



1 Einleitung

Vorgestellt werden zwei von der GB GmbH betreute Projekte, die sich hinsichtlich Nutzung und klimatischen Randbedingungen bei der Ausführung extrem stark voneinander unterscheiden. Beiden Bauwerken ist jedoch gemein, dass ihre Realisierung erst durch den Einsatz von Geokunststoffen möglich geworden ist. Die behandelten Praxisbeispiele sind:

1. Abdichtung des Innenhafens Duisburg und
2. Abdichtung der Basis eines Schlammolders in Südafrika.

2 Abdichtung Innenhafen Duisburg

2.1 Angaben zum Standort

Das Gebiet des Duisburger Innenhafens erstreckt sich nördlich der Duisburger Altstadt zwischen der Marientorschleuse im Westen bis fast zur Berliner Brücke der Autobahn A59 im Osten (s. Abb. 1). Der Innenhafen ist eines der ältesten Hafenbecken Duisburgs und erlangte seine Blütephase im frühen 20. Jahrhundert. Bis 1900 wurde für die wachsende Getreidemühlenwirtschaft das Kopfende bis zur heutigen Länge (s. Abb.1) nach Osten verlängert. Seit Mitte der 60er Jahre verlor der Hafen jedoch an Bedeutung und lag für 20 Jahre brach, ehe am Innenhafen ein merkbarer Strukturwandel einsetzte. Auslöser hierfür war die Internationale Bauausstellung Emscher Park (IBA), die in der Zeit von 1989 bis 1999 stattfand und in die das Hafensareal Duisburg eingebunden war. Die Grundlage für diesen Strukturwandel lieferte ein Masterplan des britischen Architekten Lord Norman Foster. Auf dem etwa 89 ha großen Areal ist die Hafennutzung heute weitgehend verschwunden und zu einem Ort entwickelt worden, der Arbeiten, Wohnen, Kultur und Freizeit am Wasser ermöglicht. Dabei blieben die industriellen und historischen Wahrzeichen des Hafens jedoch ganz bewusst erhalten.

Gegenstand des vorliegenden Beitrags ist die Umgestaltung des östlichen Teils des Innenhafens, des „Getreidehafens“, der mit einem zeitweisen Jahresumschlag von bis zu einer Million Tonnen Getreide lange als „Brotkorb“ des Ruhrgebiets galt und eine Fläche von ca. 50.000 m² einnimmt.

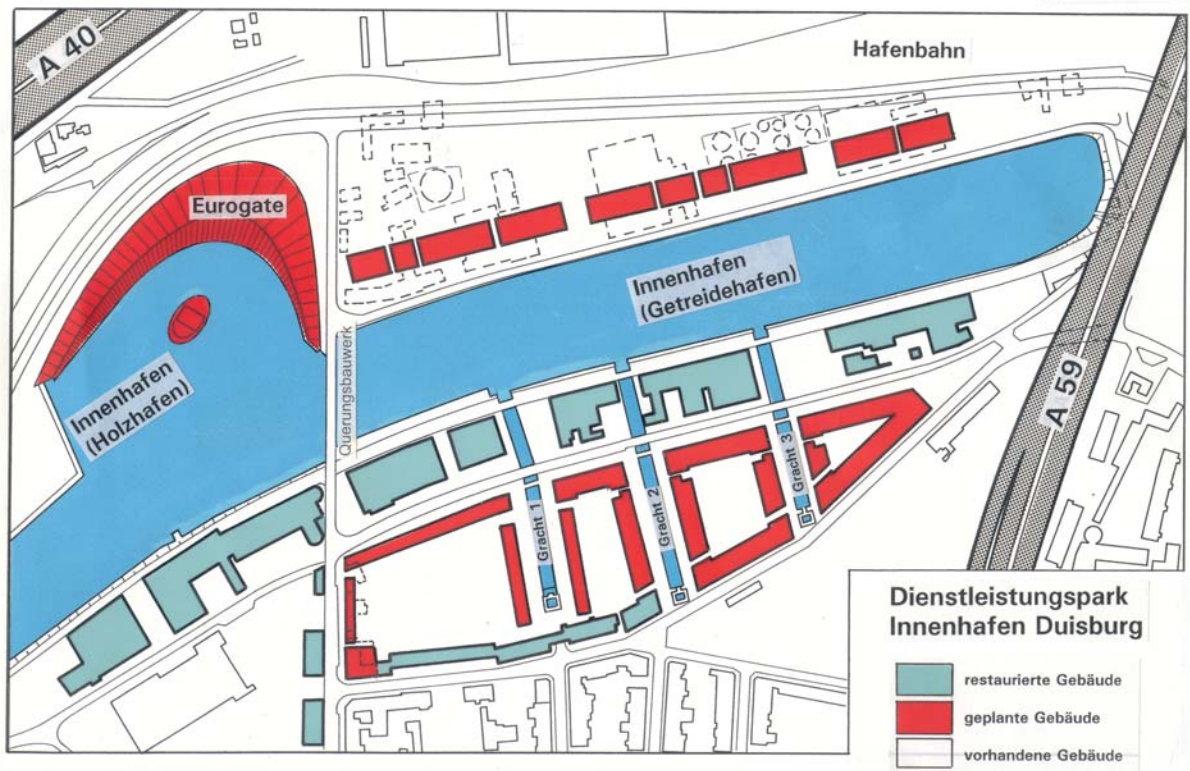


Abb. 1: Lageplan des Projektgebietes „Getreidehafen“

2.2 Technisches Gesamt-Konzept der Umgestaltung

Der „Getreidehafen“ wurde im Zuge der Umgestaltung als eigenständige Wasserfläche konzipiert, die im Westen von einem Querungsbauwerk (Portsmouth Damm) vom übrigen Hafenareal abgetrennt und eine quasi konstante Wasserspiegellhöhe aufweist. Die ökologisch-technische Umgestaltung wurde in Einzelschritten unter Einhaltung folgender Vorgaben realisiert:

- Auffüllung des Hafenbeckens von ~ 13,5 m NN bis ca. 22,6 m NN mit hierfür zugelieferten geeigneten Böden, Nachverdichtung und Herrichtung als Aufstandfläche für das später einzubringende Basisabdichtungssystem.
- Westlicher Abschluss des Beckens durch ein Querungsbauwerk in Spundwandbauweise (s. Abb. 1) und Einstellung einer gegenüber dem übrigen Hafenareal angehobenen, konstanten Wasserspiegellage auf 26,5 m NN.
- Erhalt und Sanierung der vorhandenen historischen Uferdeckwerke und Einbauten (Dalben, Anlegestellen, Krananlagen) insbesondere auf der südlichen Beckenseite und Integration in das Basisabdichtungssystem.



- Neuanlage von drei Grachten, die an die Wasserfläche des Innenhafens anschließen.
- Umnutzung des gesamten Innenhafen-Areals durch Renovierung und Umbau von Speicher- und Mühlengebäuden sowie Neubauten mit Nutzung als Büro-, Kontor- und Parkhäuser, öffentliche Einrichtungen (z.B. Museen), Wohngebäude sowie Gastronomie- und Freizeitbetriebe.
- Realisierung eines eigenständigen Wasserkreislaufs im Bereich des Innenhafens nach folgenden ökologischen Grundsätzen (s. Abb. 2):
 - Oberflächen- und Dachentwässerungen von vorhandenen und geplanten Gebäuden werden den Grachten zugeführt und über einen Überlauf in das abgedichtete Hafenbecken geleitet.
 - Bei zeitweisen Defiziten in der Wasserbilanz Zuführung von zusätzlichem Grundwasser über Brunnen, die über ein Fotovoltaik-Anlage mit Energie versorgt werden.
 - Bei Wasserüberschüssen in der Beckenfläche des Getreidehafens Versickerung über Rigolen entlang der höhengleich zur Wasserfläche angelegten nördlichen Uferpromenade.

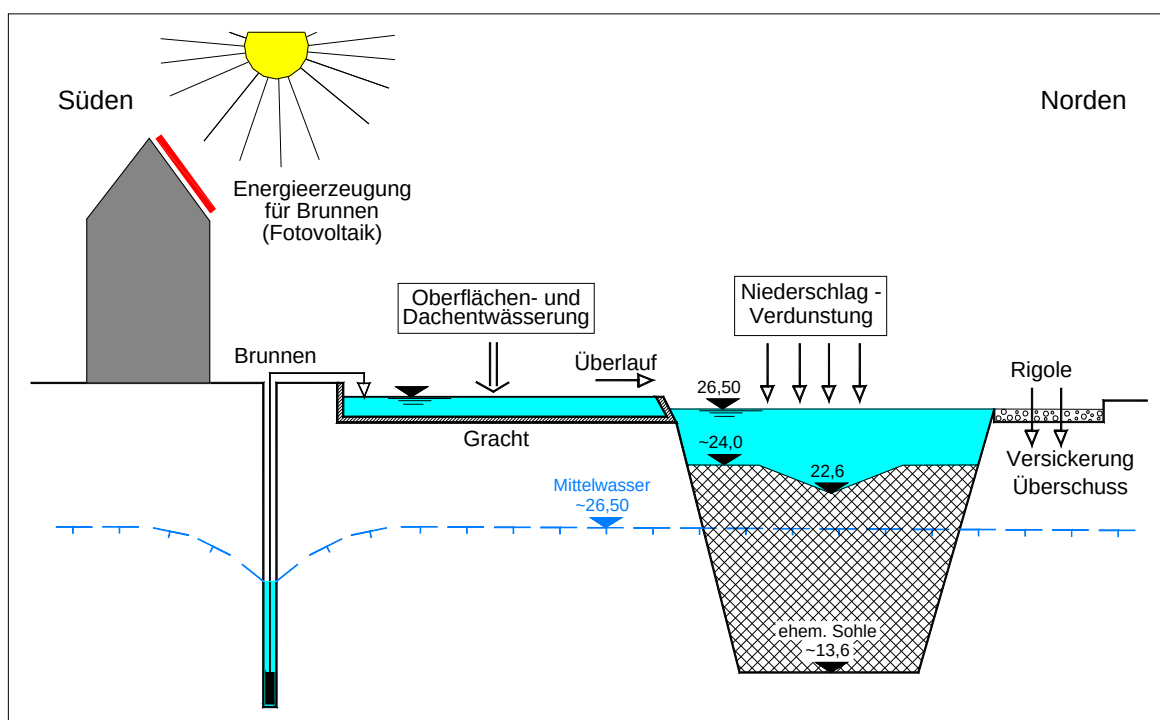


Abb. 2: Querprofil durch den umgestalteten Getreidehafen mit Darstellung des Wasserkreislaufs (schematisch)



2.3 Abdichtungskonzept des Innenhafens

2.3.1 Basisabdichtung

Das ursprüngliche Planungskonzept sah eine ausschließlich 2-lagige mineralische Dichtung mit Ton vor. Geokunststoffe schienen zunächst überhaupt nicht in das ökologische Gesamtkonzept zu passen. Erst der enge Zeitplan und extrem ungünstige Witterungsbedingungen in der 2. Jahreshälfte 1998 führten zu einem Umdenken und zu der nachfolgend näher beschriebenen Lösung.

Die **Sohlabdichtung** auf dem grundwasserfrei angelegten Planum wurde nach Abb. 3 ausgeführt. Sie besteht aus folgenden Einzelkomponenten (von unten nach oben):

- Beckenauffüllung aus zugeliefertem Bodenaushub, nachverdichtet mittels Tiefenrüttler und oberflächennah mit einem Walzenzug.
- Eine Lage geosynthetische Tondichtungsbahn.
- Verschweißte Kunststoff-Dichtungsbahn, 2,5 mm stark.
- Schutzvlies, 1.200 g.
- 50 cm Decksubstrat (Kiessand).
- Max. 3,5 m Wasserüberspannung, an den Rändern auf ≤ 1 m zurückgehend.

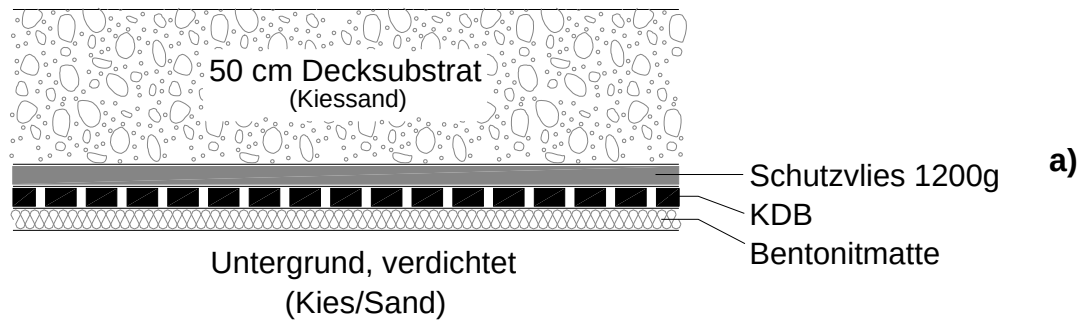


Abb. 3: Beckenabdichtung in der aufgehöhten Basisfläche

- a) Prinzipskizze
- b) Ausführung der Dichtungsarbeiten

2.3.2 Böschungsabdichtungen

Südliches Ufer

Entsprechend den Vorgaben des Denkmalschutzes durfte das alte Böschungsdeckwerk am südlichen Ufer nicht überdeckt, sondern musste nach entsprechender Ertüchtigung bzw. Sanierung ohne jede wesentliche Veränderung in das Gesamtsystem integriert werden. Die Abdichtungsmaßnahme erstreckte sich über eine Gesamtlänge von ca. 580 m. Ca. 400 m (1.700 m²) entfielen auf freie Böschungen, ca. 180 m (700 m²) auf überbaute Böschungen. Erschwerend kam hinzu, dass die Böschungen durch abgehende Laufwege,



Zwischenbermen und Podeste stark gegliedert waren. Die Abdichtungsmaßnahme des alten Uferdeckwerkes auf der Südseite bestand aus folgenden Einzelmaßnahmen:

- Beräumung von in den Fugenbereichen angesiedelter Vegetation.
- Füllung von Ausbrüchen durch Böschungspflaster oder Spitzbeton.
- Ausräumen des alten Fugenmörtels im bestehenden Deckwerk oberhalb der 24 m-Berme, säubern und aufräumen der Fugenwandungen mittels Sandstrahlverfahren.
- Fugenvermörtelung im Trockenspritzverfahren in 2 Schritten von jeweils 5 cm Tiefe mit einem Spezialmörtel.
- Nach der 1. Teilverfüllung Ausführung einer Spaltverpressung in der Auflagerfläche des Deckwerks mittels Niederdruck-Injektion. Anordnung der Verpressrohre (Verpressstutzen) im Dreieckraster (Seitenlänge ~ 60 cm) mit Limitierung des Verpressdrucks, um ein Anheben des Deckwerks zu verhindern.
- Ziehen der Verpressrohre und Füllung der Bohrlöcher mit Zementsuspension.
- Abschließende Fugenverfüllung und Sandstrahlung der Böschungsoberfläche.
- Anforderungen an die Dichtigkeit: Spezialmörtel mit $k \leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s ($i = 10$), saniertes Deckwerk (Systemdichtigkeit $k \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s).
- Ausschluss von Bau- und Zusatzstoffen, von denen eine Wassergefährdung ausgeht.

Abb. 4 zeigt die Situation vor, während und nach den Sanierungsarbeiten im südlichen Deckwerksbereich.



a)



b)



c)

Abb. 4: Ertüchtigung des südlichen Böschungsdeckwerks

- a) Ausgangssituation (Verfüllung des Beckens weitgehend abgeschlossen),
- b) Steindeckwerk nach Entfernung des alten Fugenmörtels,
- c) Deckwerk nach der Sanierung bzw. Verfugung.



Nördliche Böschung

Die nördliche Böschung wurde nach dem Schema in Abb. 4 neu aufgebaut. Zwischen einem oberen und unteren Beton-Randbalken wurde ein KDB verlegt und über Formteile an die Betonkonstruktion dicht angeschlossen. KDB und Deckvlies wurden mit einem in Mörtel verlegten Böschungsdeckwerk aus alten Deckwerkssteinen überbaut. Abb. 5 zeigt die einzelnen Phasen des Böschungsaufbaus.

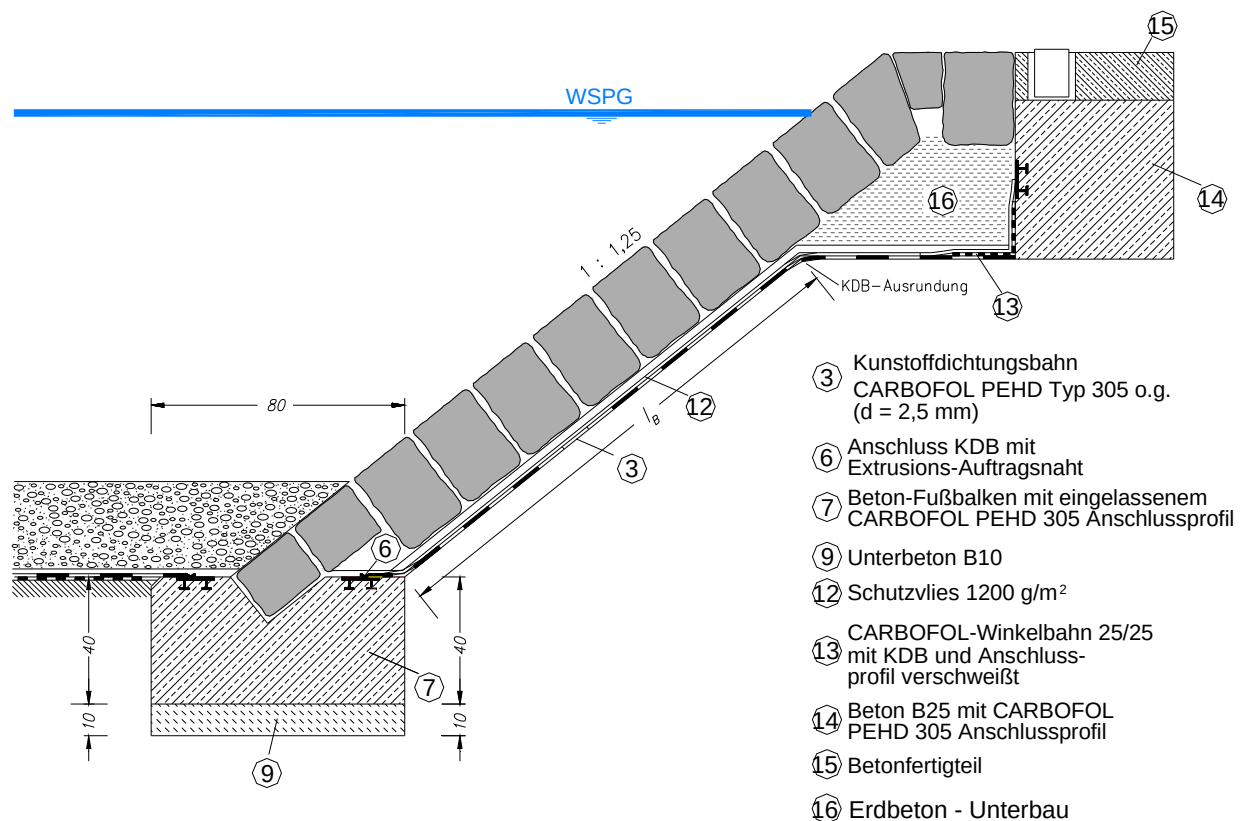


Abb. 5: Abdichtung des nördlichen Ufers (schematisch)



a)



b)



c)

Abb. 6.: Böschungsaufbau nördliches Ufer

- a) Nachverdichtetes Erd-Planum und verlegte KDB (Hintergrund),
- b) Mit Vlies überdeckte KDB und Einbau des Deckwerks im Mörtelbett,
- c) Fertiggestelltes Deckwerk (Sohl-KDB noch nicht an das im Fußbalken eingelassene Carbofol-Anschlussprofil angeschlossen).



2.3.3 Anschlüsse an Böschungen und Einbauten

Den unteren Abschluss des Deckwerkes auf der Südseite bildet ein Stahlbeton-Randbalken, der im Bereich einer Berme über GEWI-Stähle mit dem Unterbau rückverankert wurde. Die Abdichtung gegenüber dem Deckwerk erfolgte über quellfähige Fugenbänder und einen Heißbitumen-Keil (s. Abb. 7). Ähnlich wurde beim Anschluss an Einbauten verfahren (Abb. 8). Der Anschluss der Beckendichtung (KDB) an den Randbalken erfolgte über einbetonierte Carbofol-Anschlussprofile. Die gleiche Lösung wurde auch auf der Nordseite gewählt (s. Abb. 5)

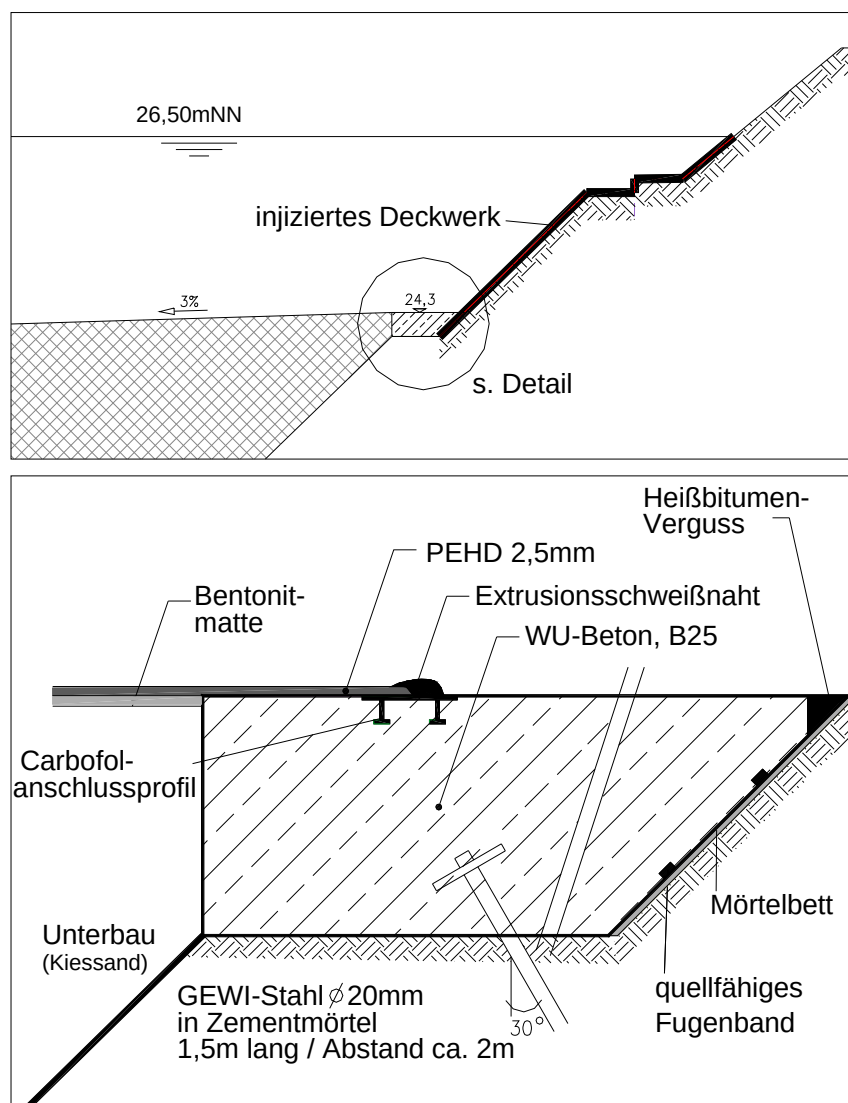


Abb. 7: Anschluss Randbalken / saniertes Deckwerk (Südseite)

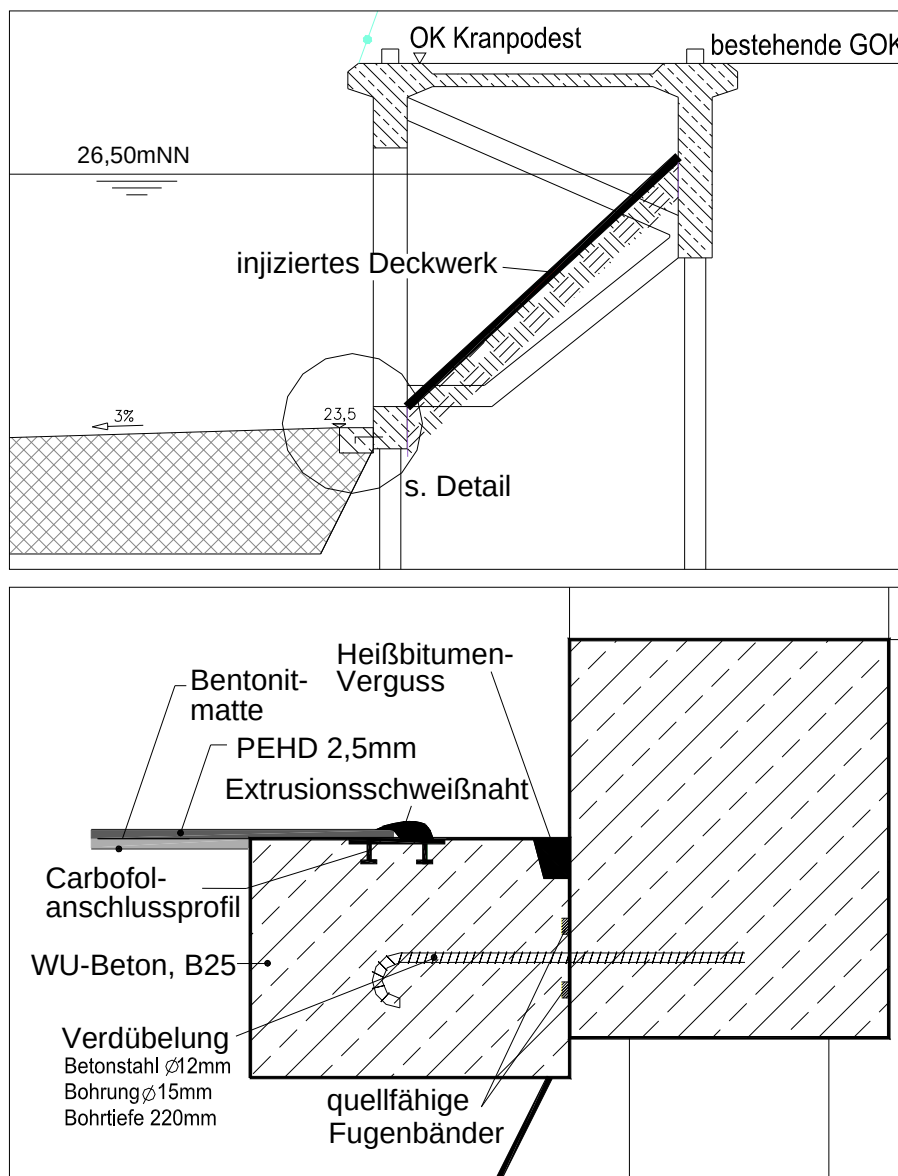
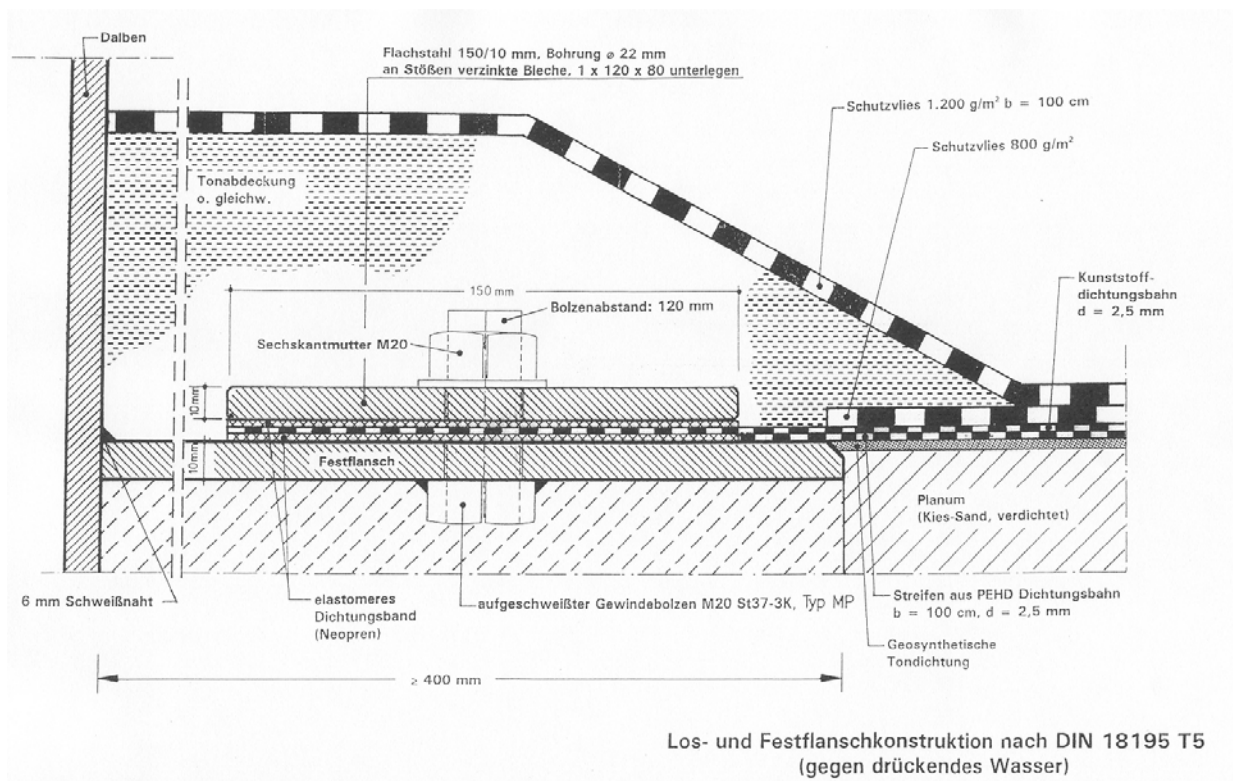


Abb. 8: Anschluss Randbalken / Einbauten (Südseite)

2.3.4 Anschluss der Basisabdichtung an das westliche Abschlussbauwerk und an Dalben

Abb. 9 zeigt eine Los- und Festflanschkonstruktion in Anlehnung an DIN 18195-T5, wie sie auch leicht abgewandelt für im Beckenrandbereich zu erhaltende Stahlbauteile (Dalben, Stützen von Anlegestellen) eingesetzt wurde.



a)



b)

Abb. 9: Anschluss der Basisabdichtung an die Spundwand

- a) Schemaskizze der Los-Festflanschkonstruktion,
- b) Blick auf den Anschlussbereich Querungsbauwerk (verschweißte Spundbohlen) / Basisdichtung (KDB).



2.3.5 Abdichtung der Grachten

Bei der Abdichtung der Grachten wurde noch die ursprünglich favorisierte „Bauweise in Ton“ umgesetzt. Der dichte Randanschluss an die Stützwände wird zusätzlich durch einen in die Tondichtung einbindenden Streifen einer geosynthetischen Tondichtungsbahn sichergestellt. Details der Ausführung sind in Abb. 10 dargestellt.

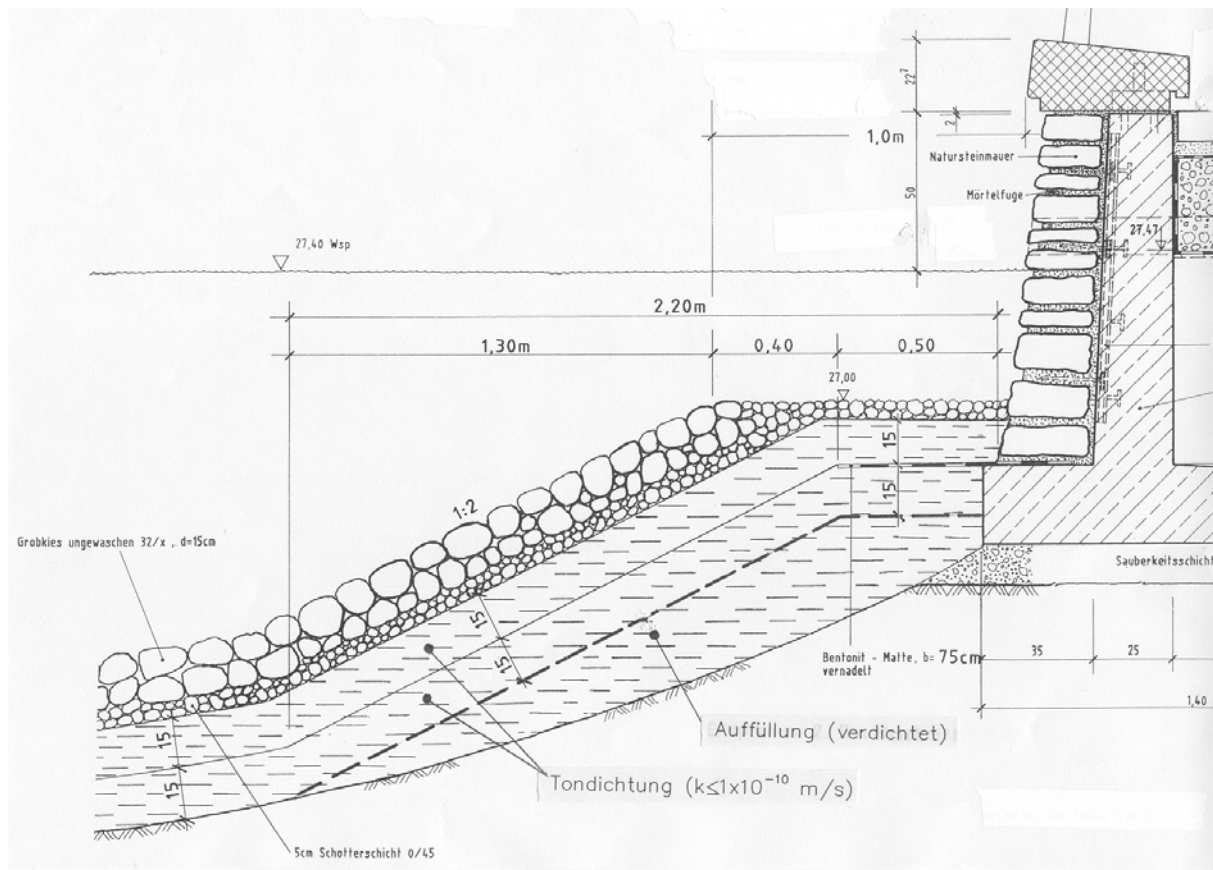


Abb. 10: Abdichtungskonzept für die quer zum Innenhafen verlaufenden Grachten (s.a. Abb. 1 und 2)

2.4 Bemerkungen zur Ausführung der Leistungen

Die Arbeiten wurden nicht nur durch die strengen Vorgaben des Denkmalschutzes und ungünstige Witterungsbedingungen (Regen, Frost) und zeitweise Hochwasserführung des Rheins mit in der Folge starkem GW-Anstieg auf Extremwerte beeinflusst. Ein besonderes Problem stellten die zahlreichen und auch sehr unterschiedlichen Randanschlüsse an Deckwerke und Einbauten dar. Schweißarbeiten konnten zeitweise nur im Schutz von beheizten, verfahrenbaren Zeltkonstruktionen durchgeführt werden. Trotz dieser außergewöhnlichen Schwierigkeiten konnten die Arbeiten insgesamt zufriedenstellend ausgeführt und der angestrebte System-k-Wert eingehalten werden. Das Gesamtsystem ist



jetzt mehr als 10 Jahre in Betrieb und hat die Erwartungen – auch in Bezug auf die Stabilität des Wasserkreislaufs - bisher voll erfüllt. Auch das bauliche Gesamtkonzept Innenhafen ist heute weitgehend realisiert. Nach anfänglichem Zögern kamen geeignete Investoren, es entstanden Arbeitsplätze für einen neuen Typ von „Hafenarbeitern“. Der Innenhafen ist heute nicht nur Arbeitsplatz, sondern auch ein Wohnort – besonders im Bereich der Grachten – mit hochwertigen Kultur- und Freizeitangeboten. Nicht unwesentlich an diesem Erfolg beteiligt waren hochkomplexe ingenieurtechnische Planungen, der gezielte Einsatz und die optimale Verarbeitung hochwertiger Geokunststoff-Produkte. Den insgesamt positiven Gesamteindruck mögen abschließend noch einige Bilder deutlich machen (Abb. 11 – 14).



Abb. 11: Wohnen an einer Gracht im Innenhafen



Abb. 12: Seefläche (im Hintergrund Museum Küppersmühle)



Abb. 13: Museum Küppersmühle am Innenhafen



Abb. 14: Museum Küppersmühle und Werhahnmühle



3 Deponie für flüssige Produktionsschlämme in Südafrika

3.1 Angaben zum Projekt

Bei dem vorgestellten Projekt handelt es sich um einen Ablagerungsbereich für Schlämme aus der Chromerz-Aufbereitung. Aufgrund der Rest-Schwermetallgehalte wird die Deponie als H : h-Deponie nach dem südafrikanischen Klassifizierungssystem des Department of Mining and Environment eingestuft. Der Entwurf orientiert sich an den SABS (South African Building Standards). Die Reststoffe werden eingespült. Nach Sedimentation der Feststoffe wird das Überstandswasser in den Aufbereitungsprozess zurückgeführt.

5.2 Standortbedingungen, Baukonzept

Der Deponieabschnitt ist in das mit ca. 5% geneigt Ursprungsgelände eingeschnitten (Abb. 15 und 16), im Norden entsteht dadurch eine Einschnittböschung in sehr stark verwitterten Sandsteinen, Ton- und Schluffsteinen. Den südlichen, westlichen und östlichen Abschluss bildet ein Dammbauwerk, das aus dem Bodenaushub hergestellt worden ist. Abb. 17 zeigt einen Blick auf die Luftseite des südlichen Abschlussdammes. Das Gesamtvolumen des Beckens beträgt ca. 480.000 m³, die Böschungsflächen ergeben insgesamt 60.000 m², davon entfallen ca. 20.000 m² auf die Basisfläche und ca. 40.000 m² auf Böschungsflächen.

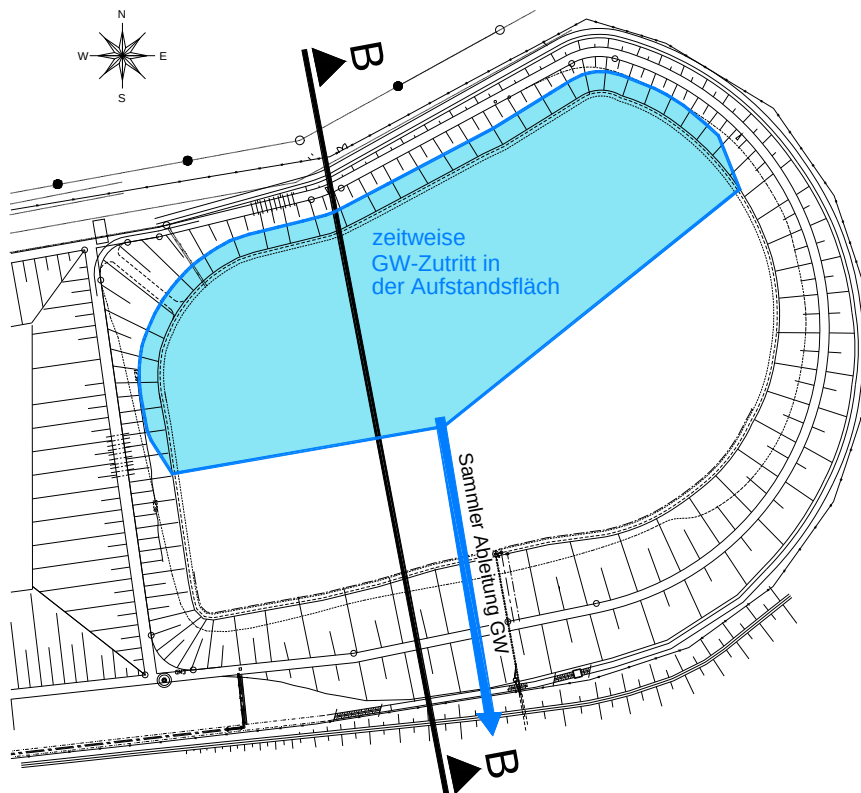


Abb. 15: Lageplan der Baumaßnahme

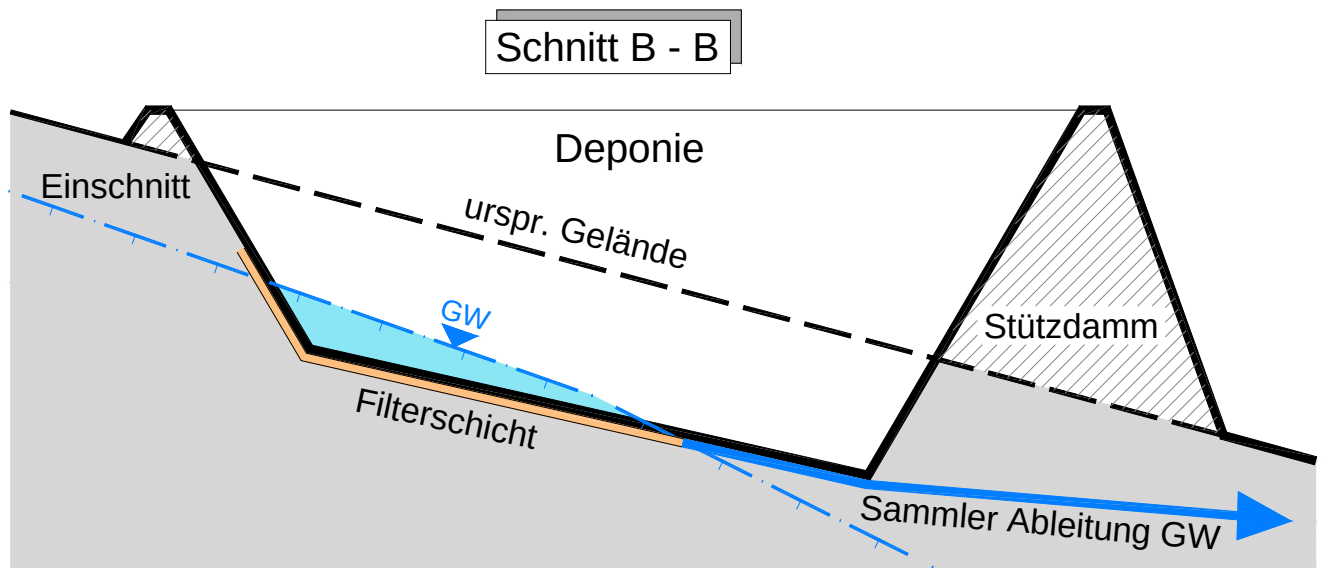


Abb. 16: Schnitt (vereinfacht) durch den Deponiebereich



Abb. 17: Luftseite des südlichen Abschlussdammes

Wie Abb. 15 und 16 zeigen, liegt die Basis im nördlichen Bereich zeitweise unter der freien Grundwasseroberfläche, weshalb in Teilen der Böschung und der Basis gesonderte Entwässerungssysteme mit Ableitung nach Süden unter dem Basisabdichtungssystem erforderlich wurden.



3.3 Abdichtungssysteme

3.3.1 Basisabdichtung

Das Abdichtungssystem der Basisfläche besteht aus folgenden Komponenten (s. Abb. 17) (von oben nach unten):

- 300 mm Filter-/Ballast-Dränage mit integrierten Sammlern,
- 2 mm HDPE-Dichtungsbahn,
- Aufbereiteter, verdichteter Schluffstein als oberste mineralische Dichtung
 - 3 x 15 cm, zusätzlich vergütet mit Calcium-Bentonit, $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s,
 - 1 x 20 cm, $k < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s,
- Geotextil Klasse 1 als Trennvlies,
- Dränmatte als Kontrolldränschicht,
- 2 mm HDPE-Dichtungsbahn
- Aufbereitete, verdichtete Ton-Schluffstein
 - 2 x 15 cm, $k < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s,
- Trennvlies, Klasse 2
- 1 x 15 cm Filtersand als Basisdränschicht mit Anschluss an separate Sammler- und Transportleitungen

Die Basis verfügt über zwei voneinander unabhängige Sickerwasser-Kontrollsysteme und Auffangbehälter mit Pumpsystemen. Im linken Teil der Abb. 18 ist das Basisdichtungssystem dargestellt.

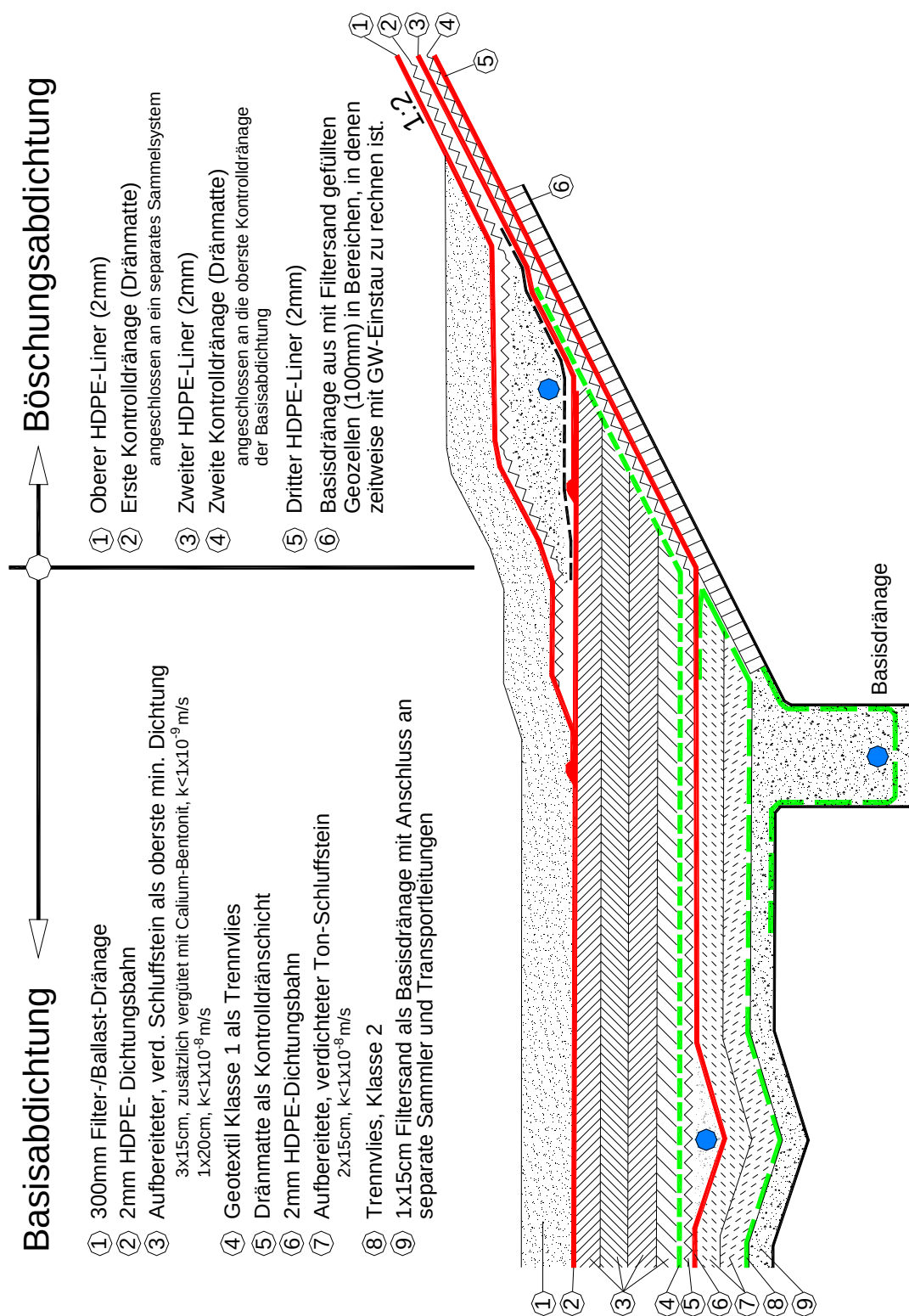


Abb. 18: Basis- und Böschungsabdichtungs-System (vereinfacht)



3.4 Böschungsabdichtung

Das System besteht wegen des Fehlens einer mineralischen Dichtungskomponente aus drei Dichtungsbahnen mit integrierten Kontroll-Dränschichten. Die Böschungsneigung beträgt 1 : 2. Der Gesamtaufbau (s.a. Abb. 18) beinhaltet folgende Einzelkomponenten:

- Oberster HDPE-Liner (2 mm),
- Erste Kontrolldränage aus einer Dränmatte, angeschlossen an ein separates Sammelsystem,
- Zweiter HDPE-Liner (2 mm),
- Zweite Kontrolldränage mit Anschluss an die oberste Kontrolldränage der Basisdichtung,
- Dritter HDPE-Liner (2 mm),
- Basisdränage aus mit Filtersand gefüllten Geozellen (Höhe: 100 mm) in Bereichen, in denen zeitweise mit GW-Einstau zu rechnen ist.

Auch die Kontrolldränagen des Böschungs-Abdichtungssystems sind getrennt voneinander ausgeführt worden.

3.5 Erfahrungen bei der Bauausführung

3.5.1 Organisation der Qualitätsüberwachung

Grundsätzlich wurde ein Qualitätssicherungs-System (Quality Assurance-System (QAS)) installiert und ein Qualitätssicherungs-Handbuch (Quality Assurance-Manual (QAM)) war Grundlage der Bauausführung. Im Regelfall stützt sich die Qualitätssicherung in Südafrika auf den Hersteller und die örtliche Bauleitung in einem 2-stufigen Verfahren ab. Die Fremdprüfung (third-party inspection) ist planmäßig nicht vorgesehen, wurde im vorliegenden Projekt aber auf ausdrücklichem Wunsch des Bauherrn etabliert und von der GB GmbH über die gesamte Bauzeit wahrgenommen. Das gewählte Verfahren hat sich ohne Einschränkungen bewährt, zumal die Erfahrungen des Fremdprüfers auch noch in zahlreiche Ausführungsdetails konstruktiv einfließen konnten. Insgesamt konnte damit ein QS-System realisiert werden, das weitgehend mit unserer hiesigen Vorstellung übereinstimmt und sicher eine positive Signalwirkung für zukünftige Projekt zumindest in Südafrika haben wird.

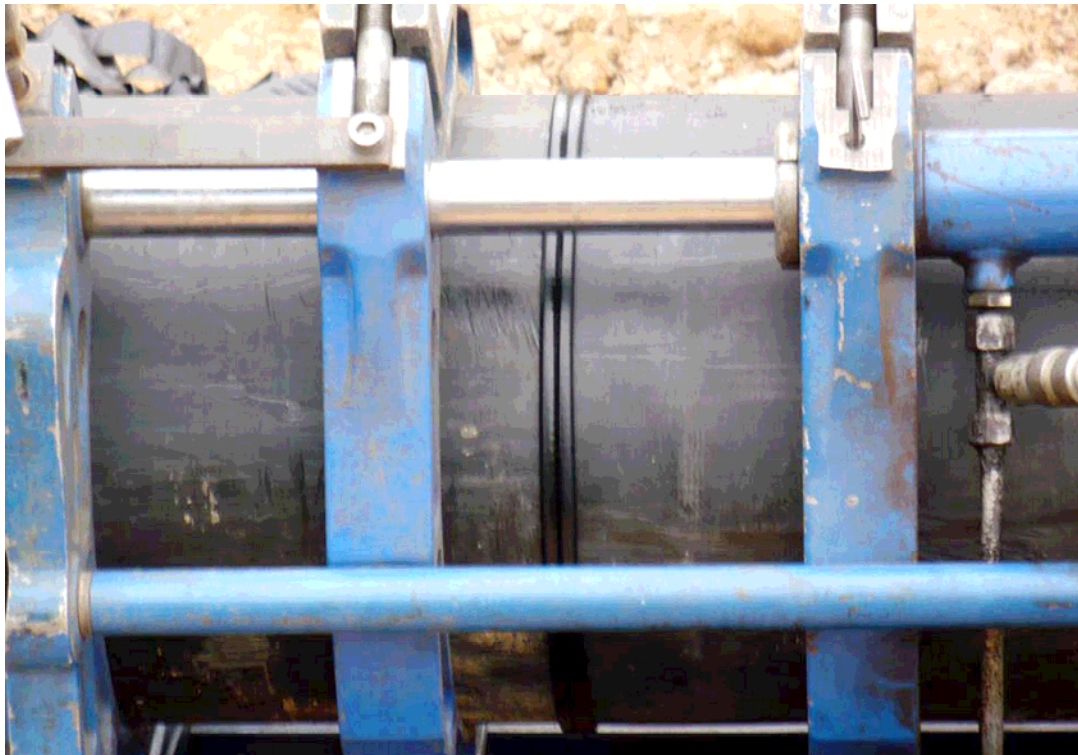


3.5.2 Planerische und ausführungstechnische Standards

Die planerische Kompetenz vor Ort ist insgesamt als gut zu bezeichnen, wenngleich in einzelnen Details - dies gilt insbesondere für die Verwendung von Geokunststoffen und hier insbesondere bei der Lösung von Anschlussproblemen – Hilfestellungen und Korrekturen erforderlich wurden. Abgesehen davon, dass in Südafrika hinsichtlich der Zulassung von Kunststoffprodukten und Einhaltung von Mindestvorgaben die behördlichen Anforderungen weniger streng formuliert sind, erfolgte die Verarbeitung der Produkte (Verlegung und Fügetechnik) durch geschultes Personal ohne jede Beanstandung, gleiches gilt für den Nachweis der Nahtqualität für KDB, Rohre und Formteile (Abb. 20). Insgesamt fällt auf, dass die Arbeitsvorgänge weniger mechanisiert sind und mit einem deutlich höheren Personaleinsatz bewältigt werden (s. Abb. 19).



Abb. 19: Erhöhter Personaleinsatz bei Erdarbeiten (Herstellung der Basisfußdränage)



a)



b)

Abb. 20: Schweißtechnische Arbeiten

- a) Schweißen einer Rohrverbindung,
- b) Schälversuch auf der Baustelle im Rahmen der QS.



Die Herstellung der mineralischen Dichtungslagen (s. Abb. 21) in der Basis aus vor Ort aufbereiteten und mit Bentonit vergüteten Materialien stellte keine erprobte Standardlösung dar und konnte erst nach mehreren Zwischenschritten optimiert werden, wobei Witterungseinflüsse (s. Abschn. 3.5.3) eine nicht vernachlässigbare Rolle spielten. Geeignete natürliche Dichtungsmaterialien (z.B. Tone) standen aus regional-geologischen Gründen nicht zur Verfügung. Auch die Kombination von mehreren Lagen aus Geokunststoffen und mineralischem Material (s. Abb.18) stellten hohe Anforderungen an den Erdbau, die aber insgesamt befriedigend erfüllt werden konnten. Alle zeitnah auf der Baustelle im Rahmen der Fremdprüfung durchgeführten Kontrollprüfungen bestätigen eine den Mindestvorgaben entsprechende Qualität.



Abb. 21: Verdichtungsarbeiten an der Deponiebasis



3.5.3 Witterungsbedingte Einflüsse

Von den besonderen Witterungsbedingungen in Südafrika waren alle Teilgewerke betroffen. Als besonders hervorzuheben sind:

- Extreme Temperaturwechsel im Verlauf der Gesamtmaßnahme aber auch im Verlauf Tag/Nacht.
- Starkregen- und Sturmereignisse zu bestimmten Jahreszeiten.

Folgen dieser Phänomene – wesentlich stärker als in unseren Breiten – waren nicht nur Verzögerungen im Bauablauf, sondern auch Beschädigungen und Behinderungen an bereits fertiggestellten Teilgewerken und – daraus folgend - der Neubau von Abdichtungskomponenten. Von Problemen war insbesondere der Dichtungsbau in den ausschließlich mit Geokunststoffelementen belegten Böschungen betroffen, die teilweise nur durch eine Verarbeitung in den frühen Morgenstunden gelöst werden konnten (s. Abb.22). Eine absolut faltenfreie Verlegung der Geokunststoffe war unter den gegebenen klimatischen Bedingungen trotzdem nicht möglich und machten häufiger Korrekturen und Nachbesserungen erforderlich. Ein besonderes Problem stellte eine ausreichende Windsicherung dar, die durch die Topografie und die Anlage als Grubendeponie nicht gerade begünstigt wurde. Aufgrund der gemachten Erfahrungen sind für zukünftige Projekte sicher noch Optimierungen denkbar, andererseits ist eine sture Übertragung unserer bewährten Standards und Arbeitsmethoden auf Verhältnisse wie in Südafrika ebenfalls nicht ohne weiteres möglich. Trotz aller Schwierigkeiten konnte die Gesamtmaßnahme auf einem insgesamt hohen Sicherheitsniveau 2008 in Betrieb genommen werden.



a)



b)

Abb. 22: Kunststoff-Dichtungsbahnen als wesentliche Systemkomponenten in guter Planlage

a) Böschung,

b) Basis (vor Aufbringen der Ballast-Dränage, Schicht 1 nach Abb. 18).

