essingen.

### Zukünftige Entwicklung

Für die zukünftige Entwicklung bei den Anbauverhältnissen liegt eine Einschätzung des DLR (2009) und die Ergebnisse aus der Umfrage bei den Landwirten vor.

Das DLR geht davon aus, dass die Gemüsebaufläche um ca. 400 ha wachsen wird. Zusätzlich zur Ausdehnung der Gemüseanbauflächen wurde damit gerechnet, dass auch Zuckerrüben zukünftig verstärkt beregnet werden. Aufgrund der geänderten Marktordnung für Zucker verändert sich die Anbaufläche zugunsten der Kartoffel. Daher wird in der Zukunftsabschätzung mit einer Anbaufläche von ca. 300 ha Kartoffeln und 250 ha Zuckerrüben gerechnet. Insgesamt werden damit auf rund 2.000 ha beregnungswürdige Kulturen zukünftig angebaut.

Diese Einschätzung stimmen gut mit den Umfrageergebnissen überein. Die Landwirte erwarten ebenfalls den Anbau beregnungswürdiger Kulturen auf ca. 2.000 ha in den Sommermonaten. Im Frühjahr gehen die Landwirte von einem Anbau beregnungsbedürftiger Kulturen auf einer Fläche von ca. 2.600 ha aus.

## **3.2 Bewässerungstechnik und Einsparpotentiale**

Die in Deutschland relevanten Bewässerungsverfahren sind den Hauptgruppen mobile Beregnungsmaschinen, Reihenregner und halbstationäre Beregnungsmaschinen als unterschiedliche Beregnungsverfahren sowie der Mikrobewässerung zuzuordnen.

Die Wasserausnutzung der Beregnungstechnik wird durch Rohrleitungsverluste, Verluste bei der Wasserverteilung (Wind) und Interzeption reduziert. Bei der Mikrobewässerung fallen lediglich die Rohrleitungsverluste an.

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

Bei beweglichen Beregnungsanlagen werden häufig mobile Beregnungsmaschinen mit Großflächenregner eingesetzt. Nach Erfahrungen aus Großversuchen im hessischen Ried kann bei Beregnungsmaschinen mit elektronischer Einzugsregelung eine Wassereinsparung von knapp 10 % gegenüber ohne elektronischer Einzugsregelung erreicht werden (LLH 2007). Als Alternativen zu Großflächenregner wurden Düsenwagen entwickelt, die jedoch trotz besserer Wasserverteilung (Reduzierung der Windverluste) bisher kaum eingesetzt werden. Die Investitionskosten sind geringer als bei anderen Anlagenarten.

Die Rohrberegnung als ein Verfahren der Reihenregner ist im Gemüsebau das zentrale Beregnungsverfahren. Sie kann individuell nach angebaute Kultur und Feldgröße eingesetzt werden. Verbesserungen in der Wasserverteilung konnten durch die Verkürzung der Regnerabstände von den früher üblichen 18 m auf 12 m erreicht werden. Gegenüber mobilen Beregnungsmaschinen wird ein um ca. 10 % verbesserter Wirkungsgrad angenommen. Weitere Effizienzsteigerung erscheinen kaum möglich (LLH 2007, Sourell 2009).

Halbstationäre Beregnungsmaschinen sind im Betrieb beweglich, aber an einen Einsatzort gebunden. Die bekanntesten Vertreter dieses Verfahrens sind Linear- und Kreidberegnungsmaschinen. Eine Weiterentwicklung stellt die mobile Tropfbewässerung dar, bei der die Regner durch Tropfrohren mit entsprechend reduzierten Wasserverlusten ersetzt wurden.

Tropfbewässerungsverfahren zeichnen sich dadurch aus, dass bei geringem Betriebsüberdruck das Wasser in Form von Tropfen abgegeben wird mit dem Ziel, den Wassergehalt des Bodens nahe der Feldkapazität zu halten.

Gegenüber den häufig verwendeten Verfahren der Überkopfbewässerung mit Regnern oder Düsen ist für die Tropfbewässerung die wasser- und energieeffiziente Ausbringung und Verteilung kennzeichnend. So werden Wasserverluste durch Verdunstung reduziert sowie Windabdrift und die damit verbundene schlechte Wasserverteilung unterbunden. Gegenüber Großflächenregner wird der Wasserspareffekt bei ca. 30 % gesehen (LLH 2007). Häufig wird die mögliche Applikation wasserlöslicher Dünger mit dem Bewässerungswasser genutzt. Die Tropfbewässerung stellt in der Regel höhere Anforderungen an die Wasserqualität. Als weiter nachteilig müssen grundsätzlich der hohe Investitionsbedarf und der hohe Arbeitskräftebedarf für Auf- und Abbau der Systeme betrachtet werden, welche einer größeren praktischen Verbreitung entgegenstehen. Wegen der technischen Besonderheiten werden Tropfbewässerungssysteme ins-

besondere im Bereich der Sonderkulturen, bei hochwertigen Kulturen und solchen mit relativ langer Standzeit auf dem Feld eingesetzt. Dazu gehören im Gemüsebau Einlegegurken oder Spargel, im Obstbau Erdbeeren, Himbeeren, Heidelbeeren oder Johannisbeeren sowie Weinbau.

Die Verlagerung der Beregnungszeiten ausschließlich in die verdunstungsarmen Abend- und Nachtstunden führt zu einer relativ geringen Einsparung von rund 4 % (LLH 2007).

In der Südpfalz wird im bewässerungsintensiven Gemüsebau überwiegend die Rohrberegnung eingesetzt. Die Rohrberegnung ist in der Wassernutzung effizienter als andere Beregnungsverfahren.

Die wassersparende Tropfbewässerung wird auf absehbarer Zeit aus wirtschaftlichen Gründen weiterhin nur bei langen Standzeiten in mehrjährigen Kulturen oder bei besonderen Anforderungen eingesetzt werden. Insbesondere bei den in der Südpfalz weit verbreiteten Kulturen wie Radies oder Salate mit mehreren Anbausätzen in einer Vegetationsperiode sind die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz von Mikrobewässerungssystemen nicht gegeben.

Der Einsatz halbstationärer Beregnungsmaschinen setzt eine großstrukturierte Landwirtschaft voraus (Schlaggröße ab ca. 25 ha, Sourell 2009), die in der Südpfalz nicht existieren.

Mit dem weiteren Ausbau der Bewässerungseinrichtungen eröffnet sich außerhalb der Spitzenbedarfszeiten vermehrt die Möglichkeit, die Beregnungszeiten in die verdunstungsarmen Abend- und Nachtstunden zu verlegen. Das Einsparpotential ist dabei allerdings gering.

Durch den umfassenden Einsatz der Rohrberegnung im Gemüsebau wurde das größte Einsparpotential beim derzeitigen Stand der Bewässerungstechnik bereits weitgehend genutzt. Das weitere Einsparpotential für die Südpfalz wird unter den in diesem Kapitel dargestellten Rahmenbedingungen in einer Größenordnung von 10 % gesehen. Der absehbare Mehrbedarf (s. Kap. 3.3) kann damit keineswegs kompensiert werden.

## **3.3 Beregnungsbedarf**

### **3.3.1 Definition des Beregnungsbedarfs**

Eine Beregnungsbedürftigkeit ist immer dann gegeben, wenn der Mangel an Wasser zu einer spürbaren Ertrags- und Qualitätsbeeinträchtigung führen würde. Nur durch eine zusätzliche Beregnung ist es möglich, auf den verfügbaren Flächen bestmögliche Qualitäten und hohe Produktionsmengen sicher zu stellen. Insbesondere im Vertragsanbau sichert die Beregnung eine stabile und kontinuierliche Produktion. Die hohen Qualitätsansprüche wären in einigen Kulturen ohne Beregnung nicht mehr zu realisieren; sie wären nicht mehr vermarktbar. In aller Regel reicht in der Gemüse- und Hackfrüchteleproduktion dafür Regenwasser allein nicht aus.

Eine Frucht ist prinzipiell dann berechnungswürdig, wenn die berechnungsbedingten Mehrkosten durch die Ernte-Mehrerlöse gedeckt sind. Die Berechnungsmengen werden deshalb auch über die Marktpreise beeinflusst.

### **3.3.2 Berechnungspraxis**

Die Berechnungspraxis in der Südpfalz wurde intensiv mit der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, dem Bauern- und Winzerverband, dem DLR und Vertretern der Wasser- und Bodenverbände diskutiert. Die Fachleute gehen davon aus, dass derzeit lediglich Flächen mit Gemüse inkl. Tabak, Kartoffel und in geringerem Umfang Zuckerrüben beregnet werden. Dies sind ausschließlich Kulturen, die als berechnungsbedürftig einzustufen sind.

Bei den berechnungsbedürftigen Kulturen hat der Gemüsebau deutlich den höchsten zusätzlichen Wasserbedarf. Die meisten Gemüsekulturen wurzeln relativ flach (ca. 0,1 - 0,3 m). Ihren Wasserbedarf müssen sie aus einer geringmächtigen Bodenschicht decken, deren pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat (nutzbare Feldkapazität) entsprechend rasch erschöpft ist. Bei den meisten Gemüsearten treten bereits bei einer vergleichsweise geringen Austrocknung des Bodens Qualitäts- und Ertragsminderungen auf. Je nach Kultur und Pflanzenstadium wird Gemüse aus diesen Gründen bereits beregnet, wenn der Bodenwasserspeicher ca. 70 – 80 % der nutzbaren Feldkapazität unterschreitet.

Zusätzlich ist im Gemüsebau kurz vor dem Pflanztermin die Vorwegberegung gängige Praxis. Sie wird nach Angaben des DLR insbesondere als zwingend notwendig erachtet, wenn durch die Vorfrucht (z.B. Getreide) der Boden tiefgründig abgetrocknet ist. Als übliche Einzelgaben werden 20 – 30 mm aufgebracht.

Die Frostschutzberegung ist derzeit nur in Einzelfällen relevant. In der Regel wird neben dem Obstbau Frostschutzberegung bei Frühkartoffel und Erdbeeren gegen Spätfröste eingesetzt. Der Anteil beider Früchte ist im Verbandsgebiet vergleichsweise gering.

Die technische Ausstattung im Verbandsgebiet wird im Vergleich zu anderen Gebieten der Südpfalz als vergleichsweise gut eingestuft. In der Vergangenheit investierten neben dem WBV Zeiskam auch diejenigen Landwirte in den Ausbau ihrer Anlagen, die die Beregung privat betreiben. Dies stehe in einem engen Zusammenhang mit der Etablierung des Verbandsgebietes Hochstadt als einen weiteren Schwerpunkt des Gemüsebaus in der Südpfalz (Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2009). Es wird davon ausgegangen, dass der Beregnungsbedarf mit der installierten Beregnungsleistung weitgehend gedeckt werden kann.

### **3.3.3 Modellgestützte Berechnung des Beregnungsbedarfs**

#### **3.3.3.1 Grundlagen**

Ziel einer Bewässerungssteuerung ist es, das Wasser in Menge und Verteilung zu applizieren, so dass die Pflanze hinsichtlich Menge und Qualität optimal ausgebildet wird und keine Nährstoffe unnötig in das Grundwasser ausgewaschen werden. Dies wird im Wesentlichen dadurch

erreicht, dass eine Beregnung erfolgt, bevor der Bodenwassergehalt im Wurzelraum auf ein Maß abgesunken ist, das zu relevanten Qualitäts- und Ertragseinbußen führt. Derzeit wird eine Bewässerungssteuerung nach der Geisenheimer Methode, die den Bodenwasserhaushalt bilanziert, am geeignetsten für eine optimale Bewässerungssteuerung angesehen. Dieses Konzept wird auch vom DLR empfohlen und wurde für die beregneten Flächen in den Modellrechnungen umgesetzt.

Als Eingangsdaten für die Bodenwasserhaushaltsberechnungen werden benötigt:

- Niederschlag und Verdunstung im Untersuchungsgebiet,
- hydraulische Eigenschaften der Böden,
- Bodennutzung (angebaute Kulturen).

## Niederschlag und Verdunstung

Aus dem Messnetz des DLR wurden für die Stationen Schifferstadt, Neustadt a. d. Weinstraße, Lustadt und Herxheimweyher für den Zeitraum 01.01.1998 bis 31.12.2007 Tageswerte des Niederschlags und der Basisdaten zur Berechnung der Verdunstung bereitgestellt. In dem Zeitraum liegen sowohl klimatische Normaljahre als auch Nass- (2001) und Trockenjahre (2003). Tabelle 3 zeigt die über den Zeitraum 1998-2007 gemittelten Niederschlagswerte.

Tabelle 3: Mittlere Niederschläge an dem DLR-Klimastationen für den Zeitraum 01.01.1998 - 31.12.2007

	Mittlere Jahresniederschläge [mm]		
	Winter (01.10-31.03.)	Sommer (01.04.-30.09.)	Jahr
Schifferstadt	219	306	525
Neustadt a.d.W.	302	324	626
Lustadt	283	339	622
Herxheimweyher	313	342	655

Die räumlichen Verteilungsmuster des Niederschlags wurden in einer multivariaten linearen Regression aus Rasterdaten (Rasterweite 500 m) der monatlichen Niederschlagssummen des LUWG für die Zeitreihe 1960-1990 berechnet. Die räumliche Verteilung des auf diesen Daten berechneten mittleren Jahresniederschlags zeigt **Anlage 4**. Die räumliche Verteilung der potentiellen Evapotranspiration wurde über eine räumliche lineare Interpolation der Messwerte der Klimastationen für jeden Zeitpunkt berechnet.

Die Jahresniederschläge variieren deutlich im Untersuchungsgebiet und schwanken zwischen rund 500 und 1.000 mm. Das Minimum mit 500 mm/a liegt bei Haßloch. Nach Süden nehmen die Niederschläge zu und erreichen im Bienwald eine Höhe von rund 750 mm/a. Einen ausgeprägten Anstieg zeigt die Niederschlagsverteilung am Haardtrand, wo die max. Niederschlags-

höhen im Untersuchungsgebiet mit rund 1.000 mm/a erreicht werden. Diese deutlichen räumlichen Unterschiede in den Jahresniederschlägen sind im Sommerhalbjahr weniger ausgeprägt (siehe Tabelle 3).

## Hydraulische Eigenschaften der Böden

Für die Beurteilung des Wasserhaushaltes des Bodens sind die Speicher- und Durchlässigkeitseigenschaften (bodenhydraulische Eigenschaften) mitentscheidend. Als Arbeitsgrundlage standen die digitalen Bodenflächendaten (Kartiermaßstab 1:50.000) innerhalb des Modellgebiets vom LGB zur Verfügung.

Zunächst wurden den einzelnen Bodenarten ihre bodenhydraulischen Kennwerte aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) zugewiesen. In einer Clusteranalyse mit den Kriterien Schichtmächtigkeit, Speichervermögen und Durchlässigkeit wurden insgesamt 10 Bodeneinheiten klassifiziert, die sich in ihren bodenhydraulischen Eigenschaften signifikant unterscheiden (**Anlage 5**).

Die Parametrisierung der Speicher- und Durchlässigkeitseigenschaften in den Bodenfeuchtesimulationen (s. Kapitel 3.3.3.2) erfolgte nach dem Ansatz von Mualem-van Genuchten. Die entsprechenden Kennwerte wurden der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) und den Verknüpfungsregel der Ad-hoc-AG Boden entnommen.

## Bodennutzung (angebaute Kulturen)

Grundlage für die in den Modellrechnungen abgebildeten Kulturen ist die mit Methoden der Fernerkundung ermittelte Nutzungsverteilung (**Anhang I**), die die Verhältnisse in 2009 zeigt (**Anlage 6**). Als berechnungsbedürftig werden Gemüse, Hackfrüchte und Tabak eingestuft. Die übrigen Früchte wurden in den Berechnungen als nicht beregnet implementiert.

### **3.3.3.2 Modellierung des Bodenwasserhaushaltes**

Die Modellierung des Bodenwasserhaushaltes ist aufgrund der vielfältigen hydrologischen Prozesse außerordentlich komplex. Abb. 1 zeigt schematisiert die wichtigsten Prozesse.



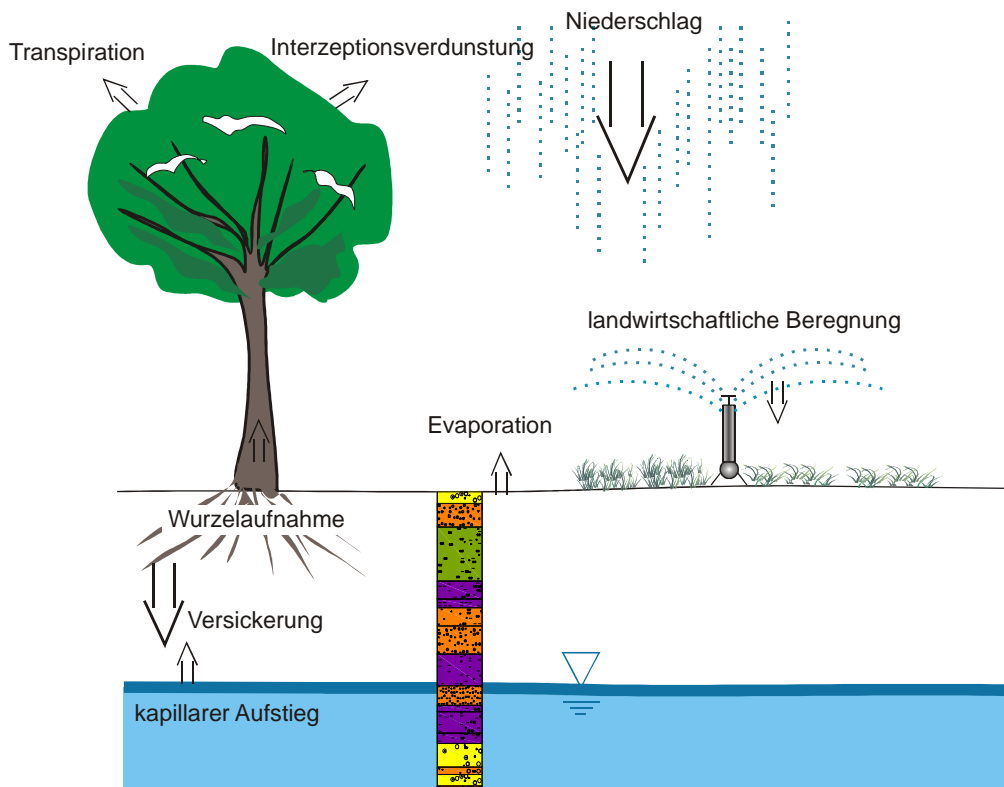


Abb. 1: Prozesse des Bodenwasserhaushaltes

Den vielschichtigsten Prozess bildet die tatsächliche Evapotranspiration. Sie wird neben den klimatischen Bedingungen primär von der Vegetation und den bodenhydraulischen Eigenschaften bestimmt. Die Evapotranspiration von bewachsenen Flächen kann im Wesentlichen in die drei Teilprozesse Interzeptionsverdunstung, Evaporation (Bodenverdunstung) und Transpiration (Verdunstung über die Pflanzen) untergliedert werden.

Die potentielle Evapotranspiration wurde auf Tageswertbasis nach Penman-Monteith (Grasreferenzverdunstung) ermittelt. Der von der Grasreferenzverdunstung abweichende Wasserbedarf der einzelnen Pflanzen wurde mit  $k_c$ -Faktoren nach der Geisenheimer Methode beschrieben.

In der eingesetzten Software MIKE SHE zur Modellierung des Beregnungsbedarfs wird die Interzeption als eine Funktion des Blattflächenindex abgebildet. Bei gefülltem Interzeptionsspeicher entspricht die Interzeptionsverdunstung der potentiellen Evapotranspiration. Über einen Speicheransatz für die oberste Bodenschicht (Modellelement) wird auch die Evaporation beschrieben.

Wenn die oberste Bodenschicht weitgehend gesättigt ist (Wassergehalt über Feldkapazität), beträgt der Anteil der Evaporation an der Gesamtverdunstung 20 %. Dieser Wert wurde bei empirischen Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Flächen gefunden. Bei geringeren Bodenwassergehalten wird die Evaporation durch Koeffizienten abgemindert.

Auf vegetativen Flächen wird der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre zum größten Teil über die Pflanzentranspiration abgedeckt. Die Wasseraufnahme erfolgt über den im Modell abgebildeten Wurzelraum. Die potentielle Transpirationsrate wird in Bereichen sehr hoher Bodenfeuchten (die Pflanzenwurzeln werden nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt) und niedriger Bodenfeuchten (Trockenstress) abgemindert. Ebenfalls wird die Wurzelentwicklung bei einjährigen Kulturen berücksichtigt.

Die Bodenwasserbewegung wird durch die Richards-Gleichung beschrieben. Die Parametrisierung der bodenhydraulischen Eigenschaften erfolgte mit dem Ansatz von Mualem - van Genuchten.

Verluste bei der Wasserverteilung (z.B. durch Windeinwirkungen, Leckagen) werden bei dem rechnerisch ermittelten Beregnungsbedarf nicht berücksichtigt. Sie fließen erst bei den zur Beregnung erforderlichen Grundwasserentnahmen ein.

Der Gang des Wassergehalts im Boden und damit der Beregnungsbedarf ist ein Resultat der Modellrechnungen. In den hier durchgeführten Simulationen wird prinzipiell die Bewässerungssteuerung nach der Geisenheimer Methode umgesetzt, die die hydraulischen Bodeneigenschaften, den Wasserverbrauch der angebauten Kulturen und die klimatischen Verhältnisse am Standort (klimatische Wasserbilanz) als Eingangsgrößen berücksichtigt. Beim Unterschreiten bestimmter Restfeuchtegehalte im Boden (effektiver Wurzelraum) werden die in der landwirtschaftlichen Praxis üblichen Regengaben in den Modellrechnungen zusätzlich berücksichtigt und als Berechnungsergebnis ausgeworfen.

### **3.3.3.3 Beregnungsbedarf bei den aktuellen Nutzungsverhältnissen**

In der Südpfalz werden in der landwirtschaftlichen Praxis derzeit Gemüse, Kartoffel, Zuckerrüben und Tabak berechnet. In den Modellrechnungen wurde für Gemüseanbauflächen eine Doppelbelegung angenommen. Entsprechend der Klassifikation in der Landnutzungskartierung wurden in den Gemüsebauflächen die Hauptfrüchte des Verbandsgebiets Radies, (Bund)-Zwiebel und Salat gesondert abgebildet. Die sonstigen Feldgemüse wurden durch Blumenkohl und Feldsalat parametrisiert. Die übrigen beregnungsbedürftigen Kulturen wurden in Kartoffel, Zuckerrübe und Tabak differenziert. Die  $k_c$ -Werte für den pflanzenspezifischen Wasserbedarf wurden der Fachliteratur entnommen.

Im Mittel der Jahre 1998-2007 schwankt der rechnerische Beregnungsbedarf im Verbandsgebiet für Gemüse zwischen 132 mm/a und 208 mm/a. Die entsprechenden Werte für die Hackfrüchte betragen 13 mm/a bis 172 mm/a. Insbesondere bei den Zuckerrüben zeichnen sich die Extrema im Beregnungsbedarf im Beobachtungszeitraum 1998-2007 deutlich ab. In 2000 mit einem feuchten Frühjahr und Sommer ist mit einer theoretischen Beregnungshöhe von 13 mm praktisch kein Bedarf entstanden. Das Maximum an Beregnungsbedarf trat bei der Zuckerrübe in 2003 mit 168 mm auf.

Zur Ermittlung des Beregnungsbedarfs ist die Vorwegberegnung auf den Gemüsebauflächen mit pauschal 20 mm pro Kultur zu addieren, die weitgehend unabhängig vom Witterungsverlauf

durchgeführt wird. Die Gemüseanbaufläche beträgt knapp 3.000 ha (s. Tabelle 1), woraus eine Wassermenge von 600.000 m<sup>3</sup>/a für die Vorwegberechnung resultiert. Abb. 2 zeigt die hieraus resultierenden theoretischen Jahresmengen an pflanzenverfügbaren Beregnungswasser, die im Untersuchungszeitraum 1998-2007 zwischen 2,0 und 3,4 Mio. m<sup>3</sup> liegen. Der Mittelwert im betrachteten 10-Jahreszeitraum beträgt 2,6 Mio. m<sup>3</sup>/a.

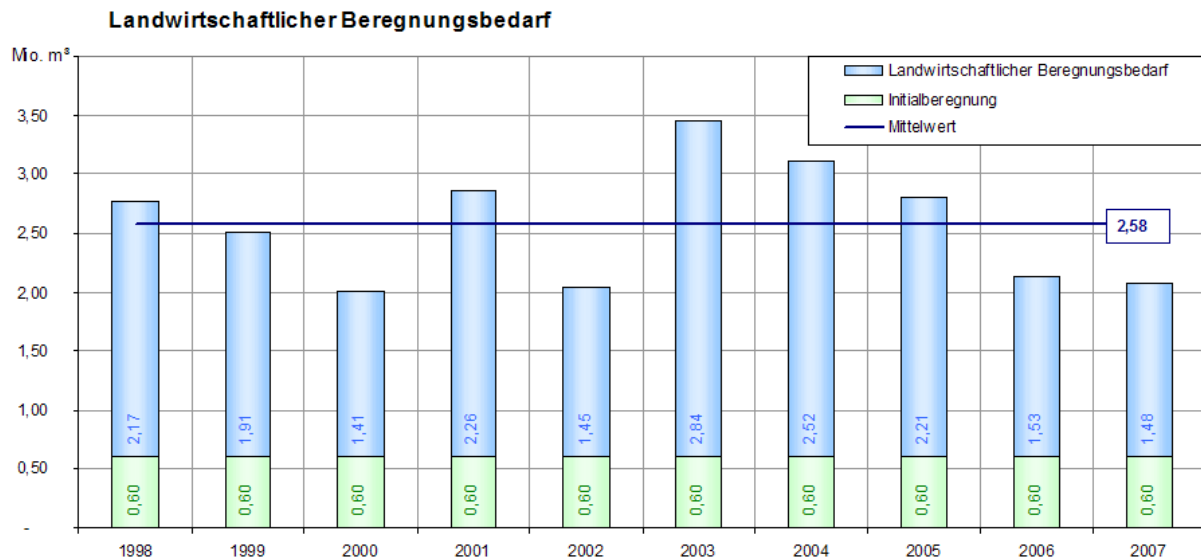


Abb. 2: Jahreswerte des Beregnungsbedarfs und der Vorwegberechnung im Verbandsgebiet Hochstadt

Bei der zur Deckung des Beregnungsbedarfs und der Vorwegberechnung erforderlichen Grundwasserentnahme sind zusätzlich Verluste durch Leckagen, Wind und Pflanzeninterzeption zu kompensieren. Die Gesamtverluste der Beregnungstätigkeit werden auf rund 25 % geschätzt. Die unter Berücksichtigung der Verluste theoretisch ermittelten Grundwasserentnahmen zur Deckung des Pflanzenwasserbedarfs zeigt Tabelle 4.

**Der Mittelwert der Grundwasserentnahmen für den 10-Jahreszeitraum unter den Witterungsverhältnissen der Jahres 1998-2007 beträgt 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a.**

Tabelle 4: Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken im Verbandsgebiet, derzeitige Flächennutzung

	Jahresmengen [Mio. m <sup>3</sup> ]									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Pflanzenwasserbedarf	2,2	1,9	1,4	2,3	1,5	2,8	2,5	2,2	1,5	1,5
Vorwegberegnung	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Verluste	0,9	0,8	0,7	0,9	0,6	1,2	1,1	0,9	0,7	0,7
Grundwasserentnahme	3,7	3,3	2,5	3,8	2,7	4,6	4,2	3,7	2,8	2,8

Im Verbandsgebiet beträgt die ackerbaulich genutzte Fläche (ohne Rebflächen) ca. 4.000 ha (Grundfläche). Bei einer mittleren Gewinnungsmenge von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a ergibt sich eine mittlere Entnahme zu Bewässerungszwecken von 85 mm. Im Vergleich hatte der Beregnungsverband Zeiskam in den vergangenen Jahren eine mittlere Grundwasserentnahme zu Beregnungszwecken von 115 mm (SGD Süd 2005). In seiner Abschätzung des Wasserbedarfs in der Südpfalz – Mitte kommt das DLR (2009) zu einer identischen mittleren Beregnungsmenge.

### 3.3.3.4 Zukünftiger Beregnungsbedarf (Zukunftsszenario)

Bei den Modellrechnungen des Beregnungsbedarfs für die zukünftigen Nutzungsverhältnisse (Zukunftsszenario) wird davon ausgegangen, dass der erwartete Zuwachs an Gemüsebauflächen mit 500 ha (Grundfläche) im wesentlichen zu Lasten der Getreideanbauflächen geht, die aktuell mit rund 50 % noch einen vergleichsweise hohen Anteil an der ackerbaulichen Flächennutzung haben. Die Nutzungsanteile nähern sich den Verhältnisse in der Vorderpfalz an. Auch bei den Zuwachsflächen im Gemüsebau wurde von einer Doppelbelegung für die Ermittlung des Beregnungsbedarfs ausgegangen. Der Gesamtbedarf für die Vorwegberegnung steigt damit um 200.000 m<sup>3</sup>/a (1.000 ha Anbaufläche, 20 mm Vorwegberegnung pro Pflanzensatz). Weiterhin wurde der höhere Anteil der Kartoffel bei der Flächennutzung im wesentlichen entsprechend der Angaben des DLR berücksichtigt. Im Vergleich zur Zuckerrübe hat die Kartoffel einen etwas höheren Beregnungsbedarf. Für die Flächennutzung entsprechend dem Zukunftsszenario resultiert für die klimatischen Verhältnisse des Zeitraums 1998-2007 der in Tabelle 5 dargestellte Beregnungsbedarf und die entsprechenden Grundwasserentnahmemengen. Die Gesamtverluste der Beregnungstätigkeit werden auch im Zukunftsszenario auf rund 25 % geschätzt.

**Der Mittelwert der Grundwasserentnahmen im Zukunftsszenario (veränderte Flächennutzung) beträgt unter den Witterungsverhältnissen der Jahre 1998-2007 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a.**

Tabelle 5: Grundwasserentnahmen zu Berechnungszwecken im Verbandsgebiet, Zukunftsszenario

	Jahresmengen [Mio. m <sup>3</sup> ]									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Pflanzenwasserbedarf	3,0	2,7	2,2	3,1	2,2	3,9	3,6	3,0	2,3	2,2
Vorwegberegnung	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Verluste	1,3	1,2	1,0	1,3	1,0	1,6	1,5	1,3	1,0	1,0
Grundwasserentnahme	5,1	4,7	4,0	5,2	4,0	6,3	5,9	5,1	4,1	4,0

Das DLR kommt in seiner Abschätzung des zukünftigen Beregnungsbedarfs in der Südpfalz – Mitte (2009) zu einer erforderlichen mittleren Beregnungsentnahme von 4,9 Mio. m<sup>3</sup>. Er berücksichtigt dabei über die Nutzungsänderung hinaus noch einen Rückgang der Sommerniederschläge von 25 % auf Grund des Klimawandels.

### 3.3.3.5 Spitzenlast (Tagesspitze)

Die Verdunstungsleistung von Pflanzen ist bei strahlungsintensiven Wetterlagen im späten Frühjahr und im Sommer am größten. Derartige Wetterlagen sind nicht unbedingt an ausgeprägte Trockenjahre gebunden, sondern treten fast in jedem Beregnungsjahr auf. In längeren niederschlagsfreien Perioden ist insbesondere im Gemüsebau der Pflanzenwasserbedarf vollständig über die Beregnung zu decken, da der ohnehin nur geringe Bodenwasserspeicher, der durch die Gemüsepflanzen genutzt wird, geleert ist.

Nach den Klimadaten der DLR-Station Lustadt ist von einer max. Grasreferenzverdunstung von 5,5 mm/d auszugehen. Die Verdunstungsleistung von Gemüsepflanzen liegt in bestimmten Entwicklungsstadien um rund 20 % höher (kc-Faktor 1,2). Deren Verdunstungsleistung beträgt dann ca. 6,6 mm/d. Bei einer beregneten Fläche von 1.600 ha für die derzeitigen Nutzungsverhältnisse resultiert hieraus ein Tagesspitzenbedarf von rund 105.000 m<sup>3</sup>. Bei einem 20-stündigen Betrieb der Beregnung an Spitzenbedarfstagen resultiert hieraus eine Stundenspitze von 5.280 m<sup>3</sup>.

Für eine Abschätzung des Spitzenbedarfs im Zukunftsszenario wird die Höhe der Pflanzenverdunstung beibehalten. Für die Nutzungsentwicklung nach Einschätzung des DLR mit zukünftig 2.000 ha beregneten Fläche ergibt sich eine Tagesspitzenmenge von 132.000 m<sup>3</sup>. Bei einem 20-stündigen Betrieb resultiert hieraus eine Stundenspitze von 6.600 m<sup>3</sup>. Aus der Umfrage bei den Landwirten mit einer zukünftigen max. Beregnungsfläche von 2.600 ha folgt eine Tagesspitze von 171.600 m<sup>3</sup> bzw. Stundenspitze von 8.580 m<sup>3</sup> bei 20-stündigem Betrieb.

Bei der pauschalen Abschätzung des Spitzenbedarf der Pflanzenbestände bleiben die Wassermengen unberücksichtigt, die zur Deckung der Verluste sowie zum Etablieren neuer Bestände (Vorwegberegnung) bzw. zur Qualitätssicherung vorhandener Bestände benötigt werden.

In den Modellrechnungen zum Bodenwasserhaushalt wird der max. Beregnungsbedarf (Pflanzenwasserbedarf) zu rund 72.000 m<sup>3</sup>/d ermittelt (Abb. 3). Mit pauschalen Ansätzen zur Vorabregnung mit 20 % des Pflanzenwasserbedarfs und des Wirkungsgrades von 75 % resultiert aus den Modellrechnungen eine Wasserentnahme von 120.000 m<sup>3</sup>/d für das Zukunftsszenario. Bei einem 20-stündigen Betrieb der Beregnung an Spitzenbedarfstagen resultiert hieraus eine Stundenspitze von 6.000 m<sup>3</sup>.

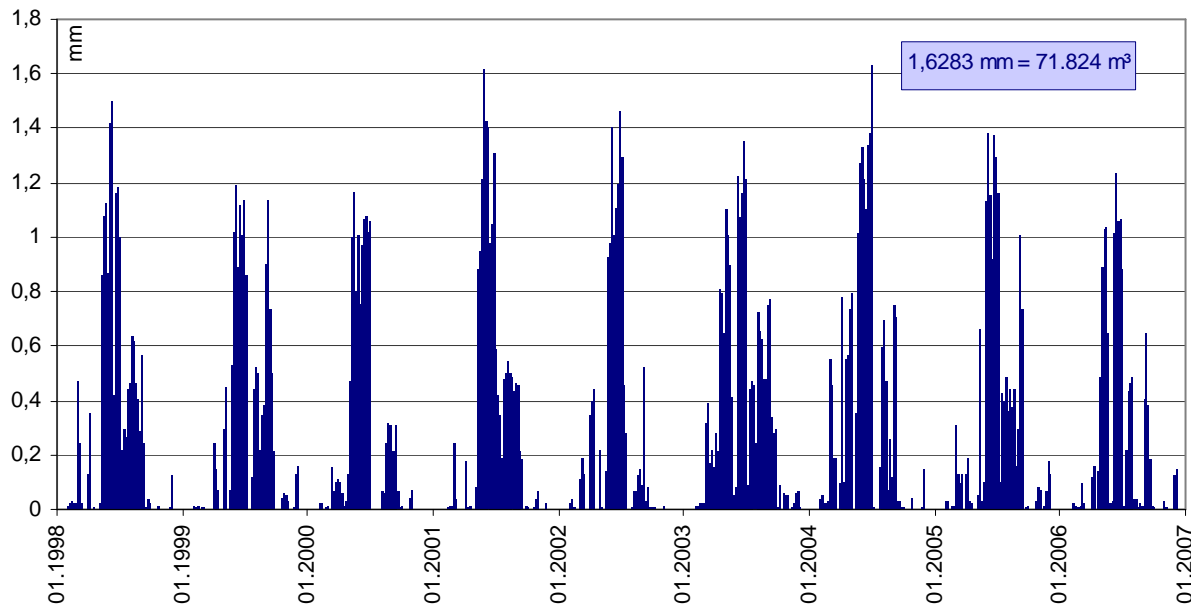


Abb. 3: Berechnete Tageswerte des Beregnungsbedarfs für das Zukunftsszenario unter den Witterungsverhältnissen der Jahre 1998-2007

Aus den o.g. Ansätzen zur Abschätzung des Spitzenbedarfs wurde als Grundlage für die Bemessung der Anlagenteile eine Stundenspitze von 7.000 m<sup>3</sup> angesetzt. Es ist u.a. davon auszugehen, dass in einem derart großen Verbandsgebiet zu keinem Zeitpunkt auf sämtlichen Gemüsebauflächen ein Zusatzwasserbedarf entsteht. Weiterhin ist eine Auslegung der Anlagen auf nur selten auftretende Spitzenlastereignisse unwirtschaftlich.

Die genehmigte Gesamtentnahme für die Beregnung der Vorderpfalz beträgt im Vergleich 18.000 m<sup>3</sup>/h bei einer angeschlossenen Fläche von ca. 12.500 ha.

### 3.3.3.6 Beregnungsbedarf der Rebflächen

Weinreben als vieljährige Kulturpflanzen bilden ein tiefgreifendes Wurzelwerk aus, so dass die Pflanze den Bodenwasservorrat über große Tiefen nutzen kann. Weiterhin treten bei Weinreben Vitalitätseinbußen erst bei relativ geringen Bodenwassergehalten auf. Eine Bewässerungswürdigkeit tritt erst auf, wenn ein Schwellenwert von ca. pF 3,4 bzw. -0,25 bis -0,30 MPa in der Bodenwasserspannung unterschritten wird. Zusätzlich besteht bei frühen Wassergaben und/oder zu hohen Wassermengen die Gefahr der Mengensteigerung mit einer einhergehenden Qualitätsminderung (Prior 2010, Wellinger 2004). Eine Bewässerung der Rebflächen unter Berücksichtigung

sichtigung der klimatischen Bedingungen der Südpfalz erscheint im Zeitraum ab Juli und bei anhaltender Trockenheit bis Ende September potentiell möglich.

Das DLR untersucht an Standorten in Oppenheim seit mehreren Jahren Tropfbewässerung und verschiedene Formen der Bodenbedeckung hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes. An der DLR-Klimastation Oppenheim wurden im Zeitraum 1991-2009 ein mittlerer Jahresniederschlag von 508 mm gemessen. Im vergleichsweise trockenen Jahr 2007 betrug der Jahresniederschlag 474 mm. Dennoch wurde der Schwellenwert der Bewässerungswürdigkeit nur in den Steillagen mit einem signifikanten Anteil an Oberflächenabfluss überschritten. Diese wurden zu insgesamt 11 Zeitpunkten mit Einzelgaben von 5 mm bewässert. Dies entspricht einem Wasserbedarf von 550 m<sup>3</sup>/ha in einem Jahr.

In den Flachlagen wurde der Schwellenwert der Bewässerungswürdigkeit nicht unterschritten und entsprechend wurden diese Lagen nicht bewässert. Die Untersuchungen zeigen ferner, dass über geeignete Formen der Bodenbedeckung den Pflanzen ein vergleichbares Wasserangebot für die Reben gesichert werden kann (Prior 2010).

Unter den klimatischen Verhältnissen im Verbandsgebiet mit einem mittleren Jahresniederschlag von 584 mm (1991-2009) für die Klimastation Lustadt erscheint nur in Einzelfällen ein Bewässerungsbedarf in den Rebflächen gegeben. Es ist nicht davon auszugehen, dass im Verbandsgebiet auch längerfristig ein Bewässerungswasserbedarf für Rebanlagen entsteht, der relevant sein wird im Vergleich zum Wasserbedarf in den ackerbaulich genutzten Flächen. Das obern dargelegte Mengengerüst zum Beregnungsbedarf schließt damit eine mögliche Bewässerung von Rebflächen mit ein.

## 4 Grenzgrundwasserentnahmen aus dem oberflächennahen Grundwasser mittels Einzelbrunnen

In dem Gutachten ‚Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz‘ (BGS Umwelt 2008) wurde auf der Grundlage der abgeschätzten Beregnungsintensitäten das Untersuchungsgebiet in 3 Bereiche mit unterschiedlichen Beregnungshöhen untergliedert. Im nördlichen Teil bis auf die Höhe einer Linie von Landau nach Germersheim liegen die Bereiche mit Schwerpunkten im Gemüsebau. Das Verbandsgebiet Hochstadt bildet den südlichen Teil dieses Bereichs. Der mittlere Bereich reicht bis auf eine Linie Billigheim-Ingenheim-Herxheim-Hördt. Im mittleren und dem anschließenden südlichen Bereich ist der Anteil der hinsichtlich des Bodenwasserhaushalts günstigen Lössboden höher und der Anteil des bewässerungsintensiven Gemüsebaus ist deutlich niedriger als im nördlichen Bereich. Die Unterschiede zwischen dem mittleren und südlichen Bereich sind auch klimatisch bedingt, da die Niederschläge auch im Sommerhalbjahr (Vegetationsperiode) nach Süden zunehmen.

Die o.g. Untersuchung zeigte, dass für den Hochstädter Wald als westlicher Teil von NATURA 2000-Gebieten am ehesten Konflikte mit den oberflächennahen umgebenden Grundwasserentnahmen zu erwarten sind.

Um eine belastbare Einschätzung über die Grundwasserstandsabsenkungen infolge der gegenwärtig erlaubten und der beantragten Entnahmen zu Beregnungszwecken im Verbandsgebiet Hochstadt und in den südlich gelegenen Beregnungsflächen im Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim zu erlangen, wurden Modellrechnungen mit dem in Anhang III dokumentierten Grundwassermodell durchgeführt. Dazu wurden von der SGD Süd u.a. Daten zu Lagekoordinaten der Beregnungsbrunnen mit den jeweiligen genehmigten bzw. beantragten Entnahmemengen bereitgestellt.

Für das Verbandsgebiet Hochstadt sind in der Summe Erlaubnisse zur Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken bis in eine Höhe von ca. 1,0 Mio. m<sup>3</sup>/a derzeit erteilt. Zusätzlich sind weitere Grundwasserentnahmen für Beregnungszwecke von insgesamt bis zu 0,4 Mio. m<sup>3</sup>/a bei der SGD Süd beantragt.

Der Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim umschließt die Gemarkungen Bellheim, Herxheim bei Landau, Herxheimweyher, Impflingen, Insheim, Offenbach an der Queich, Rohrbach, Rülzheim, Knittelsheim und Ottersheim. Die genehmigten Grundwasserentnahmen zur Beregnungszwecken betragen dort rund 0,72 Mio. m<sup>3</sup>/a, weitere 0,12 Mio. m<sup>3</sup>/a sind beantragt.

Um zu Grenzgrundwasserentnahmen für dezentrale Einzelbrunnen zu gelangen, die noch als naturverträglich angesehen werden können, wurden iterativ die Entnahmemengen der Brunnen in stationären Modellrechnungen mit dem Ziel angepasst, dass der Einflussbereich der oberflächennahen Grundwasserentnahmen nicht bis in naturfachliche Schutzgebiete signifikant hineinreicht (0,25 m Absenkung).



Im Verbandsgebiet Hochstadt wird dieser Grenzzustand bereichsweise bereits mit den genehmigten und beantragten Wasserrechten erreicht. Der Einflussbereich reicht bei einer oberflächennahen Grundwasserentnahme von rund 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a im Verbandsgebiet im Bereich Weingarten/Schwegenheim and die naturfachlichen Schutzgebiete in der Modenbachniederung heran. Ebenso rückt der Einflussbereich bis an den Hochstädter Wald westlich von Zeiskam heran (**Anlage 7**).

Die Modellrechnungen zeigen, dass die vertretbare Grenzgrundwasserentnahme unter den derzeitigen organisatorischen Rahmenbedingungen der Beregnungstätigkeit aus dezentralen oberflächennahen Einzelbrunnen bei ca. 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a liegt. In dieser Größenordnung könnte eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung im oberen/mittleren Grundwasserstockwerk erfolgen, ohne dass relevante Auswirkungen auf die Naturschutzbelange zu besorgen sind.

Eine weitere Erhöhung der Wasserrechte setzt ein Management der Grundwasserentnahmen im Verbandsgebiet voraus, bei dem die Wirkungen weitere Entnahmesteigerungen reduziert werden, indem die Förderung auf Brunnen mit vergleichsweise geringem Einfluss auf die Grundwasserstände unter feuchtesensiblen Biotopen verlagert wird. Die entsprechenden Datengrundlagen für das Management der Beregnungsentnahmen sind durch ein wasserwirtschaftliches Monitoring zu gewinnen (s. Kap. 10). Unter der Voraussetzung einer optimalen Steuerung (Verteilung) der Beregnungsentnahmen erscheint eine Gesamtentnahme von rund 2 Mio. m<sup>3</sup>/a aus dem oberflächennahen Grundwasser mit dezentralen Einzelbrunnen möglich. Solche Aufgaben in einem derartigen Betrachtungsmaßstab können nur im Rahmen eines Beregnungsverbandes zielführend gelöst werden.

Für den Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim ergaben die Modellrechnungen dagegen, dass die Grundwasserabsenkungen bei Entnahmen in Höhe der derzeit genehmigten und beantragten Wasserrechte von rund 0,8 Mio. m<sup>3</sup>/a keine Auswirkungen auf naturfachliche Schutzgebiete haben. Es sind für diesen Raum Entnahmesteigerungen um rund 50 % auf insgesamt 1,3 Mio. m<sup>3</sup>/a möglich, bis der Einflussbereich an die nördlich angrenzenden Natura 2000-Gebiete heranreicht (s. Anlage 7). Die Grundwasserentnahmen zur Beregnung aus Brunnen in den östlich angrenzenden Flächen, die den Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim zum Bereich Mitte aus der Untersuchung ‚Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz‘ (BGS Umwelt 2008) ergänzen, wurden mit 0,5 Mio. m<sup>3</sup>/a angesetzt. Die Gesamtentnahme im Bereich Mitte beträgt demnach 1,8 Mio. m<sup>3</sup>/a.

In Abhängigkeit von der Entwicklung im Beregnungsbedarf verbleibt damit für den Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim auch bei dezentraler Beregnung aus oberflächennahen Einzelbrunnen ein Gestaltungsraum für zukünftig zu vergebende Wasserrechte bis in eine Größenordnung von ca. 0,5 Mio. m<sup>3</sup>/a.

## 5 Zentrale Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe

Im Zuge der Untersuchungen zu möglichen zentralen Entnahmen von Wasser zu Beregnungszwecken aus Oberflächengewässern in der Rheinniederung wurden verschiedene Standorte und Entnahmemöglichkeiten überprüft. Eine Entnahme aus einer der vorhandenen ehemaligen Baggerseen (ohne offene Verbindung zum Rhein) zwischen Lingenfeld und Mechtersheim ist aufgrund der zu erwartenden Wasserspiegelabsenkungen nicht umweltverträglich umzusetzen. Im Nahbereich der Baggerseen würden Grundwasserabsenkungen von bis zu mehreren Metern auftreten.

Eine Entnahme aus dem mit dem Rhein verbundenen Lingenfelder Altrhein war aufgrund der geringen Tiefen der Altrheinarme und den daraus resultierenden unzureichenden Zuströmverhältnissen (Niedrigwasser) in Zeiten der höchsten Entnahmen (Sommer) nicht möglich bzw. hätte umfangreiche Ausbaggerungsarbeiten in dem geschützten Auenbereich (Naturschutz-, Vogelschutz- bzw. FFH-Gebiete) mit sich gebracht. Am Lingenfelder Altrhein ist es wegen des vorhandenen Geländesprungs zudem bautechnisch sehr aufwändig die erforderlichen Bauwerke anzuordnen. In anderen Bereichen der Rheinaue ergeben sich große Entfernungen zwischen einem potentiellen Entnahmepunkt und einem hochwassergeschützten Standort für das Hauptpumpwerk, was neben ungünstigen hydraulischen Verhältnissen, ebenfalls zu umfangreichen Bauarbeiten in dem geschützten Auenbereich geführt hätte.

Als möglicher Standort einer zentralen Entnahme wurde schließlich der tief ausgebagerte Altrheinarm in der Nähe der Kläranlage von Mechtersheim ausgewählt. An diesem Standort liegt der vorhandene Hochwasserschutzdeich nahe am Altrheinarm, sodass die Entfernung zwischen Entnahmestelle und Hauptpumpwerk gering gehalten und die Eingriffe minimiert werden können (**Anlage 8**). Die Planungen zum Polder Mechtersheim (SGD Süd 2009a) wurden bei der Standortwahl des Entnahmebauwerks berücksichtigt.

### 5.1 Versorgungszonen

Das zu erschließende Verbandsgebiet erstreckt sich auf rund 5.500 ha zwischen Freimersheim im Norden, Zeiskam im Süden, Schwegenheim im Osten und Essingen bzw. der A 65 im Westen. Die Höhenlage der Beregnungsflächen schwankt zwischen 95 mÜNN und 160 mÜNN.

Für das Erschließungsnetz wurden folgende Annahmen getroffen:

- Mindestdruck am Hydrant: 6,0 bar
- Rohrreibungsverluste im Netz: max. 2,0 bar
- Dauerdruck im Netz: max. 12,0 bar

Daraus ergibt sich, dass der maximale geodätische Höhenunterschied in dem Erschließungsnetz 40,0 m, entsprechend 40 mWS bzw. 4,0 bar, betragen darf. Aufgrund der Höhenlage der Beregnungsflächen, mit einem maximalen Höhenunterschied von 65 m, ist daher eine Aufteilung in mehrere Versorgungszonen erforderlich.

Folgende Versorgungszonen wurden festgelegt:

- Hochzone Höhenlage: 120 müNN bis 160 müNN, Druckniveau: 240 müNN, maximaler Druck im Netz: 12,0 bar, Berechnungsfläche: ca. 2.230 ha
- Mittelzone Höhenlage: 110 müNN bis 140 müNN, Druckniveau: 220 müNN, maximaler Druck im Netz: 11,0 bar, Berechnungsfläche: ca. 1.085 ha
- Tiefzone Höhenlage: 95 müNN bis 130 müNN, Druckniveau: 210 müNN, maximaler Druck im Netz: 11,5 bar, Berechnungsfläche: ca. 2.185 ha

Aus den Berechnungen der erforderlichen Berechnungsmengen ergeben sich folgende maximal Berechnungsmengen pro Stunde:

- Hochzone 1.750 m<sup>3</sup>/h
- Mittelzone 1.750 m<sup>3</sup>/h
- Tiefzone 3.500 m<sup>3</sup>/h

Die Rebflächen im Verbandsgebiet liegen fast vollständig in der Hochzone. Der flächenbezogene Bewässerungsbedarf wurde entsprechend niedriger geschätzt.

## 5.2 Rheinwasserentnahme bei Mechtersheim

Die geplante Wasserentnahme aus dem Altrheinarm bei Mechtersheim erfolgt über ein Entnahme- und Zulaufbauwerk, welches den vorhandenen Hochwasserschutzdeich quert. Daran schließen sich Grobrechen, Feinrechen, Vorlagekammer und Hauptpumpwerk an. Ergänzt werden diese Anlagenteile durch Nebengebäude, Mess- und Regelschächte und dgl.. Durch die Nähe zur Kläranlage Mechtersheim besteht eine relativ günstige Infrastruktur (z.B. Stromversorgung) in dem gewählten Bereich. Die Anlagenteile sind auf die geplante Entnahmemenge von bis zu 7.000 m<sup>3</sup>/h (4 Pumpen mit jeweils einer rechnerischen Förderrate von 1.750 m<sup>3</sup>/h) auszulegen.

Für das Hauptpumpwerk wurde von folgenden Pumpenkenndaten ausgegangen:

- Fördermenge Pumpe 1.750 m<sup>3</sup>/h
- Förderhöhe 100 m (10 bar)
- Anzahl 4 + 1 Betrieb + Reserve
- Fördermenge Pumpwerk 7.000 m<sup>3</sup>/h

Die Pumpen werden ohne Drehzahlregelung betrieben, da sie in einen Zwischenspeicher fördern, der die Aufgabe des Druckhaltens übernimmt und Verbrauchsschwankungen ausgleicht.

## 5.3 Haupttransportleitung

Das aus dem Altrheinarm entnommene Wasser wird über eine Haupttransportleitung dem Beregnungsgebiet zugeführt. Die Transportleitung quert hierbei eine Bahnstrecke, zwei Bundesstraßen (B 9 und B 272) sowie diverse Landes- und Kreisstraßen. Die Leitung ist auf die ge-

plante Entnahmemenge von bis zu 7.000 m<sup>3</sup>/h und aufgrund des zu überwindenden Höhenunterschieds auf einen Druck von 10 bar ausgelegt.

Für die Haupttransportleitung wurde von folgenden Randwerten ausgegangen:

- Fördermenge 7.000 m<sup>3</sup>/h
- Nenndruck 10 bar (100 m Wassersäule)
- Material GGG (duktiler Guss)
- Durchmesser 1.600 mm (DN 1600)
- Länge ca. 14,5 km
- Fließgeschwindigkeit ca. 1,0 m/s

Die Transportleitung endet im Zwischenspeicher (Gegenbehälter). An der Transportleitung sind die Druckhaltepumpwerke zum Druckaufbau im Beregnungsnetz angeschlossen.

## 5.4 Zwischenspeicher

Der Zwischenspeicher (Gegenbehälter) am Ende der Haupttransportleitung wurde zentral im Versorgungsgebiet an einem topografischen Hochpunkt (Ober-Berg) angeordnet. Der Zwischenspeicher ermöglicht es den Druck in der Transportleitung von dem im Beregnungsnetz zu trennen. Damit wird die erforderliche Förderhöhe der Pumpen des Hauptpumpwerks reduziert und die Pumpen können ohne Drehzahlsteuerung betrieben werden. Das Behältervolumen orientiert sich an der Fördermenge einer Pumpe in einer Stunde.

Für den Zwischenspeicher wurde von folgendem Volumen ausgegangen:

- Volumen 2.000 m<sup>3</sup> (2 x 1.000 m<sup>3</sup>)

## 5.5 Druckhaltepumpwerk Ober-Berg

Das geplante Druckhaltepumpwerk Ober-Berg beim Zwischenbehälter dient der Bereitstellung der Beregnungswassermenge mit ausreichendem Druckniveau für die Teilflächen der Hoch- und Mittelzone. Das Druckhaltepumpwerk entnimmt das Wasser aus der Haupttransportleitung bzw. aus dem Zwischenspeicher und drückt es in das Beregnungsnetz. Die Anlagenteile sind auf die prognostizierte Beregnungsmengen von jeweils bis zu 1.750 m<sup>3</sup>/h (4 Pumpen mit einer rechnerischen Förderrate von jeweils 437,5 m<sup>3</sup>/h) für die Hoch- bzw. die Mittelzone ausgelegt.

Für das Druckhaltepumpwerk Ober-Berg wurde von folgenden Pumpenkenndaten ausgegangen:

- Fördermenge Pumpe 437,5 m<sup>3</sup>/h
- Förderhöhe 80 m (8 bar)
- Anzahl 2 x (4 + 1) Betrieb + Reserve
- Fördermenge Pumpwerk 3.500 m<sup>3</sup>/h (2 x 1.750 m<sup>3</sup>/h)

Die Pumpen werden mit Drehzahlregelung betrieben, um einen gleichmäßigen Versorgungsdruck bei schwankenden Beregnungsmengen sicherzustellen.

## 5.6 Druckhaltepumpwerk Lustadt

Das geplante Druckhaltepumpwerk Lustadt in der Nähe von Lustadt dient der Bereitstellung der Beregnungswassermenge mit ausreichendem Druckniveau für die Teilflächen der Tiefzone. Das Druckhaltepumpwerk entnimmt das Wasser aus der Haupttransportleitung und drückt es in das Beregnungsnetz. Die Anlagenteile sind auf die prognostizierte Beregnungsmenge von bis zu 3.500 m<sup>3</sup>/h (4 Pumpen mit jeweils einer rechnerischen Förderrate von 875 m<sup>3</sup>/h) für die Tiefzone auszulegen.

Für das Druckhaltepumpwerk Lustadt wurde von folgenden Pumpenkenndaten ausgegangen:

- Fördermenge Pumpe 875 m<sup>3</sup>/h
- Förderhöhe 100 m (10 bar)
- Anzahl 4 + 1 Betrieb + Reserve
- Fördermenge Pumpwerk 3.500 m<sup>3</sup>/h

Die Pumpen werden mit Drehzahlregelung betreiben, um einen gleichmäßigen Versorgungsdruck bei schwankenden Beregnungsmengen sicherzustellen.

## 5.7 Kostenschätzung zentrale Entnahme in Rheinnähe

Die Abschätzung der zu erwartenden Investitionskosten für die zentrale Entnahme in Rheinnähe für das Beregnungsgebiet der Südpfalz erfolgte auf Basis von Kostenangaben des Beregnungsverbandes Vorderpfalz, Literaturangaben und aktuellen Kosten von Projekten der BGS Umwelt sowie marktüblicher Preise.

### 5.7.1 Erschließung der Beregnungsfläche

Bei der Erschließung der Beregnungsfläche wurde von einem Rohrnetz für ein Druckniveau von bis zu 12 bar ausgegangen. Es wurden daher Kosten für Rohre aus duktilem Gusseisen (GGG) mit einem Nenndruck von 16 bar angesetzt. Zwischen Beregnungsflächen mit Tropfbewässerung und Beregnungsflächen mit Regnerbewässerung wurde bezüglich der Erschließungskosten nicht unterschieden. Überschlägig wurde davon ausgegangen, dass für die beiden Alternativen der Beregnungswasserentnahmen gleiche Investitionskosten bei der Flächenerschließung entstehen. Die geschätzten Investitionskosten betragen rund 39.320.000 € (netto). Details sind der **Anlage 9.1** zu entnehmen.

### 5.7.2 Rheinwasserentnahme mit Hauptleitungen und Pumpwerken

Die Wasserentnahme aus dem Altrheinarm in Rheinnähe erfolgt über ein Hauptpumpwerk in der Nähe von Mechttersheim mit Entnahme- und Zulaufbauwerk, Grobrechen, Feinrechen, Vor-

lagekammer und Pumpwerk mit nicht regelbaren Pumpen. Das Hauptpumpwerk fördert über die Haupttransportleitung in den Zwischenbehälter Ober-Berg. An der Transportleitung sind zum Aufbau der unterschiedlichen Druckniveaus in den Versorgungszonen Druckhaltepumpwerke (DPW) mit drehzahlregelbaren Pumpen angeordnet. Die Druckhaltepumpwerke für die Hoch- (HZ) und Mittelzone (MZ) wurden zu einem Pumpwerk (DPW 1) in der Nähe des Zwischenbehälters Ober-Berg zusammengefasst. Die Tiefzone (TZ) wird über ein Druckhaltepumpwerk (DPW 2) in der Nähe von Lustadt versorgt.

Für Kostenschätzung wurde von folgenden Randwerten ausgegangen:

- Hauptpumpwerk Höhenlage: 90 müNN, Pumpleistung: 7.000 m<sup>3</sup>/h, Förderhöhe: 70 m
- Haupttransportleitung Material: duktils Gusseisen (GGG), Nennweite: 1.600 mm (DN 1.600), Leitungslänge: 14,5 km, Nenndruck: 10 bar
- Zwischenbehälter Höhenlage: 140 müNN, Volumen: 2 x 1.000 m<sup>3</sup>
- DPW 1 (HZ) Höhenlage: 140 müNN, Pumpleistung: 1.750 m<sup>3</sup>/h, Förderhöhe: 100 m
- DPW 1 (MZ) Höhenlage: 140 müNN, Pumpleistung: 1.750 m<sup>3</sup>/h, Förderhöhe: 80 m
- DPW 2 (TZ) Höhenlage: 130 müNN, Pumpleistung: 3.500 m<sup>3</sup>/h, Förderhöhe: 80 m

Die geschätzten Investitionskosten für die Rheinwasserentnahme betragen, ohne die Kosten für die Erschließung der Beregnungsfläche, rund 51.405.000 € (netto). Die geschätzten Gesamtinvestitionskosten, Rheinwasserentnahme und Erschließung der Beregnungsfläche, betragen rund 90.725.000 € (netto). Details sind der **Anlage 9.1** zu entnehmen.

### 5.7.3 Kostenvergleichsrechnung

Um die Wirtschaftlichkeit der zentrale Entnahme in Rheinnähe vergleichen zu können, wurden Kostenvergleichsrechnungen (Jahreskosten und Projektkostenbarwerte) in Anlehnung an die Leitlinien zur Durchführung Dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von 2005 durchgeführt. Als Basis dienten die Kostenschätzungen den Investitionskosten.

Für die Kostenvergleichsrechnungen wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Untersuchungszeitraum: 50 Jahre
- Nutzungsdauer Bauwerke und Leitungen: 50 Jahre
- Nutzungsdauer Pumpen (trocken aufgestellt): 17 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinenteknik und Armaturen: 17 Jahre
- Nutzungsdauer Elektrotechnik: 17 Jahre
- Realer Zinssatz: 3,0 % p.a.
- Gleichbleibende laufende Kosten (Sach-, Energie- und Personalkosten)

Die laufenden Sachkosten (pro Jahr) wurden überschlägig mit 0,2 bis 1% der zugehörigen Investitionskosten abgeschätzt.

Die laufenden Energiekosten (pro Jahr) wurden über die Jahresfördermengen und Förderhöhen der Pumpen bei einem Gesamtwirkungsgrad von 60% und einem Energiepreis von 0,12 €/kW grob abgeschätzt.

Die laufenden Personalkosten (pro Jahr) wurden über den erwarteten Betreuungsaufwand bei einem mittleren Stundenlohn von 50 €/h grob abgeschätzt.

Zur Ermittlung der Jahreskosten (JK) wurden die Investitionskosten (IK) mit Hilfe einer finanzmathematischen Umrechnungsgröße (Akkumulationsfaktor für einmalige Kosten - AFAKE) in gleichförmige Kostenreihen umgerechnet und mit den laufenden Kosten zusammengefasst. Die Ermittlung der Jahreskosten ist der Anlagen 9.1 zu entnehmen.

Zur Ermittlung der Projektkostenbarwerte (BW) wurden für den Untersuchungszeitraum die Erstinvestitions- (EI) und Reinvestitionskosten (RI) sowie die laufenden Kosten mit Hilfe von finanzmathematischen Umrechnungsgrößen (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten - DFAKE und Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen - DFAKR) auf einen Bezugszeitpunkt (Jahr 0) umgerechnet. Die Ermittlung der Projektkostenbarwerten ist der Anlage 9.2 zu entnehmen.

Es ergaben sich unter den oben genannten Festlegungen folgende Jahreskosten und Projektkostenbarwerte (netto, Tabelle 6):

Tabelle 6: Jahreskosten und Projektkostenbarwert der zentralen Entnahme in Rheinnähe

	Rheinwasserentnahme
Jahreskosten	4.807.855,69 €
Projektkostenbarwert	123.976.211,86 €

Bezogen auf die mittlere Beregnungswassermenge von 3.400.000 m<sup>3</sup>/a ergibt sich aus den Jahreskosten ein Kostendeckungspreis von 1,41 € (netto) pro Kubikmeter Beregnungswasser.

## 5.7.4 Modulares Vorgehen

Bei der Umsetzung der Maßnahme ist ein modulares Vorgehen möglich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die einzelnen Module auf Basis einer Gesamtplanung zu dimensionieren und herzustellen sind. Hierdurch wird vermieden, dass Anlagenteile nachträglich angepasst oder ausgetauscht werden müssen, was zu deutlichen Mehrkosten führen würde. Bei der zentralen Entnahme in Rheinnähe ist zunächst der große Block der eigentlichen Rheinwasserentnahme, der Transportleitung, des Zwischenbehälters und zumindest eines Druckhaltepumpwerks herzustellen. Die Investitionskosten hierfür betragen rund 47.000.000 € (netto). Das Herstellen des zweiten Druckhaltepumpwerks kann in weiteren Schritten erfolgen.

## **5.7.5 Nutzung vorhandener Berechnungsnetze**

Bei der Erschließung in der Fläche können vorhandene Berechnungsnetze prinzipiell mitgenutzt werden. Entsprechen diese vorhanden Rohrnetze in der Druckstufe der verwendeten Rohre und Armaturen sowie bei den verwendeten Widerlager dem geplanten Druckniveau von maximal 12 bar, so können sie direkt eingebunden werden. Aufgrund der sich ändernden „Einspeisepunkte“ ist die Netzstruktur hydraulisch zu überprüfen, gegebenenfalls ergibt sich daraus weiterer Optimierungsbedarf z. B. in Form von neuen, größer dimensionierten Hauptverteilerleitungen. Falls die vorhandenen Berechnungsnetze in ihrer Druckauslegung nicht dem geplanten Druckniveau von maximal 12 bar entsprechen, muss im Einzelfall überprüft werden, ob das Netz mit einem vertretbaren Kostenaufwand eingebunden werden kann. Denkbar wäre z. B. eine weitere Unterteilung der Druckzonen, was jedoch zu Mehrkosten für gesonderte Förderpumpen und Zuleitungen führt.



## 6 Zentrale Tiefbrunnengalerien

### 6.1 Hydrogeologie im Verbandsgebiet

Die hydrogeologische Schematisierung des Grundwassermodells Südpfalz (Modelldokumentation in Anhang III) wurde aus der Hydrogeologischen Kartierung (HGK) Karlsruhe-Speyer und im nördlichen Bereich aus der HGK Rhein-Neckar entwickelt. Der Übergangsbereich zwischen den beiden Kartierungen wurde mit dem LGB abgestimmt.

Die Grundwasserleiter im Oberrheingraben werden durch quartäre und pliozäne Kiese und Sande gebildet. Diese sind durch geringer durchlässige Schichten von Schluffen und Tonen in mehrere Grundwasserleiter untergliedert.

In der HGK Karlsruhe-Speyer sind großräumig bis zu 4 flächenhaft hydraulische wirksame Trennschichten und damit bis zu 5 Grundwasserleiter unterschieden. Daraus ergibt sich folgende hydrogeologische Gliederung:

- Oberer Grundwasserleiter (OGWL),
- Oberer Zwischenhorizont (OZH),
- Mittlerer Grundwasserleiter oben (MGWLo),
- Zwischenhorizont 3 (ZH3),
- Mittlerer Grundwasserleiter unten (MGWLu),
- Unterer Zwischenhorizont (UZH),
- Unterer Grundwasserleiter oben (UGWLo),
- Tieferer Zwischenhorizont (TZH),
- Unterer Grundwasserleiter unten (UGWLu),
- Festgestein.

Die Verbreitung der unterschiedlichen Trennhorizonte innerhalb des Untersuchungsgebiets zeigt **Anlage 10**. Markant ist die in Nord-Süd-Richtung verlaufende Verwerfung, die die zentrale Rheingrabenscholle von der Zwischenscholle trennt. Östlich dieser Verwerfung sind im Bereich des Verbandsgebietes Hochstadt sämtliche fünf Grundwasserleiter vorhanden, die in der HGK Karlsruhe-Speyer unterschieden werden. Im westlichen Bereich keilt sowohl nach Westen als auch nach Norden der Zwischenhorizont 3 aus. Lediglich der Obere Zwischenhorizont und der tiefe Zwischenhorizont sind im Verbandsgebiet durchgängig vorhanden.

In der HGK Karlsruhe-Speyer wurden die Sedimentabfolgen überwiegend nach lithologischen Gesichtspunkten gegliedert. Hierdurch werden auch vergleichsweise durchlässige Sande u.U. den in der HGK ausgewiesenen Trennschichten zugeordnet und diese lokal hydraulisch wirksamen Fenster bleiben unberücksichtigt. Zudem besitzt die HGK auf Grund ihres Betrachtungsraums einen regionalen Maßstab, in dessen Auflösung lokale Singularitäten nicht abgebildet werden.

Der hydrogeologische Aufbau der Untergrundes wurde für den Bereich des Verbandsgebietes anhand der Bohrprofile vorhandener Brunnen und tiefer Grundwassermessstellen überprüft.

**Anlage 11.1** zeigt die Schnittspuren der hierzu erstellten geologischen Schnitte. Die Schnittführung lässt erkennen, dass nur am Rande des Verbandsgebietes in den Talniederungen der Fließgewässer tiefere Aufschlüsse vorhanden sind. Dort haben auch die Wasserversorger ihre Brunnen errichtet. Im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Lössriedel mit ihren größeren Grundwasserflurabständen liegen praktisch keine tiefe Untergundaufschlüsse vor.

Die Analyse der tiefen Bohrprofile im engeren Untersuchungsgebiet (**Anlage 11.2** und **11.3**) zeigt im Vergleich zur Schematisierung der HGK Karlsruhe-Speyer einen deutlich heterogeneren Untergundaufbau. Über die in der HGK Karlsruhe-Speyer ausgewiesenen Trennhorizonte sind oftmals weitere geringdurchlässige Sedimentschichten in den Bohrprofilen zu erkennen, die bei der vorhandenen Aufschlussdichte jedoch nicht über größere Entfernungen korreliert werden können. Die hydraulische Trennwirkung, die in den Grundwasserstandsdifferenzen in den Mehrfachmessstellen offenkundig wird, kann vermutlich nicht durch die Durchlässigkeitseigenschaften einzelner Schichten erklärt werden.

Nach den vorliegenden Aufschlüssen ist im westlichen Untersuchungsgebiet der Anteil sandiger Substrate in den Bohrprofilen vergleichsweise hoch. Im zentralen Bereich überwiegen die Horizonte mit Schluffanteilen mit entsprechend für die Grundwassergewinnung ungünstigeren Verhältnissen. Im östlichen Teil nehmen dann die Anteile sandiger Substrate wieder spürbar zu.

## 6.2 Standorte und Auslegung

Die Festlegung der optimalen Standorte für die Tiefbrunnen erfolgte nach verschiedenen Kriterien. Die Bewässerungsentnahmen sollten in ihren Auswirkungen auf die nördlich und südlich des Verbandsgebietes gelegenen (feuchteabhängigen) naturschutzfachlichen Gebiete minimiert werden. Aus ökonomischen Gesichtspunkten sollte die Entnahme des Grundwassers nach Möglichkeit in direkter Nähe zu den zu bewässernden Gebieten (Druckzonen) erfolgen.

Die Auswertung von Pumpversuchen insbesondere von Brunnen zur Trinkwasserversorgung, die den mittleren und/oder unteren Grundwasserleiter erschließen, zeigte, dass die Leistung von Einzelbrunnen bei bis zu rund 200 m<sup>3</sup>/h liegt. Auf Grund des derzeitigen Kenntnisstandes und unter Berücksichtigung der schwierigen hydrogeologischen Verhältnisse wurde für die nachfolgend beschriebenen Modellrechnungen und Kostenschätzungen angenommen, dass eine Brunnenleistung von 175 m<sup>3</sup>/h nur erreicht werden kann, wenn sowohl der mittlere als auch der untere Grundwasserleiter erschlossen werden (Brunnen mit einer Tiefe von ca. 150 m).

Die räumliche Abgrenzung der Untergliederung des Verbandsgebietes in unterschiedliche Druckzonen wurde beibehalten (s. Kap. 5.1).

In Grundwassermodellrechnungen wurden zunächst Standorte von Tiefbrunnengalerien identifiziert, wo der Einfluss der Wasserentnahmen aus dem mittleren bzw. unteren Grundwasserleiter auf den oberen Grundwasserleiter, der im Hinblick auf den Naturschutz von besonderer Relevanz ist, vergleichsweise gering ist. Dazu sind die Brunnenstandorte, die Anzahl der Brunnen

und Brunnengalerien, die Verfilterung der einzelnen Tiefbrunnen sowie die Verteilung der Entnahmemengen variiert worden.

Grundsätzlich werden geohydraulisch günstigere Verhältnisse östlich der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Verwerfung angetroffen, die den zentralen Rheingraben von der Zwischenscholle trennt (s. Anlage 10). Es kommt dort von Westen nach Osten zu einem sprunghafter Anstieg der Mächtigkeit des unteren und mittleren Grundwasserleiter um bis zu jeweils 35 Meter und somit zu einer höheren Transmissivität im Bereich der Grabenscholle. Naturgemäß wird der durch eine Grundwasserentnahme hervorgerufene Einflussbereich mit steigender Transmissivität geringer bzw. mit geringer werdender Transmissivität größer.

Die gewählte Variante sieht in der Mittel- und Hochzone jeweils 1 Brunnengalerie mit jeweils 10 Einzelbrunnen vorgesehen. Die langgestreckte Tiefzone wird über 2 Galerien mit jeweils 10 Einzelbrunnen versorgt. Eine Galerie befindet sich zwischen Essingen und Hochstadt, eine zweite und dritte jeweils nördlich und südlich von Weingarten und die vierte südöstlich von Schwegenheim (**Anlage 12**). Bei einer Brunnenleistung von 175 m<sup>3</sup>/h sind 10 Brunnen in der Hoch- und Mittelzone erforderlich, um die den ermittelten Spitzenbedarf von 1.750 m<sup>3</sup>/h in jeder Zone abzudecken. In der Tiefzone mit einem Spitzenbedarf von 3.500 m<sup>3</sup>/h wurden 2 Galerien mit jeweils 10 Brunnen konzipiert. Jede Brunnengalerie besteht aus 10 Einzelbrunnen, einer Sammelleitung und einer Steuerzentrale. Jeder Brunnen verfügt über eine drehzahlgeregelte Unterwasserpumpe, um einen gleichmäßigen Versorgungsdruck bei schwankenden Beregnungsmengen sicherzustellen. Tabelle 7 zeigt in einer Übersicht zur Auslegung der einzelnen Brunnengalerien.

Tabelle 7: Kenndaten der Brunnengalerien

	Brunnengalerie 1 Hochzone	Brunnengalerie 2 Mittelzone	Brunnengalerie 3 Tiefzone	Brunnengalerie 4 Tiefzone
mittlere Höhenlage Brunnengalerie	144 müNN	117 müNN	120 müNN	120 müNN
Bohrdurchmesser	800 mm	800 mm	800 mm	800 mm
Bohrtiefe	150 m	150 m	150 m	150 m
Edelstahlvollrohr	49 m	72 m	71 m	82 m
Edelstahlfilter	101 m	78 m	79 m	68 m
Fördermenge Pumpe	175 m <sup>3</sup> /h	175 m <sup>3</sup> /h	175 m <sup>3</sup> /h	175 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	160 m (16 bar)	160 m (16 bar)	160 m (16 bar)	160 m (16 bar)

Eine belastbare weitere Optimierung der Brunnengalerien (exakte Brunnenstandorte, erf. Brunnenanzahl, Brunnenteufe usw.) setzt allerdings eine umfassende hydrogeologische Erkundung voraus. Im Rahmen der hydrogeologischen Erkundung ist auch die Grundwasserqualität (v.a. Eisenkonzentrationen, Mischbarkeit aus unterschiedlichen Grundwasserleitern) zu überprüfen. Die vorliegenden Rohwasseranalysen zu den Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung weisen darauf hin, dass eine Eignung zur Bewässerung gegeben ist. Wegen der heterogenen Un-

tergrundeigenschaften ist eine Übertragung auf die möglichen Standortorte der Brunnengalerien zur landwirtschaftlichen Bewässerung allerdings nur bedingt möglich.

## **6.3 Kostenschätzung Tiefbrunnengalerien**

Die Abschätzung der zu erwartenden Investitionskosten für die Tiefbrunnenanlagen zur Wassergewinnung für das Beregnungsgebiet der Südpfalz erfolgte auf Basis von Kostenangaben des Beregnungsverbandes Vorderpfalz, Literaturangaben und aktuellen Kosten von Projekten der BGS Umwelt sowie marktüblicher Preise.

### **6.3.1 Erschließung der Beregnungsfläche**

Bei der Erschließung der Beregnungsfläche wurde von einem Rohrnetz für ein Druckniveau von bis zu 12 bar ausgegangen. Es wurden daher Kosten für Rohre aus duktilem Gusseisen (GGG) mit einem Nenndruck von 16 bar angesetzt. Zwischen Beregnungsflächen mit Tropfbewässerung und Beregnungsflächen mit Regnerbewässerung wurde bezüglich der Erschließungskosten nicht unterschieden. Überschlägig wurde davon ausgegangen, dass für die beiden Alternativen der Beregnungswasserentnahmen gleiche Investitionskosten bei der Flächenerschließung entstehen. Die geschätzten Investitionskosten betragen rund 39.320.000 € (netto). Details sind der Anlage 13.1 zu entnehmen.

### **6.3.2 Tiefbrunnengalerien**

Bei den Tiefbrunnenanlagen erfolgt die Wasserentnahme aus den tieferen Grundwasserleitern über 4 Brunnengalerien. Zur Erkundung der hydrogeologischen Verhältnisse des Untergrundes sind vor dem Errichten jeder Brunnengalerie 2 Erkundungsbohrungen (Kernbohrungen mit Ausbau zur Messstelle und Pumpversuch) vorgesehen. Die Anlagen bestehen aus jeweils 10 Einzelbrunnen mit einer Tiefe von 150 m, einer Sammelleitung und einer Steuerzentrale. Jeder Brunnen verfügt über eine drehzahlgeregelte Unterwasserpumpe. Die Brunnengalerien sind den Versorgungszonen entsprechend Kap. 5.1 zugeordnet, die Hoch- (HZ) und Mittelzone (MZ) werden jeweils von einer Brunnengalerie, die Tiefzone (TZ) von 2 Brunnengalerien versorgt. Die Lage der Brunnengalerien ist in Anlage 12 dargestellt. Zur Dokumentation der Auswirkungen einer Wasserentnahme aus dem tiefen Grundwasserleiter auf die oberen Grundwasserleiter wurde ein Monitoring einschließlich der Errichtung von 10 Doppelmessstellen berücksichtigt. Des Weiteren baut die Kostenschätzung auf den Kenndaten der Tabelle 7 auf.

Die geschätzten Investitionskosten für die Brunnenanlagen betragen, ohne die Kosten für die Erschließung der Beregnungsfläche, rund 24.880.000 € (netto). Die geschätzten Gesamtinvestitionskosten, Brunnenanlagen und Erschließung der Beregnungsfläche, betragen rund 64.200.000 € (netto). Details sind der Anlage 13.1 zu entnehmen.

## 6.3.3 Kostenvergleichsrechnung

Um die Wirtschaftlichkeit der Tiefbrunnenanlagen vergleichen zu können, wurden Kostenvergleichsrechnungen (Jahreskosten und Projektkostenbarwerte) in Anlehnung an die Leitlinien zur Durchführung Dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von 2005 durchgeführt. Als Basis dienten die Kostenschätzungen den Investitionskosten.

Für die Kostenvergleichsrechnungen wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Untersuchungszeitraum: 50 Jahre
- Nutzungsdauer Bauwerke, Brunnen und Leitungen: 50 Jahre
- Nutzungsdauer Unterwasserpumpen und Datalogger: 10 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinenteknik und Armaturen: 17 Jahre
- Nutzungsdauer Elektrotechnik: 17 Jahre
- Realer Zinssatz: 3,0 % p.a.
- Gleichbleibende laufende Kosten (Sach-, Energie- und Personalkosten)

Die laufenden Sachkosten (pro Jahr) wurden überschlägig mit 0,2 bis 1% der zugehörigen Investitionskosten abgeschätzt.

Die laufenden Energiekosten (pro Jahr) wurden über die Jahresfördermengen und Förderhöhen der Pumpen bei einem Gesamtwirkungsgrad von 60% und einem Energiepreis von 0,12 €/kW grob abgeschätzt.

Die laufenden Personalkosten (pro Jahr) wurden über den erwarteten Betreuungsaufwand bei einem mittleren Stundenlohn von 50 €/h grob abgeschätzt.

Zur Ermittlung der Jahreskosten (JK) wurden die Investitionskosten (IK) mit Hilfe einer finanzmathematischen Umrechnungsgröße (Akkumulationsfaktor für einmalige Kosten - AFAKE) in gleichförmige Kostenreihen umgerechnet und mit den laufenden Kosten zusammengefasst. Die Ermittlung der Jahreskosten ist der Anlage 13.1 zu entnehmen.

Zur Ermittlung der Projektkostenbarwerte (BW) wurden für den Untersuchungszeitraum die Erstinvestitions- (EI) und Reinvestitionskosten (RI) sowie die laufenden Kosten mit Hilfe von finanzmathematischen Umrechnungsgrößen (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten - DFAKE und Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen - DFAKR) auf einen Bezugszeitpunkt (Jahr 0) umgerechnet. Die Ermittlung der Projektkostenbarwerten ist der **Anlage 13.2** zu entnehmen.

Es ergaben sich unter den oben genannten Festlegungen folgende Jahreskosten und Projektkostenbarwerte (netto, Tabelle 8):

Tabelle 8: Jahreskosten und Projektkostenbarwert der Tiefbrunnengalerien

	Brunnen
Jahreskosten	3.459.804,26 €
Projektkostenbarwert	90.641.051,60 €

Bezogen auf die mittlere Beregnungswassermenge von 3.400.000 m<sup>3</sup>/a ergibt sich aus den Jahreskosten ein Kostendeckungspreis von 1,02 € (netto) pro Kubikmeter Beregnungswasser.

### 6.3.4 Modulares Vorgehen

Bei der Umsetzung der Maßnahme ist ein modulares Vorgehen möglich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die einzelnen Module auf Basis einer Gesamtplanung zu dimensionieren und herzustellen sind. Hierdurch wird vermieden, dass Anlagenteile nachträglich angepasst oder ausgetauscht werden müssen, was zu deutlichen Mehrkosten führen würde.

Bei der Wasserentnahme aus Tiefbrunnengalerien ist bei einem modularen Vorgehen eine Aufteilung nach Brunnenanlagen sinnvoll. Hierbei ist zunächst die jeweilige Brunnengalerie herzustellen. Die Investitionskosten pro Brunnengalerie, inklusive Erkundungsbohrungen und Grundwassermessstellen für ein Monitoring, betragen rund 6.300.000 € (netto).

### 6.3.5 Nutzung vorhandener Beregnungsnetze

Bei der Flächenerschließung können vorhandene Beregnungsnetze prinzipiell mitgenutzt werden. Entsprechen diese vorhanden Rohrnetze in der Druckstufe der verwendeten Rohre und Armaturen sowie bei den verwendeten Widerlager dem geplanten Druckniveau von maximal 12 bar, so können sie direkt eingebunden werden. Aufgrund der sich ändernden „Einspeisepunkte“ ist die Netzstruktur hydraulisch zu überprüfen, gegebenenfalls ergibt sich daraus weiterer Optimierungsbedarf z. B. in Form von neuen, größer dimensionierten Hauptverteilerleitungen. Falls die vorhandenen Beregnungsnetze in ihrer Druckauslegung nicht dem geplanten Druckniveau von maximal 12 bar entsprechen, muss im Einzelfall überprüft werden, ob das Netz mit einem vertretbaren Kostenaufwand eingebunden werden kann. Denkbar wäre z. B. eine weitere Unterteilung der Druckzonen, was jedoch zu Mehrkosten für gesonderte Förderpumpen und Zuleitungen führt.

## 7 Einfluss der Varianten zur Gewinnung von Beregnungswasser auf die Grundwasserstände

In stationären und instationären Modellrechnungen sind die Einflussbereiche der gesamten landwirtschaftlichen Beregnungswasserentnahmen in der Südpfalz sowie der Beregnungswasserentnahmen im Verbandsgebiet für die Varianten oberflächennahe Grundwasserentnahme mittels dezentraler Einzelbrunnen, Tiefbrunnen sowie zentraler Rheinentnahme ermittelt und miteinander verglichen worden. In Anhang III, Modelldokumentation, ist die Vorgehensweise bei der stationären und instationären Kalibrierung des Modells detailliert beschrieben. Es sind u.a. dort die zu Grunde liegenden Fördermengen der öffentlichen Wasserversorger, Industrie- und Gewerbebrunnen sowie der Beregnungswasserentnahmen aufgeführt.

Zur Ermittlung der Einflussbereiche werden in zwei Simulationsläufen zum einen die Grundwasserstände mit Förderung der Beregnungsbrunnen und zum anderen die Grundwasserstände ohne Förderung der Beregnungsbrunnen berechnet und die sich daraus ergebende Grundwasserstandsdifferenz im oberen Grundwasserleiter bestimmt.

In der Regel überlagern sich bei der landwirtschaftlichen Beregnung Jahre mit erhöhtem Wasserbedarf mit Jahren verringerter Grundwasserneubildung. Die Grundwasserstandsabsenkungen sind dann vergleichsweise hoch und weitreichend. Dieser Sachverhalt wurde in instationären Modellläufen über den Zeitraum 1998-2007 vertiefend untersucht, indem die Wirkung verringerter Grundwasserneubildung auf die Grundwasserstände ab 2003 mit den instationären Beregnungsentnahmen aus der Ermittlung des Beregnungsbedarfs für das Verbandsgebiet (Tab. 4, S. 20, und Tab. 5, S. 21) überlagert wurden. Die Grundwasserentnahmen für das übrige Modellgebiet blieben wegen der weniger gut abgesicherten Daten zur Beregnungspraxis vereinfacht konstant.

### 7.1 Dezentrale Beregnung

#### Mittlere Grundwasserentnahme von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a, aktuelle Nutzungsverhältnisse

Unter den aktuellen Nutzungsverhältnissen werden bei mittleren klimatischen Verhältnissen Grundwasserentnahmen von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung im Verbandsgebiet Hochstadt und von 10,7 Mio. m<sup>3</sup>/a für das gesamte Untersuchungsgebiet (Modellgebiet) erforderlich.

**Anlage 14.1** zeigt, dass sich der Haupteinflussbereich in etwa nördlich von Herxheim bis zur Linie Walsheim-Kleinfischlingen-Dudenhofen erstreckt. Weiterhin sind östlich von Neustadt sehr kleine Absenkungsflächen der Grundwasserstände zu erkennen. Im Osten des Untersuchungsgebietes werden die Grundwasserstände durch den Rhein und das Vorflutsystem in der Rheinterrasse stabilisiert, so dass der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung nicht signifikant in die Rheinniederung hineinreicht. Da auch im übrigen Untersuchungsgebiet die Grund-

wasserstände bereichsweise stark durch die Wechselwirkungen zu den Oberflächengewässern geprägt sind, wird auch der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung durch verschiedene Fließgewässer begrenzt. Besonders deutlich ist dies im Bereich des Gewässersystems Modenbach, Triefenbach und Krebsbach im Norden sowie im Bereich des Klingbachs und Erlenbachs im Süden des Untersuchungsgebietes zu erkennen. Trotz der hohen Zahl an Beregnungsbrunnen liegt die Grundwasserstandsabsenkung unter 0,25 m. Auch die dazwischen verlaufenden Gewässer Hainbach, Hofgraben, Queich und Spiegelbach begrenzen den Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung in Teilbereichen. Deutliche Absenkungen treten zwischen Ottersheim und Herxheim sowie zwischen Hochstadt und Schwegenheim sowie östlich von Schwegenheim auf. Die Absenkungen betragen dort weiträumig über 0,5 m. Die maximalen Absenkungen von über 1 m wurden in Weingarten sowie zwischen Weingarten und Schwegenheim berechnet.

## Erhöhte Beregnungsentnahmen in einer Trockenperiode, akt. Nutzungsverhältnisse

Unter den Witterungsverhältnissen der Jahres 1998-2007 waren Grundwasserentnahmen von bis zu 4,6 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung (s. Tab. 4) bei den derzeitigen Nutzungsverhältnissen im Verbandsgebiet erforderlich.

In **Anlage 14.2** ist ein instationär berechneter max. Einflussbereich der dezentralen Beregnungsbrunnen für die derzeitigen Nutzungsverhältnisse während einer Trockenperiode dargestellt. Ein Vergleich dieser Anlage mit der entsprechenden stationären Betrachtung (Anlage 14.1) zeigt zum einen, dass sich die Einflussbereiche durchgängig vergrößern. Zum anderen sind nun auch südlich des Klingbachs kleinräumige Absenkungen insbesondere westlich von Kandel sowie eine weiträumige Absenkung zwischen Kandel und Hayna mit Beträgen größer 50 cm zu erwarten. Deutliche Absenkungen treten innerhalb des Verbandsgebietes zwischen Hochstadt bis ca. 2 km östlich von Schwegenheim auf. Die Absenkungen betragen dort weiträumig über 0,5 m und erstrecken sich in südliche Richtung bis weit in das FFH- und Vogelschutzgebiet Bellheimer Oberwald. Die maximalen Absenkungen von über 1 m werden zwischen Hochstadt und Schwegenheim prognostiziert. Nördlich des Verbandsgebietes reicht der Einflussbereich bis Geinsheim.

## Mittlere Grundwasserentnahme von 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a, Zukunftsszenario

Bei dem verstärkten Anbau bewässerungsbedürftiger Kulturen entsprechend dem Zukunftsszenario werden bei mittleren klimatischen Verhältnissen Grundwasserentnahmen von 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung im Verbandsgebiet Hochstadt und von 25,3 Mio. m<sup>3</sup>/a für das gesamte Untersuchungsgebiet (Modellgebiet) erforderlich.

In **Anlage 14.3** ist der Einflussbereich für mittlere klimatische Verhältnisse und den zukünftigen Nutzungsverhältnissen dargestellt. Infolge der höheren Entnahmemenge ist der Einflussbereich gegenüber der mittelfristigen Prognose allgemein deutlich vergrößert. Deutlich verstärkt treten



im nordwestlichen Untersuchungsgebiet dann weiträumige Absenkungen der Wasserstände im oberen Grundwasserleiter auf. Auch südlich von Herxheim bzw. des Klingbachs sind nun signifikante Grundwasserstandsdifferenzen über eine größere Fläche zu erkennen, wobei die maximalen Absenkungen von 0,5 m nördlich von Hatzenbühl und nördlich von Kandel sowie im Bereich Ingenheim auftreten. Nördlich von Herxheim ist eine weiträumige Absenkung von über 1 m auf einer Fläche von ca. 20 km<sup>2</sup> dargestellt, die bis Offenbach reicht. Zwischen Hochstadt und Schwegenheim sowie östlich von Schwegenheim liegt die Grundwasserstandsabsenkung ebenfalls über 1 m. Es ist gut zu erkennen, wie die Ausdehnung des Einflussbereichs durch die Wechselwirkungen zu den Fließgewässern begrenzt wird. Großräumig reichen die Einflussbereiche in naturfachliche Schutzgebiete.

## Erhöhte Beregnungsentnahmen in einer Trockenperiode, Zukunftsszenario

Unter den Witterungsverhältnissen der Jahres 1998-2007 werden Grundwasserentnahmen von bis zu 6,3 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung des Verbandsgebiets Hochstadt (s. Tab. 5) bei dem verstärkten Anbau bewässerungsbedürftiger Kulturen entsprechend dem Zukunftsszenario erforderlich.

In **Anlage 14.4** ist der instationär berechnete max. Einflussbereich der dezentralen Beregnungsbrunnen für die zukünftigen Nutzungsverhältnisse während einer Trockenperiode dargestellt. Gegenüber der entsprechenden stationären Betrachtung vergrößern sich die Einflussbereiche weiter und erstrecken sich mit Ausnahme des Bienwalds im Süden sowie der Speyerbachschwemmkegel im Norden über weite Teile des Untersuchungsgebietes. Innerhalb des Verbandsgebietes breitet sich der Bereich mit Absenkungen über einem Meter zwischen Hochstadt und Schwegenheim vor allem in nördliche und südliche Richtung bis in den Bellheimer Oberwald aus. Westlich von Schwegenheim wird eine Absenkung der Grundwasserstände von über 2,5 m prognostiziert, die bis Weingarten reicht. Südlich des Verbandsgebietes, zwischen Herxheim und Ottersheim, sind die Unterschiede zu der stationären Berechnung (Anlage 14.3) vergleichsweise gering. Hier wirken die Fließgewässer stabilisierend auf die Grundwasserstände und begrenzen somit die Ausdehnung des Einflussbereichs.

## **7.2 Zentrale Rheinentnahme**

Die zentrale Beregnungswasserentnahme aus den Oberflächengewässern der Rheinniederungen soll die Wasserentnahme der dezentralen Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes vollständig ersetzen. Die in den Anlagen 15.1 bis 15.4 dargestellten Einflussbereiche zeigen damit die Grundwasserabsenkungen im oberen Grundwasserleiter in Folge der Beregnungstätigkeit außerhalb des Verbandsgebietes Hochstadt.

## Aktuelle Nutzungsverhältnisse

Unter den derzeitigen Nutzungsverhältnissen zeichnen sich bei einer optimalen Bewässerung der beregnungsbedürftigen Kulturen lediglich im Raum Offenbach möglicherweise naturfachliche Konflikte mit den Beregnungsentnahmen aus oberflächennahen dezentralen Einzelbrunnen ab. Dort reichen flächige Grundwasserabsenkungen über 25 cm bis in Teilflächen der angrenzenden naturfachlichen Schutzgebiete hinein. Dagegen treten weder innerhalb des Verbandsgebietes noch in den angrenzenden Fläche der Schutzgebiete signifikante Absenkungen im oberen Grundwasserleiter auf (**Anlage 15.1**). Insgesamt sind die Absenkungen jedoch allgemein etwas geringer, da infolge der Rheinwasserentnahme zur Beregnung des Verbandsgebietes Hochstadt der derzeitige weiträumige Einfluss der Grundwasserentnahmen der dezentralen Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes wegfällt.

In **Anlage 15.2** ist ein instationär berechneter Einflussbereich der dezentralen Beregnungsbrunnen bei zentraler Rheinentnahme für die derzeitigen Nutzungsverhältnisse während einer Trockenperiode dargestellt. Auch bei instationärer Betrachtung treten weder innerhalb des Verbandsgebietes noch im Bereich der angrenzenden Schutzgebiete signifikante Absenkungen im oberen Grundwasserleiter auf. Es ist zu erkennen, dass sich der größte Einflussbereich südlich des Verbandsgebietes bei Herxheim und Ottersheim im wesentlichen Richtung Nordosten ausdehnt. Vor allem im Bereich Hayna/Hatzenbühl treten temporär Grundwasserabsenkungen über 25 cm auf.

## Zukunftsszenario

Bei den erforderlichen Beregnungshöhen für eine optimale Beregnung bei den zukünftigen Nutzungsverhältnissen mit einem höheren Anteil beregnungsbedürftiger Kulturen steigen bei mittleren Verhältnissen die Grundwasserentnahmen aus oberflächennahen dezentralen Einzelbrunnen außerhalb des Verbandsgebietes auf insgesamt 20,5 Mio. m<sup>3</sup>/a.

Der Einfluss der Beregnungsentnahmen im Raum Offenbach/Herxheim/Bellheim dehnt sich signifikant bis das südwestliche Verbandsgebiet aus (**Anlage 15.3**). Im westlichen Untersuchungsgebiet, insbesondere östlich von Landau, sind Absenkungen über 0,5 m auch in naturfachlichen Schutzgebieten zu erwarten. In **Anlage 15.4** ist der entsprechende instationär berechneter Einflussbereich in einer Trockenperiode dargestellt. Der Einflussbereich dehnt sich gegenüber mittleren Verhältnissen erwartungsgemäß noch etwas aus.

## 7.3 Tiefbrunnenanlagen

### Mittlere Grundwasserentnahme von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a, aktuelle Nutzungsverhältnisse

Unter den aktuellen Nutzungsverhältnissen werden bei mittleren klimatischen Verhältnissen Grundwasserentnahmen von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung im Verbandsgebiet Hochstadt und von 10,7 Mio. m<sup>3</sup>/a für das gesamte Untersuchungsgebiet (Modellgebiet) erforderlich.

Die 4 Tiefbrunnengalerien sollen die Wasserentnahme der dezentralen Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes vollständig ersetzen (s. Anlage 8). Anhand der **Anlage 16.1** ist zu erkennen, dass sich der Haupteinflussbereich der Beregnungswasserentnahmen bei Ersatz der bestehenden Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes durch Tiefbrunnengalerien bei mittleren klimatischen Verhältnissen unter den derzeitigen Nutzungsverhältnissen in etwa nördlich von Herxheim über Landau bis zur Linie Edesheim-Kleinfischlingen-Dudenhofen erstreckt. Deutliche großflächige Absenkungen über 0,5 m treten bei Essingen und Hochstadt, Herxheim und Offenbach sowie östlich von Schwegenheim auf. Im Vergleich zur dezentralen Beregnung aus oberflächennahen Brunnen (Anlage 14.1) verlagert sich der Einflussbereich deutlich Richtung Westen. Zwischen Hochstadt und Schwegenheim verringern sich die Grundwasserstandsdifferenzen dagegen. Während bei ausschließlich dezentraler Beregnung im Bereich Weingarten und Schwegenheim Grundwasserstandsabsenkungen von über 1 m berechnet wurden, liegen sie jetzt überwiegend zwischen 0,25 und 0,5 m. Wie bereits in Kap. 6.2 näher erläutert, liegt die Ursache dafür in den hydrogeologischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet mit deutlich höheren Transmissivitäten im östlichen Bereich.

### Erhöhte Beregnungsentnahmen in einer Trockenperiode, akt. Nutzungsverhältnisse

In **Anlage 16.2** ist der instationär berechnete max. Einflussbereich der Beregnungswasserentnahmen aus Tiefbrunnengalerien während einer Trockenperiode dargestellt. Unter den Witterungsverhältnissen der Jahres 1998-2007 waren Grundwasserentnahmen von bis zu 4,6 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung im Verbandsgebiet (s. Tab. 4) bei den derzeitigen Nutzungsverhältnissen erforderlich.

Die Grundwasserstandsabsenkungen über 25 cm weiten sich im Vergleich zu mittleren klimatischen Verhältnissen (Anlage 16.3) vor allem im Bereich des Verbandsgebietes in nördliche und südliche Richtung aus. Somit ist während einer Trockenperiode auch nördlich des Modenbachs bei Gommersheim sowie südlich der Druslach bis weit in den Bellheimer Oberwald hinein mit verringerten Grundwasserständen aufgrund der Beregnungswasserentnahmen zu rechnen. Bei Weingarten und Schwegenheim betragen die Absenkungsbeträge weiträumig über 0,5 m und östlich von Schwegenheim über 1 m.

## Mittlere Grundwasserentnahme von 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a, Zukunftsszenario

Bei dem verstärkten Anbau bewässerungsbedürftiger Kulturen entsprechend dem Zukunftsszenario werden bei mittleren klimatischen Verhältnissen Grundwasserentnahmen von 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung im Verbandsgebiet Hochstadt und von 25,3 Mio. m<sup>3</sup>/a für das gesamte Untersuchungsgebiet (Modellgebiet) erforderlich.

**Anlage 16.3** zeigt den Einflussbereich sämtlicher Beregnungswasserentnahmen bei Ersatz der bestehenden Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes durch Tiefbrunnengalerien. Nördlich und südlich des Verbandsgebietes ist mit weiträumigen Absenkungen über 0,25 m zu rechnen, auch innerhalb von FFH- und Vogelschutzgebieten. Deutliche Grundwasserstandsabsenkungen über 0,5 m treten flächendeckend von Edesheim über Hochstadt, Weingarten, Schwegenheim bis Dudenhofen auf. Zwischen Essingen und Hochstadt sowie östlich von Schwegenheim betragen die Grundwasserstandsdifferenzen mehr als 1 m.

## Erhöhte Beregnungsentnahmen in einer Trockenperiode, Zukunftsszenario

Unter den Witterungsverhältnissen der Jahres 1998-2007 werden Grundwasserentnahmen von bis zu 6,3 Mio. m<sup>3</sup>/a für eine optimale Beregnung des Verbandsgebiets Hochstadt (s. Tab. 5) bei dem verstärkten Anbau bewässerungsbedürftiger Kulturen entsprechend dem Zukunftsszenario erforderlich.

In **Anlage 16.4** ist der max. Einflussbereich sämtlicher Beregnungswasserentnahmen bei Ersatz der bestehenden Beregnungsbrunnen innerhalb des Verbandsgebietes durch Tiefbrunnen während einer Trockenperiode dargestellt. Der Einflussbereich weitet sich insbesondere im Bereich des Verbandsgebiets weiter aus, hier vor allem in nördliche und südliche Richtung im Vergleich zu der entsprechenden Prognose für mittlere klimatische Verhältnisse (Anlage 16.5). Weiträumige Grundwasserstandsabsenkungen über 1 m treten bei Weingarten und Schwegenheim, zwischen Hochstadt und Essingen sowie in südliche Richtung bis Herxheim auf. Südlich des Verbandsgebietes im Bellheimer Oberwald beträgt die Grundwasserabsenkung in weiten Teilen 0,25 m bis 1 m.

## Stoffverlagerung in tiefere Grundwasserleiter

Um eine Einschätzung über eine potenzielle Gefährdung des tieferen Grundwassers durch eine Verlagerung an der Oberfläche eingetragener Stoffe zu erhalten, wurden die Druckverhältnisse zwischen den Grundwasserleitern bei den untersuchten Varianten näher untersucht. Ein weiterer Transport der Schadstoffe bis in die tiefer liegenden Grundwasserleiter, aus denen die Trinkwasserbrunnen meist fördern, kann naturgemäß nur dann erfolgen, wenn der Wasserdruck im mittleren und/oder unteren Grundwasserleiter geringer ist als im oberen Grundwasserleiter. Der entsprechenden Berechnung liegen die Entnahmemengen der Tiefbrunnen für die derzeitigen Nutzungsverhältnisse sowie mittlere klimatische Verhältnisse zu Grunde. Die flächenhafte Auswertung dieser Druckdifferenzen zeigt, dass die Potentiale sowohl im mittleren als auch im

unteren Grundwasserleiter innerhalb des Verbandsgebietes durchgehend geringer sind als im oberen Grundwasserleiter. Die Druckdifferenzen zwischen dem oberen und mittleren Grundwasserleiter liegen bei ca. 0,5 bis 2 m, während sie zwischen dem mittleren und unteren Grundwasserleiter mit ca. 0,05 bis 0,25 m deutlich geringer sind. Somit ist eine Verlagerung von Schadstoffen in tiefere Grundwasserleiter grundsätzlich bei einer Umstellung auf tiefe Grundwasserentnahmen zur Beregnung möglich.

## Zwischenlösung für den Raum Hochstadt

Eine mögliche Umstellung der dezentralen Beregnung auf Tiefbrunnen kann sukzessive erfolgen. Auf Grund der bekannten ökologischen Probleme im Hochstädter Wald kommt in einem ersten Schritt die Umstellung auf eine Gewinnung aus Tiefbrunnen in der westlichen Tiefzone in Frage. Die zugehörige Tiefbrunnengalerie soll östlich von Lustadt eingerichtet werden (s. Anlage 8). **Anlage 16.5** zeigt den zugehörigen Einflussbereich für mittlere klimatische Verhältnisse unter den aktuellen Nutzungsverhältnissen. Die Grundwasserentnahme aus der Tiefbrunnengalerie beträgt 0,85 Mio. m<sup>3</sup>/a. Aus den verbleibenden dezentralen Einzelbrunnen werden 2,55 Mio. m<sup>3</sup>/a gefördert. Ein Vergleich dieser Anlage mit Anlage 14.1 (dezentrale Beregnung, stationär, aktuelle Nutzungsverhältnisse) zeigt, dass die Grundwasserstandsabsenkungen östlich von Weingarten sowie südlich von Offenbach in beiden Berechnungen nahezu identisch sind und die Umstellung der Beregnung in diesen Bereichen somit ohne Wirkung auf die Wasserstände im oberen Grundwasserleiter bleibt. Im Raum Hochstadt sind dagegen deutliche Verbesserungen zu erkennen. Insbesondere südwestlich von Hochstadt liegen die berechneten Absenkungen in weiten Bereichen unterhalb der Signifikanzgrenze von 0,25 m.

## 8 Natur- und forstfachliche Wechselwirkungen im Raum des Verbandsgebiets Hochstadt

### 8.1 Hintergrund

In der Studie ‚Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz‘ wurde deutlich, dass sich insbesondere in den westlichen Teilflächen des FFH-Gebiets „Bellheimer Wald mit Queichtal“ (Raum Hochstadt und Zeiskam) Konflikte zwischen der Grundwassernutzung zur landwirtschaftlichen Beregnung und dem Naturschutz abzeichnen.

Nachfolgend wird dieser Naturraum (Queichschwemmkegel), aber auch die nördlich an den Raum Hochstadt angrenzenden Bachauen und Natura 2000-Gebiete einer vertieften Analyse und Bewertung unterzogen. Dieser engere Untersuchungsraum reicht vom Krebsbach (auch „Kropsbach“ genannt) im Norden bis zum Südrand des Queichschwemmkegels, der etwa auf der Höhe der Ortschaften Offenbach, Ottersheim und Bellheim verläuft (**Anlagen 17.1 u. 17.3**).

Neben den Ergebnissen der genannten Studie haben auch konkrete Beobachtungen zur Auswahl des engeren Untersuchungsgebietes beigetragen. Das vermehrte Trockenfallen zahlreicher Bäche und Gräben südlich und nördlich von Hochstadt hat die Sorge der Bevölkerung, die landwirtschaftliche Grundwasserentnahme könne zu einer „Entwässerung“ der Landschaft führen, in den vergangenen Jahren verstärkt.

Beispiele für trocken gefallenen Gewässer sind (zur Lage vgl. Anlage 17.1):

- **Modenbach:** „Seite einigen Jahren ist am Modenbach im Bereich der Gemarkungen Großfischlingen und Freimersheim in den Sommermonaten das Trockenfallen des Gewässers zu beobachten“.
- **Hainbach:** Fiel im Sommer 2005 für 3 Monate trocken ([www.bund-pfalz.de](http://www.bund-pfalz.de)). „Schon früher war dieses Gewässer etwas schwächlich in seiner Wasserführung; dass es heute jedoch im Sommer oft über lange Wochen oder gar Monate hinweg trocken da liegt, ist neu ...“.
- **Hofgraben:** „Der [...] Hofgraben, der den Wald von der freien Landschaft abgrenzt, hatte im Unterschied zu früheren Jahren im Dezember 2009 immer noch kein Wasser; erst die kräftigen Niederschläge um die Jahreswende haben ihm etwas Wasser gebracht.“
- **Floßbach:** Mai 2009 zeitweise trocken (Sendung SWR Juni 2009); „Seit 2003 häufiger trocken gefallen.“



Abb. 4: Trockener Hofgraben südlich Hochstadt (oberhalb des Fuchsbachzulaufes) am 06.08.2010

In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst die vom Grundwasser geprägten Standorte über den Grundwasserflurabstand und die Bodentypen abgegrenzt (Kap. 8.2). Als weitere Bewertungsgrundlage werden in **Anhang II** die Schutzgebiete nach Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG) und die feuchteabhängigen Lebensräume und Arten beschrieben. Dort wird auch die Sensibilität der Feuchtbiotop gegenüber Veränderungen des Grundwasserspiegels bewertet.

Die Bewertung möglicher Konflikte zwischen Naturschutz / Forstwirtschaft und landwirtschaftlicher Beregnung erfolgt in zwei Stufen. In Kapitel 8.3 werden die bereits aktuell bestehenden, aus Veränderungen des Grundwasserspiegels resultierenden Vorbelastungen dargestellt. Die eigentliche Bewertung des zukünftigen Konfliktpotentials erfolgt in Kapitel 8.4.

## 8.2 Vom Grundwasser geprägte Standorte

### 8.2.1 Grundwasserflurabstand

Eine erste Eingrenzung der potentiell von Grundwasserentnahmen betroffenen Lebensräume kann über den Grundwasserflurabstand erfolgen. Ein prägender Einfluss auf die Biotoptypen ist bei folgenden Flurabständen zu erwarten:

- Offenland: Flurabstand (deutlich) geringer als 1,5 m
- Wald: Flurabstand (deutlich) geringer als 3,0 m

Bei größeren Flurabständen kann ein Kontakt zum Grundwasser bestehen (z.B. einzelne tief wurzelnde Bäume), dieser ist jedoch i.d.R. nicht mehr prägend für die Wasserversorgung der Pflanzen.

**Anlage 17.2** zeigt den Flurabstand des oberen Grundwasserleiters (OGWL) für mittlere klimatische Verhältnisse. Es ist eine klare Differenzierung zwischen den höher gelegenen Lößriedeln (Schwegenheimer Lössplatte, Herxheim-Offenbacher Lössplatte) mit größeren Flurabständen und den fluviatil entstandenen Schwemmkegeln der Queich und des Speyerbachsystems mit geringen Flurabständen zu erkennen.

Auf den Lössplatten kann bei Flurabständen von großflächig mehr als 5,0 m ein Einfluss des OGWL auf die Vegetation und die Tierwelt ausgeschlossen werden. Auf den Kuppen steigen die Werte auf mehr als 20 m an. Nur in den Randlagen zu den Schwemmkegeln und in den Bachauen (z.B. Kaltenbach bei Kleinfischlingen) werden lokal geringe Werte von z.B. weniger als 1,0 m erreicht.

Grundwasserflurabstände von weniger als 3,0 m herrschen großflächig

- im Queichschwemmkegel,
- im Speyerbachschwemmkegel und
- in den Auen von Modenbach, Triefenbach und Krebsbach.

Dabei werden in den Bachauen, aber auch im Essinger, Offenbacher und Hochstädter Wald Werte von weniger als 1,0 m erreicht.

Etwa östlich einer gedachten Nord-Süd-Linie Freisbach - Lustadt - Knittelsheim nehmen die Flurabstände durch aufgelagerte Dünensande und die Wirkung des tiefer liegenden Rheins wieder auf Werte von mehr 4,0 m zu (Anlage 17.2). Dies gilt insbesondere für den östlichen Bellheimer Wald, dessen Baumbestände keinen Kontakt mehr zum OGWL haben.

## 8.2.2 Bodeneigenschaften

Die potentiell grundwasserabhängigen Lebensräume treten noch deutlicher bei der Betrachtung der grundnassen, d.h. durch anhaltend hohe Grundwasserstände geprägten Bodentypen hervor. Mehr oder minder stark von Grundnässe geformte Bodentypen beschränken sich auf die bereits genannten Schwemmkegel und Bachauen (Anlage 17.3).

Es handelt sich vorwiegend um **Gleye**, d.h. Böden, die unter nachhaltig höher stehendem Grundwasser (zeitweilig weniger als 4 dm unter der Geländeoberfläche bei geringen Schwankungsamplituden) entstanden sind (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005; **Anlage 17.4**):

- **Pseudogley-Gley**: zusätzlich stauende Bodenschichten (z.B. tonige Substrate) im Oberboden (westlicher Teil des Queichschwemmkegels)
- **Auengleye**: Gley mit Auendynamik im gesamten Profil, große Schwankungsamplitude des Grundwasserspiegels (Queichschwemmkegel, Bachauen)
- **Wechselgleye**: Böden mit stark schwankendem Grundwasser außerhalb der Auen (Wälder nördlich Schwegenheim)



- **(Norm-) Gleye** (z.B. Kaltenbachaue)
- **(Norm-) Vega:** Braunerdeähnlicher Auenboden (Queichschwemmkegel, Modenbachaue)

Wie aus Anlage 17.3 hervorgeht, handelt es sich in den meisten Fällen jedoch um „**reliktische Böden**“, d.h. Bodentypen mit „reliktischer Vergleyung im Untergrund“ oder Böden „mit abgesenktem Grundwasser“, d.h. die Grundwasserstände liegen aktuell tiefer als in den Jahrhunderten und Jahrtausenden der Bodenentstehung zuvor. Neben jüngeren Entwicklungen (z.B. Entwässerungsmaßnahmen, Grundwasserentnahmen) fallen hierunter vor allem langfristige Veränderungen des Wasserhaushaltes (z.B. seit der letzten Kaltzeit). Unter den aktuellen Grundwasserflurabständen von z.B. mehr als 2,0 m im Bellheimer Wald könnten sich keine Gleye mehr bilden. Die Bodentypen sind demnach Ausdruck eines ehemals deutlich höheren Grundwasserstandes im Bereich der Schwemmkegel und einiger Bachauen.

Weiterhin wirksam für die Vegetation sind **stauende Bodenschichten**, die insbesondere im **westlichen Queichschwemmkegel** (Dreieck zwischen Landau, Lustadt und Bellheim; vgl. Naturräumliche Gliederung in Anlage 17.3) unter den Wäldern und Wiesen auftreten (Pseudogley-Gley). Nahe dem Hochstädter Bahnhof folgt z.B. unter Flugsand (z.B. 50-70 cm) ein gering durchlässiger, teilweise toniger Lehm oder Lehmsand (Hochflutsedimente aus dem Pleistozän). Darunter liegen tiefe, kiesführende Schwemmsande (Pleistozän) oder Flusskiese (Niederterrasse). Diese tonigen und damit stauenden Schichten sind eine entscheidende Ursache für die zeitweise im Hochstädter Wald und den Wiesen auftretenden **Vernässungen** oder, bei entsprechend hohen Niederschlägen bzw. dem Zustrom von Oberflächenwasser, anhaltenden **Überstauungen**. Es ist davon auszugehen, dass die im Hochstädter Wald heute noch sichtbaren, flachen Entwässerungsgräben (Abb. 5) vorwiegend das oberflächennahe Stauwasser abführen sollen und nur bedingt das Wasser des oberen Grundwasserleiters. In nassen Jahren sind die staunassen Waldböden z.B. ab Mitte Dezember nicht mehr zu bearbeiten, Rückegassen können nicht mehr befahren werden (Herr GLASER, ehem. Revierleiter im Hochstädter Wald, mündl. 2010).

In Trockenphasen verschärfen die stauenden Bodenschichten den Wassermangel, da die lehmig-tonigen, in Nassphasen auch sauerstoffarmen Substrate, eine tiefere Durchwurzelung behindern. Dies zeigt sich u.a. an den flachen Wurzeltellern umgeworfener Bäume. Die tieferen Bodenhorizonte können demnach auf den Pseudogley-Gleyen nur eingeschränkt zur Wasserversorgung genutzt werden. Der insgesamt unausgeglichene Bodenwasserhaushalt äußert sich in einer **ausgeprägten Wechselfeuchte**. Diese kann kleinräumig durch mehr oder minder starke Übersandungen des Oberbodens modifiziert werden.



Abb. 5: Verfallener Entwässerungsgraben im Hochstädter Wald (06.08.2010)

In der **forstlichen Standorttypenkarte** treten im Vergleich mit der Bodenkarte die Bodenarten (Korngrößenzusammensetzung) stärker hervor. Im Bereich der Pseudogley-Gleye des westlichen Queichschwemmkegels zeigt die Standorttypenkarte die wechselnden Sandanteile oder die Herkunft der Sande. Es dominieren „wechselfrische Lehme“ und „wechselfrische (arme) (eiszeitliche) Sande“. Im Essinger Wald nördlich der Golfplatzes sind es vorwiegend Lößlehme, im Bereich der aktuellen oder ehemaligen Gewässer auch „lehmige Bachauen“. Die Frische- und Leistungsstufen schwanken vorwiegend im Bereich zwischen „ziemlich frisch“ und „äußerst frisch“.

Auf der Höhe von Freisbach wird die Modenbachaue von „lehmigen Bachauen“ eingenommen, nach Osten folgen „übersandete (wechselfrische) Lehme“ und Dünen.

Die stärker übersandeten Flächen werden in der Standorttypenkarte („arme Sande“, „Dünen- und Flugsande“) als „mäßig trocken“ bis „trocken“ eingestuft. Dies betrifft z.B. den Bellheimer Wald und Teile des Schwegenheimer Waldes.

## 8.2.3 Oberflächengewässer

### 8.2.3.1 Struktur

Das Fließgewässersystem ist deutlich in West–Ost–Richtung von der Haardt in Richtung Rhein orientiert. In die Lössplatten haben sich die zahlreichen Gewässer eingeschnitten. In den breiteren Bachauen (z.B. Modenbach) und in den Schwemmkegeln der Queich und des Speyerbachs überwiegt zunächst die Ablagerung des aus dem Pfälzer Wald herangeführten sandigen Mate-

rials. Entsprechend flach ist Gelände ausgeprägt, die Niveauunterschiede zwischen den Bachauen und den angrenzenden Flächen sind insbesondere im Westen gering. In Richtung des Rheins, wo die Gewässer aufgewehrte Flugsande oder Dünen durchschneiden, ist auch die Geländeform etwas bewegter (z.B. Bellheimer Wald).

Zur Regulierung und Nutzung des Wassers wurden die Oberflächengewässer seit Jahrhunderten vertieft, begradigt, befestigt, aufgestaut und umgeleitet; zahlreiche Gewässer wurden neu angelegt. Ein markantes Beispiel für ein neu geschaffenes Gewässer ist der Fuchsbach, der als Ausleitung der Queich an der Fuchsmühle beginnt, den Hochstädter Wald durchquert, über den Floßbach geleitet wird und – westlich Zeiskam am „Buweabloß“ wieder geteilt – die Druslach und den Hofgraben mit Wasser versorgt (Abb. 5).<sup>1</sup> Ebenso aus einer Ausleitung bzw. Gewässerteilung der Queich geht am Ottersheimer Teilungwehr der Spiegelbach hervor, der von der Queich nach Südosten in Richtung Bellheim fließt.

**Anlage 18.1** zeigt das komplexe, von der Queich abhängige Fließgewässersystem zwischen Offenbach, Zeiskam und Bellheim mit den zugehörigen Wehren, Ableitungen und Mühlen.

Vergleichbare Bau- und Regulierungsmaßnahmen, aber auch Streit um das Wasser, gab es am Modenbach und den nördlich angrenzenden Bächen.

---

<sup>1</sup> nach „Suonen - Bisses - Wasserfuhren - Waale – Levadas“ (<http://www.vsck-khe.de>):  
1428 erhält Zeiskam von Kurfürst Ludwig III. den Fuchsbach. Er wird zur Grundlage des Gemüsebaus in Zeiskam. Ein hölzernes Wehr in der Queich leitete Wasser nach Norden zum so genannten „Fuchsloch“, einem Stein mit einem Loch von 30 x 26 cm = 12 x 10 Zoll. Die durch das Loch hindurchströmende Wassermenge wurde Zeiskam zugebilligt.

Es folgen weitere Veränderungen (Auswahl): 1553 Lustadt erhält 1/3 Anteil am Fuchsbachwasser zugesprochen im Tausch gegen einen Distrikt seines Waldes. Beim „Buweabloß“ teilt sich der Fuchsbach zu 2/3 in die Druslach nach Osten und 1/3 in den Hofgraben nach Norden.

1815: Trotz der bisherigen Regelungen kam es immer wieder zu Streitereien um die Wasserrechte, bis sich 1815 bei der Kreuznacher Übereinkunft die Gemeinden Niederhochstadt, Oberlustadt, Niederlustadt und Zeiskam gütlich einigten. Die Kreuznacher Übereinkunft wurde zur alleinigen Regelung für die Zukunft definiert. Alle Rechte und Pflichten waren detailliert in neun Artikeln festgelegt, z.B. die Wässertage, die Wasseraufteilung, die Pflege der Wehre am Fuchsbach und die Pflege des Fuchsbaches selbst. Zeiskam wurde verpflichtet, einen Wässerungsaufseher stellen.

1872: Die Überführung des Fuchsbaches über den Floßbach im Wald Lichter Queichschlag auf Hochstädter Gemarkung wurde gebaut. Vorher mischten sich die Gewässer, was immer wieder Streitereien gab. Diese Überführung wird im Volksmund „Heber“ genannt. Der Floßbach heißt auf Zeiskamer Gemarkung Großgraben.

1954: In Zeiskam wird die künstliche Beregnung eingeführt. Der Fuchsbach verliert seine Bedeutung.



Abb. 6: Teilung des Fuchsbaches in Druslach (Bildvordergrund) und den Hofgraben (nach rechts) am „Buweabloß“ (18.08.2010)

### 8.2.3.2 Wechselwirkungen der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser und der Landschaft

Die Grundwassermodellrechnungen zeigen für die Südpfalz, dass in manchen Gewässerabschnitten die Exfiltration aus dem Grundwasser, in anderen die Infiltration in dieses überwiegt. Für die Queich ergeben sich zwischen Landau und Germersheim nur sehr geringe Austauschraten von im Mittel nur 10 l/s Exfiltration (zw. Landau und Offenbach) und 10 l/s Infiltration im Bellheimer Wald. Trotz ihrem mittleren Abfluss von 1,77 m<sup>3</sup>/s (Pegel Siebeldingen westlich Landau) hat die Queich demnach nur einen sehr geringen Wasseraustausch mit der umgebenden Landschaft. Sie kann demnach auch in Trockenperioden nur wenig zu einer Stabilisierung des Grundwasserspiegels beitragen. Für die geringen Austauschmengen sind primär die stauenden Horizonte der angrenzenden Gleye verantwortlich.

Untersuchungen von Hahn (Universität Landau, mündl. 2010) zur Grundwasserfauna südlich des Golfplatzes Dreihof weisen ebenfalls auf eine ausgeprägte Trennung zwischen den Oberflächengewässern und dem OGWL hin. Im OGWL konnten mit Ausnahme von einer Messstelle keine Tierarten der Oberflächengewässer nachgewiesen werden. Bei einer starken Durchlässigkeit des Untergrundes (z.B. Sande) würden diese mit dem versickernden Wasser des Fließgewässers in das Grundwasser verschleppt. Die lehmig-tonigen Sande des hier vorkommenden Pseudogley-Gleye (Kap. 8.2.2) verhindern offensichtlich diesen Austausch. Hahn stellte darüber hinaus einen sehr kleinräumigen Wechsel der Standortbedingungen, der Grundwasserinhaltsstoffe (Leitfähigkeit zwischen 200 µS u. 800 µS wechselnd) und damit auch der Grundwasserfauna fest.

Für die Verbreitung und die Ausprägung der Feuchtvegetation sind nach Auffassung verschiedener Ortskundiger auch Hochwässer bedeutsam. An der Queich kann es hierbei zu großflächigen Überflutungen kommen, die über die Gräben auch die angrenzenden Wälder erreichen. Die stauenden Böden verhindern eine schnelle Versickerung des Wassers.

In ausgeprägten Trockenphasen fallen zahlreiche Bäche und Gräben trocken. Dies hat die Phase geringer Grundwasserneubildung seit 2003 nochmals und verstärkt gezeigt. Zu den wenigen Gewässern mit einer dauerhaften Wasserführung gehören die Queich (Abb. 7) und die von ihr gespeisten Gräben und Bäche (z.B. Fuchsbach, Abb. 8, Spiegelbach).



Abb. 7: Queich oberhalb des Ottersheimer Teilungswehres (06.08.2010)



Abb. 8: Fuchsbach am „Waschhäusel“ (06.08.2010)

## 8.2.4 Wiesenbewässerung

Das gezielte Einleiten von Wasser in Wiesen, z.B. durch Grabenanstau, Berieselung oder andere Techniken, wurde auch in Mitteleuropa über Jahrhunderte zur Steigerung des Gras- und Heuertrags eingesetzt. Trotz des hohen Unterhaltungsaufwandes überwogen die Vorteile:

- § Hauptziel ist die Versorgung der Wiese mit zusätzlichen Nährstoffen zur Ertragssteigerung.
- § Das Wachstum wird über gezieltes Zuschusswasser in den Wachstumsperioden (z.B. Mai) verbessert.
- § Die Bewässerung schützt die Wiese in kalten Frühlingsnächten vor zu starker Abkühlung.
- § Durch regelmäßige Wässerung können Unkraut und Schädlinge bekämpft werden.
- § In niederschlagsarmen Jahren lassen sich Ernteverluste verhindern.
- § Eine abgestimmte Entwässerung verhindert Nässeschäden durch die Bewässerung, aber auch in Nassperioden.

Die Wässerung führte zu erheblichen Mehrerträgen und zu einer besseren Futterqualität, Wässerwiesen wurden daher zu Höchstpreisen gehandelt. Wässerbücher und Wässerordnungen geben ebenso wie zahlreiche Gerichtsverfahren Hinweise auf die Kompliziertheit und die extrem hohe Bedeutung der Wiesenwässerung. Spätestens mit der Verfügbarkeit von Mineraldünger und dem Rückgang der Viehwirtschaft in den Tieflagen kam in den 1960er Jahren die Kulturtechnik der Wiesenbewässerung i.d.R. zum Erliegen (Konold in Aktion Pfalzstorch 2008).

Die Queichwiesen zwischen Offenbach und Bellheim (Anlage 18.1) gehören zu den wenigen Räumen in Deutschland, die zumindest in Teilflächen (Offenbacher Niederwiesen, ca. 90 ha) eine seit dem Mittelalter bis heute durchgehende Wiesenbewässerung nachweisen können. Sie liegen wie die umgebenden Wälder auf den stau- bzw. wechselfeuchten Gleyböden des Queichschwemmkegels (Kap. 8.2.2).

Die Interessengemeinschaft Queichwiesen und die Aktion Pfalzstorch e.V. setzen sich seit Jahren erfolgreich für die Wiederansiedlung und Förderung des Storchs ein. Voraussetzung hierfür ist der Erhalt und die Entwicklung ökologisch wertvoller Feuchtwiesen. Die Reaktivierung der historischen Wiesenbewässerung gehört daher zu den vordringlichen Zielen der Aktion.<sup>2</sup> Im Rahmen eines Modellprojektes des Landschaftspflegeverbandes Südpfalz wurden u.a. drei Stauwehre zur Wiesenbewässerung restauriert und zahlreiche weitere Maßnahmen entwickelt.

Untersuchungen zeigen, dass sich die standörtliche und biotische Diversität bewässerter Wiesen erhöht (Aktion Pfalzstorch 2008).

Die Wiesenbewässerung hat bezüglich des Wasserhaushaltes folgende Wirkungen:

- Der Einstau erfolgt laut dem Bewässerungsplan von 1972 etwa vier mal im Jahr für 1-3 Tage, meist April/Mai und Juli/August.
- Zur Vermeidung von Nässeschäden wird Überschusswasser anschließend gezielt wieder in Gräben gesammelt und über die Vorfluter abgeleitet.
- Sie fördert Feuchtwiesen und reduziert dauerhafte Staunässe (durch Entwässerungsgräben).
- In den bewässerten Wiesen wird die Grundwasserneubildung gesteigert.

## 8.2.5 Zusammenfassung der aktuellen Standorteigenschaften

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Standortfaktoren werden nachfolgend für die einzelnen Teilräume noch einmal zusammengefasst (zur Lage der Teilflächen vgl. Anlage 17.1 und die hydromorphen Böden und die Naturräumliche Gliederung in Anlage 17.3)

### Westlicher Queichschwemmkegel:

- Die **Grundwasserflurabstände** sind nahezu durchgehend geringer als 1,0 bis 2,0 m.
- Lehmige, teilweise auch tonige Bodenhorizonte bewirken eine ausgeprägte **Stau- bzw. Wechselfeuchte** (unausgeglichener Bodenwasserhaushalt) mit entsprechenden Auswirkungen auf das Wurzelwachstum und die Vegetation. Bodenfeuchte wechseln mit trockenen Phasen (Welken der krautigen Arten). In stärker übersandeten Flächen treten diese Eigenschaften weniger hervor.
- In den Sanden über diesen geringdurchlässigen Horizonten kann sich **temporär Stauwasser** entwickeln, insbesondere in niederschlagsreichen Phasen oder bei

---

<sup>2</sup> Weitere Informationen zur Wiesenbewässerung und zur Aktion Pfalzstorch e.V. unter <http://www.pfalzstorch.de> und <http://www.vsck-khe.de>.

Überschwemmungen (früher gezielte Entwässerung über Gräben). Aus diesem schwebenden Grundwasserleiter, bei geringen Grundwasserflurabständen auch aus dem OGWL, werden flache Gräben gespeist (z.B. Hofgraben, Floßbach). Diese fallen in ausgeprägten Trockenphasen trocken. Die zahlreichen Wiesengräben fallen regelmäßig trocken.

- Die **Queich** hat nur einen **geringen Wasseraustausch mit dem OGWL**. Die Queich kann daher ein Absinken des OGWL in Trockenphasen nicht verhindern.
- Eine auch in Trockenphasen durchgehende Wasserführung weisen nur **Fließgewässer** auf, **die von der Queich gespeist werden** (z.B. Fuchsbach, Spiegelbach). Die übrigen Gräben und Bäche können trocken fallen.
- Heutige potentielle natürliche Vegetation (**HpnV**): **Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald**<sup>3</sup> (frische, typische, feuchte oder wechselfeuchte Variante); auf feuchten Böden und in abflusslosen Senken: **Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Sumpfwald**

### Östlicher Queichschwemmkegel:

- Die **Grundwasserflurabstände** steigen nach Osten schnell auf Werte von 10,0 m und mehr an.
- Die stauenden Bodenhorizonte, die im westlichen Teil des Schwemmkegels die Standortverhältnisse prägen, sind im Osten stärker übersandet (**Flugsande, Dünen**). Dort herrschen tiefgründige Sandböden vor. Die schweren Pseudogley-Gleye sind nur streifenartig in den Bachauen erhalten geblieben.
- Für die Bachauen und Fließgewässer gelten die obigen Aussagen.
- Außerhalb der Auen hat die Vegetation **keinen Kontakt zum Grundwasser**.
- HpnV: **Eichen- bzw. Drahtschmielen-Buchenwald**

### Krebsbach-, Triefenbach-, Lachgraben- und Modenbachaue:

- Die **Grundwasserflurabstände** sind großflächig kleiner als 1,0 m, in den Randbereichen kleiner 1,5 m.
- Es herrschen sandige, schluffige oder lehmige **Auengleye** vor (reliktisch).
- Es besteht eine **Wechselwirkung der Fließgewässer mit dem OGWL**, wobei die Exfiltration aus dem Grundwasser in die Gräben und Bäche überwiegt. Stark trennende Bodenhorizonte, wie sie im Queichschwemmkegel existieren, sind weniger vorhanden.
- Die Baumarten, meist auch die krautige Vegetation, haben dauerhaft **Kontakt zum Grundwasser**.

---

<sup>3</sup> Die heutigen Eichen-Hainbuchenwälder stocken zwar auf entsprechenden Standorten, jedoch deutet die aktuelle Waldentwicklung darauf hin, dass die Eiche bei einer freien, natürlichen Sukzession zukünftig in den Beständen keine Rolle mehr spielen wird. Die Eiche wird aktuell stark von Esche, Berg-Ahorn, lokal auch von Erle und Ulme bedrängt, sie selbst verjüngt sich nahezu nicht. Ihre Dominanz und die Eichen-Hainbuchenwälder als Vegetationsform sind überwiegend aus den historischen Nutzungsformen der Nieder- und Mittelwaldwirtschaft etc. zu erklären. Ihre Erhaltung ist, wenn überhaupt, nur über intensive forstliche Maßnahmen möglich (gezielte, kostenintensive Förderung der Eiche). Vergleichbare Entwicklungen sind z.B. auch im Hessischen Ried oder in Bayern zu beobachten.



- Einzelne Abschnitte der Bäche fallen in ausgeprägten Trockenphasen zeitweise trocken.
- HpnV: **Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Sumpfwald** und **Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald**;

## Schwegenheimer Wald:

- Die mittleren **Grundwasserflurabstände** liegen zwischen 2,0 und 4,0 m. Nur in den Bachauen (s.o.) werden geringere Werte erreicht.
- Bei den Böden herrschen ein (reliktischer) **Wechselgley** aus kiesführendem Schwemmsand und eine **podsolige Braunerde** (mit reliktischer Vergleyung im Untergrund) aus Flugsand vor. Stauende Horizonte treten nur lokal in Form von Gley-Pseudogleyen auf (Anlage 17.4).
- Nur tiefer wurzelnde **Baumarten** wie die Eiche haben einen schwachen **Kontakt zum Grundwasser**. In Trockenphasen kann dieser verloren gehen.
- HpnV: **Eichen- bzw. Drahtschmielen-Buchenwald**; in den tiefer gelegenen Fläche und Bachauen **Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald** und **Geißblatt-Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald**.

In **Anhang II** wird als weitere Bewertungsgrundlage die Sensibilität der feuchteabhängigen Lebensräume gegenüber Veränderungen des Grundwasserspiegels eingestuft.

## **8.3 Beeinflussung des Wasserhaushaltes (Vorbelastungen)**

### **8.3.1 Oberflächengewässer**

Das natürliche Gewässersystem des Untersuchungsraumes ist durch den Menschen seit Jahrhunderten stark oder auch vollständig verändert worden. Einzelne Altarme und trocken gefallene Bachläufe zeugen davon. Durch die Veränderungen wurden Flächen entwässert, aber auch neue Feuchtlebensräume geschaffen.

Für die Beurteilung der zukünftigen Auswirkungen durch Beregnung sind solche Veränderungen der jüngeren Vergangenheit maßgeblich, die in heute bestehenden Feuchtgebieten evtl. zu einer Belastung oder Beeinträchtigung geführt haben und insofern als eine „Vorbelastung“ zu betrachten sind.

Aufgrund der Komplexität der Gewässersysteme und ihrer Wechselwirkung mit den angrenzenden Flächen (z.B. über Gräben, bei Überschwemmungen) sind hierzu aktuell keine quantitativen Aussagen möglich. Es ergeben sich aber folgende Faktoren, die zumindest lokal zu einem Rückgang der Feuchtvegetation beigetragen haben:

- **Rückgang der Wiesenbewässerung:** Die aktuell positive Wirkung der teilweise reaktivierten Wiesenbewässerung zeigt, dass die ursprünglich sowohl in den Queichwiesen wie auch am Modenbach (Schwerpunkt lag zw. Edesheim und Großfischlingen, heute durch A65

weitgehend zerstört) betriebene Wiesenbewässerung einen prägenden, für die Feuchtvegetation und die daran gebundene Fauna positiven Einfluss hat.

- **Rückgang von Überflutungen:** Hochwässer haben in der Vergangenheit wiederholt Schäden ausgelöst. An der Queich führte z.B. das Extremhochwasser vom Dezember 1993 (= HQ von 28,2 m<sup>3</sup>/s bei einem MQ von 1,77 m<sup>3</sup>/s am Pegel Siebeldingen) zu Schäden in Siebeldingen und anderen Ortschaften.

Die Hochwässer bewirken aber auch großflächige Überflutungen der angrenzenden Auen, insbesondere in der Queichaue. Nach Aussage verschiedener Ortskundiger (Keller, Knopp, mündl. 2010) strömt das Wasser der Queich in diesen Zeiten über die Wiesen und Gräben bis in die angrenzenden Wälder des Queichschwemmkegels. In abflussträgen Flächen kann es dort, verstärkt durch dauerhaft zuströmendes Wasser (z.B. aus dem Floßbach), zu langanhaltenden Überstauungen und Vernässungen kommen.

Es ist davon auszugehen, dass durch den Bau von Regenrückhaltebecken (z.B. 2004 westlich Siebeldingen) und anderen Hochwasserschutzmaßnahmen die Häufigkeit von Ausuferungen zurückgegangen ist. Ob hiermit signifikante Veränderungen der Feuchtvegetation verbunden sind, kann beim aktuellen Kenntnisstand nicht abschließend beurteilt werden.

- **Veränderungen an wasserwirtschaftlichen Anlagen:** Durch die weitgehende Aufgabe der früher mit hohem Aufwand betriebenen Wiesenbewässerung oder durch allgemeine Alterung sind einzelne Anlagen (z.B. Wehre) nicht mehr funktionstüchtig oder ihre Wirkung ist heute verändert. Hiervon können sowohl negative wie positive Wirkungen auf die Feuchtvegetation ausgehen.
- Ein Beispiel hierfür ist der so genannte „Heber“ am Fuchsbach, an dem ursprünglich nur an Bewässerungstagen Wasser in den Floßbach abgeleitet wurde. Durch Schäden am Bauwerk fließt heute dauerhaft ein Teil des Wassers in den Floßbach ab (Hilsendegen mündl. 2010). Bereits vor längerer Zeit aufgegeben wurde eine Ableitung aus der Queich, die von der Hofmühle durch den Bellheimer Wald nach Nordosten in Richtung der Lachen-Mühle verlief. Absterbende Erlen am heute trockenen Graben zeugen noch von der früheren Zusatzwasserversorgung.
- **Wirkungen des Klimawandels:** Die Untersuchungen im Rahmen des KLIWA-Projektes ([www.kliwa.de](http://www.kliwa.de)) zeigen, dass sich bereits für die vergangenen Jahrzehnte Klimaveränderungen nachweisen lassen, z.B. eine Zunahme der Wintertemperatur und der Winterniederschläge. Ebenso auffällig ist eine Häufung der wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in der jüngsten Vergangenheit. Die Ausbreitung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten spricht ebenfalls für klimatische Veränderungen. Für Feuchtgebiete und Wälder gehen von den bislang zu beobachtenden Veränderungen vermutlich zusätzliche Belastungen aus.

### 8.3.2 Witterungsbedingte Entwicklung der Grundwasserstände seit 2003

Die Entwicklung der Grundwasserstände in der Südpfalz wird maßgeblich von der flächenhaften Grundwasserneubildung geprägt. Der Randzustrom aus dem Pfälzer Wald oder die Infiltration

der Gewässer in das Grundwasser sind bei großräumiger Betrachtung von nachrangiger Bedeutung.

Die in Kapitel 8.1 beschriebenen, vermehrten Beobachtungen trocken gefallener Oberflächengewässer fallen in eine Phase sehr geringer Grundwasserneubildung. Diese wurde u.a. durch die sehr trockenen Jahre 2003 und 2005 (Neustadt 440 und 417 mm/a, Mittel 643 mm/a) und mehrere unterdurchschnittliche Winter-Niederschläge ausgelöst. Hierdurch kam es in der Folge zu einem starken und anhaltenden Absinken der Grundwasserstände in der gesamten Südpfalz.

Abb. 9 zeigt vieljährige Grundwasserganglinien des Untersuchungsraumes (blaue Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten höhere GW-Stände, rote Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten niedrigere GW-Stände).

Bezüglich des Witterungseinflusses zeigt sich:

- Der Zeitraum von 2003 bis 2010 bildet die längste und ausgeprägteste Phase tiefer Grundwasserstände in der Südpfalz mindestens seit 1950 (keine älteren Ganglinien verfügbar)!
- In diesem Zeitraum werden an zahlreichen Grundwassermessstellen neue absolute Tiefstände erreicht. Beispiele hierfür sind die Landesmessstellen 1043 Zeiskam und 1050 Schwegenheim. An anderen Messpunkten werden annähernd die bisherigen Minima erreicht.
- Die genannten Entwicklungen lassen sich in weiten Teilen der Südpfalz beobachten, z.B. auch an der Messstelle 1017 Oberhausen (östlich Bad Bergzabern, Abb. 9) und damit in Gebieten, in denen die landwirtschaftliche Grundwasserentnahme von untergeordneter Bedeutung ist.

Die Ursache für diese Entwicklung liegt primär in der Witterung der letzten Jahre. Lokale Grundwasserentnahmen führen erst nachrangig zu einer Überprägung dieser großräumigen Entwicklung.

**Das wiederholte und anhaltende Trockenfallen zahlreicher Fließgewässer seit 2003 beruht demnach vorrangig auf der längsten und ausgeprägtesten Phase tiefer Grundwasserstände in der Südpfalz seit mindestens 1950.** Die Verbandsgemeinde Edenkoben (2009) kann am Beispiel des Modenbaches zeigen, dass das Grundwasser, das normalerweise über dem Niveau der Gewässersohle liegt, in der aktuellen Trockenphase unter dieses absinkt und der Bach anschließend versickert. Dieser Vorgang ist in den meisten Fällen für das Versiegen der Bäche im Untersuchungsraum verantwortlich. Hierzu gehören neben dem Modenbach u.a. der Hainbach, der Hofgraben und der Floßbach.

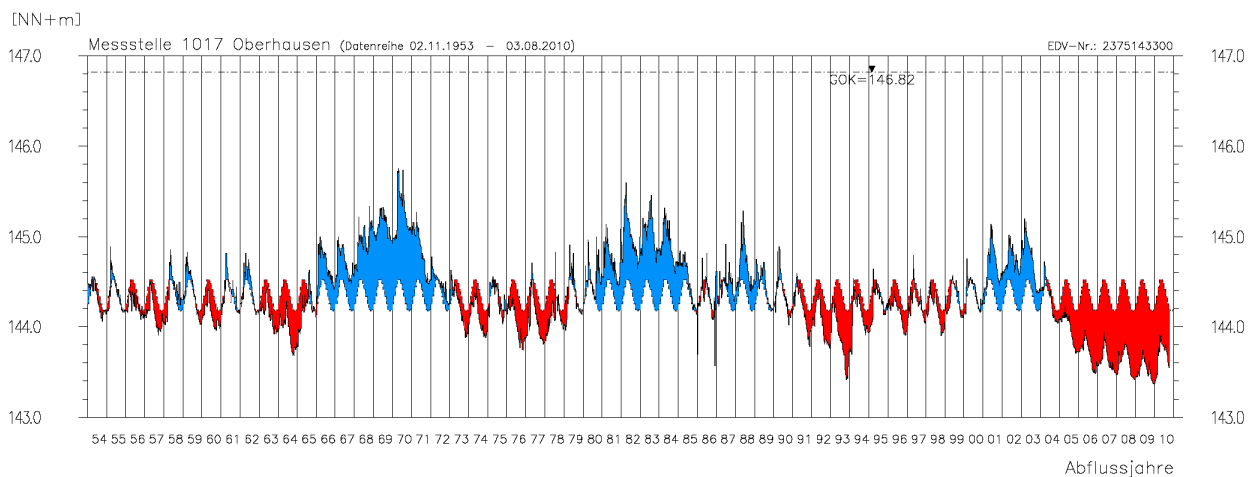
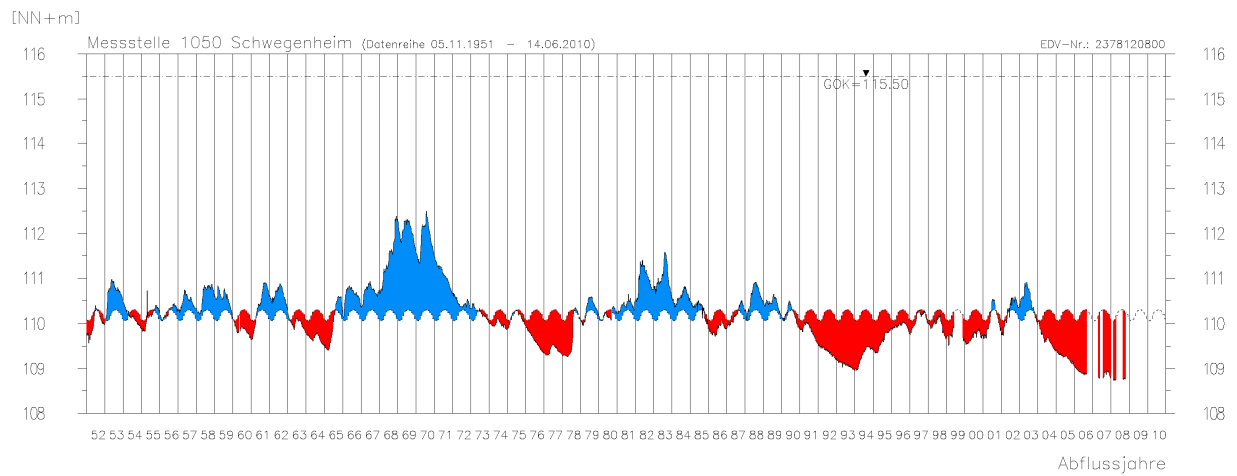
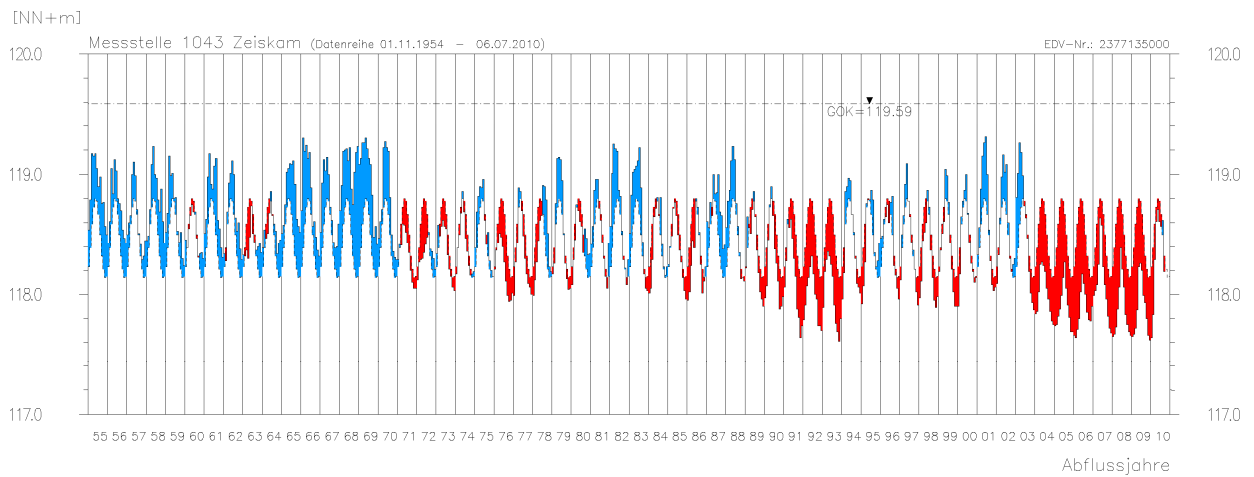


Abb. 9: Grundwasserganglinien der Landesmessstelle 1043 Zeiskam, 1050 Schwegenheim und 1017 Oberhausen (blaue Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten höhere GW-Stände, rote Flächen: gegenüber den Monatsmittelwerten niedrigere GW-Stände)

### 8.3.3 Aktuelle Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserleiter des Untersuchungsraumes werden von unterschiedlichen Nutzern zur Abdeckung ihres Wasserbedarfs beansprucht. Neben der landwirtschaftlichen Beregnung ist hier besonders die öffentliche Trinkwasserversorgung zu nennen. Hinzu kommen gewerbliche und private Grundwasserentnahmen.

Brunnen zur Trinkwassergewinnung betreiben im engeren Untersuchungsgebiet der Zweckverband für Wasserversorgung Walsheimer Gruppe (Gruppenwasserwerke Bornheim), die Energie Südwest AG (Wasserversorgung Landau), der Zweckverband für Wasserversorgung Germersheimer Nordgruppe (Verbandsgemeinde Lingenfeld) und die Verbandsgemeindewerke Edenkoben. Die Brauerei Park & Bellheimer AG betreibt in Bellheim eine gewerbliche bzw. industrielle Grundwasserentnahme. Der Golfplatz Dreihof in der Verbandsgemeinde Offenbach fördert Grundwasser zur Beregnung des Platzes (Anlage 1).

Für die vorliegende Fragestellung sind die aktuellen summarischen Auswirkungen aller Grundwasserentnahmen (inklusive der landwirtschaftlichen) auf den oberen Grundwasserleiter von Interesse, da sie als Vorbelastung der feuchteabhängigen Vegetation betrachtet werden können.

Die summarische Absenkung der Grundwasserstände bei mittleren Witterungsbedingungen erreicht im Raum Landau-Bornheim-Offenbach eine Größenordnung von rund 0,5 m. Diese beruhen auf einer Überlagerung der Trinkwassergewinnung mit den landwirtschaftlichen Entnahmen und der Golfplatzberegnung. Zu diesem Bereich gehören auch die westlichen Teile des Offenbacher und des Essinger Waldes. Am Rand des Schwegenheimer Waldes werden bei Fördermengen von rund 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a (Summe der genehmigten und beantragten Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken) die Grundwasserstände rechnerisch um rund 0,25 m bei mittleren Verhältnisse abgesenkt.

Diese Absenkungen werden in Trockenperioden verstärkt durch die geringere Grundwasserneubildung, erhöhte Entnahmen bei gleichzeitigem Anstieg des Wasserbedarfs der Vegetation. Auf den staufeuchten Böden des westlichen Queichschwemmkegels wirken sich die Grundwasserabsenkungen vorwiegend auf die tiefer wurzelnden Baumarten und die Fließgewässer aus.

Insgesamt sind die aktuellen Grundwasserentnahmen im Bereich des westlichen Queichschwemmkegels und der dortigen Natura 2000-Gebiete sowie, in geringerem Umfang, im südlichen Schwegenheimer Wald als Vorbelastung zu werten. Diese Einschätzung gilt unabhängig von der im Kapitel 8.3.2 beschriebenen aktuellen Trockenperiode.

## 8.4 Potentielle Konflikte durch zukünftig höhere landwirtschaftliche Grundwasserentnahmen

### 8.4.1 Einflussbereich der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahme

Im Zukunftsszenario wird für das Verbandsgebiet mit einer Beregnungswassermenge von ca. 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a gerechnet. Der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahme sowohl aus dezentralen Einzelbrunnen als auch aus Tiefbrunnengalerien vergrößert sich hierdurch deutlich (s. Anlagen 14.3, 14.4, 16.3 und 16.4).

Im Zukunftsszenario reicht der Einflussbereich (Absenkung > 0,25 m) weit in den **Queichschwemmkegel** mit seinen Natura 2000-Gebieten hinein. Hiervon ausgenommen sind nur die ohnehin trockenen, östlichen Flächen des Bellheimer Waldes. Die größten Absenkungsbeträge aus der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahme von mehr als 0,5 m ergeben sich im westlichen Queichschwemmkegel im Raum Landau-Offenbach-Bornheim. Dort werden lokal auch Werte von ca. 1 m erreicht. An Teilen der Queich und am Fuchsbach liegen die Absenkungsbeträge teilweise unterhalb der Signifikanzschwelle von 0,25 m.

Im Norden führen die erhöhten Grundwasserentnahmen zu einer Erweiterung des Einflussbereiches in den **Schwegenheimer Wald, Teile der Modenbachaue und die östliche Kaltenbachaue**. Die modelltechnisch ermittelte Absenkung für mittlere Witterungsbedingungen erreicht hier Werte von 0,25 bis 1,0 m.

### 8.4.2 Betroffene Schutzgebiete, Lebensräume und Arten

Bei einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Beregnung entsprechend dem Zukunftsszenario wären folgende Schutzgebiete betroffen (vgl. auch Anhang II):

#### FFH-Gebiete

- 6715-301 Modenbachniederung
- 6715-302 Bellheimer Wald mit Queichtal

#### Vogelschutzgebiete

- 6616-402 Speyerer Wald, Nonnenwald und Bachauen zwischen Geinsheim und Hanhofen
- 6715-401 Offenbacher Wald, Bellheimer Wald und Queichwiesen

Die darüber hinaus in Anhang II genannten Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete ragen nicht (NSG Eichtal-Brand, LSG Tiefenbachtal) oder allenfalls randlich (LSG Mittleres Modenbachtal u. Kaltenbach Bruch) in den Einflussbereich des Zukunftsszenarios hinein.

Die grundwasserabhängigen Lebensräume des westlichen Queichschwemmkegels, des Schwegenheimer Waldes und der Modenbachaue sind in Anhang II ausführlich dargestellt.

## 8.4.3 Potentielle Auswirkungen einer gesteigerten Grundwasserentnahme

Für die Einschätzung der potentiellen Auswirkungen sind folgende Punkte aus den vorangegangenen Kapiteln von Bedeutung:

- Im westlichen Queichschwemmkegel und den Bachauen (z.B. Queich, Modenbach) existieren **zahlreiche feuchteabhängige Lebensräume** (Kap. 2.1.1 in Anhang II) **sowie Pflanzen- und Tierarten** (Kap.2.2 in Anhang II). Hierzu zählen insbesondere grundwasserabhängige Waldstandorte wie z.B. der FFH-Lebensraumtyp des Eichen-Hainbuchenwaldes, verschiedene Feuchtwiesengesellschaften mit ihren zugehörigen Arten und die Fließgewässer selbst.
- Die **Sensibilität der Lebensräume** gegenüber Veränderungen des Grundwasserspiegels ist abhängig vom Standort (z.B. gedämpfte Wirkung auf stark staufeuchten Böden, direkte Wirkung auf sandigen Substraten) und der Pflanzengesellschaft selbst. Die Sensibilität reicht von „sehr empfindlich“ (z.B. echte Bruchwälder, Kap. 2.1.2 in Anhang II) bis „mäßig empfindlich“ z.B. bei Wiesen auf lehmig-tonigen Böden der Auen, die an Schwankungen des Grundwasserspiegels stärker angepasst sind (Kap. 2.1.3 in Anhang II).
- Durch die summarische Wirkung der **aktuell bereits bestehenden Grundwasserentnahmen** für öffentliche, gewerbliche, industrielle und private Zwecke ist der Grundwasserspiegel lokal bereits mehr als 1,0 m abgesenkt. Hieraus resultieren für die Feuchtgebiete und ihre Arten **Vorbelastungen** (Kap. 8.3). Tiefere Grundwasserstände bzw. seltenere Hochstände resultieren vermutlich auch aus Veränderungen an den Oberflächengewässern bzw. sind witterungsbedingt (Nass- und Trockenjahre). Die von 2003 bis heute anhaltende, vorwiegend **witterungsbedingte Phase extrem tiefer Grundwasserstände** hat die Belastungssituation verschärft.

Die aktuelle Phase sehr tiefer Grundwasserstände gibt gleichzeitig eine Vorstellung davon, wie sich dauerhaft abgesenkte Grundwasserstände des Zukunftsszenarios mit erhöhten Entnahmen etwa bei mittleren Witterungsbedingungen auswirken würden: z.B. im gehäuften Trockenfallen zahlreicher Bachabschnitte oder einem Rückgang der Feuchtvegetation und der daran gebundenen Tier- und Pflanzenarten. In einer zukünftigen Trockenphase, die der aktuellen entspricht, würden die absoluten Tiefstände des Jahres 2009 nochmals unterschritten.

### Waldflächen

Die als FFH-Lebensraumtyp 9160 geschützten Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwälder im **Schwegenheimer Wald** liegen im Schwankungsbereich des Grundwassers. Bei mittleren Grundwasserflurabständen (ca. 3,0 m außerhalb der Auen, Anlage 17.2) und in Feuchtperioden besitzen die Wurzeln aktuell einen geringen Kontakt zum Grundwasser, der in Trockenphasen wieder verloren geht. Da sandige Substrate vorherrschen und stauende Bodenschichten kaum ausgeprägt sind, ist die Wasserversorgung der Bestände direkt von der Witterung und den

Grundwasserständen abhängig, wobei der Einfluss des Grundwassers aktuell gering ist.<sup>4</sup> Eine verstärkte landwirtschaftliche Entnahme würde für diese Bestände eine Verlängerung der Zeiten ohne Grundwasserkontakt bedeuten. Inwieweit hieraus direkte Folgen für den Waldzustand abzuleiten sind, kann aufgrund des aktuell schon großen Flurabstandes schwer beurteilt werden. Die in den letzten Jahrzehnten vermehrten Eichenschäden im Schwegenheimer Wald (Kap. 2.1.2 in Anhang II) weisen zumindest auf eine **allgemeine Schwächung der Eichen-Bestände** hin. Im hierfür verantwortlichen Ursachenkomplex stellt der Grundwasserstand einen Faktor unter mehreren dar. Ähnliche Standortverhältnisse mit Flurabständen unter 3,0 m herrschen im westlichen **Bellheimer Wald**.

In den Eichen-Hainbuchen-**Beständen mit geringem Flurabstand** (z.B. in der Modenbachau) ist die **Sensibilität** gegenüber zusätzlichen Grundwasserabsenkungen **größer**. Dies gilt ebenso für Waldtypen nasser Standorte, insbesondere Erlen- und Eschenwälder (LRT 91E0) und Reste von Bruchwäldern im **Freisbacher Wald**.

Auf den stau- und wechselfeuchten Böden des westlichen **Queichschwemmkegels** wirken sich sinkende Grundwasserstände im OGWL zunächst nur gedämpft und verzögert auf den oberflächennahen Bodenwasserhaushalt aus. Anhaltend tiefe Grundwasserstände wirken sich jedoch auf das gesamte Ökosystem aus.

Die Standortbedingungen im Queichschwemmkegel zeigen eine **große Übereinstimmung mit Flächen im Hessischen Ried**. Dies gilt für das trocken-warme Klima, die staufeuchten Böden und die (ursprünglich) hohen Grundwasserstände. Abweichend von den Bedingungen in der Südpfalz haben die Bestände im Hessischen Ried den Grundwasserkontakt jedoch vollständig verloren. Die dort zu Beginn der 1970er Jahre einsetzende Absenkung des Grundwasserspiegels um mehrere Meter stellt den Beginn massiver Waldschäden dar, die teilweise bis zur Waldauflösung oder Versteppung verlaufen. Die Erfahrungen der letzten 40 Jahre zeigen:

- Die **Intensivwurzelschicht** der Buchen und Eichen erreicht nur Tiefen von 40-100 cm. Der **Extensivwurzelschicht** erreichte bei den Untersuchungen max. Wurzeltiefen von (100) 180-240 (270) cm (nur Einzelbäume tiefer). Zusammen mit dem kapillaren Aufstieg ist ein spürbarer, flächenhafter Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Bäume erst bei Flurabständen von deutlich weniger als 300 cm zu erwarten.
- Die Reduzierung oder der vollständige Verlust der Zusatzwasserversorgung aus dem Grundwasser löst eine Destabilisierung der Bestände aus, die sich in **dauerhaft anhaltenden Schadprozessen** äußern.
- Witterungsbedingte Trockenphasen lösen Schadensschübe aus, in niederschlagsreichen Phasen verlangsamt sich der Schadprozess, er kommt aber nicht zum Erliegen. Da die Zusatzwasserversorgung aus dem Grundwasser fehlt, **steigt die Wirkung der Witterung auf die Vitalität der Bestände an**.

---

<sup>4</sup> Die Ganglinie der Grundwassermessstelle 1050 Schwegenheim (Abb. 9 auf S. 60) deutet darauf hin, dass die Wasserversorgung der Bestände aufgrund höherer Grundwasserstände vor 1972 stärker vom Grundwasser beeinflusst war.



- Das **Gesamtausmaß** der Schäden ist nur durch eine Kombination dieser Vorbelastung mit zahlreichen **weiteren Primär- und Sekundärfaktoren zu erklären**. Hierzu zählen in erster Linie Schadinsekten (auf Sand Massenvermehrung des Maikäfers, Schwammspinner, Prachtkäfer), Veränderungen des Bestandesklimas durch Auflichtung, erhöhte Schad- und Nährstoffeinträge (z.B. Nitrat) und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch der bereits ablaufende **Klimawandel**.
- Nachdem ursprünglich vorwiegend Eichen betroffen waren, steigt die **Schadenshäufigkeit** der Baumarten heute in der **Reihenfolge Kiefer – Eiche – Buche** und mit zunehmenden Baumalter schnell an.
- Ein **Ende der Schadensprozesse ist nicht in Sicht**, da bereits 40-jährige Jungbestände, die nie einen Grundwasserkontakt hatten, erste Schäden aufweisen. Die Walderhaltung ist im Hessischen Ried inzwischen das vorrangige Ziel aller waldbaulichen Maßnahmen.

**Vor dem Hintergrund der aktuellen Situation des Untersuchungsgebietes (Sensibilität der Lebensräume, Vorbelastungen, ausgeprägte Eichenschäden) und den Erfahrungen im Hessischen Ried sind zusätzliche Grundwasserabsenkungen in den Wäldern des Untersuchungsgebietes als kritisch zu bewerten – sowohl aus naturschutzfachlicher wie auch aus forstwirtschaftlicher Sicht.**

## Gewässer und Offenland

Die aktuelle Phase sehr tiefer Grundwasserstände hat gezeigt, dass viele **Oberflächengewässer häufiger und länger trocken fallen** als in den vergangenen Jahrzehnten. Dies gilt sowohl für Bäche und Gräben auf oder am Rande des Queichschwemmkegels (oberer Floßbach, Hofgraben, viele Wiesengräben) als auch für die Fließgewässer in und nördlich von Hochstadt (Hainbach, Modenbach, u.a.). Eine dauerhafte Wasserführung weisen nur die Queich und die von ihr gespeisten Gewässer auf (z.B. Fuchsbach, Spiegelbach).

Eine erhöhte landwirtschaftliche Grundwasserentnahme und die damit verbundene Absenkung des Grundwasserspiegels wirkt in ähnlicher Weise. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass insbesondere in trocken-warmen Sommern wie 2003, die für die Feuchtgebiete ohnehin außergewöhnliche Belastungen darstellen, die landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen überproportional ansteigen.

Die für das Zukunftsszenario zu erwarteten Absenkungsbeträge (4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a bei mittleren Entnahmemengen) lassen sowohl bei einer Entnahme aus dezentralen Einzelbrunnen als auch bei Tiefbrunnengalerien eine **Beeinträchtigung der Feuchtgebiete in den östlichen Teilen der Modenbach-, der Triefenbach- und der Krebsbachaue erwarten**, zumal hier stauende Bodenschichten fehlen oder schwächer ausgeprägt sind.

Die dauerhafte Wasserführung der Queich, des Fuchsbaches und der wiederum davon gespeisten Druslach mildert die Wirkung der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen in den nördlichen Queichwiesen ab, teilweise wird die Signifikanzschwelle von 0,25 m unterschritten.

Mit den Zeiskamer Wiesen und den Hochstädter Niederwiesen lägen dennoch Wiesen im Einflussbereich, die aktuell relativ geringe mittlere Grundwasserflurabstände von etwa 1,0 bis 1,5 m und wertvolle Feuchtwiesen aufweisen (Anlage 17.2). Mit Absenkungsbeträgen von lokal mehr als 0,5 m wären die Wiesen östlich Landau, die Ottersheimer Vorderwiesen und die Knittelsheimer Wiesen noch stärker betroffen. Trotz der stauenden Oberböden wäre insgesamt mit einem (schleichenden) **Rückgang der Feuchtvegetation und der daran gebunden Tier- und Pflanzenarten zu rechnen.**

Potentielle Konfliktbereiche treten insbesondere dort auf, wo der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen in die Schutzgebiete nach LNatSchG hineinreichen.

#### 8.4.4 Fazit

Das Untersuchungsgebiet beherbergt im Queichschwemmkegel und den Bachauen der Queich, des Modenbachs und weiterer Fließgewässer zahlreiche wertvolle Feuchtgebiete und davon abhängige Tier- und Pflanzenarten. Die relevanten Flächen sind alle als Natura 2000-Gebiete geschützt. Sie unterliegen daher nach europäischem und nationalem Recht einem Verschlechterungsverbot.

Die vorhandenen Feuchtbiotope zeigen in Abhängigkeit vom Bodenaufbau, den Grundwasserständen und den vorhandenen Pflanzengesellschaften bzw. Tier- und Pflanzenarten eine mäßige bis starke Sensibilität gegenüber Veränderungen des Grundwasserspiegels auf. Auf grundwassernahen und gleichzeitig eher sandigen Standorten besteht eine direkte Abhängigkeit der Feuchtbiotope vom Grundwasser. Entsprechende Standorteigenschaften sind vorwiegend in der Modenbachaue und den nördlich anschließenden Auen des Triefen- und des Krebsbach vorhanden. Auf dem westlichen Queichschwemmkegel (Dreieck zwischen Landau, Lustadt und Bellheim) besteht durch stauende Bodenschichten (z.B. lehmig-tonige Sande) nur ein gedämpfter und zeitlich verzögerter Wasseraustausch zwischen den oberflächennahen, vorwiegend durchwurzelt Bodenschichten und dem darunter folgenden oberen Grundwasserleiter. Die hier stockenden Wälder (z.B. Eichen-Hainbuchenwälder) und die wechselfeuchten Wiesen der Queichwiesen sind daher gegenüber kurzfristigen Grundwasserstandsänderungen nur mäßig empfindlich. Dauerhafte Absenkungen des Grundwasserspiegels würden aber auch hier negative Veränderungen auslösen.

Die aktuellen Feuchtbiotope weisen durch die bestehenden öffentlichen, gewerblichen, industriellen und landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen und weitere Faktoren bereits Vorbelastungen auf. Veränderte Abflussbedingungen in den Oberflächengewässern tragen zur Belastungssituation vermutlich ebenfalls bei.

Bei einer Ausweitung und Intensivierung der landwirtschaftlichen Beregnung im Sinne des Zukunftsszenarios würde sich der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung deutlich erweitern, u.a. in die Natura 2000-Gebiete des westlichen Queichschwemmkegels sowie der östlichen Teile der Moden-, Triefen- und Krebsbachaue hinein. Ebenso wären Teile des Schwegenheimer Waldes betroffen.

Die für das Zukunftsszenario erwarteten zusätzlichen Grundwasserabsenkungen lassen insbesondere auf den Standorten mit aktuell geringen Grundwasserflurabständen Beeinträchtigungen und Schäden in den Feuchtbiotopen erwarten. Diese erhöhten Beeinträchtigungen treffen auf die Varianten der dezentralen Beregnung mittels Einzelbrunnen oder der Grundwasserentnahmen mittels Tiefbrunnengalerien zu. Hiervon wären auch zahlreiche Tierarten betroffen, u.a. solche der Natura 2000-Anhänge und der Roten Listen. Räumlich handelt es sich vorwiegend um den Hochstädter Wald (zusammen mit Essinger und Offenbacher Wald), große Teile der Queichwiesen, die Modenbachaue östlich Freisbach, die Triefenbachaue bei Gommersheim und die Krebsbachaue südlich Geinsheim. In geringerem Maße sind Teile des Schwegenheimer und des westlichen Bellheimer Waldes betroffen.

Hiervon zu trennen ist die seit 2003 zu beobachtende Phase extrem tiefer Grundwasserstände, die vorwiegend auf trockene Jahre und geringe Winterniederschläge zurückzuführen und demnach weitgehend witterungsbedingt ist. Sie übertrifft mit ihrer Dauer und ihren Grundwassertiefständen alle vorangegangenen Trockenphasen in der Südpfalz seit mindestens 50 Jahren.

## 9 Beregnungsbedarf auf den Flächen der Tabakkonversion

Nach dem Auslaufen der derzeit gültigen EU-Marktordnung im Jahre 2010 wird es für den Tabak keine produktionsgebundene Prämie mehr geben. Ohne weitere Förderung wird die Produktion voraussichtlich eingestellt werden. Im Vordergrund der Überlegungen zu der zukünftigen Nutzung der Tabakanbauflächen steht eine Umstellung auf Kräuter- bzw. Gemüsebau.

In 2009 wurde für das Untersuchungsgebiet eine Gesamtanbaufläche des Tabaks von knapp 800 ha ermittelt. Etwas mehr als die Hälfte der Tabakanbauflächen liegen in der südöstlichen Südpfalz im Raum Kandel, Hatzenbühl/Rheinzabern und Rülzheim. Der Gemüsebau hat in diesem Gebiet noch eine vergleichsweise geringe Bedeutung. Seine Gesamtfläche entspricht in etwa derjenigen des Tabakanbaus. Die wichtigste Kultur ist die Möhre (s. Anlage 6).

Die Modellrechnungen zur optimalen Bewässerungssteuerung zeigen, dass der Zusatzwasserbedarf auf Tabak- und Gemüsebauflächen im Raum Kandel, Hatzenbühl/Rheinzabern und Rülzheim trotz unterschiedlicher Anbauzeiträume und Pflanzenphänologie im Mittel gleich hoch sind (Abb. 10). Beim Gemüsebau wurden die derzeitigen Nutzungsanteile zu Grunde gelegt. Durch die Mehrfachbelegung eines Teils der Gemüsebauflächen ergibt sich insgesamt ein gewisser Mehrbedarf an Beregnungswasser, der bei einer vollständigen Umstellung von ca. 500 ha Tabakanbaufläche auf Gemüsebau mit etwa 100.000 m<sup>3</sup>/a im Mittel abgeschätzt wird.

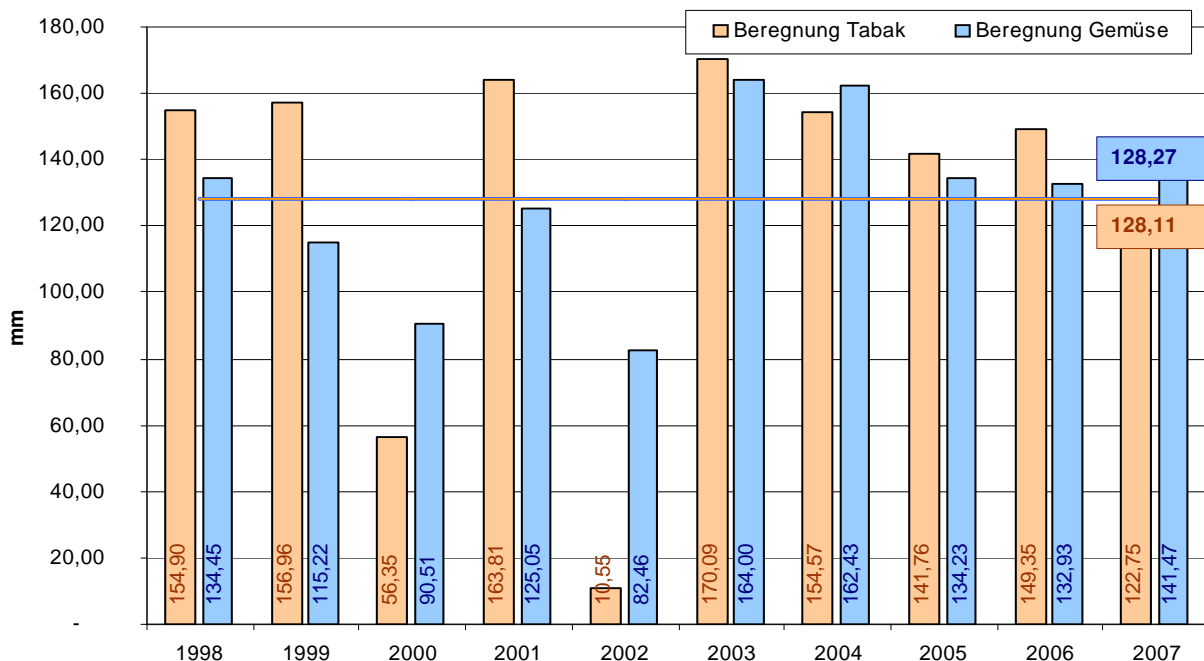


Abb. 10: Zusatzwasserbedarf pro Jahr von Tabak- und Gemüsebauflächen für den Raum Kandel, Hatzenbühl/Rheinzabern und Rülzheim

In der südlichen Südpfalz haben derzeit Getreide und Zuckerrübe den größten Anteil an der Bodennutzung der ackerbaulich genutzten Flächen. Entsprechend ist der Beregnungsbedarf

gering. Die Beregnungshöhe wird bezogen auf die gesamte zur Beregnung erschlossenen Fläche auf ca. 22 mm geschätzt (BGS Umwelt 2008).

Unter den derzeitigen Nutzungsverhältnissen sind nach den Ergebnissen der Grundwassermodeillrechnungen für den südlichen Teil der Südpfalz keine signifikanten Auswirkungen der Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken aus dezentralen Brunnen zu erkennen (s. Anlage 7). Der geringe Mehrbedarf in einer Größenordnung von rund 100.000 m<sup>3</sup>/a kann ohne signifikante Auswirkungen auf die Grundwasserstände aus Beregnungsbrunnen, die den oberen Grundwasserleiter erschließen, gewonnen werden.

Langfristig wird ein Anstieg der Beregnungshöhen bezogen auf die gesamte zur Beregnung erschlossenen Fläche auf ca. 80 mm geschätzt (BGS Umwelt 2008). Dieser langfristige Anstieg wird vor dem Hintergrund veränderter ökonomischer Randbedingungen und des Klimawandels erwartet und steht nicht direkt im Zusammenhang mit der Konversion der Tabakanbaufläche. Die Grundmodellrechnungen zeigen, dass bei einer Beregnungstätigkeit auf diesem Niveau Grundwasserabsenkungen bis zu 0,5 m außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen zu erwarten sind (s. Anlage 14.3) und z.B. relevante Auswirkungen auf den Boden- und Grundwasserhaushalt in naturfachlich wertvollen Flächen auftreten können. Die weitere Entwicklung der Beregnungstätigkeit in der Südpfalz ist deshalb durch eine geeignete Kontrolle der Entnahmemengen zu Beregnungszwecken in Verbindung mit Grundwasserstandsmessungen zu beobachten.

## 10 Wasserwirtschaftliches Monitoring

Die im Verbandsgebiet Hochstadt gegenwärtig genehmigten Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken von rund 1,0 Mio. m<sup>3</sup>/a entsprechen einer Beregnungshöhe von rund 25 mm auf den ackerbaulich genutzten Flächen. Fördermengen in entsprechender Höhe wirken sich nicht signifikant auf die Grundwasserstände in naturfachlich wertvollen Flächen aus.

Bei einer Zulassung der derzeit zusätzlich beantragten Beregnungsmengen steigt die Gesamtentnahme zu Beregnungszwecken im Verbandsgebiet auf maximal 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a (35 mm). Im Raum Schwegenheim reicht der Einflussbereich der Grundwasserentnahmen im Norden dann an feuchteabhängige wertgebende Waldbestände im FFH-Gebiet Modenbachniederung heran.

Für den südlich angrenzenden Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim betragen die genehmigten und beantragten Grundwasserentnahmen zur Beregnungszwecken insgesamt 0,84 Mio. m<sup>3</sup>/a. Diese Mengen haben keine signifikanten Auswirkungen auf die Grundwasserstände in den naturfachlichen Schutzgebieten.

Auf Grund der hydrogeologischen Situation mit vergleichsweise geringmächtigen Grundwasserleitern entstehen auf Grund der Beregnungstätigkeit im Verbandsgebiet Hochstadt Grundwasserabsenkungen in einer Größenordnung von 0,25 m in einzelnen Randbereichen von NATURA 2000-Gebieten. Im Bereich des Hochstädter Waldes wirken sich zusätzlich die Grundwasserentnahmen durch die Energie Südwest AG (mittlerer und unterer Grundwasserleiter) und die Walsheimer Gruppe (mittlerer Grundwasserleiter) zur Trinkwasserversorgung in geringem Umfang aus. Daneben wird Grundwasser zur Beregnung des Golfplatzes Dreihof entnommen. Für diesen Bereich des Hochstädter Waldes ist daher aus naturfachlicher Sicht die Summationswirkung der genannten Grundwasserentnahmen zu betrachten, deren Gesamtabenkung aus heutiger Sicht auf eine Größenordnung von ca. 0,5 m geschätzt wird.

In diesem Bereich wurde bereits ein Messnetz zur Grundwasserstandsbeobachtung etabliert, das nach dem derzeitigen Kenntnisstand geeignet ist, die Wirkungen der Entnahmen zur Trinkwasserversorgung und der Golfplatzberegnung zu erfassen. Am Nordostrand des Hochstädter Waldes sollte zur Überwachung des bereits derzeit beregnungsintensiven Bereich um Zeiskam eine neue Doppelmessstelle (OGWL/MGWL) eingerichtet werden. Die westlich gelegene Messstelle M 8 II ist nicht geeignet, da sie im unteren Grundwasserleiter verfiltert ist. Die Wirkung der Beregnungsentnahme aus dem Raum Offenbach kann über die vorhandenen Messstellen erfasst werden.

Die deutlichsten Auswirkungen der Beregnungstätigkeit im Verbandsgebiet Hochstadt werden im Schwegenheimer Wald erwartet. Nordwestlich von Schwegenheim ist deshalb die Einrichtung einer Doppelmessstelle vorgesehen. Diese wird durch eine Messstelle bei Freibach, die die Wasserführung des Modenbachs überwacht, ergänzt.

Eine weitere Messstelle sollte zur direkten Erfassung der Beregnungstätigkeit außerhalb möglicher Wechselwirkungen mit Fließgewässern in einem Bereich hoher Beregnungsintensität im OGWL angeordnet werden. Derzeit ist ein Standort bei Schwegenheim vorgesehen. Sofern

durch die aktuell verbesserte Erfassung der Beregnungsentnahmen andere Schwerpunkte offenkundig werden, ist der Standort ggf. anzupassen.

Für eine hinreichende Quantifizierung der Grundwasserabsenkungen in den Monitoringgebieten Hochstadt und Schwegenheim sind folgende Sachverhalte zu erfassen:

- Überprüfung der hydrogeologischen Standortmerkmale (hydrogeologischer Aufbau des Untergrundes, Zuordnung der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen zu den Grundwasserleitern),
- Erfassung der Grundwasserentnahmen für landwirtschaftliche Beregnung, Trinkwasserversorgung und Brauchwasser,
- Grund- und Gewässerwasserstände (wg. hinreichender zeitlicher Auflösung mit Drucksensoren und Datalogger),
- meteorologische Daten einer repräsentativen Klimastation (DLR-Station Lustadt).

Die systematische Auswertung der Beobachtungsdaten setzt den Einsatz eines Grundwassermodells voraus, um die Auswirkungen der einzelnen Grundwasserentnahmen für Wasserversorgung, für landwirtschaftliche Beregnung und für weitere Nutzungen auf die oberflächennahen Grundwasserstände differenziert bewerten zu können. Zusätzlich ist der Witterungseinfluss auf die Grundwasserstände zu quantifizieren.

Die zielgerichtete Umsetzung des Monitorings ist nur durch eine verbandliche Organisation effizient möglich. Der Beregnungsverband sollte in zweijährigen Monitoringberichten über die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen die Behörden informieren.

Ein Biomonitoring wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht wegen der multikausalen Zusammenhänge der Vitalitätseinbußen der Waldbestände im Hochstädter Wald als wenig zielführend angesehen.

Im südöstlichen Bereich der Südpfalz mit dem Schwerpunkt des Tabakanbaus werden keine Nutzungskonflikte durch die erwartete Umstellung auf Gemüsebau gesehen. Es wird als ausreichend erachtet als Grundelement eines wasserwirtschaftlichen Monitorings und zur Überprüfung der Planungsgrundlagen die Entnahmemengen eine durch geeignete Mengenerfassung (Wasseruhren) zu dokumentieren. Ein weitergehendes Monitoring wird derzeit als nicht erforderlich angesehen.

## 11 Zusammenfassung und Bewertung

Unter den klimatischen Bedingungen der Südpfalz ist die Produktion marktfähiger Gemüse nur durch Zusatzbewässerung möglich. Die Lössriedelgebiete in der Südpfalz bieten auf Grund der Bodeneigenschaften günstige Voraussetzungen für den Gemüsebau. Im Städtedreieck Neustadt a.d.W., Landau und Speyer hat sich neben der Vorderpfalz ein weiterer Schwerpunkt des Gemüsebaus etabliert. Das Beregnungswasser wird heute praktisch vollständig aus oberflächennahen Einzelbrunnen gewonnen. Mit Ausnahme des Boden- und Beregnungsverbandes Zeiskam ist die Beregnung in diesem Raum privat organisiert.

Es wird allgemein aus wirtschaftlichen Gründen von einer weiteren Ausdehnung der Gemüsebauflächen ausgegangen. Da aus Gründen der Fruchtfolge in der Vorderpfalz ein Produktionsanstieg nur noch begrenzt möglich ist, wird ein Wachstumsschwerpunkt im o.g. Städtedreieck gesehen. Dies setzt für eine nachhaltige landwirtschaftliche Entwicklung allerdings eine gesicherte Versorgung mit Bewässerungswasser voraus. Nachvollziehbar wird diese Entwicklung bereits heute insofern, dass für diesen Raum Erhöhungen der Wasserrechte für Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken um ca. 40% der derzeit genehmigten Mengen von 1,0 Mio. m<sup>3</sup>/a auf 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a beantragt sind.

Zusätzlich wird erwartet, dass auf den derzeit für den Tabakanbau genutzten Flächen zukünftig überwiegend Gemüsebau betrieben wird. Der Tabakanbau hat seinen Schwerpunkt in den Verbandsgemeinden Bellheim, Jockgrim, Rülzheim, Kandel und Herxheim.

Im durch das Städtedreieck Neustadt a.d.W., Landau und Speyer aufgespannte Raum liegen der Queichschwemmkegel und die Bachauen der Queich, des Modenbachs und weiterer Fließgewässer mit zahlreichen wertvollen Feuchtgebieten und davon abhängigen Tier- und Pflanzenarten. Die relevanten Flächen sind alle als Natura 2000-Gebiete geschützt. Sie unterliegen daher nach europäischem und nationalem Recht einem Verschlechterungsverbot.

Die vorhandenen Feuchtbiotope zeigen in Abhängigkeit vom Bodenaufbau, den Grundwasserständen und den vorhandenen Pflanzengesellschaften bzw. Tier- und Pflanzenarten eine mäßige bis starke Sensibilität gegenüber Veränderungen des Grundwasserspiegels auf. Auf grundwassernahen und gleichzeitig eher sandigen Standorten besteht eine direkte Abhängigkeit der Feuchtbiotope vom Grundwasser. Entsprechende Standorteigenschaften sind vorwiegend in der Modenbachaue und den nördlich anschließenden Auen des Triefen- und des Krebsbach vorhanden. Auf dem westlichen Queichschwemmkegel besteht durch stauende Bodenschichten (z.B. lehmig-tonige Sande) nur ein gedämpfter und zeitlich verzögerter Wasseraustausch zwischen den oberflächennahen, vorwiegend durchwurzelter Bodenschichten und dem darunter folgenden oberen Grundwasserleiter. Die hier stockenden Wälder (z.B. Eichen-Hainbuchenwälder) und die wechselfeuchten Wiesen der Queichwiesen sind daher gegenüber kurzfristigen Grundwasserstandsänderungen nur mäßig empfindlich. Dauerhafte Absenkungen des Grundwasserspiegels würden aber auch hier negative Veränderungen auslösen.



Insbesondere die Feuchtbiotope südlich von Hochstadt weisen durch die bestehenden öffentlichen, gewerblichen, industriellen und landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen und weitere Faktoren bereits Vorbelastungen auf.

Hiervon zu trennen ist die seit 2003 zu beobachtende Phase extrem tiefer Grundwasserstände, die vorwiegend auf trockene Jahre und geringe Winterniederschläge zurückzuführen und demnach weitgehend witterungsbedingt sind. Sie übertrifft mit ihrer Dauer und ihren Grundwasser-tiefständen aller vorangegangenen Trockenphasen in der Südpfalz seit mindestens 50 Jahren.

In einer weiteren Abstimmung zum Ausbau der Beregnung in der Südpfalz wurde mit Vertretern des MWVLW, MUFV, DLR Rheinpfalz, SGD Süd und LUWG am 13.03.2009 die südlichen Bereiche Konversionsflächen des Tabakanbaus und der nördliche Raum Hochstadt, Lustadt, Zeiskam als Bereiche mit hohem Handlungsbedarf zur Sicherstellung einer wasserwirtschaftlich und ökologisch vertretbaren Beregnung identifiziert und das weitere Vorgehen vereinbart. In einer weitergehenden Begutachtung sind nachfolgende Sachverhalte zu untersuchen und zu bewerten:

- Überprüfung der Bereitstellung der erforderlichen Beregnungsmengen aus dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk mittels der vorhandenen und ggf. zusätzlicher Einzelbrunnen in der Fläche,
- Überprüfung einer Entnahme von Oberflächenwasser (Rheinwasser) zur Beregnung an einer oder mehreren Stellen in Rheinnähe,
- Auffinden optimaler Entnahmestandorte zu den beregnungswürdigen Flächen für den Bau von zentralen Tiefbrunnengalerien und eine entsprechende Kostenschätzung,
- die Entnahme aus Tiefbrunnen, also die Untersuchung der flächenhaften Ausdehnung der Stockwerksabdichtung der unterschiedlichen Grundwasserstockwerke,
- Prüfung der Eignung dieser Stockwerke zur Entnahme unter Berücksichtigung des Vorbehalts, tiefere Grundwasserstockwerke für eine nachhaltige und zukunftssträchtige Trinkwasserversorgung vorzuhalten,
- dezentrale Beregnung auf den potenziellen Konversionsflächen des Tabakbaus.

## Verbandsgebiet Hochstadt

Basierend auf den Perspektivplanungen der Landwirtschaftskammer zum Ausbau der landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz wurde das Beregnungsgebiet Hochstadt weiterentwickelt. Die Flächen des zu gründenden Verbandes schließen landwirtschaftliche Flächen aus folgenden Gemarkungen ein: Essingen, Kleinfischlingen, Hochstadt, Freimersheim, Hochstadt, Zeiskam, Lustadt, Freisbach, Weingarten, Westheim und Lingenfeld. Insgesamt beträgt die landwirtschaftliche Nutzfläche ca. 5.500 ha, davon wurden in 2008 knapp 4.000 ha ackerbaulich genutzt, ca. 1.000 ha sind Rebflächen.

## Beregnungsbedarf

Die Grundlagen zur Ermittlung des Beregnungsbedarfs im Verbandsgebiet Hochstadt wurden auf der Basis der bisher eingesetzten konventionellen Beregnungstechniken in mehreren Arbeitsgesprächen mit DLR, Bauern- und Winzerverband und Landwirtschaftskammer abgestimmt. Eine Beregnungsbedürftigkeit ist immer dann gegeben, wenn der Mangel an Wasser zu einer spürbaren Ertrags- und Qualitätsbeeinträchtigung führen würde. Nur durch eine zusätzliche Beregnung können marktfähige Qualitäten und hohe Produktionsmengen sichergestellt werden. Wegen der klimatischen Verhältnisse und der Bodenverhältnisse in der Südpfalz werden primär als beregnungsbedürftig angesehen: Gemüse, Kartoffel, Zuckerrübe und Tabak. Gemäß des Weinrechts ist es zulässig, auch die im Gebiet befindlichen Rebflächen zur Steigerung der Qualität zu beregnen, wenn der Entwicklungsstillstand der Reben durch Trockenheit droht. Ein relevanter Bedarf wird insbesondere auf Grund der Boden- und Geländeverhältnisse auf absehbare Zeit aber nicht gesehen.

Die Basisinformationen zur Flächennutzung in bestimmten Zeiträumen der Vegetationsperiode 2009 wurden im Rahmen einer Umfrage der Landwirtschaftskammer bei denjenigen Landwirten gewonnen, die Flächen im Beregnungsgebiet Hochstadt bewirtschaften. Die räumliche Differenzierung der angebauten Kulturen erfolgte mit Hilfe der Fernerkundung durch multitemporale Satellitenbilddauswertung.

Auf diesen sehr differenzierten Grundlagendaten wurde der theoretische Beregnungsbedarf bei optimaler Steuerung der Bewässerung nach der Geisenheimer Methode berechnet. Diese Methode setzt auch das DLR zur Beregnungsberatung ein. Für die zurzeit bestehenden Nutzungsverhältnisse ist eine mittlere Grundwasserentnahme von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a zur optimalen Deckung des Beregnungsbedarfs erforderlich. Die Entnahme und Ausbringung von Beregnungswasser für eine optimale Beregnung setzt entsprechende Anlagenkapazitäten voraus, die erfahrungsgemäß bei dezentralen, privaten Strukturen nicht flächendeckend vorhanden sind. Daher sind die tatsächlich entnommenen Grundwassermengen bei der bisherigen Beregnungstätigkeit niedriger anzusetzen.

Das DLR erwartet im Verbandsgebiet einen Zuwachs an Gemüsebaufläche um ca. 400 ha. Aufgrund der geänderten Marktordnung für Zucker verändert sich die Anbaufläche zugunsten der Kartoffel („Zukunftsszenario“). Die Landwirte erwarten nach den Umfrageergebnissen zu den Entwicklungsmöglichkeiten im Gemüsebau in den relevanten Sommermonaten einen etwas höheren Zuwachs. Die theoretisch erforderlichen Grundwasserentnahmen für das Zukunftsszenario liegen im Mittel bei 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a.

## Dezentrale Beregnung aus oberflächennahen Einzelbrunnen

Die modellgestützten Untersuchungen zeigen, dass im Verbandsgebiet Hochstadt Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken in Höhe der genehmigten Menge von 1,0 Mio. m<sup>3</sup>/a als mit dem Naturschutz verträglich anzusehen sind. Bei einer Erhöhung der Grundwasserentnahmen auf 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a vergrößert sich der Bereich zwischen Hochstadt und Schwegenheim

deutlich, in dem Absenkungsbeträge über 0,25 m zu erwarten sind. Grundwasserabsenkungen über 0,25 m sind in den feuchtesensiblen Biotopen als signifikant einzustufen. Bei Schwegenheim reicht der Einflussbereich (Grundwasserabsenkungen > 0,25 m) dann an das FFH-Gebiet „Modenbachniederung“ heran, wo die natürlichen Grundwasserstände im wesentlichen durch Beregnungsentnahmen verringert werden. Im Hochstädter Wald ist dagegen primär die Summationswirkung der Grundwasserentnahmen zur Wasserversorgung und zu Bewässerungszwecken (Landwirtschaft und Golfplatz) zu beachten.

Die Modellrechnungen zeigen, dass die vertretbare Grenzgrundwasserentnahme im Verbandsgebiet Hochstadt unter den derzeitigen organisatorischen Rahmenbedingungen der Beregnungstätigkeit aus dezentralen oberflächennahen Einzelbrunnen bei ca. 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a liegt (s. Anlage 7).

Für den südlich angrenzenden Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim betragen die genehmigten und beantragten Grundwasserentnahmen zur Beregnungszwecken insgesamt 0,84 Mio. m<sup>3</sup>/a. Diese Mengen haben keine signifikanten Auswirkungen auf die Grundwasserstände in den naturfachlichen Schutzgebieten.

Die Zulassung der beantragten Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken soll daher mit einem wasserwirtschaftliches Monitoring im Hochstädter Wald und in der Modenbachniederung bei Schwegenheim verknüpft werden, mit dem folgende Sachverhalte erfasst werden:

- Überprüfung der hydrogeologischen Standortmerkmale (hydrogeologischer Aufbau des Untergrundes, Zuordnung der landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen zu den Grundwasserleitern),
- Erfassung der Grundwasserentnahmen für landwirtschaftliche Beregnung, Trinkwasserversorgung und Brauchwasser,
- Grund- und Gewässerwasserstände,
- meteorologische Daten.

Die systematische Auswertung der Beobachtungsdaten setzt den Einsatz eines Grundwassermodells voraus, um die Auswirkungen der einzelnen Grundwasserentnahmen für Wasserversorgung, für landwirtschaftliche Beregnung und für weitere Nutzungen auf die oberflächennahen Grundwasserstände differenziert bewerten zu können.

Eine weitere Erhöhung der Wasserrechte über 1,4 Mio. m<sup>3</sup>/a im Verbandsgebiet Hochstadt setzt ein Management der Grundwasserentnahmen voraus, bei dem die Wirkungen weitere Entnahmesteigerungen reduziert werden, indem die Förderung auf Brunnen mit vergleichsweise geringem Einfluss auf die Grundwasserstände unter feuchtesensiblen Biotopen verlagert wird. Unter der Voraussetzung einer optimalen Steuerung (Verteilung) der Beregnungsentnahmen erscheint eine Gesamtentnahme von rund 2 Mio. m<sup>3</sup>/a aus dem oberflächennahen Grundwasser mit dezentralen Einzelbrunnen möglich. Derartige Managementaufgaben in diesem Betrachtungsmaßstab können nur im Rahmen eines Beregnungsverbandes zielführend gelöst werden.

Es ist absehbar, dass sich die tatsächlichen Grundwasserentnahmen den für einen optimalen Ertrag erforderlichen Grundwasserentnahmen von im Mittel 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a bei den derzeitigen

Nutzungsverhältnissen weiter annähern werden. Bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen von im Mittel 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a mit dezentralen Einzelbrunnen erweitert sich der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung deutlich (Anlage 14.1). Die erwarteten zusätzlichen Grundwasserabsenkungen lassen insbesondere auf Standorten mit aktuell geringen Grundwasserflurständen Beeinträchtigungen und Schäden in Feuchtbiotopen erwarten. Hiervon wären auch zahlreiche Tierarten betroffen, u.a. solche der Natura 2000-Anhänge und der Roten Listen. Räumlich handelt es sich vorwiegend um den Hochstädter Wald (zusammen mit Essinger und Offenbacher Wald), große Teile der Queichwiesen, die Modenbachaue östlich Freisbach, die Triefenbachaue bei Gommersheim und die Krebsbachaue südlich Geinsheim. In geringerem Maße sind Teile des Schwegenheimer und des westlichen Bellheimer Waldes betroffen.

Bei einer Ausweitung und Intensivierung der landwirtschaftlichen Beregnung im Sinne des Zukunftsszenarios auf im Mittel 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a wird sich der Einflussbereich der landwirtschaftlichen Beregnung nochmals deutlich erweitern, u.a. in die Natura 2000-Gebiete des westlichen Queichschwemmkegels sowie der östlichen Teile der Moden-, Triefen- und Krebsbachaue hinein (Anlage 14.3). Ebenso wären Teile des Schwegenheimer Waldes betroffen. Zu berücksichtigen ist hier auch die Beregnungstätigkeit im Raum Offenbach. Bei einer Entwicklung der Beregnungstätigkeit nach dem Zukunftsszenario überlagern sich mit jeweils deutlichen Absenkungsbeträgen die Wirkungen der Beregnungstätigkeit im Hochstädter und im Offenbacher Raum auf das Grundwasser im Hochstädter Wald.

Insgesamt zeigen die mit dem instationären Grundwassermodell durchgeführten hydraulischen Untersuchungen, **dass die Entnahme von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a und zukünftig bis zu 5,0 Mio. m<sup>3</sup>/a oberflächennahem Grundwasser, mit einer Vielzahl von Einzelbrunnen, nicht umweltverträglich und nachhaltig erfolgen kann.**

## Zentrale Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe

Das Hauptpumpwerk mit Rheinwasserentnahme ist am Altrhein nahe am Hauptrhein bei Mechttersheim vorgesehen. Eine gesicherte Entnahme am näher gelegenen Lingenfelder Altrhein ist wegen der zuzureichenden Wasserführung in Niedrigwasserphasen nicht gegeben. Eine Entnahme aus den Baggerseen ist wegen der großen Mengen umweltverträglich nicht möglich.

Auf Grund der Geländeverhältnisse mit Höhenniveaus von 110 müNN bis 160 müNN ist eine Unterteilung des Verbandsgebietes in drei Druckzonen, die jeweils über Druckhaltepumpwerke versorgt werden, vorgesehen. Die Investitionskosten für Hauptpumpwerk mit Rheinentnahme, Haupttransportleitung und Druckhaltepumpwerke belaufen auf ca. 51 Mio. €.

Neben dem Verbandsgebiet Hochstadt steigen bei einer Bewässerungsintensität nach dem Zukunftsszenario auch im südlich angrenzenden Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim sowie bei Schwegenheim die Grundwasserabsenkungen durch private Beregnungsbrunnen deutlich an. Insbesondere werden trotz einer zentralen Versorgung des Verbandsgebietes Hochstadt die Grundwasserstände im Hochstädter Wald um bis zu 1 m in Folge der Grundwasserentnahmen

zur Beregnung im Raum Offenbach/Ottersheim/Bellheim/Herxheim absinken. Ein Anbindung dieser Beregnungsflächen an eine zentrale Entnahme in Rheinnähe im Zuge der Erschließung des Verbandsgebietes Hochstadt sollte daher untersucht werden. Da die Trasse der Haupttransportleitung am Rande der Gemarkung Schwegenheim geführt wird, können die dortigen Flächen mit vergleichsweise geringem Aufwand angeschlossen werden.

**Die zentrale Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe löst die Konflikte mit dem Naturschutz im Umfeld des Verbandsgebietes und ermöglicht auch langfristig eine gesicherte und nachhaltige Beregnung** (z.B. die Anpassung der Beregnung an den Klimawandel, Anlagen 15.1 und 15.3).

## Zentrale Tiefbrunnengalerien

Auf Grund der komplexen und in größeren Bereichen des Verbandsgebietes ungünstigen hydrogeologischen Untergrundverhältnisse ist eine Versorgung des Verbandsgebietes aus mehreren Brunnengalerien erforderlich. Hinsichtlich einer Minimierung der Auswirkungen der Tiefenentnahmen auf die oberflächennahen Grundwasserstände in sensiblen Bereichen haben sich, unter Berücksichtigung der Grundwassereinzugsgebiete der bestehenden öffentlichen Wasserversorgung, insgesamt 4 Standorte für die Einrichtung zentraler Brunnengalerien (4 mal zehn Brunnen mit Brunnentiefen von ca. 150 m) westlich von Hochstadt, östlich von Lustadt, südöstlich von Freisbach und südlich von Schwegenheim in den Modelluntersuchungen als am besten geeignet gezeigt. Die Standorte sind mit einem hydrogeologischen und hydraulischen Erkundungsprogramm detailliert zu untersuchen.

Auf der Grundlage der Modelluntersuchungen unter Einbeziehung des komplexen Untergrundaufbaus, muss aus heutiger Sicht angenommen werden, dass alle tieferen Grundwasserstockwerke durch die Beregnungsentnahmen mittels Tiefbrunnen beansprucht werden. In den Einzugsgebieten der vorgesehenen Brunnengalerien zur Beregnungsentnahme würden zukünftig für Brunnenerschließungen zur Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung keine Erweiterungsmöglichkeiten mehr bestehen.

Die Modelluntersuchungen zeigen, dass die ökologischen Nutzungskonflikte bei einer Grundwasserentnahme von bis zu 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a mit Tiefbrunnengalerien mittelfristig gelöst werden können. Die Grenzen der Grundwassernutzung wird bei Grundwasserentnahmen unter den Rahmenbedingungen des Zukunftsszenarios (bis 5,0 Mio. m<sup>3</sup>/a) offenkundig. Es würden sich wiederum Konflikte in feuchteabhängigen Biotopen auf Grund abgesenkter Grundwasserstände abzeichnen. Auch wird das nutzbare Grundwasserdargebot weitgehend durch die landwirtschaftlichen Bewässerung aufgezehrt, so dass Entwicklungsmöglichkeiten für die öffentliche Trinkwasserversorgung und für weitere Nutzungen stark eingeschränkt werden.

Der Rahmen der Investitionskosten für die vier Tiefbrunnengalerien beläuft sich nach aktuellem Bearbeitungsstand auf ca. 25 Mio. €.

## Kosten der Flächenerschließung

Die Kosten der Erschließung der Beregnungsflächen werden für die beiden Varianten Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe und zentrale Tiefbrunnengalerien auf jeweils ca. 39 Mio. € grob geschätzt. Sie sind bei beiden Varianten der Wassergewinnung weitgehend identisch. Hierbei bleiben mögliche Einsparpotentiale durch die Einbeziehung der vorhandenen Netze unberücksichtigt.

## Fazit zur Gewinnung des Bewässerungswassers für das Verbandsgebiet Hochstadt

Die zentralen Tiefbrunnengalerien würden ermöglichen, die Flächen des Verbandes unter den derzeitigen Nutzungsverhältnissen umweltverträglich mit Beregnungswasser in einer Größenordnung von 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a zu versorgen. Die hierzu benötigten Grundwassermengen stellen aber gleichsam die Obergrenze an verfügbarem Beregnungswasser dar. Bei einem Beregnungswasserbedarf von ca. 4,8 Mio. m<sup>3</sup>/a, der bei den erkennbaren Entwicklungsmöglichkeiten des Verbandes im Gemüsebau entstehen könnte (Zukunftsszenario), zeichnen sich erneut Konflikte wegen abgesenkter Grundwasserstände in feuchteabhängigen Biotopen ab. Eine langfristig nachhaltige Beregnung des Verbandsgebietes ist nur bei einer zentralen Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe gegeben. **Anlage 20** enthält eine tabellarische Gegenüberstellung der wesentlichen Vor- und Nachteile der Alternativen zur Gewinnung von Beregnungswasser in einer kurzen Übersicht.

Bei einer Umsetzung einer zentralen Entnahme von Oberflächenwasser in Rheinnähe ist zu berücksichtigen, dass sich langfristig auch im südlich angrenzenden Raum Offenbach/Bellheim/Herxheim Konflikte mit dem Naturschutz abzeichnen, wenn die Grundwasserentnahmen aus Flachbrunnen wesentlich ansteigen. Diese Konflikte können durch einen sukzessiven Anschluss an eine zentrale Entnahme aus dem Rhein gelöst werden.

## Konversionsflächen des Tabakanbaus

Die Umstellung des Tabakanbaus auf Gemüsebau mit erhöhtem Beregnungsbedarf ist unter Beibehaltung der dezentralen Strukturen der Feldberegnung möglich. Insgesamt sind die Flächen des Tabakanbaus mit weniger als 1.000 ha in der gesamten südlichen Südpfalz derart gering, dass der Beregnungsmehrbedarf durch die Umstellung auf Gemüsebau in der regionalen Grundwasserbewirtschaftung nicht signifikant wird.

Brandt-Gerdes-Sitzmann  
Umweltplanung GmbH  
Darmstadt, den 19.04.2011

  
Dr.-Ing. M. Kämpf

Bearbeiter: Dipl.-Ing. B. Beyer  
Dipl.-Ing. M. Ergh  
Dipl.-Geogr. M. Forst  
Dipl.-Ing. N. Venohr

## Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung.- Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S.; 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen, Hannover.

Aktion Pfalzstorch e.V. (Hrsg.) 2008: Naturschutz mit dem Storch. Wiesenbewässerung fördert Artenvielfalt.- Symposiumsband zum Tagung am 1.und 2. August 2008 im Storchenzentrum Bornheim.- 32 S., Bonheim. Online verfügbar unter [http://www.pfalzstorch.de/fileadmin/Symposiumsband/Tagungsband\\_Endfassung.pdf](http://www.pfalzstorch.de/fileadmin/Symposiumsband/Tagungsband_Endfassung.pdf)

Bayerisches Landesamt für Umwelt 2009: Klimawandel im Süden Deutschlands. Ausmaß – Folgen – Strategien, Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.- 19 S., Online verfügbar unter: [http://kliwa.de/download/Klimawandel\\_im\\_Sueden\\_Deutschlands.pdf](http://kliwa.de/download/Klimawandel_im_Sueden_Deutschlands.pdf).

BGS Umwelt 2008: Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz.

Delb, H., Block J. (Hrsg.) 1999: Untersuchungen zur Schwammspinner-Kalamität von 1992 bis 1994 in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz.- Nr. 45/1999, Zusammenfassung online verfügbar unter <http://www.fawf.wald-rlp.de/index.php?id=2601>

DLR Rheinpfalz Neustadt a.d.W. 2009: Abschätzung des Wasserbedarfs in der Südpfalz – Mitte (unveröffentlicht).

DLR Rheinpfalz Neustadt a.d.W. 2009: Abschätzung des Wasserbedarfs in der Südpfalz – Süd (unveröffentlicht).

DVWK / Deutscher Verband für Wasser und Kulturbau (1996): Klassifikation überwiegend grundwasserbeeinflusster Vegetationstypen.- DVWK Schriften, Bd. 112, bearb. von Wolfgang Goebel, 492 S., Bonn.

IUS – Institut für Umweltstudien Weisser & Ness GmbH 1994: Pflege- und Entwicklungskonzeption für die Krebsbach- Triefenbach- und Modenbach-Niederung. unveröffentlichtes Gutachten i. A. des Landesamtes für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz.

Janßen, J.-H. 1999: Bemerkungen über die Eichenbestände des Gemeindewaldes Insheim, anlässlich der dortigen Forsteinrichtung. Forsteinrichtungswerk für die Gemeinde Insheim, Forstdirektion Neustadt a.d.W..

LLH - Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2007: Wassersparkkonzepte zum Wasserrechtsantrag Trebur für Grundwasserentnahmen zu Beregnungszwecken (unveröffentlicht).

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2009: Landwirtschaftlicher Fachplan Rheinland-Pfalz 2009.

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, 1999: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983-1998, Stuttgart / Wiesbaden / Mainz.

Prior, Bernd 2010: Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserversorgung auf Trockenstandorten - Auch in Jahren wie 2007 notwendig?, <http://www.dlr-rheinpfalz.rlp.de>.

Sourell, Heinz, 2009: Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft, Freilandberegnung. In Dirksmeyer, Sourell (Hrsg.): Wasser im Gartenbau, Tagungsband zum Statusseminar am 09. Und 10. Februar 2009, Braunschweig.

SGD Süd 2005: Generalplan zur Beregnung der Vorderpfalz, Fortschreibung, Februar 2005.

SGD Süd 2009a: Hochwasserrückhaltung Polder Mechttersheim - Unterlagen für das Planfeststellungsverfahren - Anlage 1 Allgemeine Erläuterungen zum Vorhaben.

SGD Süd 2009b: Bewirtschaftungsplan für das FFH-Gebiet „Offenbacher Wald, Bellheimer und Queichwiesen“ (Gebietsnummer 6715-302) und das Vogelschutzgebiet „Bellheimer Wald mit Queichtal“ (Gebietsnummer 6715-401) Teil A: Grundlagen. - Teil B: Maßnahmen bearb. von Dipl.-Biol. Tom Schulte (Berg, Pfalz), 51 S. + 152 S., Neustadt a.d.W..

Umweltministerium Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer, Fortschreibung 1986 – 2005, Stuttgart / Mainz.

Wellinger, Roger 2004: Modellierung des Wasserhaushaltes einer Rebanlage hinsichtlich künstlicher Bewässerung, Dissertation Hochschule Wädenswil.