Kloster Weltenburg - Hochwasserschutz durch Beherrschung des Grundwassers*

von: J. Linnemann[1)], P. Habersbrunner[2)], M. Feigl[1)], C. Kölling[3)]
[1)] Bilfinger Berger AG, NL Spezialtiefbau, München
[2)] Wasserwirtschaftsamt (WWA) Landshut, Landshut
[3)] ISAR CONSULT GmbH, Geretsried

22. Christian Veder Kolloqium, „Maßnahmen zur Beherrschung des Wassers in der Geotechnik“, TU Graz, 12./13. April 2007

ISAR CONSULT
Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft GmbH
http://www.isar-consult.de

1 Einleitung

Das denkmalgeschützte Kloster Weltenburg liegt äußerst exponiert am rechten Donauufer unmittelbar oberstrom des Donaudurchbruchs bei Kelheim. Im Laufe der 1400 - jährigen Geschichte des Klosters wurden die Klosteranlagen bei Hochwasser immer wieder überschwemmt und schwer geschädigt.

Um das Kloster zukünftig vor großen Hochwässern zu schützen, wurde der Gebäudekomplex mittels einer ca. 350 m langen und bis zu 10 m tiefen im Düsenstrahlverfahren (DSV) erstellten Dichtwand umschlossen, um einen Grundwasserzufluss bei Hochwasser zu verhindern. Oberirdisch wird der Hochwasserschutz zum einen durch die Gebäude selber und zum anderen durch bis zu ca. 4 m hohe mobile Dammbalkenverschlüsse zwischen den Gebäuden sowie durch mobile Verschlüsse der flussseitigen Fenster und Türen gebildet. Dazu mussten die Klostergebäude, i. b. die Außenwände, hinsichtlich ihrer zukünftigen statischen Funktion überprüft und ertüchtigt werden. Bereichsweise wurden dabei die Fundamente der Gebäude an die statisch verstärkte Dichtwand konstruktiv angeschlossen.

Um im abgedichteten Innenbereich langfristige Nachteile auf den Grundwasserkörper und den hier existierenden Brauereibrunnen auszuschließen, wurde auf Basis eines Grundwassermodells ca. 3 m unter GOK ein „geohydraulisches Fenster“ von ca. 140 m² in der Untergrundabdichtung belassen, über das bei Niedrig- und Mittelwasser ein ausreichender Grundwasseraustausch gewährleistet wird. Für die Grundwasserregulierung im Hochwasserfall wurde im Klosterinnenhof ein Abschirmbrunnen mit stationärer Pumpe errichtet. Die mittels Schwimmerschaltung gesteuerte Pumpe nimmt bei Überschreiten des zulässigen Binnenwasserstands den Pumpbetrieb auf.

Abb. 1: Kloster Weltenburg am Donaudurchbruch

* Dieser Fachaufsatz steht unter http://www.isar-consult.de als PDF - Datei zum Download bereit.

2 Das Kloster Weltenburg

2.1 Die Lage des Klosters am Donaudurchbruch

Das Kloster Weltenburg liegt im Süden Bayerns ca. 30 km südwestlich von Regensburg im Naturschutzgebiet „Weltenburger Enge“. Es befindet sich, unmittelbar am rechten Donauufer bei Donau - Kilometer 2419,40 liegend, am Eingang des Donaudurchbruchs, wo sich im Laufe der Jahrtausende mehrere Donaunebenflüsse ihren Weg durch den Jurafels gesucht haben. Seitlich begrenzen bis zu 40 m hohe Felswände das Durchbruchtal.

2.2 Zur Geschichte

Die ersten christlichen Spuren in der Gegend um das Donaukloster Weltenburg stammen aus dem 6. Jahrhundert. Im Jahr 617 errichteten hier die iroschottisch - kolumbanischen Wandermönche Eustachius und Agilus aus Luxeuil das Kloster Weltenburg. Somit ist das Kloster Weltenburg, das erstmals im Jahre 1047 im noch erhaltenen „Weltenburger Martyrologium“ schriftlich erwähnt wurde, die älteste klösterliche Niederlassung Bayerns. Die von den Gebrüdern Asam in den Jahren 1716 - 1739 erbaute und ausgestaltete Abteikirche zählt zu den Spitzenleistungen des europäischen Barocks. Im Jahre 1803 fiel Weltenburg der Säkularisation zum Opfer und wurde aufgelöst. Es wurde aber schon 1842 durch König Ludwig I. von Bayern als Priorat wiedererrichtet und von Mönchen aus Metten besiedelt. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts steht das Kloster Weltenburg unter Denkmalschutz und ist seit dem Jahre 1913 wieder Abtei.

2.3 Hochwasserereignisse und ihre Folgen

In den letzten 6 Jahren traten in diesem Donauabschnitt mehrfach große Hochwässer auf. Am härtesten war das Kloster vom Pfingsthochwasser 1999 ($HQ_{05/99}$) betroffen, bei dem der Scheitelabfluss etwa Q_{max} = 2311 m³/s betrug und die Donauscheitelwasserstände die Mittelwasserstände um etwa 6,30 m übertrafen.

Abb. 2: Pfingsthochwasser 1999

Das Wasser drang im Mai 1999 durch alle Erdgeschossfenster in das Kloster ein, weshalb das gesamte Erdgeschoss mehrere Tage etwa 1,40 m unter Wasser stand. Der Innenhof mit Brauerei und Klosterschenke wurde komplett überflutet. In der weltberühmten Asamkirche stand das Wasser etwa einen halben Meter hoch. Der Schaden wurde auf ca. 1,5 Mio. € beziffert. Verteidigungsmaßnahmen waren 1999 erfolglos.

Im August 2002 und im August 2005 wurden größere Hochwasserschäden durch massiven logistischen Aufwand verhindert. Die Zugangsbereiche des Klosters sowie die Fenster wurden mit Sandsäcken verbarrikadiert. Unter Leitung der örtlichen Feuerwehr wurden rund 80.000 Sandsäcke zum Schutz vor den Wassermassen eingesetzt. Das über den Untergrund in den Klosterinnenhof eingedrungene Wasser wurde von den Hilfskräften abgepumpt. Die dafür eingesetzte Pumpleistung betrug 55.000 l/min bzw. etwa 900 l/s. Dabei war einerseits die Leistungsfähigkeit der Einsatzkräfte ausgeschöpft, zum anderen waren die Fußböden im Erdgeschoss infolge des Wasserdrucks von unten kurz vor dem Aufbrechen.

3 Modellgestützte Optimierung der Hochwasserschutzmaßnahmen

Der vom WWA Landshut erarbeitete Lösungsvorschlag sah kombinierte ober- und unterirdische Hochwasserschutzmaßnahmen vor. Hierzu wurden zunächst die Ausführbarkeit einer Untergrundabdichtung geologisch untersucht und die Oberkante der relativ gering durchlässigen Malmschichten erkundet. In einem zweiten Schritt wurden dann die Gebäude statisch und qualitativ überprüft sowie der oberirdische Hochwasserschutz, bestehend aus mobilen Verschlüssen der Zufahrtsbereiche und der Fenster und Türen, projektiert. Die ISAR CONSULT GmbH erstellte für die Optimierung und Bemessung dieses Lösungsvorschlags im Auftrag des WWA Landshut das 3D - Grundwassermodell Kloster Weltenburg [1]. Mit Hilfe dieses Modells wurde der für den Grundwasseraustausch zwischen Donau und Binnenbereich notwendige Durchlass in der Untergrundabdichtung bezüglich Lage und Größe bemessen.

Abb. 3: Hochwassermarken am Klostergebäude

3.1 Geologie

Das Kloster Weltenburg befindet sich auf einer langgestreckten Kiesbank (siehe Abb. 1), die aus kiesigen bis feinsandigen Donauablagerungen besteht und entlang des Innenufers einer scharfen Donaurechtskurve abgelagert wurde. In dem hier ca. 380 m breiten Donautal existieren etwa 10 m mächtige Quartärablagerungen, die einen hoch durchlässigen Porengrundwasserleiter bilden. Diese Ablagerungen bestehen im Klosterbereich typischerweise aus etwa 4 - 5 m mächtigen gering durchlässigen feinsandigen bis schluffigen Deckschichten und ca. 5 - 6 m mächtigen hoch durchlässigen Kiesen. Im Bereich des Klosters Weltenburg schneidet das Donautal ca. 25 m in die nördlich und südlich angrenzenden Malmhochflächen der Fränkischen Alb ein. Diese Karbonate sind durch eine dichte kalkige Matrix gekennzeichnet, die infolge Verkarstung teilweise stark zerklüftet ist. Die mehrere hundert Meter mächtigen Karbonate des Malm weisen in der Regel geringe hydraulische Durchlässigkeiten auf.

3.2 Zielvorgaben

Die Hochwasserschutzmaßnahmen wurden gemäß folgender Zielvorgaben des WWA Landshut geplant und optimiert:

- Bei einhundertjährlichen Donauhochwässern sollen die oberflächennahen Scheitelgrundwasserpotentiale im Klosterinnenhof den kritischen Grundwasserstand h_{krit} zukünftig nicht mehr überschreiten, um Gebäudeschäden durch Auftrieb und eindringendes Grundwasser zu vermeiden.
- Durch die geplante Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen dürfen die Mittelwasserbedingungen entsprechenden Grundwasserströmungsverhältnisse nicht wesentlich verändert werden.
- Trotz der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen muss die hohe Qualität des Grundwassers erhalten bleiben, das aus dem historischen Brauereibrunnen im Innenhof des Klosters Weltenburg gefördert wird.
- Aus Starkniederschlägen resultierende Oberflächenwässer müssen auch bei lang anhaltenden Donauhochwässern schadlos abgeführt werden können.

3.3 Instationäres 3D - Grundwassermodell

Um die geohydraulischen Auswirkungen alternativer Hochwasserschutzmaßnahmen realitätsnah simulieren zu können, erstellte die ISAR CONSULT GmbH das horizontal und vertikal hoch auflösende instationäre 3D - Grundwassermodell Kloster Weltenburg [1], das stationär für mittlere hydraulische Verhältnisse und instationär für ein durch Messdaten dokumentiertes historisches Donauhochwasser kalibriert wurde. Darauf aufbauend wurden Modellprognosen für die drei folgenden hydraulischen Belastungen erstellt:

A: Mittelwasserverhältnisse (MQ),

B: ein etwa einhundertjährliches Donauhochwasser HQ_{100} mit einem Scheitelabfluss von Q_{max} = 2389 m³/s ohne zeitgleichen lokalen Niederschlag

C: und ein etwa einjährliches Donauhochwasser HQ_1 mit einem Scheitelabfluss von Q_{max} = 1173 m³/s in Kombination mit einem zeitgleichen etwa einhundertjährlichen lokalen Starkregenereignis von 72 h Dauer.

In enger Abstimmung mit dem WWA Landshut wurden den Modellprognosen verschiedene Varianten zugrunde gelegt. Diese unterscheiden sich jeweils durch verschiedene hydraulische Randbedingungen, die als Referenz den Ist - Zustand (keine Hochwasserschutzmaßnahmen) und als davon abweichende Planungszustände unterschiedliche Kombinationen folgender Hochwasserschutzmaßnahmen repräsentieren:

- alternative Trassierungen der im oberflächennahen Quartärgrundwasserleiter entlang der donauseitigen Klosteraußenmauern geplanten Dichtwand
- mit variierenden Eintiefungen dieser Dichtwand,
- mit ergänzenden Rohrdurchlässen in dieser Dichtwand,

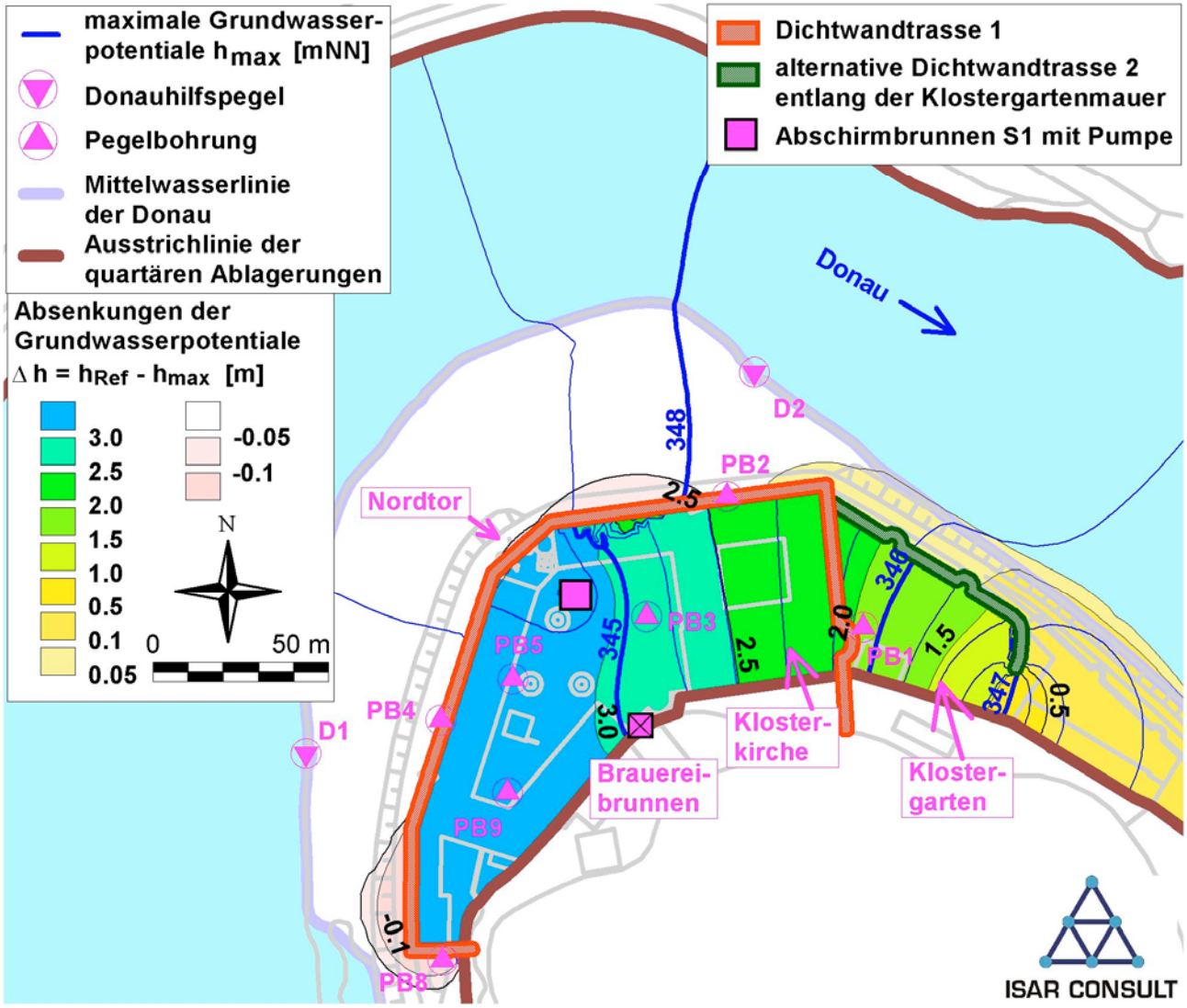

Abb. 4: Alternative Dichtwandtrassen 1 und 2 mit den für die Variante 2 für ein HQ_{100} simulierten Scheitelgrundwasserständen h_{max} und den gegenüber dem Ist - Zustand erzielbaren Grundwasserabsenkungen Δh [1]

- mit alternativen geohydraulischen Fenstern in dieser Dichtwand,
- bezüglich Lage und Höhe variierte ergänzende Grundwasserdrainagen mit
- alternativ positionierten Abschirmbrunnen mit und ohne Pumpstation.

Im Rahmen ausgewählter Lastfälle wurden die geohydraulischen Auswirkungen dieser Varianten für die oben genannten hydraulischen Belastungen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung simuliert. Für jeden Lastfall wurden die zu erwartenden Scheitelgrundwasserstände h_{max} und die gegenüber dem Ist - Zustand erzielbaren Grundwasserabsenkungen Δh dokumentiert. Ergänzende Fließzeiten- und Fließwegepläne erlaubten Gefährdungsabschätzungen des historischen Klosterbrauereibrunnens durch potentielle hochwasserbedingte Schadstoffeinträge.

3.4 Ausgewählte Modellergebnisse

Um die durch alternative Hochwasserschutzmaßnahmen erzielbaren Grundwasserabsenkungen dokumentieren zu können, wurden zunächst dem Ist - Zustand ohne Hochwasserschutzmaßnahmen entsprechende Referenzlastfälle simuliert. Anschließend wurden die geohydraulischen Auswirkungen einer das Kloster entlang seiner donauseitigen Außenmauern umschließenden und bis in die gering durchlässigen Malmkalke abgeteuften Dichtwand simuliert. Dieser Variante liegt die in Abb. 4 dargestellte Dichtwandtrasse 1 zugrunde. Durch diese donauseitige Dichtwandumschließung können bei einem Donauhochwasser HQ_{100} die Scheitelgrundwasserstände im Klosterinnenhof nahezu flächendeckend um etwa Δh = 5.0 m abgesenkt werden. Bei dieser Variante ist jedoch mit einer erheblichen Verminderung der Qualität des im historischen Brauereibrunnen des Klosters Weltenburg geförderten Grundwassers zu rechnen, da die vollständige Dichtwandumschließung entlang der donauseitigen Klosteraußenmauern im hoch durchlässigen oberflächennahen Quartäraquifer den derzeit vorherrschenden Grundwasseraustausch stark behindern wird.

Daher wurde alternativ die Dichtwandtrasse 2 untersucht, die entsprechend Abb. 4 unterstrom des Klosters nach Osten verlängert wird und ca. 15 m nördlich der unmittelbar südlich des Klosters verlaufenden Ausstrichlinie der Quartärablagerungen endet. Dadurch ergibt sich ca. 50 m unterstrom der Klosterkirche ein nicht abgedichteter schmaler Quartärbereich, der auch zukünftig einen ständigen Austausch zwischen Quartärgrundwasser und angrenzendem Donauwasser ermöglicht. Die für diese Variante 2 für ein HQ_{100} resultierenden Scheitelgrundwasserstände h_{max} und Grundwasserabsenkungen Δh sind ebenfalls in Abb. 4 dargestellt. Wegen des am Ostrand der Dichtwand ermöglichten Potentialausgleichs zwischen Quartäraquifer und angrenzendem Donauwasserstand wird der kritische Grundwasserstand h_{krit} bei diesem Hochwasserlastfall im Klosterinnenhof großflächig überschritten. Die weiteren Optimierungen beschränkten sich daher auf die Dichtwandtrasse 1.

Um im Bereich des historischen Brauereibrunnens die Grundwasserdurchströmung zu erhöhen, wurden ergänzende Rohrdurchlässe untersucht, durch die die entlang der Klosteraußenmauern geplante Dichtwand lokal unterbrochen wird. Da Rohrdurchlässe nur bis etwa 4 m Tiefe kostengünstig ausgeführt werden können, liegen sie noch in den oberflächennah anstehenden gering durchlässigen Deckschichten. Die für diese Variante für ein HQ_{100} simulierten Scheitelgrundwasserstände h_{max} unterschreiten den kritischen Grundwasserstand h_{krit} im Klosterinnenhof großflächig, aber eine ausreichende Durch-

Abb. 5: im Bereich des Nordtores geplante Untergrundabdichtung mit geohydraulischem Fenster

strömung des Binnenbereichs lässt sich wegen der vorausgesetzten oberflächennahen Montage der Rohrdurchlässe nicht gewährleisten.

Daher wurde bei der Dichtwandtrasse 1 im Bereich des Nordtores zum Klosterinnenhof ein geohydraulisches Fenster angeordnet und dessen Auswirkungen untersucht. Gemäß Abb. 5 ist das an dieser Stelle vorgesehene geohydraulische Fenster dadurch gekennzeichnet, dass die Untergrundabdichtung hier nicht bis auf den Malm, sondern lediglich bis ca. 3 m unter Gelände ausgeführt wird. Daraus ergibt sich für die im Bereich des Nordtores erbohrte Gesamtmächtigkeit des Quartärs von ca. m_Q = 9,40 m eine etwa A_F = 140 m² große durchströmbare Fläche des geohydraulischen Fensters.

Gemäß Abb. 5 wurde das geohydraulische Fenster gezielt oberflächenfern in den hoch durchlässigen quartären Kiesen positioniert, die entsprechend Kap. 3.1 im lokalen Bereich des Klosters Weltenburg großflächig auf den vergleichsweise gering durchlässigen Malmschichten aufliegen und von gering durchlässigen feinsandigen bis schluffigen Deckschichten überlagert werden. Dadurch wird im Klosterbereich eine ausreichend starke Durchströmung des Quartäraquifers erzielt. Die infolge eines HQ_{100} zu erwartenden Scheitelgrundwasserstände h_{max} werden zwar stark gegenüber denen des Ist - Zustands abgesenkt, aber dennoch wird der im Bereich des Klosterinnenhofs vom WWA Landshut vorgegebene kritische Grundwasserstand h_{krit} überschritten.

Daher wurde ergänzend die hydraulische Effektivität eines zusätzlichen Abschirmbrunnens untersucht, der im Bereich des auch bei Hochwasser gut zugänglichen tiefsten Punktes des Klosterinnenhofs positioniert wird. Bei einem HQ_{100} wird das für den Klosterinnenhof vorgegebene Grundwasserabsenkziel von $h_{max} < h_{krit}$ eingehalten, wenn der Abschirmbrunnen mit einer ergänzenden Pumpstation ausgerüstet wird, die entsprechend Abb. 6 über eine Mindestleistung von Q_{min} = 50 l/s verfügt.

In den Klosterinnenhof entwässern ca. 6600 m² Dach- und Hofflächen des Klosters sowie ein steil nach Norden geneigtes ca. 15000 m² großes Teileinzugsgebiet im Bereich des in der rechten Hälfte der Abb. 1 gut erkennbaren Frauenbergs. Um die in diesen Teileinzugsgebieten infolge von Starkniederschlägen auftretenden Oberflächenabflüsse beherrschen zu können, musste die vorhandene Binnenentwässerung des Klosters komplett neu geordnet werden. Das auf diesen Flächen anfallende niederschlagsinduzierte Oberflächenwasser wird dazu zukünftig im Klosterinnenhof in einem Sammelschacht gefasst und einem Kontrollschacht zugeleitet, aus dem es in freier Vorflut in die Donau fließt. Bei Hochwasser wird die Vorflut mittels Schiebern geschlossen, der Sammelschacht von der Freiwilligen Feuerwehr Kelheim mit mobilen Pumpen bestückt und das Oberflächenwasser in die Donau gepumpt.

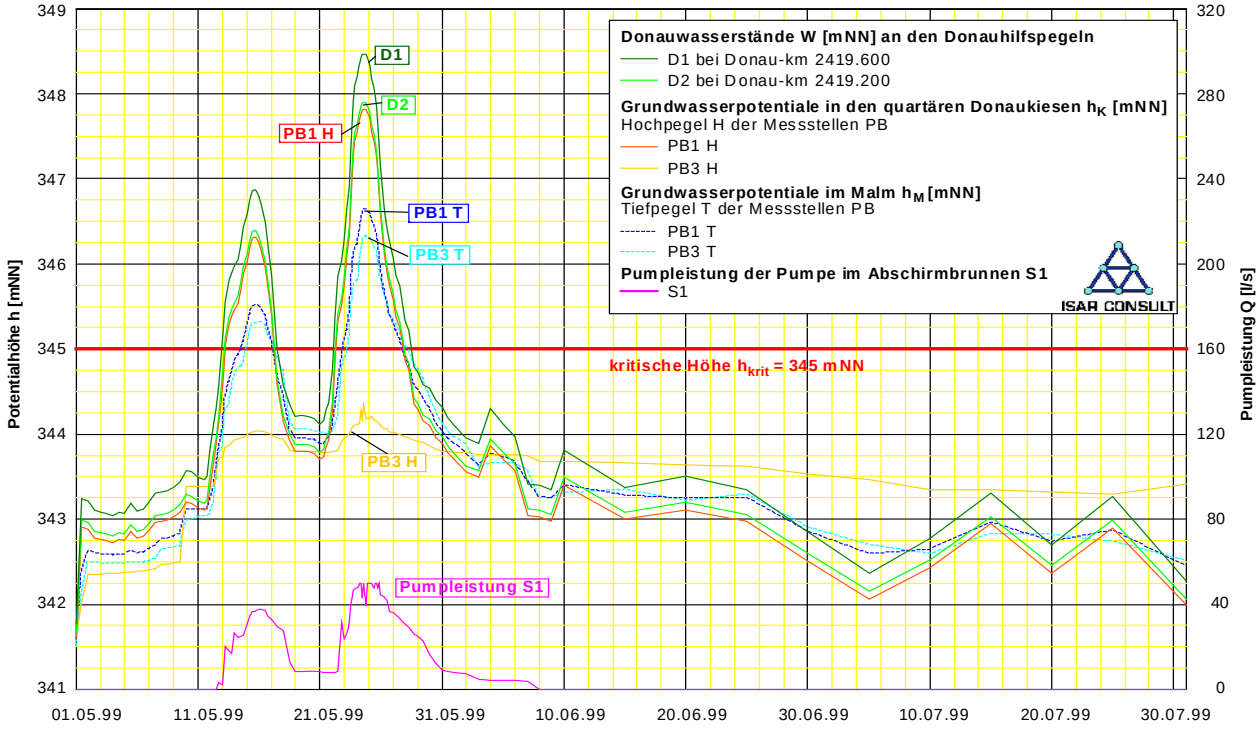

Abb. 6: für ein HQ_{100} instationär simulierte Ganglinien der erforderlichen Pumpleistung im geplanten Abschirmbrunnen S_1 sowie oberflächennaher (Quartär) und oberflächenferner (Malm) Grundwasserpotentiale ausgewählter Grundwassermessstellen (vergl. Abb. 4)

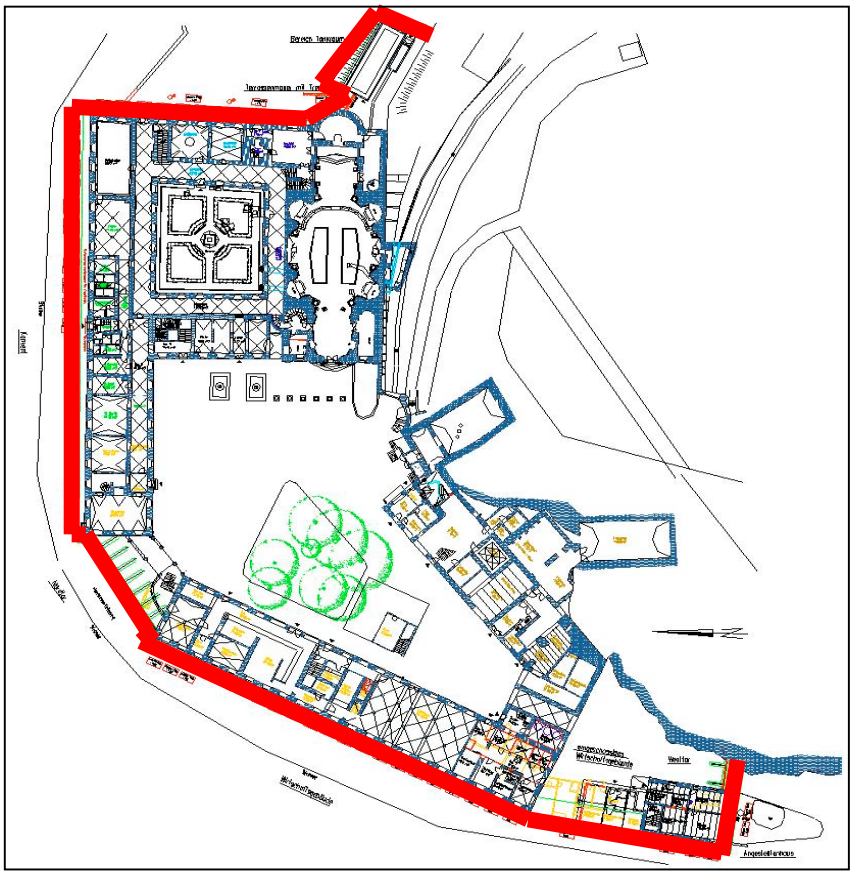

Abb. 7: ausgeführte Untergrundabdichtung entlang der donauseitigen Klosteraußenmauern

3.5 Optimierte Hochwasserschutzmaßnahmen

Die mit Hilfe des instationären 3D - Grundwassermodells Kloster Weltenburg [1] optimierte Kombiation von Hochwasserschutzmaßnahmen umfasst somit die vier folgenden wesentlichen Komponenten:

1. eine das Kloster entlang seiner donauseitigen Klosteraußenmauern umschließende Dichtwand, die bis in die Malmkalke einbindet und

2. im Bereich des Nordtores ein geohydraulisches Fenster aufweist, das durch eine auf 3 m begrenzte Dichtwandeintiefung gekennzeichnet ist (vergl. Abb. 5),

3. ein südöstlich des Nordtores im Klosterinnenhof positionierter Abschirmbrunnen mit ergänzender Pumpstation mit einer Mindestförderleistung von Q_{min} = 50 l/s und

4. ein ebenfalls im Klosterinnenhof geplanter Sammelschacht mit Pumpstation, der der Oberflächenentwässerung dient und durch eine südlich des Klosters angeordnete Hangfußentwässerung des Frauenberges ergänzt wird.

Diese optimierte Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen erfüllt kostengünstig und hydraulisch effektiv alle Zielvorgaben des WWA Landshut. Außerdem konnte mit Hilfe des instationären 3D - Grundwassermodells [1] nachgewiesen werden, dass einhundertjährliche Donauhochwässer temporär stark erhöhte Malmgrundwasserpotentiale bewirken, die die im abgedichteten Klosterinnenhof zukünftig zu erwartenden erheblich verminderten Quartärgrundwasserpotentiale deutlich überschreiten werden. Daraus resultieren für den Klosterinnenhof hochwasserinduzierte von unten nach oben gerichtete Grundwasserströmungen, durch die im Klosterinnenhof oberflächennahe Schadstoffeinträge in den historischen Brauereibrunnen des Klosters Weltenburg hydraulisch wirksam verhindert werden.

4 Planung und Ausführung der Hochwasserschutzmaßnahmen

4.1 Untergrundabdichtung

Für die Untergrundabdichtung wurde auf Grund der Bauaufgabe und der örtlichen Rahmenbedingungen (leichtes Bohrgerät, erschütterungsfreies und flexibles Bauverfahren, Einbindung der Klosterfundamente in den Hochwasserschutz, etc.) eine Abdichtung im Düsenstrahlverfahren (DSV - oder auch HDI - Verfahren genannt) entlang der donauseitigen Außenmauern des Klosters gewählt. Zur Ausführung kamen Säulen mit einem Durchmesser von 1,80 m und einem Achsabstand von 1,50 m, woraus sich eine Mindeststärke der Dichtwand in den Überschneidungsbereichen der Säulen von 0,60 m ergibt. Die im Duplex - Verfahren (mit luftumhülltem Schneidstrahl) hergestellte Dichtwand hat eine Tiefe von bis zu 10,00 m und bindet etwa 0,50 m tief in das durch den Malm gebildete Felsgestein ein. Hangseitig schließt die Dichtwand an die aufsteigenden Felswände an.

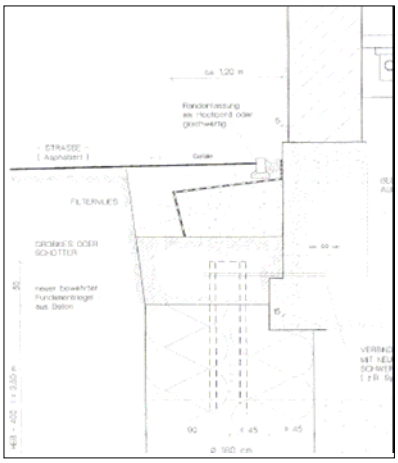

Abb. 8: Systemskizze DSV - Säule (hier mit Fundamentriegel)

Abb. 9: Bohrgerät und Kompaktmischanlage

Ein besonderes Augenmerk wurde auf den dichten Anschluss der Untergrundabdichtung an die bestehenden Fundamente des Klosters gelegt, wobei diese Fundamente von den DSV-Säulen auch unterschnitten werden (vergl. Abb. 8). Die Oberkante der DSV - Säulen befindet sich etwa 80 cm unter der vorhandenen Geländeoberkante, da eine Versiegelung der historischen Fundamente unerwünscht und nur im technisch unbedingt erforderlichen Maße zulässig war. Um Stauwasser an den Fundamenten bzw. der Klosterfassade zu vermeiden, wurde auf die Oberseite der DSV - Säulen eine Ausgleichsschicht aufgebracht, deren Gefälle von den Fundamenten wegweist.

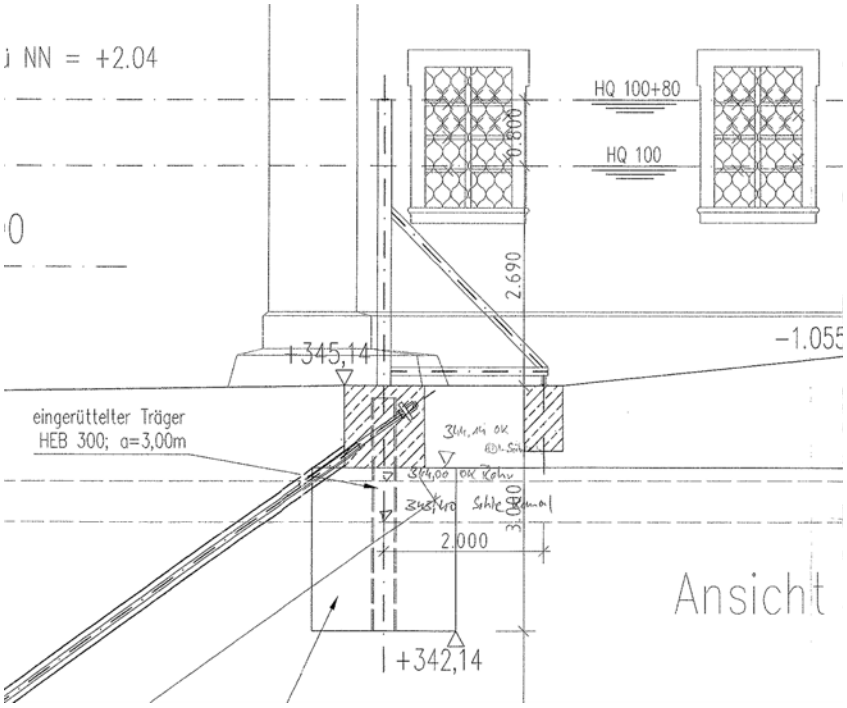

Abb. 10: Skizze oberirdischer Hochwasserschutz (Dammbalkenverschluss mit Fundamentbalken und DSV - Säule)

Der Nachweis des erforderlichen Säulendurchmessers erfolgte nach dem Hydrophonverfahren der Bilfinger Berger AG. Dabei werden vor Herstellung der Probesäule zwei Horchpegel abge-

bohrt, die sich auf dem projektierten Außendurchmesser der Probesäule gegenüber liegen. Diese Pegel werden mit Wasser gefüllt und mit einem Schalldrucksensor bestückt. Während der Herstellung der Probesäule befindet sich der Sensor höhengleich zum Schneidstrahl und zeichnet die Schalldrucksignale beim Überstreichen des Schneidstrahls am Horchpegel auf. Wenn der Schneidstrahl auf den Horchpegel trifft und der projektierte Säulendurchmesser somit erreicht wird, hat dies ein charakteristisches Signal zur Folge, das eine eindeutige Aussage über die Reichweite des Schneidstrahls erlaubt. Während der Ausführung der DSV - Arbeiten wurde eine Setzungsüberwachung an den bestehenden Gebäuden durchgeführt. Dabei wurden keine Verformungen festgestellt, was auf die langjährige Erfahrung bei ähnlich anspruchsvollen DSV - Maßnahmen zurückzuführen ist.

4.2 Mobile Hochwasserschutzwände

Das Kloster Weltenburg ist ein Bau- und Kunstdenkmal von nationaler Bedeutung. Daher sollten alle Maßnahmen und Arbeiten der Sicherung und dem Erhalt dieses Kulturdenkmals Rechnung tragen. Aufgrund dieser Besonderheit wurden für die Zugangsbereiche des Klosters mobile Hochwasserschutzvorrichtungen gefordert, die nur im Hochwasserfall aufgestellt werden.

Die Stützen der Hochwasserschutzwände wurden aus Stahlträgern, die Dammbalken aus Aluminium hergestellt. Alle Teile der Hochwasserschutzwand können von den Einsatzkräften der Freiwilligen Feuerwehr schnell und unkompliziert gehandhabt und in kürzester Zeit aufgebaut werden. Als Schutzhöhe wurde sowohl für die Zugangsbereiche, als auch für die Fenster- und Türverschlüsse ein HW_{100} und ein Freibord von 80 cm vorgegeben. Die Hochwasserschutzwände wurden auf Stahlbetonfundamentbalken gegründet. Um die im Hochwasserfall auftretenden Momente von den Fundamentbalken in die DSV - Wand einleiten zu können, wurden Träger HEB 300 in die DSV - Wand eingestellt. Wegen des geohydraulischen Fensters war die Einbindetiefe der Träger in der DSV - Wand am Nordtor soweit reduziert, dass der Fundamentbalken hier entsprechend Abb. 10 mit Hilfe von 9 GEWI - Zugpfählen mit einer Länge von jeweils 15,0 m rückverankert werden musste.

4.3 Beeinflussung bestehender Gebäude

Da die Klostermauern dem Hochwasser sowohl hinsichtlich der Belastung als auch hinsichtlich der Dichtigkeit standhalten können, entschloss man sich, ledig-

Abb. 11: Oberirdischer mobiler Hochwasserschutz

Abb. 12: Randstütze mit „Schwert“ - Lösung

lich die vorhandenen ober- und unterirdischen Wandöffnungen zu verschließen. Um Eingriffe in die unter Denkmalschutz stehende Fassade zu minimieren und um Lasteinleitungen in das Mauerwerk weitgehend zu vermeiden, wurden die Randstützen der Hochwasserschutzwand mit einem „Schwert“ versehen, das aus einem 10 mm starken Blech besteht. Beim Aufstellen der Randstützen wird dieses Schwert mit den daran angebrachten Gummidichtungen in eine Aussparung am Gebäude eingeführt und so der dichte Anschluss hergestellt (vergl. Abb. 12). Des weiteren sollten im Nichthochwasserfall die Gebäude- und Wandanschlüsse nicht vor oder hinter der historischen Fassade liegen. Die Anschlüsse mussten daher dem Verlauf der Fassade folgen oder verdeckt sein.

4.4 Mobile Fenster- und Türverschlüsse

Bei den mobilen Fenster- und Türverschlüssen werden, wie bei den Verschlüssen in den Zugangsbereichen, ebenfalls Aluminiumelemente eingesetzt. Diese Elemente werden an den Fenstergittern eingehängt und fixiert. Der Wasserdruck presst die Elemente an die Fassade, so dass die zwischenliegenden schlauchförmigen Dichtungsbänder vollflächig anliegen. Die Bemessung und Prüfung dieser Verschlüsse wurde vom TÜV München in Zusammenarbeit mit der Universität der Bundeswehr München durchgeführt.

4.5 Ertüchtigung der historischen Bausubstanz

Durch die Untergrundabdichtung und den mobilen Hochwasserschutz werden die Klostermauern zukünftig einer erhöhten Wasserdruckbelastung ausgesetzt. Während die Hochwasserstände bisher beidseits der Klosteraußenmauern etwa gleich waren, werden die binnenseitigen Hochwasserstände zukünftig durch die Untergrundabdichtung, den mobilen Hochwasserschutz und den Abschirmbrunnen abgesenkt, während auf die Außenseite der Klosteraußenmauern auch in Zukunft der volle Wasserdruck einwirken wird. Um zukünftig auch die aus diesen Wasserspiegeldifferenzen resultierenden Zusatzbelastungen aufnehmen zu können, wurden die Klostermauern bereichsweise ertüchtigt. Hierzu wurden zusätzliche Stahlträger HEB 400 in die Untergrundabdichtung eingestellt. An diese wurden die Fundamente der Gebäude gemäß Abb. 8 über einen Ortbetonbalken und Verdübelungen angeschlossen.

4.6 Binnenentwässerung

Aufgrund des am Nordtor in der Untergrundabdichtung ausgesparten geohydraulischen Fensters sickern dem Klosterinnenhof bei großen Donauhochwässern größere Grundwassermengen zu. Diese Grundwasserzuflüsse werden in einem im Klosterinnenhof am Nordtor positionierten Abschirmbrunnen gefasst und von dort in die Donau zurückgepumpt.

Der Abschirmbrunnen ist ein etwa 6 m tiefes Schachtbauwerk mit ca. 2,0 m Durchmesser, das mit einer stationären Pumpe ausgestattet ist, die bei Erreichen des maximal zulässigen Binnenwasserstands automatisch den Pumpbetrieb aufnimmt. Das auf den Dach- und Hofflächen des Klosters und auf dem nach Norden geneigten Teileinzugsgebiet des Frauenbergs anfallende niederschlagsinduzierte Oberflächenwasser wird zukünftig im Klosterinnenhof in einem Sam-

Abb. 13: mobile Fenster- und Türverschlüsse

melschacht gefasst und in diesem einem Kontrollschacht zugeleitet, aus dem es in freier Vorflut in die Donau fließt. Bei Hochwasser wird die Vorflut mittels Schiebern geschlossen, der Sammelschacht von der Freiwilligen Feuerwehr Kelheim mit mobilen Pumpen bestückt und das Oberflächenwasser in die Donau gepumpt.

4.7 Beeinflussung der Grundwasserqualität

Zur Überprüfung der Grundwasserqualität wurden vor, während und nach der Baumaßnahme (insbesondere der DSV - Arbeiten) Grundwasserproben entnommen und auf die Parameter Färbung, Trübung, Geruch, Sauerstoff (gelöst), pH-Wert, Elektrische Leitfähigkeit, TOC, Chlorid, Sulfat, Arsen und Chrom VI untersucht. Bei allen Untersuchungen blieben die Parameter unverändert und innerhalb der zugelassenen Bereiche. Die Grundwasserqualität wurde somit durch die Herstellung der Dichtwand nachweislich nicht beeinträchtigt.

5 Ausblick

Während der Bauausführung traten zwei kleine Donauhochwässer auf. Da der Abschirmbrunnen auf der Hofseite des Nordtores noch nicht fertiggestellt war, konnte der Binnenwasserstand während dieser kleinen Donauhochwässer noch nicht durch die hier vorgesehene Pumpe reguliert werden. Deshalb drang Wasser in den Keller der Klosterkirche ein. Dabei stieg das Wasser in den Kellerräumen der Klosterkirche jedoch viel langsamer und bei weitem nicht so hoch an wie vor der Baumaßnahme. Gleiches galt auch für die Keller im Bereich des Nordtores, wo sich das geohydraulische Fenster in der Untergrundabdichtung befindet.

Inwieweit die mit Hilfe des Grundwassermodells instationär simulierten Grundwasserstände mit tatsächlich eintretenden Grundwasserständen übereinstimmen, werden die nächsten Donauhochwässer zeigen. Das geohydraulische Fenster kann bei Bedarf nachträglich, z. B. durch Injektionen, verengt werden, um den in den Klosterbinnenbereich gerichteten Grundwasserzufluss gezielt zu reduzieren.

Die Freiwillige Feuerwehr, die die mobilen Hochwasserschutzwände sowie die Tür- und Fensterverschlüsse montieren wird, kann das Kloster Weltenburg zukünftig schneller und sicherer vor Hochwasser schützen als dies mit Hilfe der bisherigen Maßnahmen, wie dem Aufschichten von Sandsäcken, möglich war.

Unternehmensträger für den Hochwasserschutz des Klosters Weltenburg ist der Freistaat Bayern, vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Landshut. Kofinanziert wird das Projekt zu 50 % von der Europäischen Union unter Beteiligung der Benediktinerabtei Weltenburg und der Stadt Kelheim.

6 Literatur

[1] ISAR CONSULT GmbH:
Schlussbericht über das
3D - Grundwassermodell
Kloster Weltenburg,
erstellt im Auftrag des WWA
Landshut, Geretsried 2005.