

# **Kies- und Sandgewinnung im Gewann Bonnau, Bobenheim-Roxheim**

## **Anlage 7**

### **Hydrogeologisches Gutachten**



**BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE**

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Niederlassung Speyer  
Diakonissenstraße 29 · 67346 Speyer  
Telefon 06232 699160-0 · Telefax 06232 699160-20

## Inhaltsverzeichnis

<b>Erläuterungsbericht</b>		<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Auftrag	1
2	Grundlagen	1
2.1	Geplante Maßnahme	1
2.2	Abgrenzung Untersuchungsgebiet und Flächennutzung	1
2.3	Geologie/Hydrogeologie	2
2.4	Hydrologie	4
2.4.1	Fließgewässer	4
2.4.2	Stillgewässer	5
2.4.3	Niederschlag	5
2.5	Grundwassernutzung	7
2.5.1	Landwirtschaft	7
2.5.2	Sonstige Entnahmen innerhalb des Untersuchungsgebietes	7
2.6	Grundwasserstände	7
2.6.1	Grundwassermessstellen	7
2.6.2	Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände im OGWL	7
2.6.3	Grundwasserströmung im OGWL	8
3	Allgemeine Wechselwirkungen durch Anlegung eines Baggersees	9
4	Aufbau und Anpassung des Grundwasserströmungsmodells	10
4.1	Modellsystem und Randbedingungen	10
4.2	Modellanpassung	13
4.2.1	Stationäre Modellanpassung: Vergleichszeitraum 2008	13
4.2.2	Instationäre Modellanpassung: Hochwasser 1999	15
4.3	Modellgestützte Berechnungen	16
4.3.1	Stationäre Rechenfälle	16
4.3.2	Instationäre Rechenfälle	16
4.4	Ergebnisse	19
4.4.1	Mittlere hydrologische Verhältnisse, mehrjährige Trocken- und Nassperiode	19
4.4.2	Hochwasserereignisse	20
4.4.3	Auswirkungen der Auskiesung auf das Retentionsvolumen	26
4.4.4	Auswirkungen der Auskiesung auf die Standsicherheit des Rheinhauptdeichs	29
5	Zusammenfassung	32

## Anlagen

- 1       Übersichtslageplan, Maßstab 1: 20.000
  
- 2       Bohrungen
  - 2.1     Auswertung der Bohrungen im OGWL
  - 2.2     Auswertung der Bohrungen im OGWL: Vorhabensbezogene Bohrungen
  
- 3       Oberflächengewässer
  - 3.1     Entwicklung der Rheinwasserstände, Pegel Worms, Zeitraum 1950/1980
  - 3.2     Entwicklung der Rheinwasserstände, Pegel Worms, Zeitraum 1980/2017
  
- 4       Grundwasserstände
  - 4.1     Zusammenstellung maßgebender Kenndaten der Grundwassermessstellen im OGWL
  - 4.2     Gemessene Grundwasserstände (Wochenwerte) im OGWL an den Messstellen 1367, 1377 und 1HP23 (Silbersee), Zeitraum 1980/2017
  
- 5       Modellanpassung
  - 5.1     Mittelwerte 2008 (hydrologisches Jahr) der Grundwasserstände im OGWL
  - 5.2     Kenndaten für mittlere hydrologische Verhältnisse, HQ10, HQ100 und HQ200 am Pegel Worms
  - 5.3     Gerechnete und gemessene Grundwasserstände, Eichzustand 2008, OGWL (stationäre Berechnung)
  - 5.4     Vergleich gerechneter und gemessener Grundwasserstandsganglinien, instationäre Anpassung Rheinhochwasser 1999
    - 5.4.1   Grundwassermessstelle 1362
    - 5.4.2   Grundwassermessstelle 1367
    - 5.4.3   Grundwassermessstelle 2219
  - 5.5     Modellnetz und Hydraulische Leitfähigkeit
  - 5.6     Modellnetz und Speicherkoeffizient
  - 5.7     Modellnetz und Grundwasserneubildung
  - 5.8     Zeitliche Auflösung der instationären Modellberechnungen
  
- 6       Berechnete Grundwasserstände für mittlere hydrologische Verhältnisse, Nass- und Trockenperiode in Bestand und Planung
  - 6.1     Mittlere hydrologische Verhältnisse, Grundwassergleichen für Bestand und Planung (stationäre Berechnung)
  - 6.2     3-jährige Trockenperiode, Grundwassergleichen für Bestand und Planung (instationäre Berechnung)
  - 6.3     2-Jährige Nassperiode, Grundwassergleichen für Bestand und Planung (instationäre Berechnung)
  - 6.4     2-Jährige Nassperiode, Grundwasserstandsdifferenzen für Bestand und Planung (instationäre Berechnung)
  
- 7       Maximale Grundwasserstände im Bestandszustand (instationäre Rechenfälle)
  - 7.1     HQ10 Grundwassergleichen Bestand
  - 7.2     HQ100 Grundwassergleichen Bestand
  - 7.3     HQ200 Grundwassergleichen Bestand

- 8 Differenzen der berechneten Grundwasserstände zwischen Bestand und Planung ohne Böschungsabdichtung (instationäre Rechenfälle)
  - 8.1 HQ10 Grundwasserdifferenzen zwischen Bestand und Planung ohne Böschungsabdichtung
  - 8.2 HQ100 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung ohne Böschungsabdichtung
  - 8.3 HQ200 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung ohne Böschungsabdichtung
  
- 9 Differenzen der berechneten Grundwasserstände zwischen Bestand und Planung mit Böschungsabdichtung (instationäre Rechenfälle)
  - 9.1 HQ10 Grundwasserdifferenzen zwischen Bestand und Planung mit Böschungsabdichtung
  - 9.2 HQ100 Grundwasserdifferenzen zwischen Bestand und Planung mit Böschungsabdichtung
  - 9.3 HQ200 Grundwasserdifferenzen zwischen Bestand und Planung mit Böschungsabdichtung
  
- 10 Änderung der Druckwasseraustritte (Überschwemmungsflächen) zwischen Bestand und Planung ohne Böschungsabdichtung
  - 10.1 HQ10 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte ohne Böschungsabdichtung
  - 10.2 HQ100 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte ohne Böschungsabdichtung
  - 10.3 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte ohne Böschungsabdichtung
  
- 11 Änderung der Druckwasseraustritte (Überschwemmungsflächen) zwischen Bestand und Planung mit Böschungsabdichtung
  - 11.1 HQ10 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte mit Böschungsabdichtung
  - 11.2 HQ100 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte mit Böschungsabdichtung
  - 11.3 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte mit Böschungsabdichtung
  
- 12 Änderung der Druckwasseraustritte (Überschwemmungsflächen) zwischen Bestand und Planung mit unvollständiger Böschungsabdichtung
  - 12.1 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte, Fenster im Norden der Böschungsabdichtung
  - 12.2 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte, Fenster im Nordwesten der Böschungsabdichtung
  - 12.3 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte, Fenster im Westen der Böschungsabdichtung
  - 12.4 HQ200 Vorhabensbezogene Änderung der Druckwasseraustritte, Fenster im Süden der Böschungsabdichtung
  
- 13 Differenzen der berechneten Grundwasserstände zwischen Bestand und Planung mit unvollständiger Böschungsabdichtung (instationäre Rechenfälle)
  - 13.1. HQ200 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung, Fenster im Norden der Böschungsabdichtung

- 13.2 HQ200 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung, Fenster im Nordwesten der Böschungsabdichtung
- 13.3 HQ200 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung, Fenster im Westen der Böschungsabdichtung
- 13.4 HQ200 Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Bestand und Planung, Fenster im Süden der Böschungsabdichtung
  
- 14 Berechnungen zur Druckwassersituation am Rheinhauptdeich

## Verwendete Unterlagen

- [1] Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz:  
Verordnung über das Naturschutzgebiet "Hinterer Roxheimer Altrhein" vom 28.12.1965  
Amtsblatt der Bezirksregierung der Pfalz, Nr. 2, 1966
- [2] Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. Björnsen:  
Grundwasserhydraulische Untersuchungen zur Uferfiltratgewinnung im Raum nördlich der Petersau  
Koblenz, November 1978  
(Auftraggeber: Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der nördl. Vorderpfalz)
- [3] Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. Björnsen:  
Uferfiltratgewinnung im Raum nördlich der Petersau, Pumpversuch aus den Versuchsbrunnen I, III und V  
Koblenz, März 1981  
(Auftraggeber: Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der nördl. Vorderpfalz)
- [4] Gesellschaft für Kläranlagen und Wasserversorgung Mannheim mbH:  
Sanierung der Gewässer bei Bobenheim-Roxheim - baureifer Entwurf  
Mannheim, August 1981  
(Auftraggeber: Kreisverwaltung Ludwigshafen am Rhein)
- [5] Dr.-Ing. G. Björnsen, Beratende Ingenieurgesellschaft mbH:  
Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im Bereich Ludwigshafen-Nord/Frankenthal  
- Mathematisches Grundwassermodell  
Koblenz, Dezember 1983  
(Auftraggeber: BASF AG, Stadtwerke Frankenthal und Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der nördl. Vorderpfalz)
- [6] Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz:  
Rechtsverordnung über das Naturschutzgebiet "Vorderer Roxheimer Altrhein - Krumbeeräcker" vom 19.02.1988  
Staatsanzeiger für Rheinland Pfalz, Nr. 10, 1988
- [7] Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz:  
Rechtsverordnung über das Landschaftsschutzgebiet "Pfälzische Rheinauen" vom 17.11.1989  
Staatsanzeiger für Rheinland-Pfalz, Nr. 47, 1989
- [8] Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz:  
Rechtsverordnung über das Naturschutzgebiet "Sporen" vom 16.12.1996  
Staatsanzeiger für Rheinland-Pfalz, Nr. 3, 1997
- [9] Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH:  
Hydrologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum  
- Mathematisches Grundwassermodell  
Koblenz, März 1999  
(Auftraggeber: Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen)

- [10] Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg  
Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten  
Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz:  
Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum  
Fortschreibung 1983-1998  
Stuttgart-Wiesbaden-Mainz, 1999
- [11] Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH (TGU):  
Grundwasserströmungsmodell Frankenthal-Nord - Fortschreibung  
Koblenz, März 2002  
(Auftraggeber: Stadtwerke Frankenthal GmbH)
- [12] Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH (TGU):  
Wasserbereitstellung im Bereich nördlich der Autobahn A6  
Koblenz, Oktober 2000  
(Auftraggeber: Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der Vorderpfalz)
- [13] Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH (TGU):  
Fortschreibung des Grundwasserströmungsmodells für die Werksbereiche Ludwigshafen/Mannheim  
Koblenz, Mai 2001  
(Auftraggeber: BASF AG)
- [14] hydrag:  
Hochwasserrückhaltung Worms-Mittlerer Busch  
Grundwasserhydraulische Bemessung von Anpassungsmaßnahmen  
Karlsruhe, Oktober 2003  
(Auftraggeber: SGD-Süd, Neubaugruppe Hochwasserschutz Oberrhein)
- [15] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Mengen- und Nährstoffbilanz Vorderer Roxheimer Altrhein  
Koblenz, Dezember 2006  
(Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz)
- [16] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Nordspange, Einfluss des bisherigen Betriebs auf die Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet Frankenthal  
Speyer, Juni 2015  
(Auftraggeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd)
- [17] Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH  
Hydrogeologisches Gutachten für das Planfeststellungsverfahren Auskiesung „Bonnau“  
Koblenz, Juli 2004  
(Auftraggeber: Gebrüder Willersinn GmbH & Co. KG)

- [18] Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Hochwasserschutz am rheinland-pfälzischen Oberrhein. Deichrückverlegung Worms-  
Mittlerer Busch  
Neustadt a. d. Weinstraße, Juni 2007
- [19] Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Hochwasserschutz am rheinland-pfälzischen Oberrhein. Deichrückverlegung Worms  
„Bürgerweide  
Neustadt a. d. Weinstraße, August 2007
- [20] Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH  
Kies- und Sandgewinnung im Gewann Bonnau, Bobenheim-Roxheim  
Anlage 5, Geotechnischer Bericht  
August 2018
- [21] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Wasserwirtschaftliches Gesamtkonzept für das Einzugsgebiet von Isenach und Eck-  
bach, Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes  
Koblenz, Januar 2005  
(Auftraggeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle WAB)
- [22] Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH  
Standortsicherheitsbeurteilung Rheinhauptdeich „Petersau – Bannen“  
Deichabteilung IV, Deich-km 16+700 – 18+200 Gem. Bobenheim – Roxheim  
(Auftragegeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle WAB)  
Dezember 2013
- [23] Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH  
Erdstatische und untergrundhydraulische Nachweise  
Ausbau des Rheinhauptdeiches; Deichabteilung IV, Deich-km 18+200 – 19+470  
Gemarkungen Roxheim und Worms  
(Auftragegeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle WAB)  
August 2013
- [24] Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH  
Gutachterliche Stellungnahme zur Standsicherheit des Rheinhauptdeiches  
Deichabteilung IV, Deich-km 16+700 – 19+000  
Gemarkung Frankenthal-Mörsch und Bobenheim–Roxheim  
(Auftragegeber: Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Neubaugruppe  
Hochwasserschutz Oberrhein)  
Mai 1999

- [25] Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Hochwasserschutz am Oberrhein, Hochwasserrückhaltung Worms – Mittlerer Busch,  
Anpassungsmaßnahmen für die Gebäude des Oberen Busches  
März 2006  
Verfasser: ipr Consult Ingenieurgesellschaft Pappon & Riedel mbH
- [26] Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Hochwasserrückhaltung Worms-Mittlerer Busch, Objektsicherung Mittlerer Busch, Er-  
fassung der Grundwasserstände, Statusbericht 2017  
Dezember 2018  
Verfasser: Ingenieurbüro hydrag
- [27] Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Hochwasserrückhaltung Worms-Mittlerer Busch, Grundwasserhydraulische Bemes-  
sung von Anpassungsmaßnahmen, Planungskonzept mit großkalibrigen Schwer-  
kraftbrunnen  
März 2006  
Verfasser: Ingenieurbüro hydrag

Messdaten, diverse öffentliche und private Institutionen:

- Grundwasserstände: Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz; BASF AG; Stadtwerke Frankenthal GmbH, TGU GmbH, Technische Werke Ludwigshafen am Rhein AG
- Niederschlag: Deutscher Wetterdienst
- Oberflächengewässer: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, SGD-Süd, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz; Gewässerzweckverband Isenach-Eckbach; TGU GmbH
- Wasserstände Hochwasser 1999: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Bohrprofile: Gebr. Willersinn GmbH & Co. KG, Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der Vorderpfalz, Gemeinde Bobenheim-Roxheim, FRoSTA AG

## **1 Veranlassung und Auftrag**

Die Auswirkungen der geplanten Auskiesung „Bonnau“ mit einer späteren Wasserfläche von rd. 75 ha auf die Grundwasserstände sollen durch ein hydrogeologisches Gutachten geklärt werden. Das Gutachten soll insbesondere aufzeigen, welche Veränderungen der Grundwasserstände durch die Auskiesung auftreten bzw. wie nachteilige Veränderungen minimiert werden können.

Die Gebr. Willersinn GmbH & Co. KG hat die Björnsen Beratende Ingenieure GmbH mit den entsprechenden Untersuchungen beauftragt. Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der Untersuchung zusammen.

## **2 Grundlagen**

### **2.1 Geplante Maßnahme**

Die Gebr. Willersinn GmbH & Co. KG plant in der Bonnau (Gemarkung Bobenheim-Roxheim) einen Nassabbau von Sand und Kies. Eine Wiederverfüllung des entstehenden Gewässers ist nicht vorgesehen. Unter Beachtung der Abstandsflächen, die zum Rheinhauptdeich sowie zum Naturschutzgebiet „Sporen“ (zwischen der Bonnau und dem Rhein) eingehalten werden müssen, wird im Endzustand eine rd. 75 ha große Wasserfläche entstehen. Die Längserstreckung des künftigen Sees (etwa parallel zum Rhein) beträgt rd. 1,8 km, die größte Breite des Sees rd. 0,6 km. Die Sohle des Sees ist bei 72 mNN geplant. Damit wird der künftige Baggersee bei mittleren hydrologischen Verhältnissen eine Wassertiefe von rd. 15 m aufweisen.

### **2.2 Abgrenzung Untersuchungsgebiet und Flächennutzung**

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich linksrheinisch in der Rheinniederung zwischen der K1 im Süden, dem Eckbach im Norden sowie der L523 im Westen (Anlage 1). Nahezu der gesamte Bereich der Rheinniederung nördlich der A6 ist Landschaftsschutzgebiet [7].

Der engere Untersuchungsbereich, die rd. 110 ha große Bonnau, befindet sich rheinnah im östlichen Teil der Gemarkung Bobenheim-Roxheim. Die Bonnau wird im Norden vom Altrhein-kanal, im Osten vom Sommerdeich und im Westen/Süden vom bis zu rd. 0,9 km vom Rheinufer abgerückten Rheinhauptdeich begrenzt. Das Gelände ist mit Geländehöhen zwischen 88,5 und 91,5 mNN bereichsweise stark reliefiert (insbesondere im nordöstlichen Bereich) und wird ausschließlich landwirtschaftlich genutzt. Die Deichkrone Rheinhauptdeich liegt um 93,5 mNN, die des Sommerdeiches um 91,5 mNN.

Der maximal 100 m breite Streifen zwischen Sommerdeich und dem Rheinufer ist als Naturschutzgebiet „Sporen“ [8] ausgewiesen. Im Westen tangiert die Schnellstraße B9 den Rheinhauptdeich. Hauptnutzung beidseitig der B9 ist ebenfalls Landwirtschaft. Nördlich des Altrheingrabens sind auch naturnahe Gehölzflächen eingeschaltet.

Unweit südlich der Bonnau befindet sich das Hofgut Petersau, dem im Süden die Fa. Intersnack („Chio-Chips“) angrenzt. Die Wohnbebauung Bobenheim-Roxheim im Westen ist bereits rd. 3,5 km von der Bonnau entfernt. Zwischen Bobenheim-Roxheim und der Bonnau erstrecken sich vier größere Wasserflächen. Neben dem Vorderen- und dem Hinteren Roxheimer Altrhein ist es der durch Nassabbau von Sand und Kies entstandene Silbersee mit seiner östlichen Erweiterungsfläche im Bereich „Große Ochsenlache“. Letztere ist seit 2001 mittels eines Dammes vom Silbersee abgetrennt. Auf dieser östlichen Erweiterungsfläche fand durch die Gebr. Willersinn GmbH & Co. KG bis 2016 der Nassabbau statt.

Nördlich des Roxheimer Kandels liegt eine weitere genehmigte Abbaufäche, der sog. Heiligensand. Die Auskiesung dort läuft seit 2017.

## 2.3 Geologie/Hydrogeologie

### ***Vorbemerkung***

Maßgebend für die vorliegende Untersuchung ist der oberflächennahe Untergundaufbau und damit der Obere Grundwasserleiter. Zum Verständnis der Gegebenheiten im Oberrheingraben wird kurz auf die Grundwasserleiter und Zwischenhorizonte im Großraum Ludwigshafen/Frankenthal eingegangen. Gemäß der Hydrogeologischen Kartierung (HGK) Rhein-Nekar-Raum [10] gliedern sich diese von oben nach unten:

- Oberer Grundwasserleiter (**OGWL**)
- Oberer Zwischenhorizont (**OZH**)
- Mittlerer Grundwasserleiter (**MGWL**)
- Unterer Zwischenhorizont (**UZH**)
- Unterer Grundwasserleiter (**UGWL**)

Im Weiteren werden zur Beschreibung nur noch die Kurzbegriffe verwendet. Der MGWL ist beispielsweise ab etwa 40 m und der UGWL etwa im Größenbereich ab 100 m unter Gelände anzutreffen.

### ***Verhältnisse im Bereich Bonnau***

Der OGWL im Bereich Bonnau ist durch zahlreiche Bohrungen erfasst [2], [3], [20]. Eine Verdichtung des Bohrrasters fand 2000/2002 im Rahmen der Lagerstätten erkundung im Auftrag der Gebr. Willersinn GmbH & Co. KG statt (Bohrunternehmen E. Hild GmbH, LU-Ruchheim). Im Rahmen der aktuellen Planung wurden ergänzenden Bohrungen durch den Vorhabensträ-



## 2.4 Hydrologie

### 2.4.1 Fließgewässer

#### *Rhein*

Hauptgewässer und Haupteinflussfaktor auf die Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet ist der Rhein. Dessen Wasserführung und damit dessen Wasserstände weisen eine sehr große Schwankungsbreite auf. In Tabelle 1 sind Hauptzahlen der Wasserstände von den Pegeln Mannheim (Rhein-km: 424,9) und Worms (Rhein-km: 443,4) zusammengestellt. Eine Besonderheit auf dieser Rheinstrecke ist, dass an der baden-württembergischen/hessischen Landesgrenze rd. 0,7 km in der Rheinkilometrierung fehlen, d.h. der tatsächliche Abstand der beiden Rheinpegel beträgt nur rd. 17,8 km.

**Tabelle 1: Hauptzahlen der Rheinwasserstände**

	Mannheim		Worms				Bereich Bonnau
	2000/2010		2000/2010		1931/1995		mNN
	cm	mNN	cm	mNN	cm	mNN	
NW	92	86,08	16	84,32	41	84,57	
MNW	146	86,62	64	84,80	72	84,88	
MW	302	88,18	210	86,26	220	86,36	
MHW	675	91,91	534	89,50	596	90,12	
HW*	824	93,37	986	91,02			
BHW*							~92,8

\* Hochwasser am 23.02.1999

\* Bemessungshochwasser Rhein

Das mittlere Rheinwasserstandsgefälle liegt bei rd. 0,11 ‰. Für das Untersuchungsgebiet sind zu den Zahlenangaben des Pegel **Worms** in Tabelle 1 für Mittelwasser (MW) etwa 0,6 m für den Rhein in Höhe Mündung Altrheingraben (Rhein-km: 438,3) und etwa 1,0 m für den Rhein in Höhe der K1 (Rhein-km: 434,5) zu addieren. Bei Hochwasser (HW) ist infolge eines steileren Gefälles zu den Zahlenangaben in Tabelle 1 etwa 0,7 m für den Rhein in Höhe Mündung Altrheingraben und etwa 1,2 m für den Rhein in Höhe der K1 zu addieren.

Die Schwankungsbreite der Rheinwasserstände wird aus Anlagenreihe 3 ersichtlich (Zeitraum 1950/2017). Eingetragen ist auch die auf den Pegel Worms extrapolierte maßgebende Höhe des Sommerdeiches an der Bonnau (etwa 90,5 mNN am Pegel Worms). Steigt der Rheinwasserstand höher als der Sommerdeich, findet eine Überschwemmung der Bonnau statt. Dies hat ab Ende der siebziger Jahre (Ende der Ausbaumaßnahmen am Oberrhein) etwa 12 mal stattgefunden, wobei ausgeprägte Hochwasser mit deutlichem Einstau im Mai 1978, im April und Mai 1983, im März 1988 (bisheriges Maximum der Jahresreihe), im Februar 1990, im Dezember 1993, im Februar 1999 und zuletzt im Juni 2013 zu verzeichnen waren. Kleinere Hochwasser traten im Februar 1980, im Januar 1995, im Mai 1999 und im März 2001 auf.

### ***Mörschbach (Isenach)/ Altrheinkanal***

Der Gewässerzug Mörschbach (Isenach)/Altrheinkanal führt u.a. das im Einzugsgebiet der Isenach (Bereich Bad Dürkheim) und des Floßbaches (u.a. südliche Frankenthaler Terrasse) anfallende Wasser zum Rhein ab. Bei Rheinhochwasser stellt das 1962 umgebaute Schöpfwerk (eingegliedert in den Rheinhauptdeich) die Vorflut sicher. Bei einem Rheinwasserstand von rd. 87,74 m+NN am Schöpfwerk wird der Freiauslauf geschlossen und der Pumpbetrieb (Leistung bis zu 10 m<sup>3</sup>/s (seit 1986)) aufgenommen. Der Altrheinkanal weist eine Sohlbreite von rd. 15 m, der Mörschbach (Isenach) eine Sohlbreite von rd. 4 bis 6 m auf. Zwischen Silbersee und Vorderem Roxheimer Altrhein durchfloss früher der Mörschbach (Isenach) den Ständerweiher, der 1987 bis auf den heutigen Grabenverlauf verfüllt wurde [4]. Ab einem Wasserstand im Mörschbach (Isenach) von 87,74 mNN findet über eine Entlastungsschwelle ein Abschlag von Isenachwasser in den Vorderen Roxheimer Altrhein statt.

Seit 2010 wird eine Teilmenge von bis zu 2 m<sup>3</sup>/s unmittelbar nördlich der A6 über die sogenannte Nordspange in den Rhein abgeschlagen.

### ***Eckbach***

Der aus dem Bereich Grünstadt kommende Eckbach gelangt bei Rhein-km 440,2 in den Rhein. Ab einem Rheinwasserstand von rd. 89,3 mNN an der Mündung wird die dortige Schließe geschlossen und es findet neben einer Polderung eine Überleitung des Eckbachwassers über den Graben E1 zum Roxheimer Kandel statt.

## **2.4.2 Stillgewässer**

### ***Silbersee und östliche Erweiterung***

Die mit Abstand größte Wasserfläche in der Rheinniederung bildet der Silbersee. Der durch Nassabbau von Kies und Sand in den letzten Jahrzehnten entstandene See weist eine Fläche von rd. 120 ha (1,2 km<sup>2</sup>) und eine maximale Tiefe von rd. 13 m auf. Der 2001 durch einen Damm abgetrennte, östlich vom Silbersee gelegene Bereich wurde bis Ende 2016 ausgekiest. Es entstand dort bis etwa an die B9 ein insgesamt etwa 30 ha großer See, im Weiteren als „**Ochsenlache**“ bezeichnet.

### ***Vorderer- und Hinterer Roxheimer Altrhein***

Der Vordere- und der Hintere Roxheimer Altrhein stehen über einen Düker (unter dem Mörschbach) in Verbindung. Der Hintere Roxheimer Altrhein ist weitgehend naturbelassen (Naturschutzgebiet [1]), der Vordere Roxheimer Altrhein ist Mitte der achtziger Jahre zur Verbesserung der Wasserqualität vertieft worden und weist eine maximale Tiefe von rd. 13 m auf. Der nördliche Teil ist ebenfalls Teil eines Naturschutzgebietes [6].

## **2.4.3 Niederschlag**

Mit mittleren Jahresniederschlagshöhen zwischen rd. 530 mm im Westen und rd. 600 mm im Osten [10] gehört das Untersuchungsgebiet zu den trockenen Gegenden Deutschlands. Für

die **Station Frankenthal** des Deutschen Wetterdienstes (Gelände der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt) sind in Tabelle 2 Jahresniederschlagssummen (Kalenderjahre) zusammengestellt. Messdaten liegen bis Ende 1999 vor (seit Anfang 2000 ist die Station aufgelassen). Seit 1991 existieren Niederschlagsdaten von der Station Kleinniedesheim westlich von Bobenheim-Roxheim. Im Zeitraum 1991/2015 wurde an der Station eine mittlere Niederschlagssumme von rd. 536 mm gemessen.

**Tabelle 2: Jahresniederschlagssummen (Kalenderjahre) Frankenthal [mm]**

Mittel	1931/60	522
Mittel	1961/90	530
Mittel	1990/1999	494
Trockenjahr	1971	300
"	1991	329
Nassjahr	1981	712
"	1987	719

Ackerfläche

↓ 600  
475  
↑

↓ 125

Wasserfläche

↓ 600  
725  
↑

↑ 125

**Abbildung 2: Beispielhafte Neubildungsberechnung (Angaben in mm/a) für den Bereich Bonnau**

Entsprechend dem geringen mittleren Jahresniederschlag ist auch die Grundwasserneubildung gering. Die mittlere Grundwasserneubildung liegt in weiten Bereichen im Größenbereich von rd. 2 bis 5 l/s · km<sup>2</sup> [10]. Auf den Wasserflächen (meist aufgedecktes Grundwasser) und im Bereich kleiner Flurabstände überwiegt sogar die Verdunstung den Niederschlag, so dass dort eine Grundwasserzehrung zu verzeichnen ist. In Abbildung 2 sind in zwei Beispielen die Gegebenheiten im Mittel für den Bereich Bonnau dargestellt. Einem angesetzten mittleren Niederschlag von rd. 600 mm/a steht beispielsweise eine mittlere Verdunstung von rd. 475 mm/a (Ackerflächen) und rd. 725 mm/a (Wasserflächen) [10] gegenüber.

## **2.5 Grundwassernutzung**

### **2.5.1 Landwirtschaft**

Im Untersuchungsgebiet findet zur Ertragssteigerung der Kulturen bei Bedarf eine Beregnung statt. Das Beregnungswasser wird in der Regel aus dem Grundwasser entnommen. Die Brunnen dürften ausschließlich den OGWL wegen der großen Mächtigkeit und des ausreichenden Wasserdarlehotes infolge der Rheinnähe erfassen.

Die Förderung der landwirtschaftlichen Brunnen hängt von der klimatischen Entwicklung ab und liegt in Trockenjahren erheblich höher als in Nassjahren. Die Höhe der Förderung ist nicht erfasst. Anhand der Bedarfszahlen der bisher vom Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der Vorderpfalz erschlossenen Flächen südlich der A6 sowie der örtlichen Gegebenheiten [12] wird die Fördermenge im Untersuchungsgebiet (Abgrenzung siehe Abschnitt 2.2) zu rd. 0,6 Mio. m<sup>3</sup>/a abgeschätzt.

### **2.5.2 Sonstige Entnahmen innerhalb des Untersuchungsgebietes**

Grundwasser aus dem OGWL entnehmen im Untersuchungsgebiet die Fa. **Intersnack** an zwei Flachbrunnen (FB1 und FB2) im Bereich Petersau sowie die Fa. FRoSTA AG an zwei Flachbrunnen im Industriegebiet Roxheim im OGWL. Die Fördermengen lagen in den letzten Jahren jeweils in der Größenordnung von rd. 0,15 bis 0,40 Mio. m<sup>3</sup>/a.

Südlich der Bonnau ist die Grundwassersituation durch die Brauch- und Trinkwasserentnahme (vorwiegend Tiefbrunnen im MGWL und UGWL) im Bereich der Städte Frankenthal, Ludwigshafen und Mannheim geprägt.

## **2.6 Grundwasserstände**

### **2.6.1 Grundwassermessstellen**

Im Untersuchungsgebiet besteht ein dichtes Messnetz zur Messung der Grundwasserstände. Der überwiegende Teil der Messstellen erfasst den OGWL und ist zumeist erst in den achtziger Jahren entstanden. In Anlage 1 ist die Lage der im vorliegenden Bericht berücksichtigten Messstellen im OGWL dargestellt, maßgebende Kenndaten sind in Anlage 4.1 zusammengestellt.

### **2.6.2 Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände im OGWL**

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände ist durch zahlreiche Einflüsse geprägt. Die Wesentlichen sind: Rheinwasserstandsänderungen, Grundwasserneubildung aus Nieder-

schlag und die Entnahmen aus dem Grundwasser. Welcher Einfluss hierbei überwiegt ist maßgeblich von der Entfernung der Messstelle vom Rhein abhängig.

In Anlage 4.2 ist für drei repräsentative Messstellen die langfristige Entwicklung der Grundwasserstände (Wochenwerte) aufgetragen:

***Messstellen 1367:***

Die Messstelle (**östliche Rheinniederung, Bereich Bonnau**) ist rd. 600 m vom Rhein entfernt und weist dementsprechend einen sehr ähnlichen Gang der Grundwasserstände auf. Insgesamt spiegelt sich in gedämpfter und auch etwas zeitlich verzögerter Form der Verlauf der Rheinwasserstände wieder. Die Gesamtschwankungsbreite der Grundwasserstände beträgt im aufgetragenen Zeitraum rd. 4 m.

***Messstelle 1377:***

Die Messstelle (**westliche Rheinniederung**) ist bereits rd. 3,5 km vom Rhein entfernt. Die Gesamtschwankungsbreite ist demgemäß mit rd. 2 m deutlich geringer als bei der zuvor beschriebenen Messstelle. Zu erkennen ist ein jeweils mehrjähriger Trend steigender und fallender Grundwasserstände, der überlagert wird vom typischen Jahresgang. Innerhalb eines Jahres treten in der Regel in der ersten Hälfte des hydrologischen Jahres (Winterhalbjahr) jeweils die höchsten und gegen Ende des hydrologischen Jahres (Ende Sommerhalbjahr) jeweils die niedrigsten Grundwasserstände auf. Im dargestellten Zeitraum traten ausgeprägte Grundwassertiefstände 1993 und 2006 auf, die höchsten Grundwasserstände wurden 2001 und Anfang 2003 gemessen.

***Messstelle 1HP23:***

An der Messstelle liegen Messungen seit 2005 vor. Gemessen wird der Wasserstand im Silbersee. Da im See pro Volumeneinheit eine größere Menge Wasser gespeichert wird (Speicherkoefizient von 1) als im umgebenden Grundwasserleiter, fallen die kurzfristigen Wasserstandsänderungen kleiner aus als an den übrigen Messstelle. Wie auch an den beiden anderen Messstellen ist ab 2006 ein ansteigender Trend der Wasserstände gegeben. Ab etwa 2010 liegt ein konstantes Niveau der Wasserstände vor und ab Mitte 2016 fallende Wasserstände.

### 2.6.3 Grundwasserströmung im OGWL

Die Grundwasserströmung im weiteren Untersuchungsraum ist grundsätzlich in West-Ost-Richtung von der Frankenthaler Terrasse zur Rheinniederung orientiert. In Rheinnähe ist die Strömung vor allem bei hohen Rheinwasserständen entgegengesetzt gerichtet.

Darüber hinaus ist die mittlere Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet sowie weiter südlich durch die so genannte Frankenthaler Depression geprägt. Bedingt durch Schwachstellen im OZH (Bereich LU-Oppau, LU-Edigheim und FT-Mörsch) und hohe Grundwasserförderung im MGWL sickert zur Regenerierung des tieferen Grundwassers mehr Grundwasser aus dem OGWL in den MGWL ab, als landseitig zufließt [5], [11], [12], [13]. Dadurch hat sich der Grundwasserspiegel im Bereich der Depression im Mittel unterhalb des mittleren Rheinwasserspiegels abgesenkt. Der Ausgleich erfolgt durch Zufluss uferfiltrierten Rheinwassers. Die Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet ist damit zur Depression hin gerichtet. Dies wird nicht zuletzt auch durch die Ergebnisse einer am 17.07.2000 durchgeführten Stichtagsmessung belegt [17].

### **3 Allgemeine Wechselwirkungen durch Anlegung eines Baggersees**

#### ***Beeinflussung der Grundwasserströmung***

Durch die Entnahme von Bodenschichten bis unter die Grundwasseroberfläche (Nassabbau) wird Grundwasser zu Seewasser. Die so entstehenden künstlichen Oberflächengewässer (Baggerseen) sind zum einen den äußeren Einflüssen direkt ausgesetzt (z.B. Verdunstung). Zum anderen bleibt das Seewasser in der Regel weiterhin mit dem Grundwasser in der Umgebung des künstlichen Sees verbunden. Ein Baggersee stellt im Grundwasserleiter eine Zone besonders guter Durchlässigkeit dar. Bedingt durch eine geringe bis gar keine Fließgeschwindigkeit stellt sich im See ein horizontaler Wasserspiegel ein, der sich bei völlig offenen Ufern auf die Höhe des ursprünglichen Grundwasserstandes in der Mitte zwischen oberstromigen und unterstromigen Ufer einstellen muss. Diese Schnittlinie zwischen der ungestörten Grundwasseroberfläche und der Baggerseeoberfläche wird auch als Kippungslinie bezeichnet. Der horizontale Wasserspiegel im See bewirkt im Oberstrom eine Absenkung und im Unterstrom eine Aufhöhung des Grundwassers.

Die Reichweite der Absenkung bzw. Aufhöhung und damit die Auswirkung eines Baggersees auf das umgebende Grundwasser wird maßgeblich durch die geometrische Form und Lage des Sees zur Grundwasserfließrichtung sowie das Grundwassergefälle beeinflusst. Ein weiterer Faktor auf die Auswirkungen eines Baggersees auf das umgebende Grundwasser ist die Dichtung der Seesohle bzw. des Seeufers durch Feinsedimente (z.B. absinkende Feinanteile bei der Baggerung oder aus der (gezielten) Einbringung von feinkörnigem Abraummateriale). Bedingt durch solche Selbstdichtung oder gezielte Abdichtung verschiebt sich die o.a. Kippungslinie nach Oberstrom und der Seewasserspiegel steigt an.

#### ***Dämpfung der Grundwasserstandsschwankung***

Ein See weist einen Speicherkoeffizient von 100 % auf, d. h. auf der Seefläche lässt sich etwa 5 bis 8 Mal mehr Wasser speichern als im Grundwasserleiter bei gleicher Grundfläche und

freier Grundwasseroberfläche (Speicherkoeffizient bei ungespanntem Grundwasser etwa zwischen 12 und 20 %). Bei steigenden Grundwasserständen, z.B. bedingt durch eine Hochwasserwelle in einem nahe gelegenen und mit dem Grundwasserleiter in Verbindung stehenden Gewässer, dämpft ein See den Grundwasseranstieg infolge der hohen Speicherfähigkeit. Liegt der See in einem Bereich mit mächtigen Deckschichten, die ohne See bei steigenden Grundwasserständen zu gespanntem Grundwasser führen (Grundwasserdruckfläche höher als Unterfläche der Deckschichten, Speicherkoeffizient kleiner 0,1 %), ist der Dämpfungseffekt noch ausgeprägter als bei ungespanntem Grundwasser. Die Ausbreitung einer hochwasserbedingten Druckwasserwelle im Grundwasserleiter wird merkbar „gebremst“ und gedämpft.

### ***Beeinflussung des Wasserhaushaltes***

Die Wasserhaushaltsgleichung für einen mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden See (z.B. Baggersee) lautet:

$$N + Z_u - (A_u + V_s \pm R) \pm Q = 0$$

mit     $N$  = Niederschlag auf der Seefläche  
       $Z_u$  = unterirdischer natürlicher Zufluss  
       $A_u$  = unterirdischer natürlicher Abfluss  
       $V_s$  = Verdunstung von der Seefläche  
       $R$  = Rückhalt  
       $Q$  = künstliche Ein- oder Ableitung

Maßgebend ist u.a. die Größe der Verdunstung in Bezug auf den Niederschlag. Der Unterschied zwischen der bewachsenen Landoberfläche (Evapotranspiration) und der Wasserfläche (Evaporation) wird als Mehrverdunstung bezeichnet. Wenn die Seeverdunstung die Niederschlagsmenge übersteigt, sodass keine Grundwasserneubildung stattfindet, liegt eine Zehrung aus dem umgebenden Grundwasser vor. Bei stationären Verhältnissen ( $R = 0$ ) ist dann der unterirdische Zufluss zum See um den Betrag ( $V_s - N$ ) größer als der unterirdische Abfluss.

## **4 Aufbau und Anpassung des Grundwasserströmungsmodells**

### **4.1 Modellsystem und Randbedingungen**

Die vorliegende Untersuchung verwendet das großräumige Rhein-Neckar-Grundwassermodell [9] mit einem 125 m-Netzraster. Im Bereich der Bonnau ist das Raster auf 62,5 m verfeinert. In der Vertikalen werden je nach Rechenfall zwischen fünf und sieben Schichten im Modell berücksichtigt.

Die folgenden Rechenfälle wurden erstellt:

#### Stationäre Rechenfälle

- **Modellanpassung:** Stationäre Modellanpassung für die Grundwassersituation Jahresmittel 2008
- **Bezugsfall:** Stationärer Bezugszustand mit langjährigen, mittleren hydrologischen Verhältnissen bezogen auf Grundwasserneubildung und Rheinwasserstand, der Baggersee „Ochsenlache“ ist in Endgröße berücksichtigt.
- **Planungsfall ohne Abdichtung:** Rechenfall mit gleichen Randbedingungen wie der Bezugszustand unter zusätzlicher Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“.
- **Planungsfall mit Abdichtung:** Die Randbedingungen entsprechen denen des Planungszustandes A. Zusätzlich wird für die Auskiesung Bonnau eine Abdichtung der Nord- und Westböschung mit bindigem Deckschichtmaterial angenommen.

#### Instationäre Rechenfälle: hydrologische Nass- und Trockenperioden

- **Bezugsfall:** Bezugsfälle für eine 1-, 2- und 3-jährige Nassperiode und eine 1-, 2- und 3-jährige Trockenperiode. Dargestellt werden nur die Modellversionen mit der stärksten Absenkung (3-jährige Trockenperiode) bzw. Aufspiegelung (2-jährige Nassperiode)
- **Planungsfall ohne Abdichtung:** Modellrechnung für eine 1-, 2- und 3-jährige Nassperiode und eine 1-, 2- und 3-jährige Trockenperiode unter Berücksichtigung der Auskiesung „Bonnau“ und „Heiligensand“. Dargestellt werden nur die Modellversionen mit der stärksten Absenkung (3-jährige Trockenperiode) bzw. Aufspiegelung (2-jährige Nassperiode)
- **Planungsfall mit Abdichtung:** Die Randbedingungen entsprechen denen des Planungszustandes A. Zusätzlich wird für die Auskiesung Bonnau eine Abdichtung der Nord- und Westböschung mit bindigem Deckschichtmaterial angenommen.

#### Instationäre Rechenfälle: Hochwasserereignisse (HQ)

- **Modellanpassung HQ1999:** Modellrechnung für zwei aufeinanderfolgende Rheinhochwasser zwischen Februar und August 1999.
- **Bezugsfälle HQ10, HQ100, HQ200:** Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignisse auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ10, HQ100 bzw. HQ200).
- **Bezugsfall HQ200 mit Grundwasserhaltung auf dem Anwesen Edelbluth & Dauber:** Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignisse auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ200). Zusätzlich werden die Grundwasserhaltungsmaßnahmen im Bereich Edelbluth & Dauber berücksichtigt.
- **Planungsfälle HQ10, HQ100, HQ200 ohne Abdichtung** (instationär): Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignisse auf Basis des Kurvenverlaufs der Hoch-

wasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ10, HQ100 bzw. HQ200) unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“.

- **Planungsfall 2-jährige Nassperiode mit anschließendem HQ200 ohne Abdichtung** (instationär): Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignis auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ200) unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“. Zusätzlich wird von einem hohen Anfangswasserstand nach 2-jähriger Nassperiode ausgegangen.
- **Planungsfälle HQ10, HQ100, HQ200 mit Abdichtung**(instationär): Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignisse auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ10, HQ100 bzw. HQ200) unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“. Teile der Seeböschungen der Bonnau werden abgedichtet.
- **Planungsfall HQ1988 mit Abdichtung** (instationär): Modellrechnung für Bemessungswelle HQ1988 bis zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“. Teile der Seeböschungen der Bonnau werden abgedichtet.
- **Planungsfall HQ200 mit Fenster in Abdichtung** (instationär): Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignis auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ200) unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“. Bauzeitlich bedingte Fenster in der Abdichtung der Nord- und Westböschung werden berücksichtigt.
- **Planungsfall HQ200 mit Fenster in Abdichtung und Grundwasserhaltung auf dem Anwesen Edelbluth & Dauber**(instationär): Modellrechnung für Bemessungshochwasserereignis auf Basis des Kurvenverlaufs der Hochwasserereignisse von 1999 (Erhöhung des Wellenscheitels auf den Maximalwasserstand HQ200) unter Berücksichtigung der Auskiesungen „Bonnau“ und „Heiligensand“. Bauzeitlich bedingte Fenster in der Abdichtung der Nord- und Westböschung werden berücksichtigt. Zusätzlich werden die Grundwasserhaltungsmaßnahmen im Bereich Edelbluth & Dauber berücksichtigt.

Im Folgenden werden die Anpassungen der Randbedingungen für die einzelnen Rechenfälle näher erläutert.

## 4.2 Modellanpassung

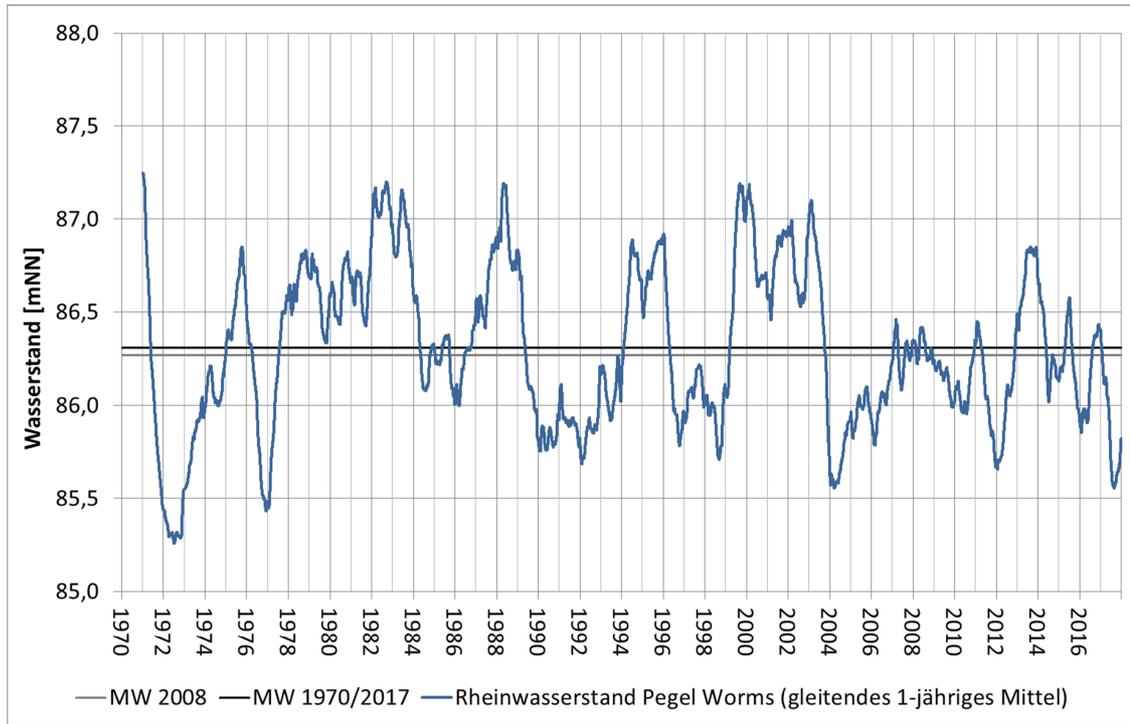
### 4.2.1 Stationäre Modellanpassung: Vergleichszeitraum 2008

Als Vergleichszeitraum für die (stationäre) Modellanpassung wird das hydrologische Jahr 2008 herangezogen. Die Begründung hierfür ist, dass der Zeitraum von 2007 bis 2009 durch annähernd mittlere hydrologische Verhältnisse und eine geringe Schwankungsbreite wesentlicher Wasserhaushaltskomponenten wie Niederschlag und Oberflächenabfluss gekennzeichnet ist (Abbildung 3 und Abbildung 4). Im Einzelnen ist bezüglich der Randbedingungen auszuführen:

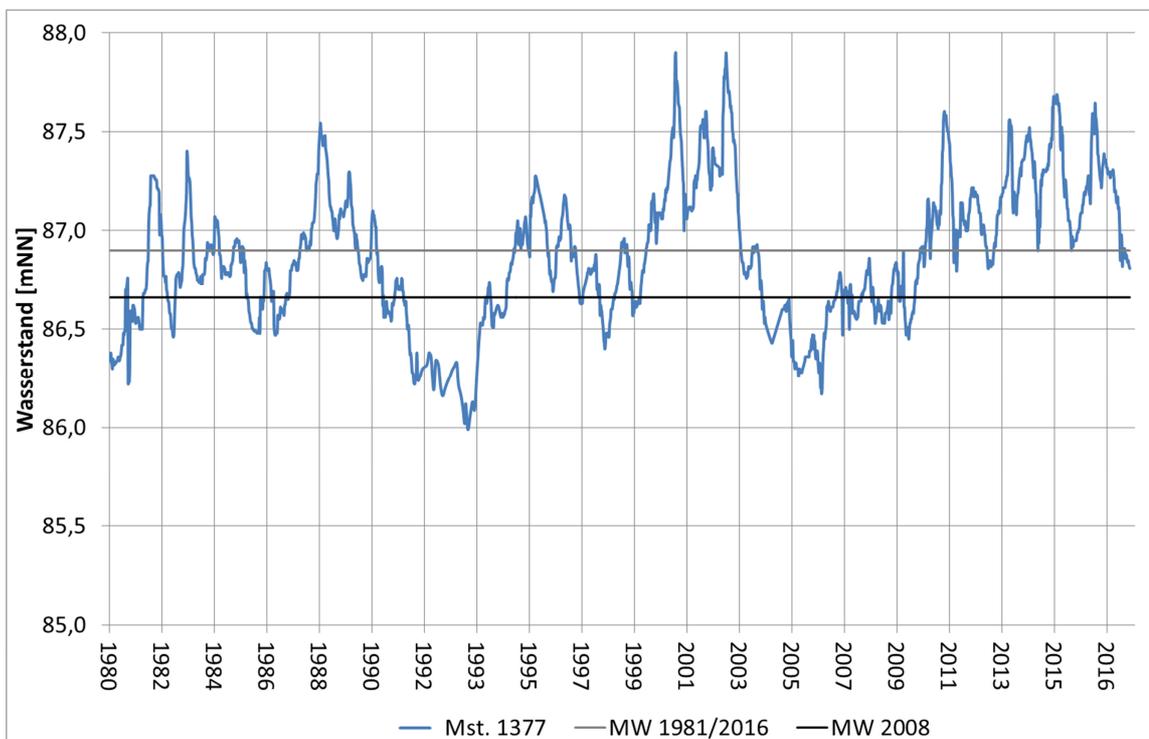
#### ***Hydrologie - Rheinwasserstände und Grundwasserneubildung aus Niederschlag***

Aufgrund der Lage der östlichen Untersuchungsgebietshälfte nahe am Rhein wird das dortige Grundwassergeschehen von der Entwicklung der Rheinwasserstände dominiert. Daher stellen Stichtagsmessungen unrepräsentative (unausgeglichene) Momentanzustände dar. Es müssen repräsentative Mittelwerte herangezogen werden. Der mittlere Wasserstand am Pegel Worms lag 2008 bei 86,27 mNN und damit geringfügig unter dem langjährigen Mittel (1970/2017) von 86,31 mNN (Abbildung 3). Der Rheinwasserstand ist entsprechend dem Mittel des hydrologischen Jahres 2008 in das Modell eingerechnet.

Die Grundwasserneubildung lag in der Trockenperiode 2003/2005 (auf der Frankenthaler Terrasse) bis zu 50 % unter der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungsrate, woraus eine deutliche Grundwasserzehrung resultierte. Die überdurchschnittlichen Neubildungsraten (und Niederschläge) 2006 und 2008 reichten nicht aus, um den Grundwasserspeicher bis auf mittlere Verhältnisse anzufüllen, so dass 2008 leicht unterdurchschnittliche Grundwasserstände vorlagen (Abbildung 4). In der stationären Modellkalibrierung wird dieser Umstand durch eine Reduzierung der Grundwasserneubildung berücksichtigt. Iterativ wurde eine Neubildungsrate von 60 % der mittleren Neubildungsrate bestimmt.



**Abbildung 3: Langzeitentwicklung der Rheinwasserstände**



**Abbildung 4: Langzeitentwicklung der Grundwasserstände**

### ***Grundwasserstände***

Nur längerzeitige Mittelwerte stellen sinnvolle Vergleichswerte für eine stationäre Modellanpassung dar. Aus den insgesamt vorliegenden Wasserstandsdaten wurden mittlere Grundwasserstände für das (hydrologische) Jahr 2008 für die einzelnen Messstellen ermittelt. Repräsentative Messwerte sind in der Anlage 5.1 zusammengestellt.

### ***Auskiesung Ochsenlache***

Ein Einfluss auf die Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet war für 2008 durch den Nassabbau von Kies und Sand in der Ochsenlache gegeben. Aus der durch einen Damm vom westlich gelegenen Silbersee getrennten Ochsenlache wurde ein Kies-Sand-Gemisch zur Aufbereitungsanlage im Silbersee herübergepumpt. Im Rahmen der Modellanpassung ist diese Menge gemäß [15] mit rd. 1.600 m<sup>3</sup>/h berücksichtigt.

### ***Ergebnisse der stationären Modellanpassung***

Die mit dem angepassten Modell berechneten Grundwasserstände im OGWL sind in Anlage 5.3 dokumentiert. Dargestellt sind Linien gleicher Grundwasserstände sowie die Differenzen zu den Mittelwerten der gemessenen Grundwasserstände an ausgewählten Grundwasser-Messstellen.

## **4.2.2 Instationäre Modellanpassung: Hochwasser 1999**

### ***Anpassungen***

Infolge der Nähe des Untersuchungsgebietes zum Haupteinflussfaktor Rhein kommt der richtigen Nachbildung des Einflusses bei Rheinhochwasser mit entsprechender Überschwemmung der Bonnau eine wesentliche Bedeutung zu. Die instationäre Modellanpassung erfolgt auf Grundlage zweier aufeinander folgender Rheinhochwasser zwischen Februar und August 1999 mit Abflussspitzen am 23.02. bzw. 16.05.1999. Im Vergleich zu den stationären Rechenfällen berücksichtigt das instationäre Modell den Einfluss der Deckschicht, die den OGWL in Rheinnähe überlagert. Diese führt bei Rheinhochwasser zu gespannten Grundwasserverhältnissen, wodurch Speicheränderungen im Grundwasserleiter zu deutlich größeren Schwankungen der Grundwasserstände führen können.

Neben dem Rheinwasserstand ist auch der Wasserstand im Oggersheimer Altrheingraben und der Isenach angepasst. Dieser wird bei hohen Rheinwasserständen am Schöpfwerk Bobenheim-Roxheim unabhängig von der binnenseitigen Abflusssituation bei 87,74 mNN angenommen [16]. Ebenfalls im Modell berücksichtigt ist die rheinwasserstandsabhängige Überflutung der Bonnau und des Deichvorlandes

### ***Ergebnisse der instationären Modellanpassung***

In Anlage 5.4 ist die Anpassung im Vergleich der gerechneten und der gemessenen Grundwasserstände an den Messstellen 1362, 1367 und 2219 dokumentiert. Die Entwicklung der

Ganglinien gemessener und berechneter Grundwasserstände stimmt insgesamt gut überein. An den Messstellen liegen keine systematischen (einseitig gerichteten) Abweichungen vor. Die Verteilung der Modellparameter Hydraulische Leitfähigkeit, Speicherkoeffizient und Grundwasserneubildung sind in den Anlagen 5.5 – 5.7 dargestellt. Die zeitliche Auflösung der instationären Modelle ist aus Anlage 5.8 ersichtlich.

### 4.3 Modellgestützte Berechnungen

#### 4.3.1 Stationäre Rechenfälle

Zur Ermittlung des Einflusses der Neuanlegung des Baggersees Bonnau bei mittleren hydrologischen Verhältnissen werden zunächst zwei stationäre Rechenfälle durchgeführt:

- **Bezugszustand:** Grundwasserneubildung und Rheinwasserstand entsprechen den langjährigen mittleren Verhältnissen, der Baggersee „Ochsenlache“ ist vollständig angelegt.
- **Planungszustand (A):** Bei ansonsten gleichen Randbedingungen wie im Bezugszustand sind die Auskiesung Bonnau sowie die Auskiesung Heiligensand jeweils in Endgröße als See eingerechnet. Berücksichtigt ist hierbei sowohl die Gewässergeometrie als auch die Grundwasserzehrung des neuen Sees (Verdunstung größer Niederschlag) in Höhe von 125 mm/a.
- **Planungszustand (B):** Die Randbedingungen entsprechen denen des Planungszustand A. Zusätzlich wird für die Auskiesung Bonnau eine Abdichtung der Nord- und einem Teil der Westböschung mit bindigem Deckschichtmaterial angenommen. Die Bereiche der nördlich und südlich der Warft geplanten Flachwasserzonen werden ebenfalls als hydraulisch geringdurchlässig angenommen.

#### 4.3.2 Instationäre Rechenfälle

##### *Nass- und Trockenperioden*

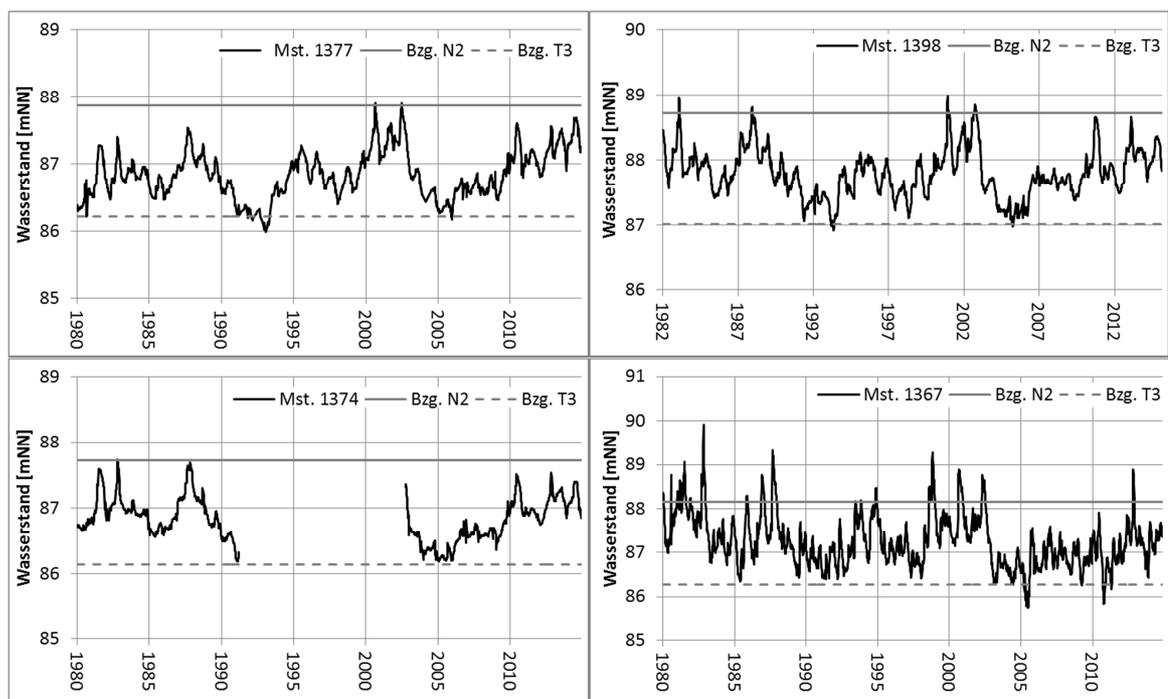
Zur Bewertung mehrjähriger, nasser bzw. trockener hydrologischer Verhältnisse werden verschieden lange Nass- und Trockenperioden betrachtet (1-,2- und 3jährige). Die stärksten Auswirkungen auf die Grundwasserstände lassen sich bei einer 3-jährigen Trockenperiode und einer 2-jährigen Nassperiode feststellen. Die genannten Fälle werden nachstehend weiter erläutert. Folgende Anpassungen der Randbedingungen liegen den Rechenfällen zugrunde:

- Rheinwasserstand: Für die Rheinwasserstände werden die Maximum- bzw. Minimumwerte des 2- bzw. 3-jährigem gleitendem Mittel der Rheinwasserstandsganglinie berücksichtigt. Das Minimum des 3-jährigen, gleitenden Mittels gibt im Modell den Rheinwasserstand während einer 3-jährigen Trockenperiode wieder, das Maximum des 2-jährigen gleitenden Mittels, den einer 2-jährigen Nassperiode.
- Grundwasserneubildung: Als Input-Parameter dient jeweils der Mittelwert aus den feuchtesten bzw. trockensten aufeinanderfolgenden (2 bzw. 3) Jahren.

- Der Berechnungszeitraum für die instationären Rechenfälle betragen 2 (Nassperiode) bzw. 3 Jahre (Trockenperiode)

Im Bezugszustand enthalten die Modellrechnungen die vollständig ausgekieste Ochsenlache. Die Planungsfälle enthalten außerdem die Seen Bonnau und Heiligensand in Endgröße. Im Planungsfall B ist zudem die Abdichtung der Nord- und Westböschung der Auskiesung Ochsenlache berücksichtigt.

Der Vergleich mit der langjährigen Entwicklung an verschiedenen Grundwasser-Messstellen zeigt, dass die berechneten Wasserstände grundsätzlich geeignet sind, ausgeprägte Nass- bzw. Trockenperioden und entsprechende Grundwasserhoch- oder -tiefstände abzubilden (Abbildung 5). Nur an der in Rheinnähe gelegenen Messstelle 1367 werden die rheindominierten Schwankungen aufgrund der Verwendung von Mittelwerten erwartungsgemäß nicht erfasst.



**Abbildung 5: Vergleich gemessener und berechneter Grundwassertiefstände an ausgewählten Grundwasser-Messstellen**

### **Rheinhochwasser**

Neben langfristigen Nassperioden sind die Auswirkungen bei (kurzzeitigem) extremem Rheinhochwasser von Bedeutung. Bei ausgeprägten Rheinhochwassern wird der Sommerdeich entlang der Bonnau überströmt und die Bonnau eingestaut. Im Bezugszustand dämpfen die Deckschichten unter der eingestauten Fläche den Einfluss auf das Grundwasser. Im Pla-

nungszustand fehlen auf der Seefläche die Deckschichten. Seewasserspiegel (zeitweise Rheinwasserstand) ist dann gleich Grundwasserstand.

Auf Basis des Eichzustandes 1999 werden Hochwasserereignisse entsprechend eines HQ10, HQ100 und HQ200 modelliert. Hierbei wird als ungünstige Randbedingung (HQ200) eine Hochwasserwelle im Rhein eingerechnet, deren Scheitelhöhe bei rd. 91,96 mNN am Pegel Worms liegt. Die eingerechnete Welle folgt dabei den Hochwasserereignissen von 1999.

**Bezugsfälle:** Neben der oben beschriebenen Anpassung der Rheinwasserstände wird für die Bezugsfälle (HQ10, HQ100 und HQ200) die Hochwasserrückhaltung „Mittlerer Busch“ und „Bürgerweide“ als zusätzliche Randbedingungen berücksichtigt. Die Hochwasserrückhaltung „Bürgerweide“ und der nördliche Teil „Mittlerer Busch“ werden ab einem Rheinwasserstand am Pegel Worms von 5,2 m geflutet. Ab einem Wasserstand von 7,2 m wird auch der Südteil „Mittlere Busch“ geflutet [18][19].

**In den Planungszuständen** sind zusätzlich die Seen „Bonnau“ und „Heiligensand“ ohne Böschungsabdichtung (Planungszustand A), mit Böschungsabdichtung (Planungszustand B) und mit bauzeitlich bedingtem Fenster in der Böschungsabdichtung (Planungszustand C) der Auskiesung Bonnau berücksichtigt.

Im Planungszustand A wird zusätzlich zu den Bemessungshochwasserereignissen HQ10, HQ100 und HQ200, das HQ200 nach einer 2-jährigen Nassperiode berechnet, um den Nachweis der Deichstandsicherheit unter besonders ungünstigen Verhältnissen zu erbringen.

Im Planungszustand B sind zudem die hydraulisch geringdurchlässigen Flachwasserzonen an der Westböschung berücksichtigt.

In den Planungszuständen A und B, sowie den entsprechenden Bezugszuständen wurde die Grundwasserhaltungsmaßnahme auf dem Anwesen Edelbluth & Dauber nicht berücksichtigt. Somit liegen die Berechnungen auf der sicheren Seite, da die Grundwasserhaltungsmaßnahme den Grundwasserstand unter dem Anwesen auf 89,5 mNN begrenzen. Um nachzuweisen, dass der zusätzliche Wasseranfall im Fall eines Fenster im Norden der Böschungsabdichtung durch die bestehenden Brunnen der Grundwasserhaltung gefasst werden kann, wurden ein Bezugs- und ein Planungsfall mit zusätzlicher Berücksichtigung der Grundwasserhaltungsmaßnahme berechnet.

Im Planungszustand C wird berücksichtigt, dass aus betrieblichen Gründen während des Abbauvorhabens die geplante Böschungsabdichtung zeitweise nicht vollständig vorhanden sein wird. Die temporären Fenster in der Böschungsabdichtung haben aus betrieblichen Gründen eine Breite von rd. 100 m. Vor diesem Hintergrund werden folgende bauzeitlichen Zustände untersucht:

- Fenster in Böschungsabdichtung im Norden im Bereich des Anwesens Edelbluth & Dauber
- Fenster in Böschungsabdichtung im Nordwesten im Bereich des Schöpfwerks Bobenheim-Roxheim
- Fenster in Böschungsabdichtung im Westen im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen, die verstärkt durch Druckwasseraustritte betroffen sind
- Fenster in Böschungsabdichtung im Süden rd. 200 m nordöstlich des Hofguts Petersau

Zum Nachweis des Volumenverlustes bzw. -gewinns durch Auskiesung und Warftbau wurde zusätzlich eine typische Rheinwelle im Anstieg bis zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs modelliert. Als Bemessungswelle diente das Hochwassereignis 1988. Oberhalb des sich zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs im Kiessee einstellenden Wasserstands bis zum Bemessungshochwasser im Rhein werden die Volumenverluste bzw. -gewinne berechnet.

## 4.4 Ergebnisse

### 4.4.1 Mittlere hydrologische Verhältnisse, mehrjährige Trocken- und Nassperiode

Die Auswirkungen des Planvorhabens auf die Grundwassergleichen bei mittleren hydrologische Verhältnissen sowie bei Perioden langfristiger extremer Abweichungen vom mittleren hydrologischen Zustand ist in Anlagenreihe 6 dargestellt. Die Differenzen der Grundwasserstände zwischen dem Bestand und den Planungsfällen sind in Anlage 6.4 dargestellt. Die Differenzen der Grundwasserstände bei mittleren Verhältnissen, sowie bei einer 3-jährigen Trockenperiode liegen innerhalb der Aussageunschärfe des Modells ( $<0,1$  m) und sind daher nicht dargestellt. Bei mittleren hydrologischen Verhältnissen stellt sich ein Wasserstand von 87 m NN im See ein. Die Berechnung der 2-jährigen Nassperiode verursacht im Planungsfall ohne Böschungsabdichtung eine Aufspiegelung im Norden der geplanten Kiesfläche um  $\leq 10$  cm und im Süden eine Absenkung von  $\leq 10$  cm. Im Planungsfall mit Böschungsabdichtung erhöht sich der Grundwasserspiegel innerhalb der Bonnau um bis zu 0,2 m. Westlich der Bonnau stellt sich eine Absenkung um bis zu 0,1 m im Vergleich zum Bezugszustand ein. Während der 2-jährigen Nassperiode kehren sich die Grundwasserströmungsverhältnisse im ufernahen Bereich um. Es zeigt sich, dass die Böschungsabdichtung die Wassermenge die landeinwärts fließt reduziert.

Die Auswirkungen auf die Grundwasserstände unter den dargestellten Bedingungen sind folglich als gering zu bewerten, unabhängig davon, ob eine Abdichtung der Nord- und Westböschung der Bonnau vorgenommen wird.

Das Umfeld der geplanten Auskiesung der Bonnau ist im Wesentlichen durch die Rheinwasserstände in ihrer zeitlichen Entwicklung geprägt. Dabei hat die Auskiesung im gesamten Wasserstandsbereich zwischen Niedrigwasser und einem Hochwasser, das statistisch einmal in 10 Jahren auftritt (Höhe Sommerdeich) **keine** negativen Auswirkungen auf die binnenseitigen Grundwasserstände. Mit Ausnahme von kurzzeitigen und seltenen Hochwasserereignissen ergibt sich demnach keine Verschlechterung der Grundwassersituation.

#### 4.4.2 Hochwasserereignisse

Nur Rheinhochwasser, die seltener als einmal in 10 Jahre auftreten und den Sommerdeich überspülen, haben negative Auswirkungen auf die Grundwasserstände. D.h. diese Auswirkungen treten nur an wenigen Tagen in einem Zeitraum von 10 Jahren überhaupt auf. Durch die Auskiesung werden die Deckschichten entfernt, und der Rheinwasserstand hebt unmittelbar den Grundwasserstand an. Hierdurch werden die binnenseitigen Grundwasserstände erhöht.

Die entsprechenden Grundwasserhochstände bei einem HQ10, HQ100 und HQ200 im Rhein (Bestand ohne Auskiesung Bonnau) zeigen die Anlagen 7.1 (HQ10), 7.2 (HQ100) und 7.3 (HQ200). In den Plänen in Anlagenreihe 10 und Anlagereihe 11 sind die potenziellen Überschwemmungsflächen, in denen der Druck im Grundwasserleiter über Gelände ansteht, dargestellt.

#### Auswirkungen der Auskiesung ohne Böschungsabdichtung

Ohne die geplante Böschungsabdichtung ergäbe sich eine Beeinflussung der Grundwasserstände durch die Auskiesung im Vergleich zur Bestandssituation, insbesondere im Hinblick auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Bereich Petersau-Bannen (südwestlich der Auskiesung) sowie die unmittelbar nördlich der Isenach vorhandene Bebauung (Anlage 8.1 HQ10, Anlage 8.2 HQ100, Anlage 8.3 HQ200).

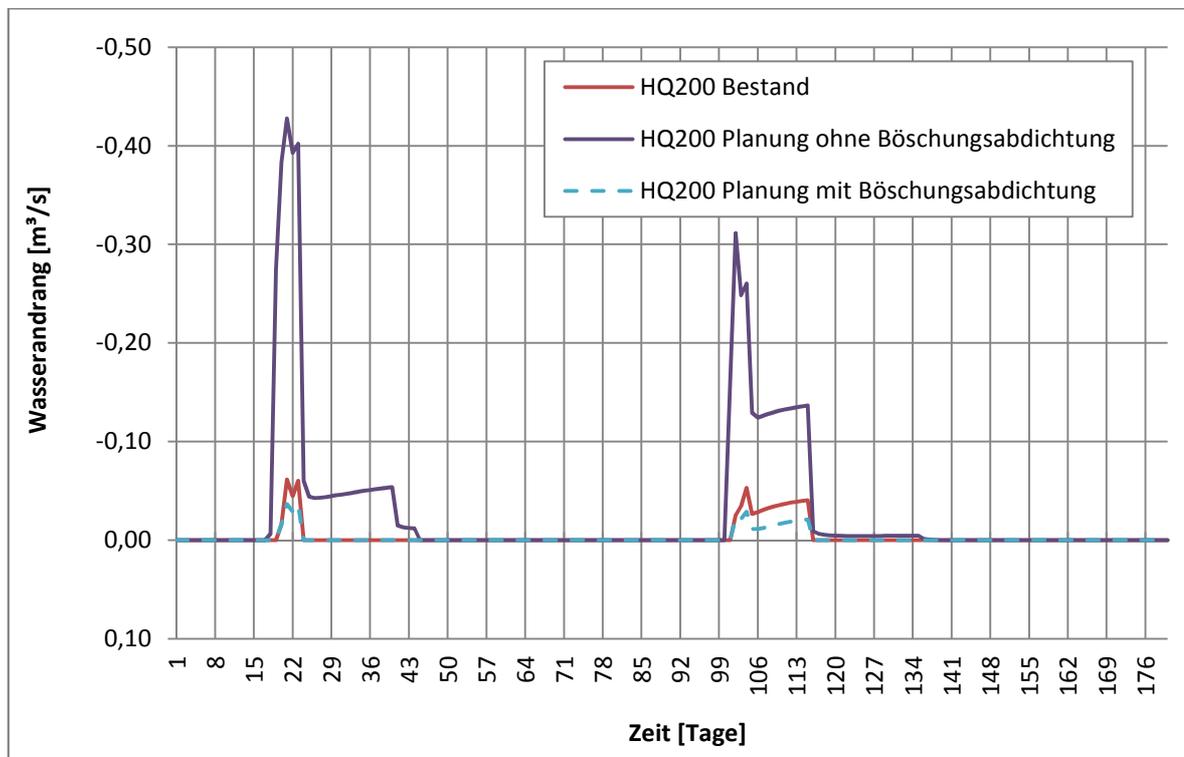
- Im Bereich Petersau-Bannen kommt es bereits im Bestand zu Druckwasseraustritten mit entsprechenden Schäden. Dies ist z.B. durch Luftaufnahmen des Junihochwassers 2013 (etwa HQ10 bis 15) belegt. Durch das Vorhaben käme es ohne die geplante Böschungsabdichtung zu einer erheblichen Vergrößerung der Druckwasserflächen (etwa Faktor 2 beim HQ10, etwa Faktor 1,5 beim HQ100).
- Im Bereich der Bebauung nördlich der Isenach ergäben sich ohne die geplante Böschungsabdichtung Aufspiegelungen um rd. 0,25 m. Allerdings wurden durch das Land Rheinland-Pfalz hier Objektschutzmaßnahmen im Rahmen der Deichrückverlegung Mittlerer Busch realisiert, die auf erheblich größere Wassermengen ausgelegt wurden. Eine Verschlechterung ergäbe sich ohne Böschungsabdichtung somit nur in Form einer häufigeren Inbetriebnahme bzw. moderat höheren Entnahmen und damit Betriebskosten.

### Auswirkungen der Auskiesung mit Böschungsabdichtung

Negative Auswirkungen des Planvorhabens auf die Bestandssituation können durch die Abdichtung der Nord- und Westböschung der Bonnau vermieden werden. Hierunter versteht sich das Einbringen von bindigem Deckschichtmaterial bis zur Böschungsoberkante. Die Abdichtungsabschnitte sind in den Anlagenreihen 9 und 11 dargestellt. Hierzu sind etwa folgende Deckschichtmengen erforderlich:

- Nordböschung: rd. 213.000 m<sup>3</sup>
- Westböschung: rd. 489.000 m<sup>3</sup>

Mit Umsetzung der Abdichtung ergeben sich binnenseits des Rheinhauptdeiches erheblich kleinere Aufspiegelungen als im Bestand. Aufschlussreich ist insbesondere der Wasseranfall im Bereich Petersau-Bannen (Abbildung 6). Beim HQ100 steigt dieser ohne Abdichtung etwa auf den 10-fachen Bestandswert an (400 l/s statt 40 l/s). Mit Abdichtung (Dicke 1 m, Durchlässigkeitsbeiwert der anstehenden Deckschicht) liegt dieser exakt auf dem Bestandswert. Auch beim HQ10 und HQ200 wird mit der Abdichtung der Wasseranfall im Bestand nicht überschritten.



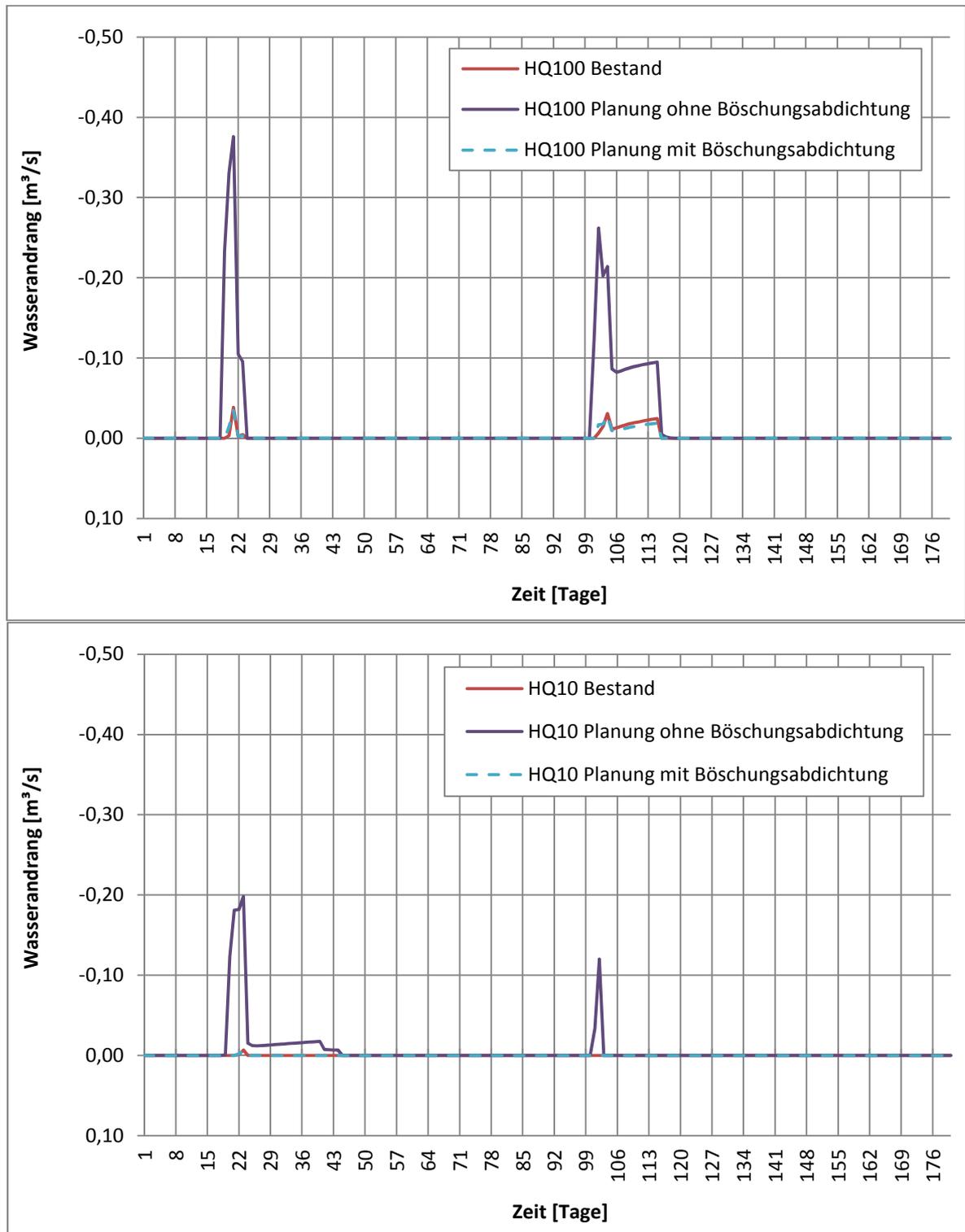


Abbildung 6: Wasseranfall Petersau-Bannen HQ200 (oben), HQ100 (Mitte) und HQ10 (unten)

### **Auswirkungen der Auskiesung bei einem HQ200 und unvollständiger Böschungsabdichtung im Norden**

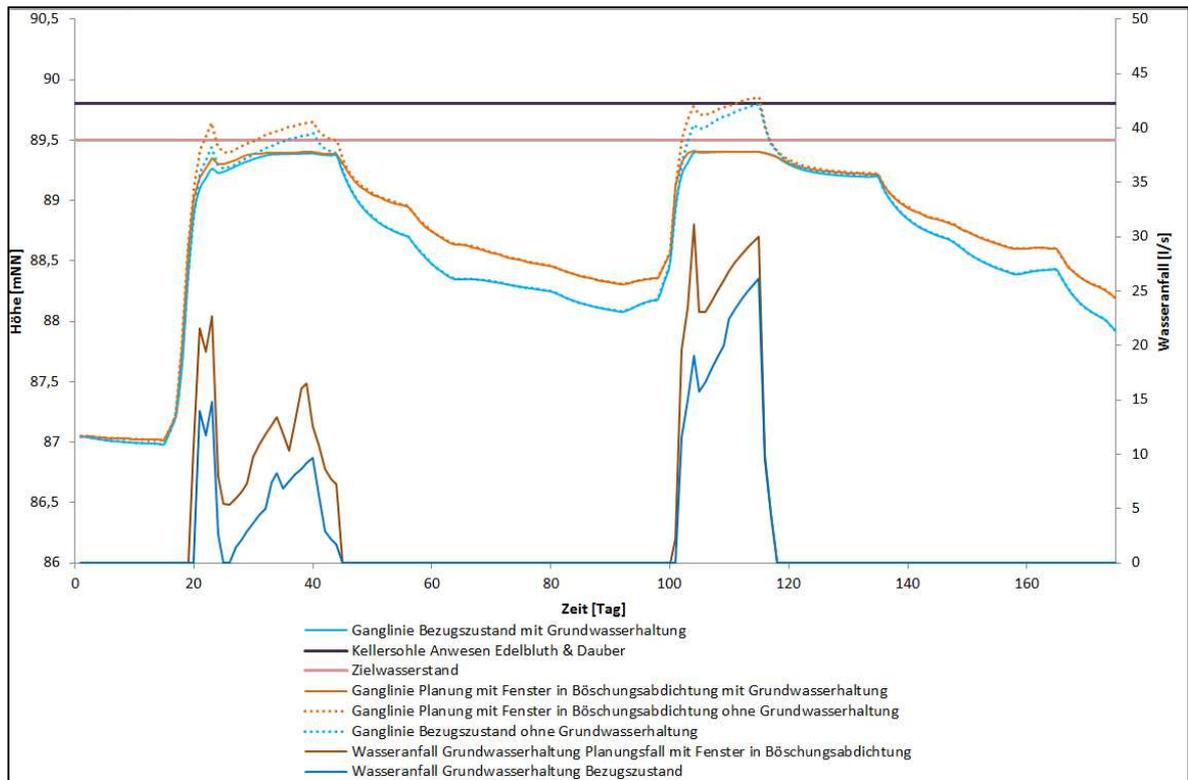
Nördlich der geplanten Auskiesung Bonnau befindet sich das Anwesen Edelbluth & Dauber. Im Zuge der Hochwasserrückhaltung Worms – Mittlerer Busch wurden im Bereich des Anwesens bereits Grundwasserhaltungsmaßnahmen zum Schutz vor Druckwasseraustritten bei Flutung der Hochwasserrückhaltung realisiert. Die Maßnahmen umfassen drei Förderbrunnen und einen Kontrollpegel. Die Kellersohle des Gebäudes befindet sich bei 89,90 mNN. Der Zielwasserstand liegt im Hochwasserfall bei 89,50 mNN. Ab einem Grundwasserstand von 86,20 mNN unter dem Wohnhaus gehen die Pumpen in Betrieb. Ab einem Wasserstand von 85,20 mNN werden die Pumpen ausgeschaltet. Der Grundwasserstand wird mithilfe eines Kontrollpegel der schräg unter das Wohnhaus abgeteuft wurde, überwacht [26].

Die benötigte Fördermenge der Pumpen wurde in [27] mithilfe eines stationären Grundwassermodell ermittelt. Dabei wurde eine dauerhafter Flutung der Hochwasserrückhaltung Mittlerer Busch auf Maximalstand angesetzt. Die notwendigen Entnahmeraten, die in [27] berechnet wurden, betragen 2 x 40 l/s und 1 x 20 l/s. Die Fördermenge der vorhandenen Pumpen beträgt 3 x 50 l/s [25]. Der instationären Modellierung von BCE liegt das Rhein-Neckar Modell zugrunde. Die Berechnung des Bezugsfalls ergab mit rd. 30 l/s einen geringeren Wasseranfall. Dies ist mit der dauerhaften Flutung der Hochwasserrückhaltung Worms – Mittlerer Busch in [27] zu begründen, die den Wasseranfall überschätzt. Im instationären Modell von BCE wurde die Flutung der Hochwasserrückhaltung in Abhängigkeit zum Rheinwasserstand gesetzt.

Die Flächen, auf denen der Druck im OGWL über Gelände liegt, sind in Anlage 12.1 dargestellt. Im Bereich des Anwesens Edelbluth & Dauber kommt es zu einer geringfügigen Vergrößerung der potenziellen Druckwasseraustritte bei Berücksichtigung eines Fensters in der Böschungsabdichtung.

Der Wasseranfall, sowie die Wasserstandsentwicklung im Bestand und im Planungsfall sind in Abbildung 7 dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Wasseranfall von maximal 26 l/s auf 31 l/s steigt. Die bereits heute installierten Maßnahmen zum Schutz des Anwesens Edelbluth & Dauber vor hohen Grundwasserständen reichen aus, um den zusätzlichen Wasseranfall, der sich temporär bei einem Fenster in der Böschungsabdichtung ergibt und im Fall eines Hochwassers anfällt, zu fassen.

Nach Herstellung der vollständigen Böschungsabdichtung sinken die Grundwasserstände am o.g. Anwesen im Vergleich zum Bestand. Die dauerhafte Verbesserung der Grundwassersituation führt zu reduzierten Betriebskosten der Grundwasserhaltung und entlastet so das Land Rheinland-Pfalz. Gegebenenfalls ist eine vertragliche Regelung zur Kostenteilung zu treffen, die die kurzfristige Erhöhung des Wasseranfalls und die langfristige Reduzierung des Wasseranfalls berücksichtigt.

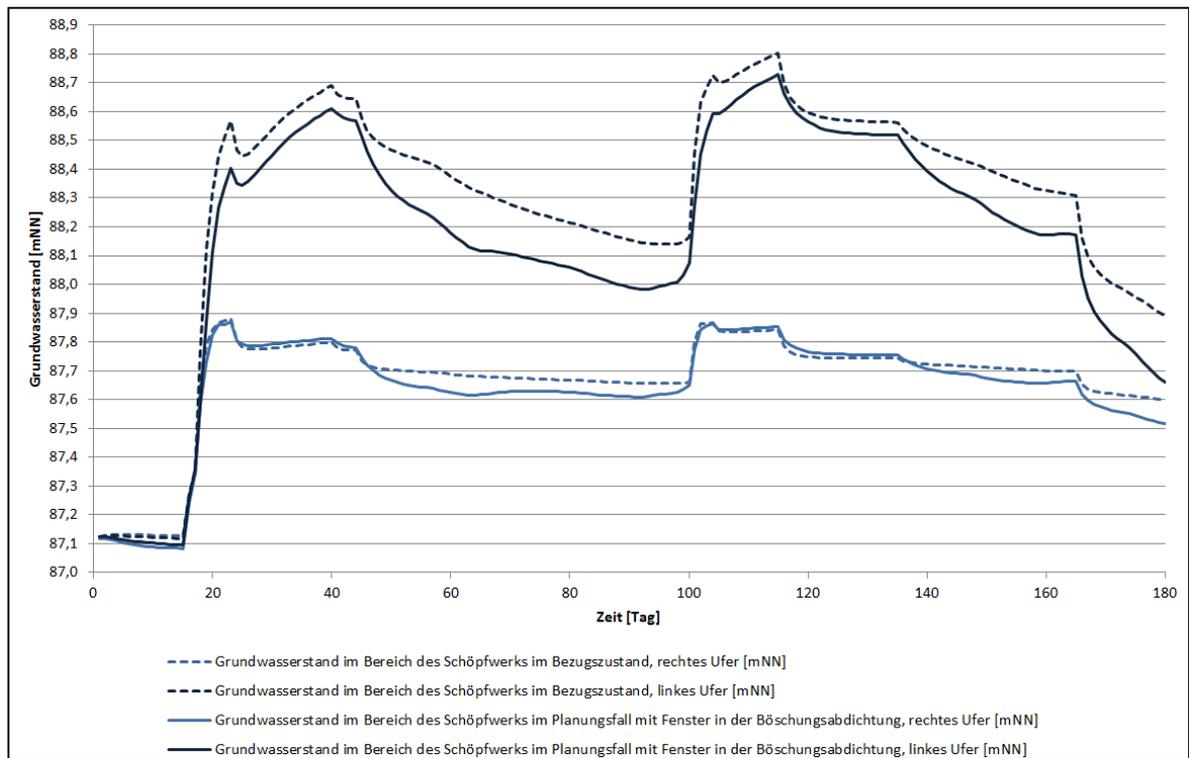


**Abbildung 7: Wasseranfall und Grundwasserstandsentwicklung auf dem Anwesen Edelbluth & Dauber**

In Anlage 13.1 sind die Grundwasserstandsunterschiede zwischen Bestands- und Planungsfall dargestellt. Die Planung berücksichtigt die Grundwasserhaltung auf dem Anwesen Edelbluth & Dauber und ein bauzeitlich bedingtes Fenster in der Böschungsabdichtung. Hinter dem Rheinhauptdeich bewirkt die Planung eine leichte Absenkung der Grundwasserstände und davor eine Aufspiegelung im Vergleich zum Bestand.

#### **Auswirkungen der Auskiesung bei einem HQ200 und unvollständiger Böschungsabdichtung im Nordenwesten (auf Höhe des Schöpfwerks Bobenheim-Roxheim)**

In Abbildung 8 sind die Grundwasserstände im Bereich des Schöpfwerks Bobenheim-Roxheim im Bezugszustand und im Planungsfall dargestellt. Im Planungsfall ist ein Fenster in der Böschungsabdichtung auf Höhe des Schöpfwerks berücksichtigt. Der zusätzliche Wasseranfall am Schöpfwerk beträgt rd. 60 l/s für den Fall, dass die Böschungsabdichtung auf Höhe des Schöpfwerks noch nicht vollständig eingebracht ist und ein HQ200 eintritt. Die Leistung des Schöpfwerks reicht aus, um den zusätzlichen Wasseranfall zu fassen. Sobald die Böschungsabdichtung vollständig vorhanden sein wird, wird sich der Wasseranfall gegenüber dem Bestand verringern. Dies führt zu reduzierten Betriebskosten und entlastet so den Betreiber des Schöpfwerks.



**Abbildung 8: Grundwasserstandsentwicklung im Bereich des Schöpfwerks Bobenheim-Roxheim**

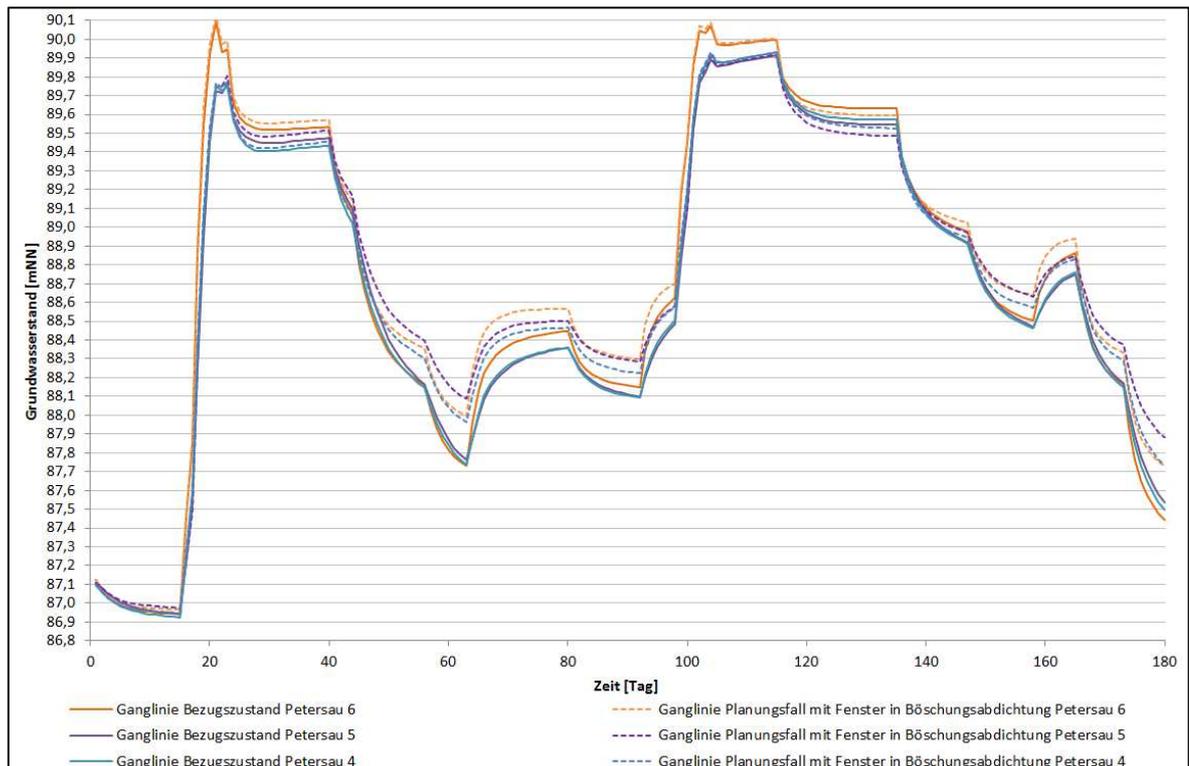
### **Auswirkungen der Auskiesung bei einem HQ200 und unvollständiger Böschungsabdichtung im Westen**

Die Differenzen der Grundwasserstände zwischen Bestand und Planung mit Fenster in der Böschungsabdichtung im Westen sind in Anlage 13.3 dargestellt. Im Norden und Nordwesten der geplanten Auskiesung verringern sich die Grundwasserstände im Vergleich zum Bestand. Im Bereich des Fensters im Westen der Böschungsabdichtung kommt es auch hinter dem Rheinhauptdeich kleinräumig zu einer leichten Aufspiegelung. Die berechneten Aufspiegelungen der Druckwasserstände liegen im Zentimeterbereich und damit außerhalb der Modellgenauigkeit. Sie sind als geringfügig zu betrachten.

In Anlage 12.3 sind die Flächen dargestellt, die von potenziellen Druckwasseraustritten im Westen betroffen sind. Im Vergleich zur Bestandssituation, ergibt sich durch ein Fenster in der Böschungsabdichtung im Westen im Planungsfall eine geringfügige Vergrößerung der potenziellen Druckwasseraustritte. Diese Flächen beschränken sich ausschließlich auf landwirtschaftliche Flächen. In Bereichen in denen die Böschungsabdichtung bereits vorhanden ist, reduziert sich die Fläche, die von Druckwasseraustritten betroffen ist.

### Auswirkungen der Auskiesung bei einem HQ200 und unvollständiger Böschungsabdichtung im Süden

Rd. 200 m südwestlich der geplanten Auskiesung befindet sich das Hofgut Petersau. In Anlage 12.4 sind die Flächen dargestellt, an denen potenzielle Druckwasseraustritte auftreten können. Die Flächen im Bereich des Hofguts Petersau, die von Druckwasseraustritten betroffen sind, sind landwirtschaftliche Flächen und Freiflächen.



**Abbildung 9: Grundwasserstandsganglinien im Bereich des Hofguts Petersau während eines HQ200**

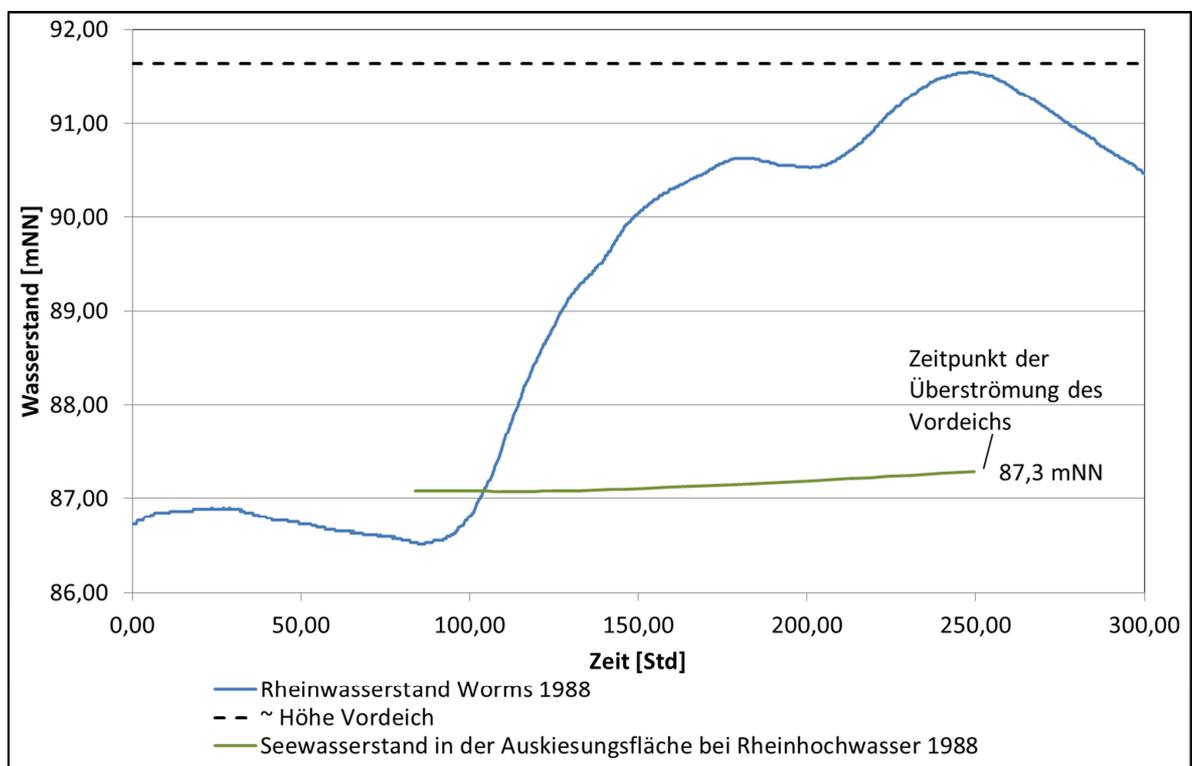
Ein bauzeitlich bedingtes Fenster im Süden der Böschungsabdichtung bewirkt im Süden und Südwesten im Vergleich zum Bestand eine leichte Erhöhung der Grundwasserstände. Nördlich und nordwestlich der Auskiesung sinken die Grundwasserstände leicht (siehe Anlage 13.4). In Abbildung 9 sind die Grundwasserstandsentwicklungen im Bereich der Wohnhäuser Petersau 4, Petersau 5 und Petersau 6 bei einem HQ200 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Erhöhung im Fall einer unvollständigen Böschungsabdichtung im Süden der Auskiesung Bonnau während der Hochwasserspitzen  $< 0,1$  m beträgt. Sie sind als geringfügig zu betrachten.

#### 4.4.3 Auswirkungen der Auskiesung auf das Retentionsvolumen

Das Retentionsvolumen zwischen Sommerdeich und Rheinhauptdeich verändert sich durch den Bau der Warft und die Auskiesung. In Abstimmung mit der SGD Süd wurden daher die

Auswirkungen der geplanten Auskiesung auf das Retentionsvolumen zwischen Sommerdeich und Rheinhauptdeich ermittelt. Dazu wurde von der SGD die Hochwasserwelle von 1988 im Zeitraum 13.03. – 20.03. vorgegeben.

Für den Nachweis der Retentionsvolumenveränderung wurde im Grundwasserströmungsmodell der Grundwasserstand in der geplanten Auskiesung zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs berechnet. In Abbildung 10 ist der Seewasseranstieg in der ausgekiesten Bonnau bis zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs dargestellt. Zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs beträgt dieser 87,3 m NN. Erwartungsgemäß ist der Anstieg des Seewasserstandes aufgrund der hohen Speicherkapazität im See gering.



**Abbildung 10: Seewasserstand in Auskiesungsfläche bei Rheinhochwasser**

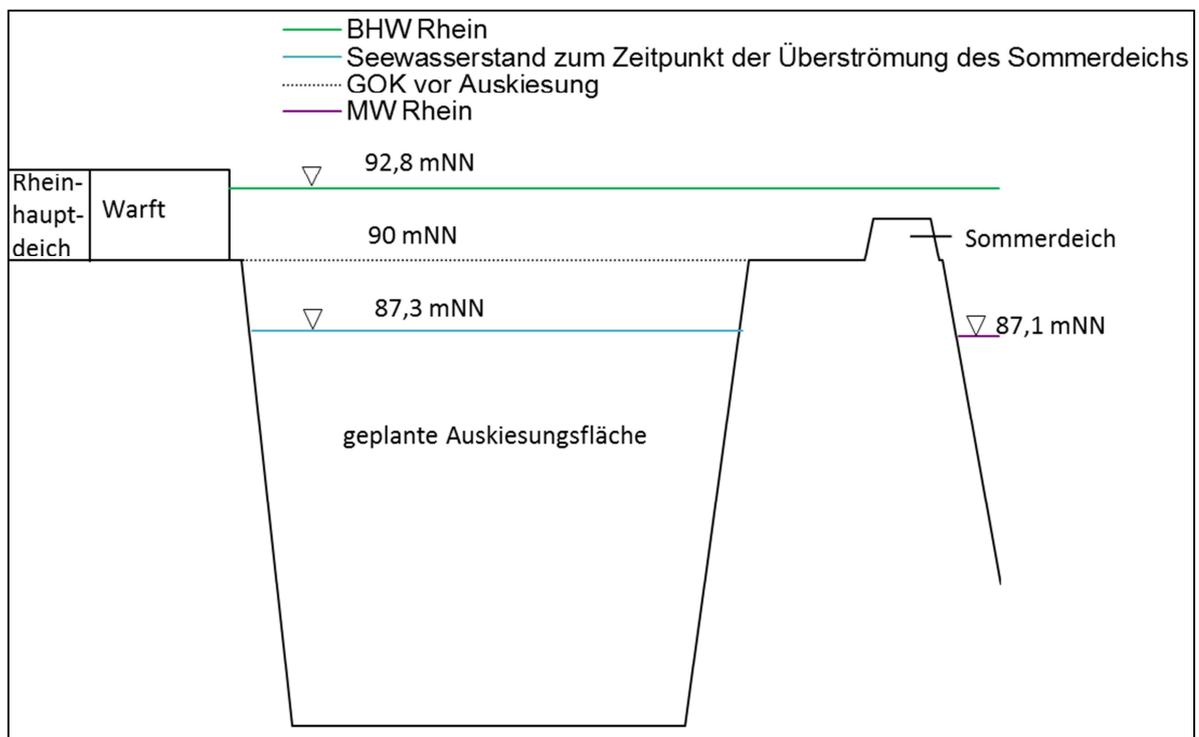
Anschließend wurde der Volumenverlust bzw.- gewinn im Retentionsraum zwischen Rheinhauptdeich und Sommerdeich oberhalb des Seewasserstands zum Zeitpunkt der Überströmung des Sommerdeichs und dem Bemessungshochwasser im Rhein von 92,8 m NN berechnet.

**Tabelle 3: Volumenverlust und –gewinn**

	Warft	Aus- kiesung gesamt	Ab- schnitt IA	Ab- schnitt IB	Ab- schnitt IIA	Ab- schnitt IIB	Ab- schnitt IIIA	Ab- schnitt IIIB
Fläche [m <sup>2</sup> ]	43.513	758.597	174.483	122.667	148.094	118.121	119.863	75.369
Δ h [m]	-2,80	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Volumen- verlust/ -gewinn [m <sup>3</sup> ]	-121.836	2.048.211	471.104	331.201	399.853	318.926	323.630	203.496

Der Bauablauf sieht vor im Bauabschnitt IA zunächst den Mutterboden (ca. 35 cm) zu entfernen. Der darunter anstehende Boden wird für den Bau der Warft genutzt. Aufgrund der Nutzung von Bodenmaterial aus Bauabschnitt IA für den Warftbau kommt es zu keinem Volumenverlust im Retentionsraum. Durch den Kiesabbau erhöht sich das Retentionsvolumen vor dem Rheinhauptdeich. Bei Abschluss der Auskiesung beträgt der Volumengewinn durch die geplanten Maßnahmen ca. 2 Mio. m<sup>3</sup>. Die Volumina für die einzelnen Bauabschnitte sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Ein schematischer West-Ost Querschnitt durch das Planungsgebiet ist in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Schematischer West-Ost Schnitt der Auskiesungsfläche (unmaßstäblich)**

Eine vollständige Einstellung aller Grundwasserentnahmen (Entnahmen zur Trink- und Brauchwasserversorgung, zum Objektschutz und zur Feldberegnung) im Großraum, würde gegenüber dem langjährigen Mittel eine Aufspiegelung der Grundwasserstände im Bereich Bonnau um rd. 0,5 m verursachen [21]. Der Volumengewinn durch die Auskiesung betrüge in diesem Fall noch immer rd. 1.900.000 m<sup>3</sup> und der durch die Auskiesung des ersten Bauabschnitts rd. 440.000 m<sup>3</sup>. Auch im Fall einer vollständigen Grundwasserentnahmeeinstellung ist der Volumengewinn im Retentionsraum durch die Auskiesung größer als der Volumenverlust durch den Bau der Warft.

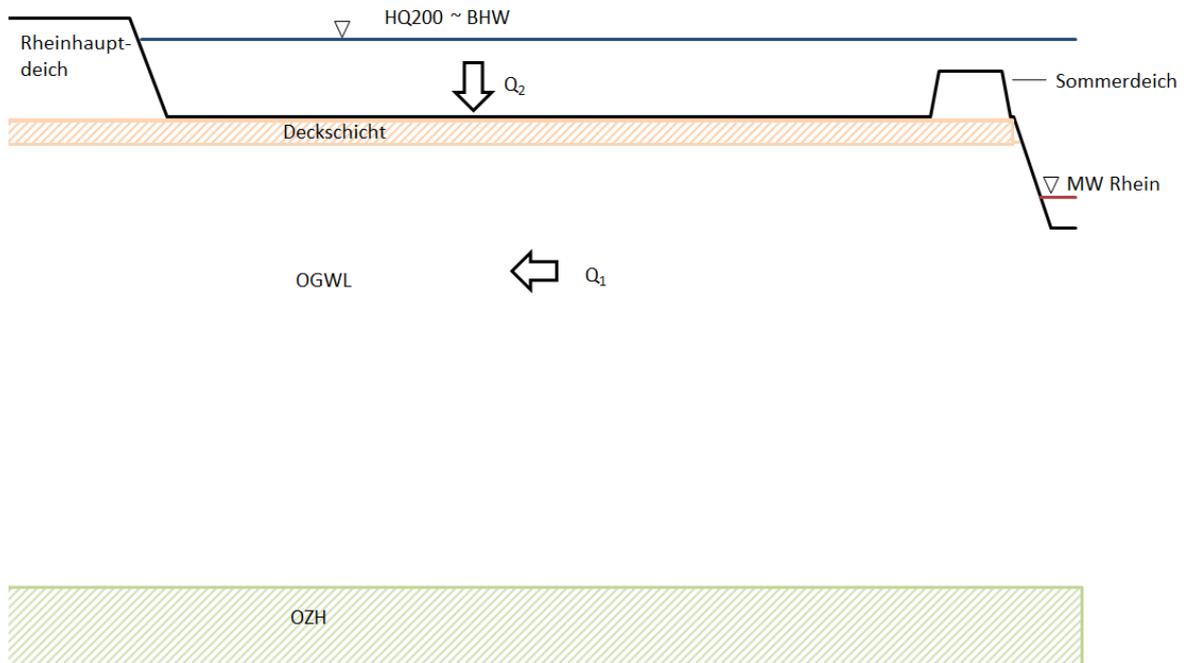
#### **4.4.4 Auswirkungen der Auskiesung auf die Standsicherheit des Rheinhauptdeichs**

Im Bereich südlich der Warft wurde der Rheinhauptdeich bisher seitens des Landes Rheinland-Pfalz noch nicht entsprechend den Vorgaben der aktuellen technischen Regelwerke ausgebaut, ursächlich ist die hier binnenseits geplante Hochwasserrückhaltung Petersau-Bannen. Bezüglich des beantragten Vorhabens Auskiesung Bonnau, stellt sich folglich die Frage, ob sich nachteilige Auswirkungen auf die Standsicherheit des bestehenden Deiches ergeben.

Im Bestand stellt sich die Situation wie folgt dar (Abbildung 12): Der Rhein, der voll an den Oberen Grundwasserleiter angebunden ist, bildet mit seinem Wasserstand das rheinseitige Druckpotenzial im OGWL. Hieraus resultiert im Grundwasserleiter ein seitlicher Zustrom unterhalb der Deckschicht ( $Q_1$ ), dieser ist von der Aquifermächtigkeit und der Durchlässigkeit abhängig.

Durch den Überstau des Bereiches der hier projizierten Auskiesung stellt sich auch hier der Rheinwasserstand oberhalb der Deckschicht ein. Diese wird vertikal durchsickert ( $Q_2$ ), wobei hier vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen wird, dass das Druckpotenzial unterhalb der Deckschichtunterkante ansteht. In diesem Fall wird der Überdruck über die Deckschichtmächtigkeit abgebaut.

Von der Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH wurde 2013 ein Gutachten zur Standsicherheit des Rheinhauptdeichs im Bereich der Bonnau erstellt (siehe [22]). Im Folgenden werden exemplarisch die beiden in dem o.g. Gutachten enthaltenen Querprofile des Rheinhauptdeichs bei Rhein-km 17+250 (Querschnitt 1) und 17+730 (Querschnitt 2) betrachtet. Der im o.g. Gutachten zugrunde gelegte Grundwasserstand unter dem landseitigen Deichfuß wird als maximal zulässiger Wert betrachtet. Dieser liegt bei 91,99 bzw. 92,32 mNN [22].

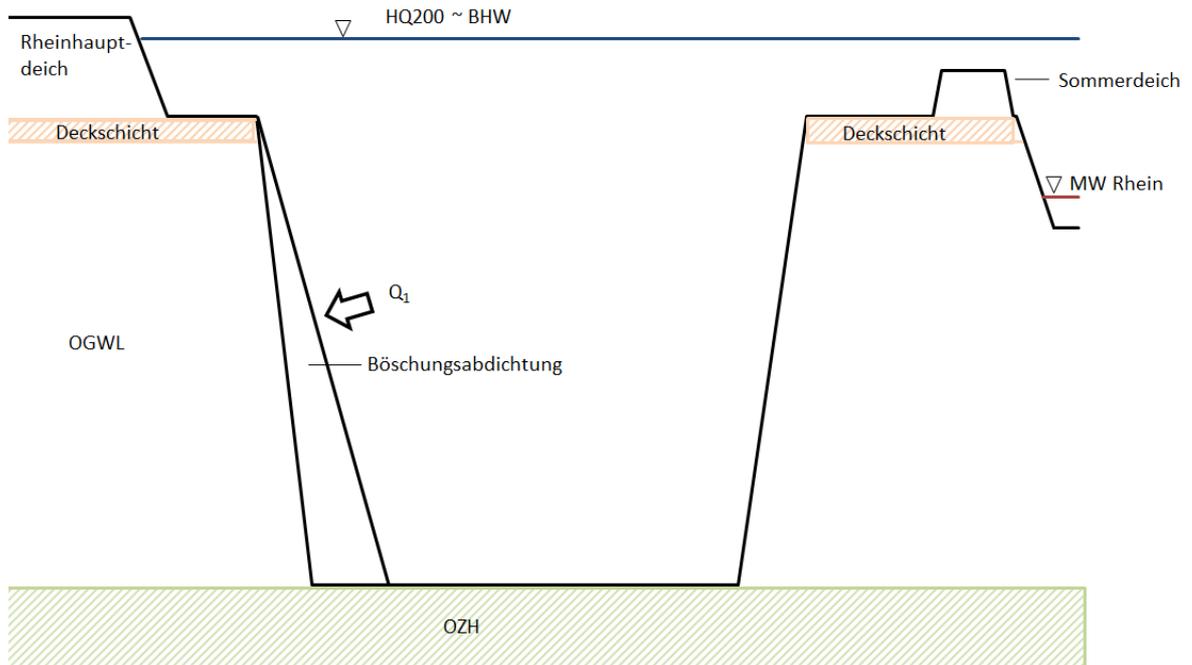


**Abbildung 12: Systemskizze Bestand**

Aus den oben skizzierten Randbedingungen ergibt sich unter dem Deich in beiden Querprofilen im Bestand ein Mengenfluss von rd. 0,1 l/s und lfd. m Deichlänge (siehe Anlage 14).

Im Planungsfall wird die Deckschicht im Bereich der Auskiesung entfernt, damit steht bei Rheinhochwasser der Rheinwasserstand im OGWL in einem Abstand von 15 m vom wasserseitigen Deichfuß an (Abbildung 13).

Um nachteilige Auswirkungen auf binnenseitigen Druckwasseranfall und Druckpotential auszuschließen, wird das entnommene bindige Deckschichtmaterial im Böschungsbereich als Abdichtung vorgeschüttet. Aus der vorgesehenen Unterwasserböschung der Auskiesung (1:3) und der Böschung des Deckschichtmaterials (1:6 oder flacher) ergeben sich Dicken der Abdichtung zwischen 0 m (GOK) und rd. 40 m in einer Tiefe von 14 m unter GOK.



**Abbildung 13: Auswirkungen auf die Standsicherheit des Rheinhauptdeichs, Planung**

Im Folgenden wird betrachtet, welche Durchlässigkeit die Vorschüttung haben muss, um hinsichtlich des Druckwasseranfalls und des Druckabbaus dem Bestand zu entsprechen. Hierzu wird der Grundwasserleiter horizontal in Lamellen von 1 m Dicke untergliedert und in jeder Schicht der Wasseranfall berechnet. Folgende Randbedingungen werden dabei angesetzt:

- Rheinwasserstand unmittelbar wasserseits der Dichtung
- Max. zulässiger Grundwasserstand unmittelbar landseits der Dichtung
- Dicke der Dichtung entsprechend der erläuterten geometrischen Randbedingungen

Im Ergebnis zeigt sich, dass bereits ein Durchlässigkeitsbeiwert der Dichtschicht von  $5,1 \cdot 10^{-5}$  m/s ausreicht, um die Gleichwertigkeit zum Bestand mit Deckschicht zu gewährleisten (siehe Anlage 12).

Das zum Einbau vorgesehene Material weist erheblich kleinere Durchlässigkeiten auf. Die Berechnung zeigt, dass rd. 70 % in den oberen 3 m der Dichtungsschicht anfallen, ursächlich hierfür ist die dort geringe Dicke.

Der Einbau der Dichtschicht ist in verschiedenen Abbauabschnitten vorgesehen, d.h., es gibt teilweise längere Zeitfenster zwischen der Herstellung der Unterwasserböschung und der Vorschüttung der Dichtschicht. Für die Übergangsphase sind geeignete Maßnahmen vorzusehen. Denkbar sind z.B. eine Böschungsabdichtung mit einer vernagelten Bentonitmatte oder Kunststoffdichtungsbahn, denkbar sind auch in einen vertikalen Fräsgraben eingebaute Folien oder Bentonitmatten.

**Tabelle 4: Grundwasserstände am Rheinhauptdeich im Planungsfall 2-jährige Nassperiode mit anschließendem HQ200 ohne Böschungsabdichtung**

Deichkilometer	x	y	berechneter maximaler Grundwasserstand [mNN]
17+100	3457893,0	5493613,0	91,34
17+400	3457780,4	5493879,6	91,25
18+485	3457131,5	5494636,5	91,19
18+660	3457097,0	5494808,1	91,12

Zur Beurteilung der Deichstandssicherheit wurden des Weiteren die Grundwasserstände ermittelt, die sich an 4 Punkten des Rheinhauptdeiches im Bereich der geplanten Auskiesung im Planungsfall HQ200 ohne Böschungsabdichtung einstellen. Dabei wurde von besonders ungünstigen Verhältnissen ausgegangen. Aus diesem Grund wurde von einem erhöhten Anfangswasserstand, wie er sich am Ende einer 2-jährigen Nassperiode einstellt, ausgegangen. Die Grundwasserstände liegen zwischen 91,12 und 91,34 mNN (siehe Tabelle 4). Diese Wasserspiegellagen werden zur Beurteilung der Deichstandsicherheit durch Dritte verwendet.

## 5 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung wurde durchgeführt, um die Auswirkungen der geplanten Auskiesung der Bonnau auf die Grund- und Druckwasserverhältnisse in deren Umfeld zu bewerten. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass nachteilige Auswirkungen der Auskiesung nur sehr selten, d.h. ausschließlich bei einer rheinseitigen Überströmung des Sommerdeiches entstehen können (etwa ab HQ10). Da eine Verschärfung der Grund- und Druckwassersituation nicht genehmigungsfähig ist, wurde als Anpassungsmaßnahme eine Teildichtung der landseitigen Böschung der Auskiesung konzipiert.

Durch die Abdichtung der Nord- und Westböschung der Bonnau können negative Auswirkungen des Planvorhabens auf die Bestandssituation vermieden werden. Dies betrifft sowohl die angrenzenden Bebauungen (Hofgut Petersau, Gebäude im Bereich der Isenachmündung, Anwesen Edelbluth & Dauber) wie auch die angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen unmittelbar binnenseits des Deiches (Petersau-Bannen). Bei einer Abdichtung der Nord- und Westböschung entsteht keine erhöhte Belastung der Schöpfwerke durch die Auskiesung.

Die Auswirkungen der temporären Fenster in der Böschungsabdichtung sind als geringfügig zu betrachten. Es sind keine weiteren Grundwasserhaltungsmaßnahmen notwendig.

Um nachteilige Auswirkungen auf die Standsicherheit des Rheinhauptdeichs ausschließen zu können, wurde die Durchlässigkeit der Böschungsabdichtung ermittelt, welche notwendig ist, um dem Druckwasseranfall im Bestand zu entsprechen. Diese beträgt  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s und ist mit dem vorhandenen Abraummateriale problemlos sicherzustellen. Folglich ergibt sich keine Verschlechterung hinsichtlich der heutigen Standsicherheit des Rheinhauptdeichs.

Durch die geplante Auskiesung erhöht sich das Retentionsvolumen zwischen Sommer- und Rheinhauptdeich um ca. 2 Millionen. Eine Verschlechterung hinsichtlich des Retentionsvolumens ist ausgeschlossen.

Das im Bereich der Auskiesung anfallende Deckschichtmaterial reicht nach aktuellem Kenntnisstand in Menge und Qualität aus, um den Massenbedarf für die Abdichtung zu decken. Die angedachte Abdichtung ist somit wirtschaftlich wie ökologisch (Vermeidung von Transporten und Emissionen) die sinnvollste Lösung.

Sachbearbeiterin  
M.Sc. L. John

Speyer, im August 2018  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Niederlassung Speyer



Dr.-Ing. M. Probst