

KOMPLEXER BAUBEHELF –  
DIE BAUGRUBEN ZUR ERWEITERUNG DES  
RHEINKRAFTWERKS IFFEZHEIM





1

**Auf einer Insel im Rhein, bei sehr beengten Verhältnissen neben dem vorhandenen Kraftwerk, wurden sehr tiefe Baugruben erstellt, die bis 25 Meter unter den Wasserspiegel reichten. Dafür waren in der Planung zahlreiche Bauzustände mit jeweils unterschiedlichen Bettungsbedingungen der Baugrubenwände in einem komplexen Berechnungsmodell zu erfassen.**

Das 1978 in Betrieb genommene Kraftwerk Iffezheim ist eines der größten Laufwasserkraftwerke in Europa. Es befindet sich auf der rechten Rheinseite zwischen den Gemeinden Iffezheim in Baden und Roppenheim im Elsass. Vor der Erweiterung besaß das Kraftwerk vier große Rohrturbinen, die für eine Ausbaumassermenge von 1.100 m<sup>3</sup>/s ausgelegt waren. Mit der Inbetriebnahme der 5. Maschine kann nun der maximale Durchfluss von 1.500 m<sup>3</sup>/s optimal ausgeschöpft werden [1]. Mit seiner jetzt installierten Leistung von 146 Megawatt ist das Kraftwerk Iffezheim das leistungsfähigste Laufwasserkraftwerk Deutschlands.

#### Baugrubenkonzepktion

Für den Bau der 5. Maschine waren Baugruben mit Aushubtiefen von bis zu etwa 34 Metern erforderlich. Das Baufeld (S.80/81) wurde von der Bundesstraße B500 sowie der Fischaufstiegsanlage gequert, die während der gesamten Baumaßnahme in Betrieb zu halten waren. Aufgrund dieser komplexen Randbedingungen wurden

mehrere umfangreiche Vorplanungen und Konzeptstudien durchgeführt, die die Baugruben als wesentlichen Kosten- und Risikofaktor für die Gesamtmaßnahme identifizierten [2].

Frühe Bauwerksentwürfe sahen bereits eine Unterteilung der Baugrube in Oberwasserbaugrube (OW-Baugrube), Hauptbaugrube (HBG) und Unterwasserbaugrube (UW-Baugrube) vor. Diese wurde auch nach Anpassung des Bauwerksentwurfs in der sogenannten 2. Planungsphase übernommen [3], in der Ausführungsplanung umgesetzt [4] und während des Baus realisiert [5,6].

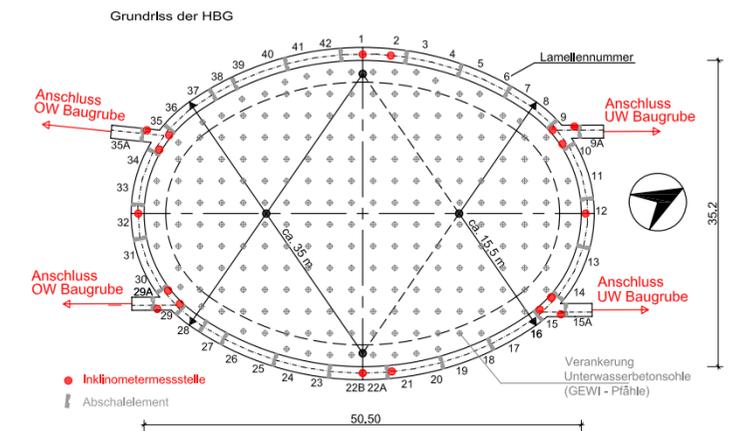
#### Baugrund und Grundwasser

Der Aufstau des Rheins wird durch eine durchgehende Dichtung vom deutschen zum französischen Rheinseitendamm ermöglicht, welche das Oberwasser vom Unterwasser trennt. Der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser beträgt im Mittel circa 10 bis 11 Meter. Innerhalb des Baufeldes liegt näherungsweise der Unterwasserstand vor.

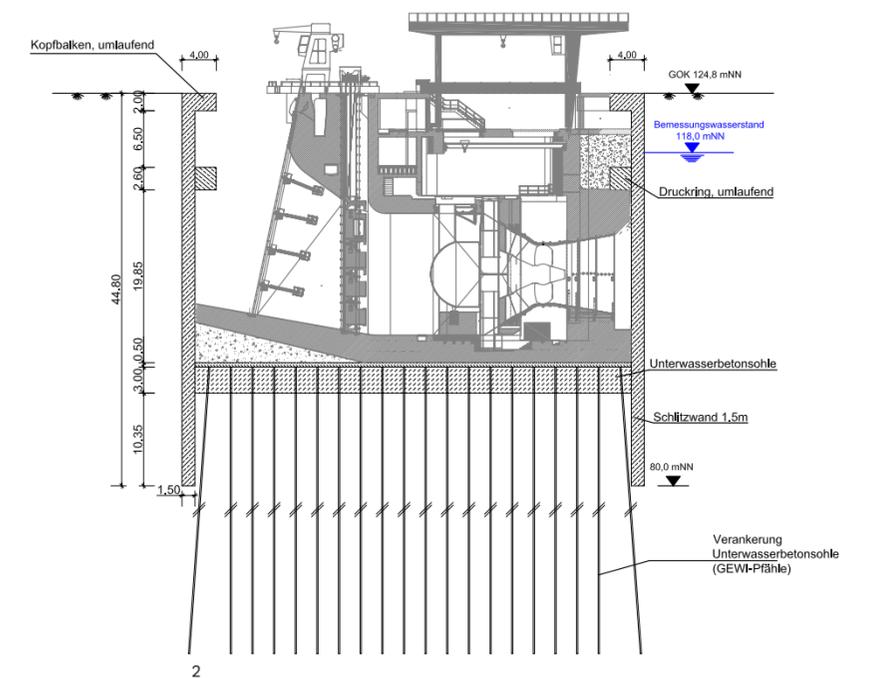
Der natürliche Baugrund besteht im Wesentlichen aus Kiesen und Sanden. Jedoch befanden sich die Baugruben größtenteils im ehemaligen Baufeld des bestehenden Kraftwerkes, sodass hier eine Auffüllung aus sandigem Kies bis etwa 25 Meter unter Gelände vorlag.

1 Blick auf die Baugruben zum Bau der 5. Maschine

2 Abmessungen und grundsätzliche Konstruktion der HBG  
3 Berechnungsmodell HBG – Bauphase mit Teilaussteifung infolge Kraftwerkseinbau



Schnitt in Längsachse der HBG mit Darstellung des Kraftwerks



2

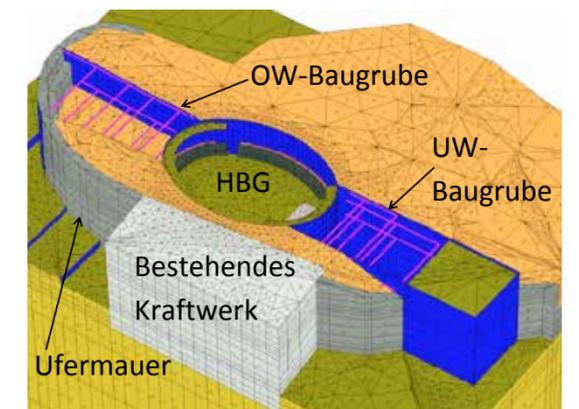
#### 3-D-Modellierung der Hauptbaugrube

Bei der Hauptbaugrube bestand eine große Herausforderung in der Frage der horizontalen Festhaltung der Baugrubenwände gegen Erd- und Wasserdruck. Übliche Lösungen wie das Aussteifen an der gegenüberliegenden Baugrubenwand oder die Rückverankerung im umgebenden Baugrund waren nicht möglich; Ersteres wegen des für die Montage der neuen Turbine benötigten Platzes innerhalb der Baugrube, Letzteres wegen der benachbarten Bauwerke.

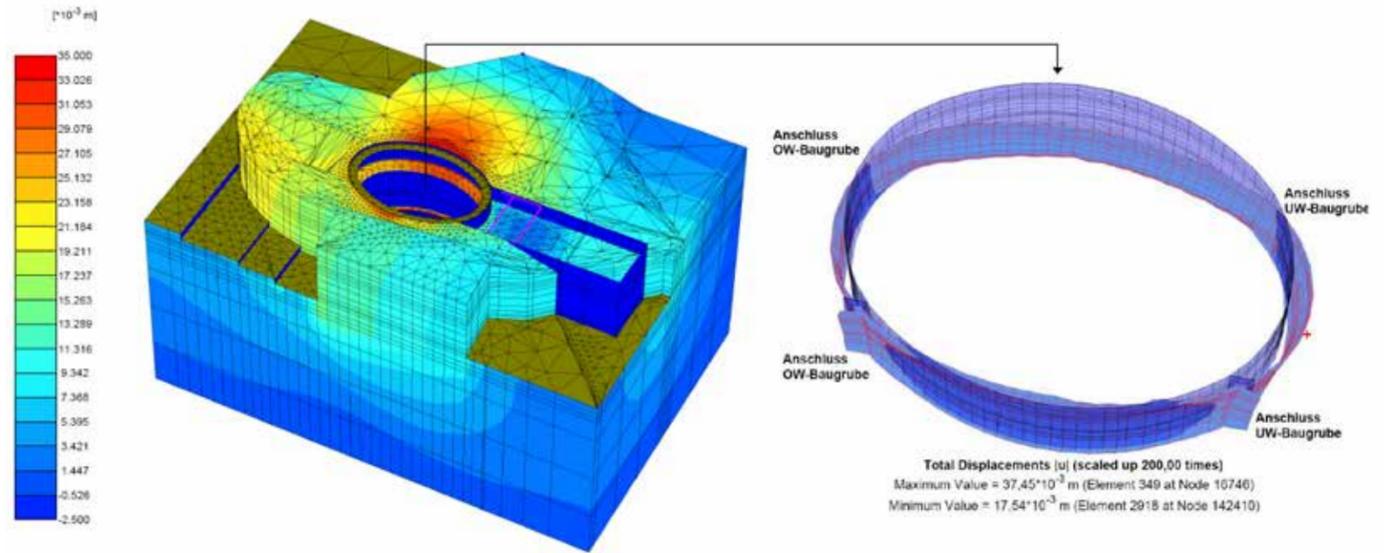
Die Lösung bestand darin, die Baugrube im Grundriss oval (als Korbboogen) auszubilden, sodass sie sich aufgrund ihrer Form selbst trägt (Bilder 1 und 2). Lediglich ein Kopfbalken und ein Druckring aus Stahlbeton dienten der Aufnahme von Horizontallasten.

Für den unteren waagerechten Abschluss der Baugrube kam eine Unterwasserbetonsohle zum Einsatz, die rückverankert wurde, um den starken Auftriebskräften standhalten zu können (Bild 2).

Der in der Entwurfsphase vorgeschlagene Bauablauf sah vor, zuerst die Hauptbaugrube herzustellen und mit dem Aushub der OW- und der UW-Baugrube erst nach Einbau des Kraftwerks zu beginnen. Damit wäre die statische Situation weniger komplex als bei gleichzeitiger Herstellung der Baugruben.



3



4

4 Berechnete Verformungen der HBG im Gesamtmodell und bezogen auf die Schlitzwand  
5 Schlitzwandaushub

Da allerdings diese serielle Herstellung eine lange Bauzeit erfordert hätte, wurde das Konzept im Zuge der Ausführungsplanung verworfen. Stattdessen wurde vorgesehen, den Aushub der UW-Baugrube bereits zu beginnen, bevor der Kraftwerkseinbau in der Hauptbaugrube abgeschlossen war. Dadurch konnte die Bauzeit reduziert werden; allerdings hatte dies auch umfangreichere und komplexere statische Untersuchungen und Maßnahmen zur Folge.

Es ergaben sich folgende besondere Herausforderungen an die Ausführungsplanung der HBG:

- Extrem tiefe Baugrube (Aushubtiefe ca. 34 Meter) mit hohem Wasserüberdruck (bis 25 Meter) in suffisionsgefährdetem Baugrund mit hohen Anforderungen an die Dichtigkeit.
- Forderung einer realistischen Verformungsprognose wegen bestehenden verformungsempfindlichen Bauwerken unmittelbar neben der Baugrube.
- Baugrube mit komplexer Geometrie und unsymmetrisch auftretenden Einwirkungen mit Erfordernis der Erfassung der räumlichen Tragwirkung.
- Bauen in bestehender Stauhaltung mit dem Erfordernis der Gewährleistung der Haltbarkeit.
- Gegenseitige Interaktion der Baugruben u.a. bei Aushub der UW-Baugrube mit teilverfüllter HBG (Bettungsreduktion infolge Aushub der UW-Baugrube).

Angesichts der genannten Punkte war eine vereinfachte analytische Berechnung bzw. eine Berechnung unter Verwendung von Strukturmodellen aus dem konstruktiven Ingenieurbau (z. B. mit Schalenmodellen), bei denen nur die Struktur des zu erstellenden bzw. vorhandenen Bauwerkes und seiner Bauteile erfasst wird, nicht zielführend. Neben den Bauteilen musste auch der umgebende Boden mit Elementtypen und Stoffgesetzen in einem entsprechenden numerischen dreidimensionalen Kontinuumsmodell mit erfasst werden [4, 7].

Das Berechnungsmodell wurde unter Berücksichtigung der HBG selbst, des anstehenden Baugrunds sowie der vorhandenen Nachbarbebauung erstellt. Insbesondere war es erforderlich, das in westlicher Richtung dicht an die HBG anschließende bestehende Kraftwerk sowie die im Bereich der HBG liegenden Ufermauern (Schwergewichtsmauern) in ihrer Lage und ihren Abmessungen realitätsnah zu modellieren.

Des Weiteren waren auch die angrenzende Oberwasser- und die Unterwasserbaugrube wegen der oben beschriebenen Bauabläufe in das Modell mit einzubeziehen. Durch die teilweise parallel erfolgende Herstellung waren verschiedene Interaktionen zwischen den Einzelbaugruben, verbunden mit einem ständigen Wechsel der Bettungsverhältnisse der Baugrubenwände der HBG, sowie auch Teilrückbauzustände während des Kraftwerkseinbaus zu erfassen. Auch der Kraftfluss von



5



6a



6b

6 Bewehrungseinbau  
7 Unterwasseraushub mit Seilbagger  
8 Betonage der UW-Betonsohle

der HBG in die Schlitzwände der UW-Baugrube und die dortige Ableitung der Kräfte in den Baugrund waren von wesentlicher Bedeutung (Bilder 3 und 4).

### Schlitzwände

Die Baugrubenumschließung besteht aus Schlitzwänden mit einer Dicke von 1,5 Metern und einer Tiefe von 45 Metern. Die ovale Umfassung der HBG mit etwa 151 Metern Gesamtlänge wurde in polygonal angeordnete Segmente von 3,2 Metern Länge aufgeteilt. Für die Herstellung eines Segmentes (Lamelle) wurde demzufolge jeweils ein Schlitz ausgehoben, der bei einer Grundfläche von 1,5 mal 3,2 Metern eine Tiefe von 45 Metern aufwies. Um seitliche Abweichungen beim Aushub mit dem Schlitzwandgreifer (Bild 5) möglichst gering zu halten, wurden längs des Schlitzes Leitwände aus Stahlbeton hergestellt, die dem Greifer im oberen Bereich als Führung dienten.

Während des Aushubs wurde eine Bentonitsuspension in den Schlitz eingebracht, um das Herabfallen von umgebendem Boden in den Schlitz beziehungsweise im Extremfall den Einsturz des Schlitzes zu verhindern. Diese Mischung aus Bentonit und Wasser bildet aufgrund ihrer sogenannten thixotropen Eigenschaften am anstehenden Boden eine Schicht aus, die fest genug ist, um in Verbindung mit dem Flüssigkeitsdruck den Schlitz zu stützen.



7



8



9

Nach Abschluss des Aushubs wurden vorgefertigte Bewehrungskörbe mit einem Gewicht von insgesamt ca. 50 Tonnen in die Suspension eingestellt (Bild 6). Anschließend erfolgte die Betonage der Schlitzwandlamellen mit Schüttröhren im Contractorverfahren. Dabei wird der Schlitz von unten nach oben ausbetoniert, wobei die Stützflüssigkeit verdrängt, abgepumpt und für eine weitere Verwendung aufbereitet wird.

Aufgrund der räumlichen Tragwirkung der HBG wurde für die Schlitzwände eine maximale zulässige Neigungsabweichung von 0,5 Prozent festgelegt; das entspricht 10 Zentimetern Abweichung auf einer Tiefe von 45 Metern. Um diese geringen Toleranzen gewährleisten zu können, wurde die Neigung und Verdrehung des Schlitzwandgreifers während des Aushubs kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet. Bei Abweichungen von der Solllage wurden diese mittels eines sogenannten Schlitzwandhobels korrigiert.

Eine besondere Herausforderung bei der Schlitzwandherstellung waren die sogenannten Y-Lamellen in den Übergangsbereichen zwischen den Teilbaugruben, bei denen ein Schenkel der Krümmung der HBG folgt und ein zweiter Schenkel spitzwinkelig in Richtung der Anschlussbaugruben abzweigt (Bild 2).

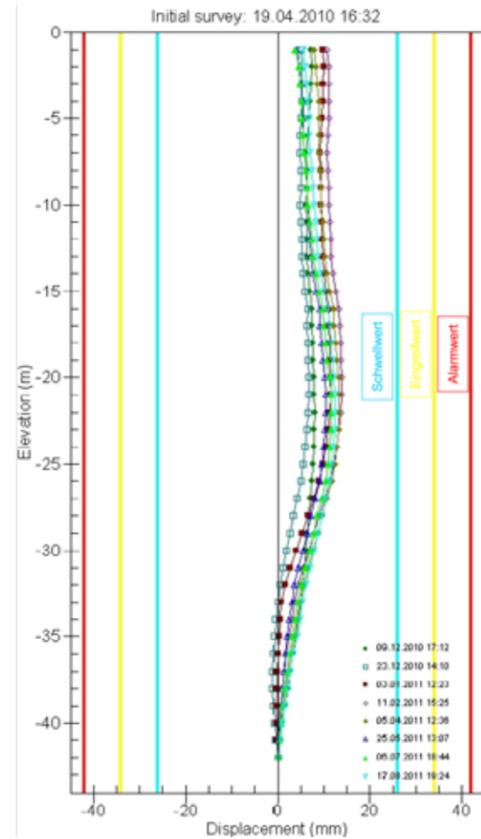
Der Aushub der Baugrube erfolgte über dem Wasserspiegel mit Hydraulikbaggern, unter Wasser dagegen

mittels Seilbaggern (Bild 7), wobei insbesondere der Rückbau von alten Baubehelfen aus dem Bau des Kraftwerks in den 1970er Jahren zeitaufwendig und schwierig war.

#### Unterwasserbetonsohle

Nach Erreichen der Solltiefe wurden von einem Ponton aus 232 Mikro-Pfähle mit einer Gesamtlänge von ca. 6.900 Metern für die Rückverankerung der Unterwasserbetonsohle hergestellt. Die Mikro-Pfähle reichen dabei bis ca. 60 Meter unter Geländeoberkante. Anschließend wurden mithilfe von Tauchern ohne Unterbrechung in ca. 36 Stunden ca. 4.500 Kubikmeter Beton, was etwa 600 Betonmischfahrzeigen entspricht, für die drei Meter dicke Platte eingebaut (Bild 8).

Nach Fertigstellung des Aushubs, während der Herstellung der Rückverankerung, wurden sämtliche Fugen zwischen den Schlitzwandlamellen von Tauchern kontrolliert und bei Auffälligkeiten per Video dokumentiert. So gelang es, Schwachstellen bereits vor dem Lenzen festzustellen und entsprechend zu sanieren. Nachdem die Unterwasserbetonsohle eingebracht war und diese eine ausreichende Festigkeit besaß, wurde die Baugrube innerhalb von vier Tagen unter ständiger messtechnischer Überwachung vollständig gelenzt (Bilder 9 und 10). Dabei wurden circa 40.000 Kubikmeter Wasser abgepumpt.



10

9 Gelenzte HBG

10 Gemessene Schlitzwandverformungen an Lamelle 1 (vgl. Bild 2) während des Lenzens und im gelenzten Zustand der HBG

11 HBG zu Beginn der Kraftwerksarbeiten



11

#### Zusammenfassung

Die Erweiterung des Rheinkraftwerks Iffezheim stellte insbesondere aufgrund der außergewöhnlichen Baugrubengeometrie und der vorliegenden Randbedingungen große Herausforderungen an Planung und Ausführung dar. Der teilweise bis in Tiefen von 25 Meter unter Geländeoberkante vorliegende künstliche Baugrund mit einer Vielzahl bekannter und unbekannter anthropogener Hindernisse erschwerte die Bauausführung erheblich. Die große Anzahl parallel laufender Arbeiten wie z.B. Hindernisbeseitigung, Leitwandherstellung, Schlitzwandarbeiten, Arbeiten an Kopfbalken und Druckring etc. bei gleichzeitig sehr geringem Platzangebot erforderte einen hohen logistischen Aufwand und eine gute Abstimmung.

Die ovale Hauptbaugrube ist aber auch ein Beispiel dafür, dass bei partnerschaftlicher Zusammenarbeit der Projektbeteiligten auch schwierige Baumaßnahmen realisiert werden können.

Andreas Kirchner, Marc Raitchel

#### Literatur

- [1] Ittel, G.: Planung und Bau der 5. Turbine im Rheinkraftwerk Iffezheim, WasserWirtschaft 1/2, 2015.
- [2] Molck, M.; Göhl, C.; Zimmermann, F.: Entwurfs- und Tragwerksplanung für die 5. Turbine im Rheinkraftwerk Iffezheim – 1. Planungsphase, WasserWirtschaft 1/2, 2015.
- [3] Molck, M.; Göhl, C.; Zimmermann, F.: Entwurfs- und Tragwerksplanung für die 5. Turbine im Rheinkraftwerk Iffezheim – 2. Planungsphase, WasserWirtschaft 1/2, 2015.
- [4] Raitchel, M.; Kirchner, A.: Dreidimensionale Berechnungsmodelle zur Bemessung einer ovalen, tiefen Baugrube bei schwierigen geotechnischen Randbedingungen, Bautechnik 88, Heft 12, S. 866–876, 2011.
- [5] Kamuf, I.; Kronberger, K.: Besondere Herausforderungen bei der Herstellung der Baugruben für RKI Maschine 5, WasserWirtschaft 1/2, 2015.
- [6] Kamuf, I.; Kronberger, K.: Besonderheiten beim Ausbau des Kraftwerks RKI Maschine 5, WasserWirtschaft 1/2, 2015.
- [7] Raitchel, M.; Kirchner, A.; Rathgeb, R.; Heim, W.: Erweiterung des Rheinkraftwerkes Iffezheim – Baugruben Maschine 5, BAW-Kolloquium Aktuelle geotechnische Fragestellungen bei Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen, 2011.

#### OBJEKT

Baugruben zur Erweiterung

des Rheinkraftwerkes Iffezheim

**STANDORT**

Iffezheim

**BAUZEIT**

2009–2014

**BAUHERR**

Rheinkraftwerke Iffezheim

GmbH

**PROJEKTABWICKLUNG**

EnBW AG

**INGENIEURE**

Kempfert + Partner Geotechnik

**BAU AUSFÜHRUNG**

ARGE RKI (Schleith GmbH und

Implenia Bau AG)

**PREIS**

Auszeichnung beim

Ulrich-Finsterwalder-Ingenieur-

baupreis 2015