

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Herten, Markus**

## **Bundeswasserstraße Neckar - eine Herausforderung für die Geotechnik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100854>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Herten, Markus (2012): Bundeswasserstraße Neckar - eine Herausforderung für die Geotechnik. In: 8. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', 17. und 18. Januar 2012 in Ostfildern/Stuttgart. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen. S. 5-11.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Bundeswasserstraße Neckar – eine Herausforderung für die Geotechnik

Dr.-Ing. Markus Herten  
 Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

## Zusammenfassung

Der Neckar ist von Plochingen bis zum Rhein als Wasserstraße mit 27 Staustufen ausgebaut. Aufgrund des Alters der Bestandsbauwerke müssen vielfältige Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Zusätzlich ergeben sich Bauaufgaben aus neuen Anforderungen, wie z. B. an die Durchgängigkeit für Fische oder die zulässige Schiffsgröße. Im Beitrag ist ein Überblick über die Geologie am Neckar enthalten. Des Weiteren wird anhand von Baugrubenkonzepten, die für die Verlängerung der Schleusen für größere Schiffe erforderlich sind, exemplarisch die Möglichkeiten der Vereinheitlichung diskutiert. Bei gleicher Aufgabenstellung ergeben sich für manche Standorte ähnliche und für andere vollständig unterschiedliche Konzepte. Die geplante Baugrubenumschließung besteht vorwiegend aus ausgesteiften Spundwänden, die teilweise zusätzlich verankert sind oder für einen Fangedamm verwendet werden. In Abhängigkeit von der Geologie ist eine offene Baugrubensohle möglich oder eine rückverankerte Unterwasserbetonsohle erforderlich.

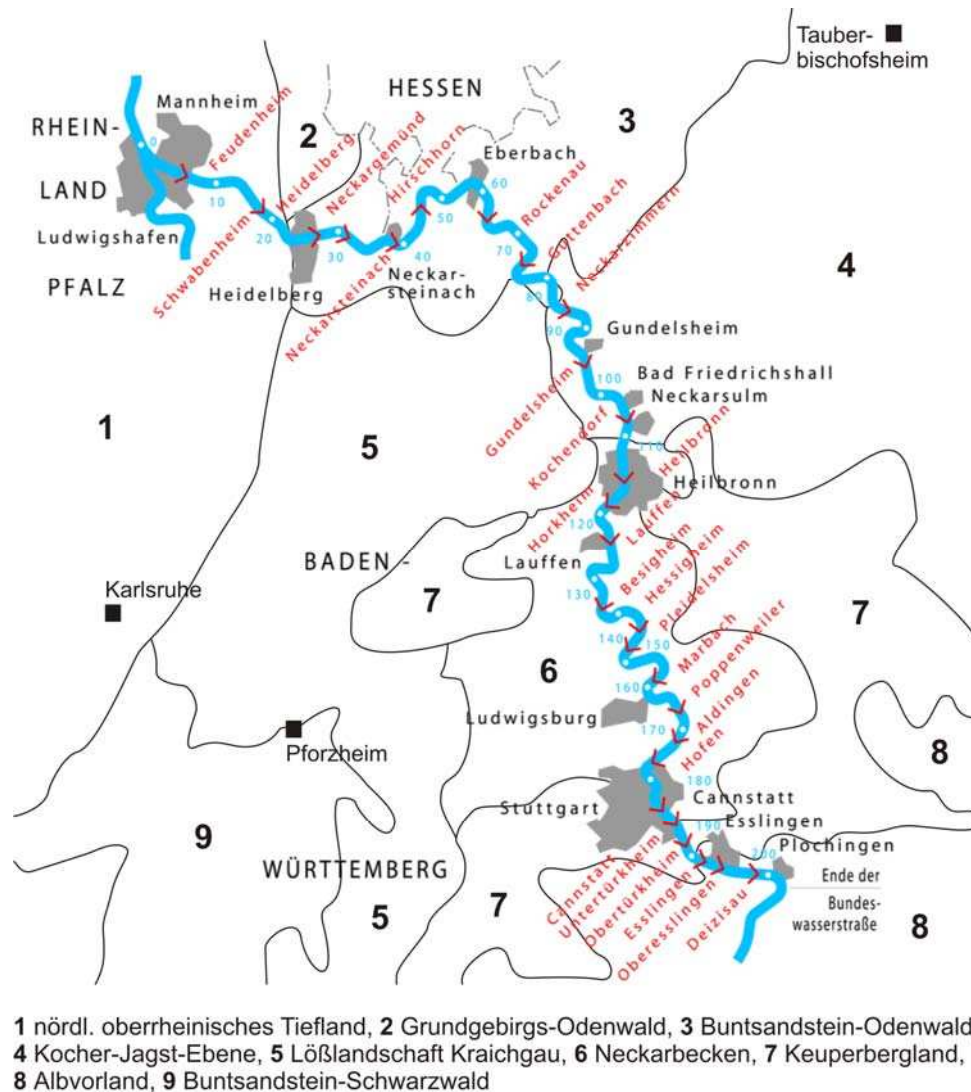


Bild 1: Schleusenstandorte [1] und Bodenlandschaften (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg)

## 1. Geologie und Gründung an den Schleusen

Der Neckar ist von Plochingen bis zum Rhein staueregelt und zur Bundeswasserstraße Klasse Va ausgebaut. Auf diesem über 200 km langen Abschnitt fließt er durch sehr unterschiedliche geologische Formationen, wobei diese Vielfalt einige Besonderheit beinhaltet (Bild 1). Folgt man dem Neckarverlauf vom Rhein kommend, liegen die ersten beiden Staustufen Feudenheim und Schwabenheim im nördlichen ober-rheinischen Tiefland. Dieses ist, wie schon der Name verrät, vom Rhein geprägt und im Untergrund stehen hauptsächlich quartäre Sande, Schluffe und Kiese an. In diesem Gebiet sind die Schleusen flach gegründet und haben eine Sohle aus Stahlbeton. Teilweise wurden Vorhäfen und Schleusenkammern in Senk-kastenbauweise errichtet. Die benachbarte Schleuse Heidelberg wird von einem Ausläufer des Grundgebirges des Odenwalds geprägt und ist auf einem Tiefengestein (Granit) gegründet. Die nächsten fünf Schleusenstandorte Neckargemünd, Neckarsteinach, Hirschhorn, Rockenau und Guttenbach liegen alle im Buntsandstein des Odenwalds. Damit folgt nach dem Quartär und dem kristallinen Grundgebirge nun bis Plochingen die Formation der Trias, die sich in Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein untergliedern lässt. Der Buntsandstein, das älteste Gestein dieser geologischen Hauptgruppe, ermöglicht ebenfalls flache Gründungen der Schleusen. Danach folgt der Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebene bis kurz vor Heilbronn und des Neckarbeckens bis Hofen [2]. Der Muschelkalk unterteilt sich in den Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalk und variiert somit zwischen einem sehr guten, tragfähigen und einem als sehr kritisch zu bewertenden Baugrund.

Die Schleusen Neckarzimmern, Gundelsheim, Kochen-

dorf, Heilbronn, Horkheim und Laufen sind im Oberen oder Unteren Muschelkalk ebenfalls flach gegründet. Insgesamt gilt für den Bereich von Neckarsteinbach bis Lauffen, dass je tiefer die Schleusensohle in einen tragfähigen, schwer lösbaren Fels gegründet ist, desto schlanker wurde der Fuß der landseitigen Schleusenkammerwände ausgebildet, um den Aushub und den Betonverbrauch zu minimieren. Bei Kochendorf wurde diese Optimierung sogar bei allen Kammerwänden durchgeführt (Bild 2). Hier ist der Kalkstein des Oberen Muschelkalks sehr kompakt und hat einaxiale Druckfestigkeiten von über 80 MN/m<sup>2</sup> (Bild 3). Die Fußausbildung der landseitigen Kammerwand kann somit als Indiz für die Qualität des anstehenden Baugrunds gelten.

Ganz anders stellt sich der Baugrund an den Schleusen Besigheim und Hessigheim dar. Das Neckarbecken ist auch dort grundsätzlich geprägt durch den Oberen Muschelkalk, der aus Kalkstein, Tonmergelstein und Mergelstein besteht. Durch Erosion von Neckar und Enz ausgelöst, ist in Hessigheim der Obere Muschelkalk vollständig und in Besigheim bereichsweise soweit abgetragen, dass der Mittlere Muschelkalk zutage tritt. In Besigheim besteht der Obere Muschelkalk in den oberen Abschnitten der Diemel-Formation aus teilweise gering tragfähigen Dolomiten gefolgt von einem meist kavernösen Dolomitstein des Lauffen-Horizonts (Bild 4). Die Diemel-Formation ist von der Heilbronn-Formation unterlagert, die von evaporitischen Gesteinen, wie z. B. Gips bzw. Anhydrit und Steinsalz, geprägt ist (Bild 5), welche bei Wasserzutritt mehr oder weniger stark löslich sind und teilweise zum Quellen neigen. Die oberen Sulfatschichten dieser Formation bestehen aus bereits zu Gips umgewandeltem Anhydrit mit Einschaltungen aus Ton- und Dolomitstein (Bild 6).

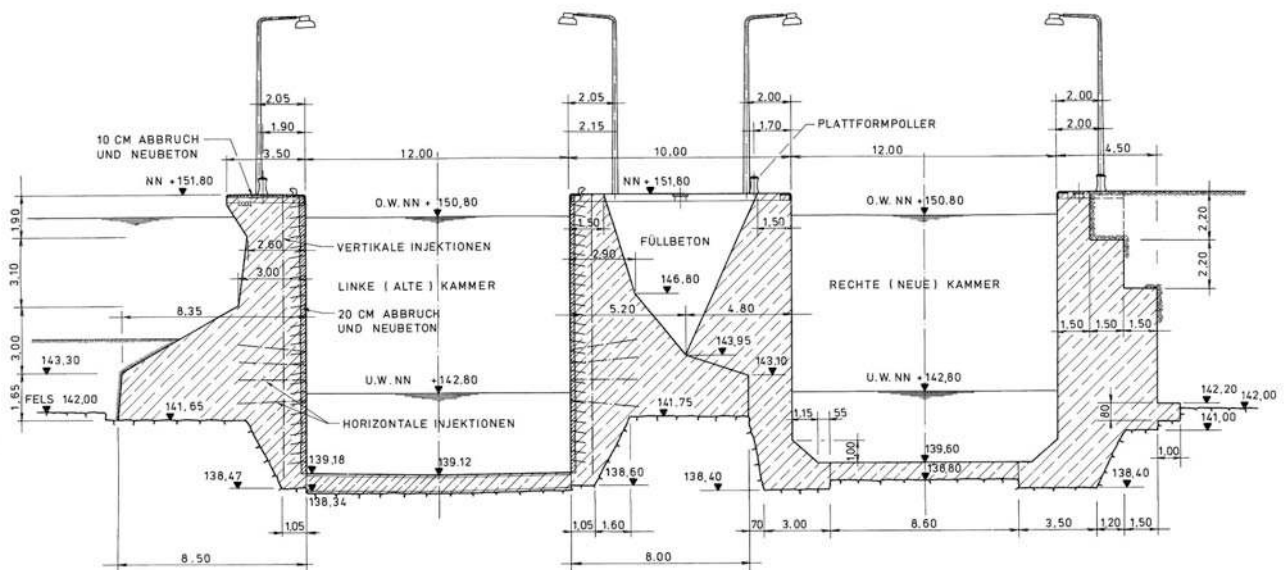


Bild 2: Querschnitt der Kammern der Schleuse Kochendorf (Bestandsplan des WSA Heidelberg)



Bild 3: Kalkstein aus dem Oberen Muschelkalk (Geotechnischer Bericht Schleuse Kochendorf des ELE von 2011)



Bild 4: Kavernöser Dolomitstein aus dem Lauffen-Horizont



Bild 5: Kompakter Gips der Oberen Sulfatschichten mit Tonsteineinlagerungen



Bild 6: Teilweise ausgelaugter Gips der Oberen Sulfatschichten

Zusätzlich ist der Baugrund in Besigheim durch tektonische Beanspruchungen stark zerrüttet. An diesen Störungen können die Gesteinseinheiten deutlich gegeneinander versetzt sein. Durch die Auslaugungsvorgänge im Mittleren Muschelkalk finden weitere Gesteinsbewegungen in den darüberliegenden Schichten statt. Die Sohle der Schleuse Besigheim befindet sich in einem Bereich, der von mehreren Wechsellagerungen zwischen Mittlerem und Oberem Muschelkalk geprägt ist. Die Tragfähigkeit des Baugrunds war so schlecht, dass weite Bereiche der Schleuse auf Stahlrammpfählen gegründet werden musste [3].

Die Schleuse Hessigheim liegt vollständig in der Heilbronn-Formation des Mittleren Muschelkalks. Diese unterteilt sich in den oberen und unteren Tonanhydrit, der von einem schmalen Band des Zwischendolomits getrennt wird. Diese Schichtungen sind in der Tiefe relativ lagestabil, wobei jedoch die oberen Tonanhydrite durch Verkarstung und Dolinenbildung geprägt sind. So konnten in Hessigheim in der Vergangenheit immer wieder Erdfälle beobachtet werden, und es wurden aufwendige Sicherungsmaßnahmen in den 1980er Jahren erforderlich [4]. Durch eine Vielzahl von Erkundungsbohrungen ist über einen Zeitraum von 50 Jahren die ständig fortschreitende Veränderung der oberen Tonanhydrite infolge Auslaugungen dokumentiert [5]. Teile der Schleuse Hessigheim sind wie die Schleuse Besigheim auf Stahlpfählen gegründet.

Liegt die Schleuse Pleidelsheim in der Formation des Unteren Muschelkalks, so sind die Schleusen Marbach, Poppenweiler, Aldingen und Hofen im Oberen

Muschelkalk gegründet, welcher überwiegend aus Kalkstein, Tonstein und Tonmergel bestehen. Wie zuvor ist auch hier die Art der Gründung und insbesondere die Ausbildung der Sohle ein Indiz für die Qualität des lokal anstehenden Baugrunds.

Vor Cannstatt beginnt das Keuperbergland, wobei diese Schleuse mitten in der Kernzone des Stuttgarter Heilquellenschutzgebietes liegt. Die beim Bau der Schleuse freigelegten Quellen wurden unmittelbar mit Beton verschlossen. Eine solche Vorgehensweise ist bei heutigen Baumaßnahmen nicht mehr zulässig. So muss eine in der Nähe geplante Gründung eines Brückenpfeilers für eine Bahntrasse unter Druckluft errichtet werden, um eine unplanmäßige Entnahme von Quellwasser ausschließen zu können. Alle Spezialiessbauverfahren, bei denen Material in den Baugrund verpresst wird, sind nicht erwünscht, da sie die vorhandenen Quellen beeinflussen könnten. Wie bei der anschließenden Schleuse Untertürkheim stehen dort Mergelsteine des Mittleren Keupers an, die stellenweise Gips enthalten (Gipskeuper). Sie werden unterlagert von Dolomitsteinen des Unteren Keupers, welche durch Lösungsvorgänge weitgehend zu einem löchrigen Zellendolomit umgewandelt worden sind.

Die Schleusen Obertürkheim, Esslingen, Oberesslingen und Deizisau liegen im Albvorland und sind überwiegend auf Sandstein und Mergel(stein) der Formation des Keupers gegründet.

## 2. Bauaufgaben

Nachdem zuvor auf die geologischen Strukturen an den Neckarschleusen eingegangen wurde, werden im Weiteren die Bauaufgaben unter dem Aspekt der Geotechnik erläutert. Neben 29 Wasserkraftwerken, die an Stromerzeuger verpachtet sind, besteht die Bundeswasserstraße Neckar aus 27 Wehren und Schleusenanlagen mit zusammen 54 Schleusenkammern. Generell ist jede Staustufe mit zwei Schleusenkammern ausgestattet, Ausnahmen bilden Feudenheim mit drei bzw. Deizisau mit einer Schleusenkammer. Es existieren fünf Seitenkanäle von insgesamt 25 km Länge. Drei dieser Kanäle sind mit Hochwassersperrtoren ausgerüstet. Für den Betrieb der Wasserstraße ist von Mannheim bis Heilbronn das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Heidelberg und neckaraufwärts das WSA Stuttgart zuständig.

Aus dem Alter der Wasserbauwerke, das zwischen 45 und über 100 Jahre liegt, ergibt sich ein enormer Sanierungsbedarf. So ist oftmals eine Grundinstandsetzung oder sogar der Neubau der Wehranlagen erforderlich. Zusätzlich sollen sieben Staustufen mit Fischaufstiegsanlagen als Kompensationsmaßnahmen ausgestattet werden. An zwei weiteren Staustufen sollen die alten Fischaufstiegsanlagen durch neue ersetzt werden, die dem gegenwärtigen Stand der Forschung entsprechen. Eine weitere Aufgabe ist es, die Bundeswasserstraße Neckar für das 135 m lange Großmotorgüterschiff auszubauen. Entlang der Strecke sind die hierfür erforderlichen Maßnahmen relativ gering. Somit konzentrieren sich die Arbeiten auf die Verlängerung der Schleusen. Hierfür sollen an den 25 Standorten mit paarweise angeordneten Kammern je nach Erfordernis jeweils eine Kammer grundinstandgesetzt werden und die jeweils andere Kammer zusätzlich durch den Bau eines neuen Unter- oder Oberhauptes verlängert werden. Zunächst ist der Ausbau bis Heilbronn vorgesehen, wobei in Feudenheim die Nutzlänge einer der drei Schleusenkammern schon ausreichend ist. Hier soll eine weitere Kammer verlängert und die andere außer Betrieb genommen werden. Für die Durchführung dieser Maßnahmen wurde 2008 das Amt für Neckarausbau Heidelberg (ANH) gegründet [6]. Da sowohl bei den Schleusen als auch den Fischpässen und Wehren gleiche oder zumindest ähnliche Bauaufgaben ausgeführt werden müssen, wurden im Vorfeld der Maßnahmen die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und die Fachstelle für Maschinenwesen Südwest (FMSW) von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Südwest beauftragt Möglichkeiten der Standardisierung bei den Schleusen zu untersuchen. Mit dieser Standardisierung sollen

auch Voraussetzungen geschaffen werden, um den Betrieb der Anlagen zu optimieren. Diese Untersuchungen mündeten in zehn Module, die die Planungsgrundlagen, die Verlängerung des Schleusenunterhauptes, die Instandsetzung der Schleusenkammern, die Verlängerung des Schleusenoberhauptes, die Ausbildung der Schleusentore, die Antriebstechnik für die Schleusentore, die Elektro- und Steuerungstechnik, die Ausbildung der Stoßschutzanlage, die Ausbildung der Baugruben sowie die Schleusenausrüstung beschreiben [7]. Für die Wehre und die Fischaufstiege wurden bzw. werden ebenfalls Möglichkeiten zur Standardisierung untersucht. Im Folgenden wird exemplarisch auf die bei der Schleusenverlängerung einer landseitigen Kammer Richtung Oberwasser, d. h. die beim Bau eines neuen Oberhauptes mit einem Stemmtor benötigten Baugrube, eingegangen. Es wird zuerst das in einem der Module beschriebene Baugrubenkonzept erläutert und anschließend mit den aktuellen Planungen verglichen. Das Baugrubenkonzept für die Verlängerung der Schleusen nach Unterwasser ist in [8] beschrieben.

## 3. Baugrubenkonzept

Bei dem hier dargestellten Baugrubenkonzept ist zu beachten, dass dieses nicht unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten entwickelt wurde, sondern lediglich die Machbarkeit der geplanten Schleusenverlängerungen unter Aufrechterhaltung der Schifffahrt gewährleisten soll. Anpassungen an die örtlichen Gegebenheiten, insbesondere den Baugrund, die Grundwassersituation und eine wirtschaftliche Optimierung müssen für jede Schleuse separat erfolgen. Als Baugrubenverbau ist eine Spundwand mit Schlossdichtung vorgesehen. Baugrubenwände in Schleusenlängsrichtung werden ausgesteift bzw. verankert. Baugrubenumschließungen quer zur Fließrichtung werden als Fangedamm ausgebildet, wobei eine Schiffsanfahrt normal zur Längsachse des Fangedamms als außergewöhnliche Einwirkung berücksichtigt werden soll. Die Baugruben sind entsprechend DIN 1054 und den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) zu bemessen und für ein Hochwasser, das dem Niveau der Schleusenplanie entspricht, auszulegen. Für eine Baugrube im offenen Wasser ist prinzipiell die Auftriebssicherheit der Sohle bzw. Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachzuweisen. Bei Baugruben, deren Sohle aus Fels besteht, kann diese durch Entlastungsbrunnen konstruktiv gesichert werden [9]. Ist die Ausführung einer offenen Baugrubensohle aufgrund der Geologie nicht möglich, wird eine verankerte Unterwasserbetonsohle erforderlich.

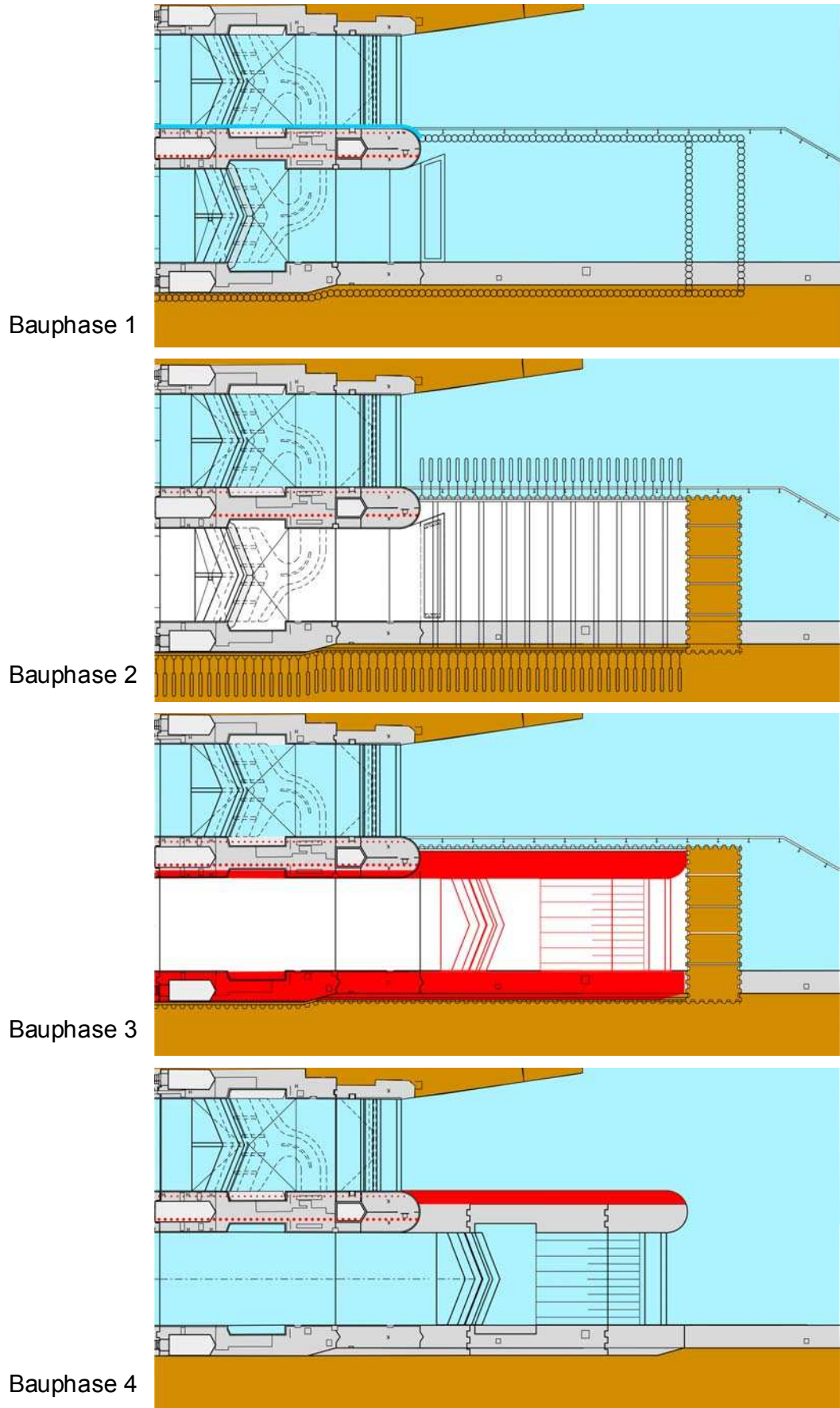


Bild 7: Bauphasen bei der Verlängerung des Oberhauptes einer landseitigen Schleusenammer

Die Spundwände werden bei felsigem Untergrund mit Hilfe von Austauschbohrungen eingebracht. Daher wird in einem ersten Schritt entlang der gesamten Spundwandtrasse vorgebohrt, um einen durchgehenden Schlitz herzustellen. Die früher in solchen Fällen ausgeführten Lockerungssprengungen werden aufgrund der gestiegenen Leistungsfähigkeit der Bohrgeräte immer seltener ausgeführt. Parallel zu der Spundwandtrasse wird ein Leitwerk errichtet (Bild 7: Bauphase 1), das die seitliche Baugrubenspundwand schützt. Das Leitwerk ist so zu bemessen, dass die Belastung durch eine Schiffsanfahrt bis zum höchsten schiffbaren Wasserstand gefahrlos aufgenommen werden kann.

In einem zweiten Schritt werden sämtliche Spundwände einschließlich derjenigen des Fangedamms gerammt. Bei Austauschbohrungen und offener Baugrubensohle ist eine Fußverpressung erforderlich. Um den Einbau von Steifen zu ermöglichen, muss gegebenenfalls die bestehende Uferwand schon vor dem Lenzen teilweise abgebrochen werden. Die hinterfüllte Spundwand ist zusätzlich zu verankern, bevor die Aussteifung erfolgt, da auf einer Seite nur Wasserdruck und auf der anderen darüber hinaus Erddruck wirkt. Unterhalb der Flusssohle können Aussteifungslagen durch Verankerungen ersetzt werden, um die Behinderungen beim Schleusenbau zu minimieren (Bild 7: Bauphase 2). Nach dem Auffüllen des Fangedamms und dem Lenzen der Baugrube können die Sohle sowie der Rest der uferseitigen Kammerwand zurückgebaut und der Altbeton abgefräst werden. Danach erfolgen die Sanierung der Kammerwände mit einer Vorsatzschale und die Errichtung des neuen Oberhauptes (Bild 7: Bauphase 3). In einem letzten Schritt werden der Fangedamm zurückgebaut und die Spundwände entfernt. Die neuen Kammerwände werden im Bereich

der Mittelmolen mit Fertigteilen, die oberhalb des Wasserspiegels auskragen, abschließend auf die volle Molenbreite erweitert (Bild 7: Bauphase 4).

Da die nicht zu verlängernde Schleusenkammer im Bereich des Oberhauptes meistens oberhalb der Baugrubensohle der benachbarten Baugrube im Fels flach gegründet ist, werden in diesem Bereich Unterfangungsarbeiten erforderlich. Hierfür kommen Pfahlgründungen, Verankerungen, Aussteifungen, Vernagelungen und Baugrundverbesserungen oder Kombinationen davon infrage (Bild 8). Die Auswahl der Sicherungsmaßnahmen muss der jeweiligen Geologie angepasst werden. Um den Zustrom von Wasser unterhalb des alten Bauwerks in die Baugrube zu begrenzen, sind gegebenenfalls zusätzlich Injektionsmaßnahmen auszuführen (Bild 8). Diese Injektionen, die Pfahlgründung und auch die Bodenverbesserungen können schon vor Beginn der Bauphase 1 ausgeführt werden.

Die in Abschnitt 1 beschriebenen geologischen Besonderheiten verdeutlichen, dass dieses Baugrubenkonzept nicht an jedem Standort zur Ausführung kommen kann. So würden in Cannstatt wegen des Mineralquellenschutzgebiets und in Hessian wegen einer notwendigen Tiefgründung Sonderlösungen erforderlich werden. Die aktuellen Entwurfsplanungen für Baugruben an den Schleusen Kochendorf, Lauffen und Aldingen entsprechen dem oben geschilderten Konzept, da hier die angenommenen Randbedingungen weitestgehend zutreffen. Für die Schleuse Feudenheim und Besigheim gilt dies wegen der Geologie und der besonderen Lage der zu verlängernden Schleuse nur eingeschränkt. Inwieweit das hier erläuterte Baugrubenkonzept bis zur Ausführung und insbesondere nach den ersten Erfahrungen nach erfolgter Schleusenverlängerung Bestand hat, wird sich zeigen.

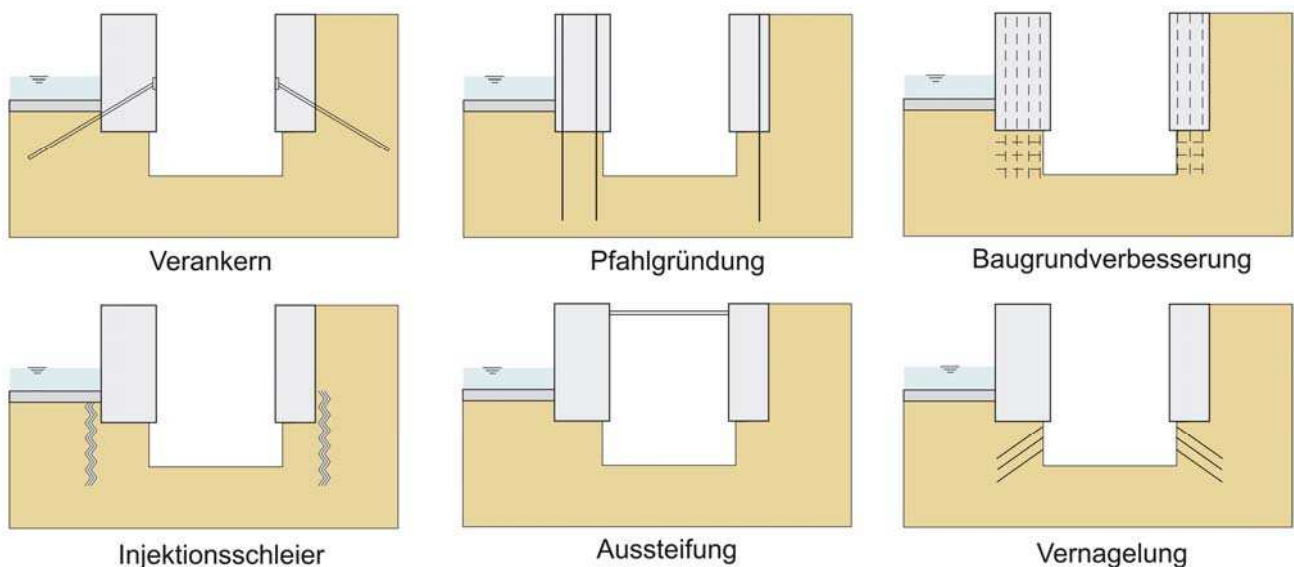


Bild 8: Unterfangungsmaßnahmen

## Literaturverzeichnis

- [1] WSD Südwest: Kompendium der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Organisatorische und technische Daten – Binnenschifffahrt – Aufgaben - Wasserstraßen, Eigenverlag, 2007
  
- [2] Behmel H.: Die Anatomie von Baden-Württemberg, Landschaftsgeschichte – Landesplanung, „Wechselwirkungen“ - Jahrbuch 1990 der Universität Stuttgart, S. 13-20
  
- [3] Dornecker, E.: Spannungsfeld Geologie und Standardisierung am Beispiel der Grundinstandsetzung der Schleuse Besigheim, BAW-Kolloquium: Aktuelle geotechnische Fragestellungen bei Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen am 18. und 19. Oktober 2011 in Karlsruhe
  
- [4] Franzius, L.: Verpressungen durch Gipslaugungen bedingter Hohlräume im Untergrund der Saustufe Hessigheim/Neckar, Vorträge der Baugrundtagung 1990 in Karlsruhe, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.
  
- [5] Bergholz, K.; Kauther, R.; Straßer, D.; Montenegro, H.: Untersuchungen zu grundwasserinduzierten Veränderungen im lösungsempfindlichen Baugrund unterhalb der Schleusenanlage Hessigheim am Neckar, 8. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“ Technische Akademie Esslingen, 2012
  
- [6] Schüle, M.: Neckarausbau für das 135 – m – Schiff, Stahl im Wasserbau, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig, Heft Nr. 95, 2011
  
- [7] Kunz, C.: Machbarkeitsstudie: Standardisierung für die Verlängerung der Neckarschleusen, Kolloquium: Standardisierung im Verkehrswasserbau 25. Mai 2011 in Bonn, Tagungsband
  
- [8] Michels, K. und Herten, M.: Die Baumaßnahmen an der Bundeswasserstraße Neckar und ihre geotechnischen Herausforderungen, Beiträge zum 10. Geotechnik-Tag in München Wasser und Boden, 2011, TU München, Zentrum Geotechnik, Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau
  
- [9] Schulze, R. und Herten, M. (2011): Beispiele von Schleusenbaugruben im Fels, 26. Christian Veder Kolloquium: Tiefe Baugruben unter schwierigen Randbedingungen, Technische Universität Graz