

Die geotechnische Sanierung des Speichers Borna

Bei geotechnischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass weite Teile der aus Abraummaterialien hergestellten Böschungen des Speicherbeckens Borna nicht ausreichend standsicher im Sinne der gültigen Normen sind. Wegen der lockeren Lagerung der nichtbindigen Lockergesteine in Verbindung mit einer vollständigen Wassersättigung (geringen Grundwasserflurabständen) besteht hier eine latente Verflüssigungs- und Setzungsfließgefahr. Zur Vermeidung eines Initialeintrages von außen ist die Nutzung des Sees durch die Einrichtung eines Sperrbereiches stark eingeschränkt worden. Durch umfangreiche geotechnische Sanierungsarbeiten, überwiegend durch Rütteldruckverdichtung und schonende Sprengverdichtung, soll die bestehende Gefährdungslage beseitigt und eine restriktionsarme Nutzung des Speichers ermöglicht werden.

Vinzent Sturm und Helge Beuermann

1 Ausgangssituation

Das Speicherbecken Borna befindet sich in Sachsen, etwa 30 km südlich von Leipzig und ist mit einer Wasserfläche von rund 250 ha und einem Fassungsvermögen von knapp 100 Mio. m³ die größte Stauanlage des Systems Wyhra-Pleiße.

Der See im nördlichen Teil der Stauanlage ist ein anerkanntes EU-Badegewässer und wird darüber hinaus als Angel- und Fischereigewässer genutzt. Der südliche Teil wird nur bei Hochwasser eingestaut und besteht überwiegend aus landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Im Ergebnis des Standsicherheitsnachweises ist festgestellt worden, dass der aus Kippenmaterial bestehende Untergrund bereichsweise zur Verflüssigung neigt, weswegen saniert werden muss.

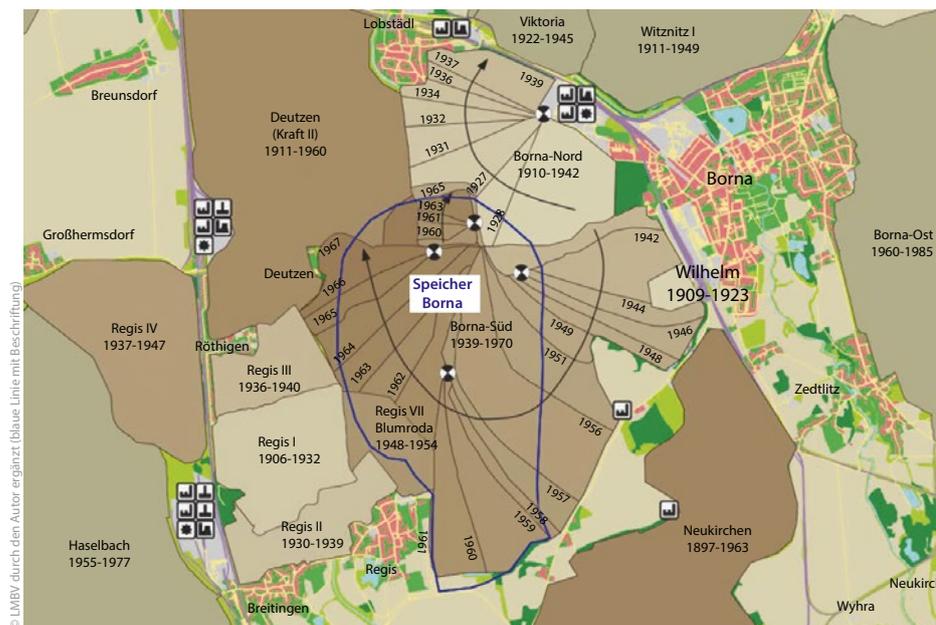


Bild 1: Tagebaue Borna-Nord und Borna-Süd

2 Tagebau Borna

Das Speicherbecken Borna wurde aus der Hohlform der hier zwischen 1939 und 1970 betriebenen Braunkohletagebaue geformt (Bild 1). Mit dem Abraummaterial der Tagebaue

(Kippenböden) wurde bis 1980 auf der Westseite ein Randdamm für das Speicherbecken errichtet.

Die vorherrschenden, für derartige Tagebaufolgelandschaften typischen geotechnischen Probleme sind im Wesentlichen die Folge des Aufschüttens von Abraummaterial. Das so entstandene künstliche Geländere Relief ist in Bild 2 dargestellt.

Kompakt

- Für den aus Kippenböden bestehenden Untergrund des Speicherbeckens Borna besteht unter bestimmten Bedingungen Verflüssigungsgefahr.
- Das geotechnische Sanierungskonzept sieht eine Kombination aus einer stopfenden Rütteldruckverdichtung und einer schonenden Sprengverdichtung vor.

3 Geotechnische Probleme

Bei geotechnischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass in weiten Teilen der Böschungen sowie im mittleren Bereich des Speicherbeckens Kippenböden abgelagert wurden, die wegen

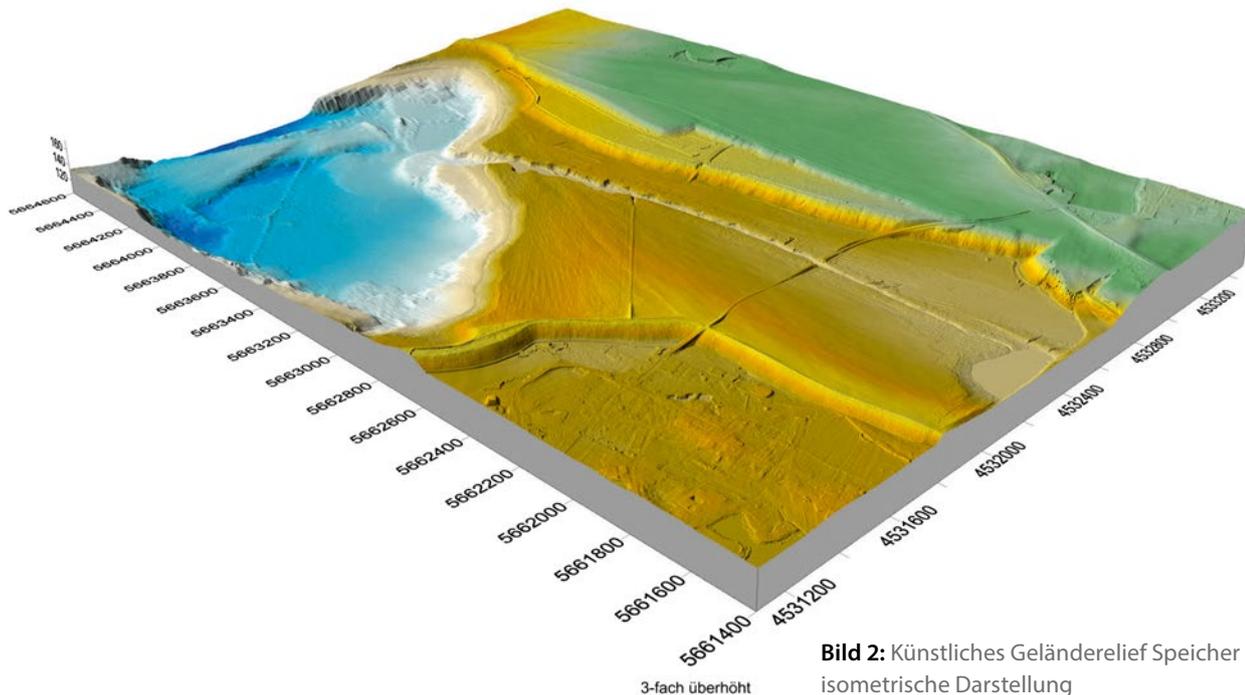


Bild 2: Künstliches Geländere Relief Speicher Borna, isometrische Darstellung

3-fach überhöht

© CDM Smith

ihrer Beschaffenheit zur Verflüssigung neigen und bei Initial-eintrag nicht ausreichend standsicher sind. Aus der Verkippung des Abraummaterials im Tagebaubetrieb resultiert eine lockere Lagerung der nichtbindigen Lockergesteine. In Verbindung mit hohen Grundwasserständen besteht insbesondere für die nichtbindigen Lockergesteine eine latente Verflüssigungs- und Setzungsfließgefahr. Wegen der hieraus abgeleiteten Gefährdungssituation mussten bereits weite Bereiche für die Öffentlichkeit gesperrt werden.

Im Versagensfall können sich weite Bereiche in den Böschungen sowie in den Bereichen mit verflüssigungs-empfindlichen Kippenböden weitreichende Verformungen ereignen, die sich auch über die Grenzen der Speicheranlage Borna hinaus erstrecken können. Neben der damit verbundenen unmittelbaren Gefahr für Leib und Leben sowie Rechtsgüter hätte ein Versagensfall der Böschungen mit verflüssigungsempfindlichen Kippenböden u. U. auch erhebliche Folgen für den Hochwasserschutz im südlichen Leipziger Raum.

4 Sanierungstechnologien

Im Sanierungsbergbau hat sich unter derartigen Bedingungen die Herstellung von Stützkörpern zur Sicherung von setzungsfließgefährdeten Böschungen etabliert. Die Stützkörper bestehen aus verdichteten Kippenbereichen, den sogenannten versteckten Dämmen. Darüber hinaus werden flächenhafte Sanierungen von Kippenböden auch mittels oberflächennaher Verdichtung durchgeführt. Diese vielfach bewährten Sanierungstechnologien sollen auch am Speicherbecken Borna zur Anwendung kommen.

Zur Beseitigung der verflüssigungsbedingten Gefährdung wurde daher eine Kombination aus unterirdischen Stützkörpern und flächenhafter Verdichtung konzipiert. Die Sanierung erstreckt sich auf eine Gesamtfläche von etwa 144 ha.

4.1 Die Stopfende Rütteldruckverdichtung

Zur Beseitigung der Verflüssigungsgefahr ist eine Stabilisierung der standsicherheitsgefährdeten Kippenböschungen in den betroffenen Bereichen notwendig. Dies erfolgt mittels Stützkörper, die durch Tiefenverdichtungsarbeiten hergestellt werden. Die Verdichtung der Hauptstützkörper ist bis zum Kippenliegenden (ehemalige Tagebausohle) erforderlich. Im Mittel beträgt die Verdichtungstiefe 28 m. Das zu verdichtete Bodenvolumen beträgt planmäßig ca. 9,71 Mio. m³.



Bild 3: Rütteldruckverdichtung RDV

© TU Freiberg



Bild 4: Schonende Sprengverdichtung

Aufgrund der Bodenzusammensetzung mit gemischt-körnigem Material soll die Rütteldruckverdichtung (RDV) in der Sonderform, der SRDV, zur Anwendung kommen (**Bild 3**). Dabei wird die Rüttellanze jeweils nach dem Einfahren wieder vollständig gezogen und das offene Rüttelloch mit rolligen Zugabematerial gefüllt. Danach erfolgt das Wiedereinfahren der Lanze, wobei diese in einen Teil des bereits verdichteten Teufenbereiches wieder eingefahren und damit dieser Teufenabschnitt mehrfach bearbeitet wird.

4.2 Die schonende Sprengverdichtung

Für den Innenkippenbereich ist die schonenden Sprengverdichtung (SSPV) vorgesehen. Die zu bearbeitende Fläche umfasst 117 ha. Das zu verdichtende Volumen beträgt ca. 18,32 Mio. m³.

Zielstellung bei der SSPV ist es, eine möglichst geotechnisch effiziente und wirtschaftliche Verbesserung der locker gelagerten verflüssigungsempfindlichen Kippenböden zu erreichen. Daraus erfolgt ein nur auf die unbedingt notwendige Verbesserung orientiertes Vorgehen in der Dimensionierung und Ausführung. **Bild 4** zeigt ein Sprengloch mit Sprengladung.

Die Technologie der Sprengverdichtung zeichnet sich dadurch aus, dass durch den gezielten Eintrag eines Initials in Form einer Sprengexplosion ein Gefügestrukturenbruch innerhalb des Kippenkörpers bewirkt wird. Durch die undrained Belastung sowie die damit verbundene Porenwasserdruckerhöhung wird eine lokal begrenzte Verflüssigung im verflüssigungsempfindlichen Kippenboden erzeugt. Infolge dieser Verflüssigung kann sich, nach Aufhebung des Korngefüges, das rollige Kippenmaterial in einem dichter gelagerten Gefügestand anordnen, was zur Reduzierung der Porosität führt. Damit ist erkennbar, dass die so zu verdichtenden Kippenkörper wassergesättigt sein müssen, um das Verfahren erfolgreich anwenden zu können.

Bei der Sprengung werden zwischen zwei und vier (meistens drei) Bohrlöcher zu einer Sprenggruppe zusammengefasst. Die Bohrlöcher dienen der Aufnahme der Sprengladungen und werden schräg oder senkrecht abgeteuft.

Gegenüber der herkömmlichen Sprengverdichtung wird hier deutlich weniger Sprengstoff eingesetzt. In der Regel liegen die

Ladungsmengen pro Bohrloch bei wenigen Kilogramm. Im Bohrloch erfolgt eine Aufteilung der Ladungsmenge in mehrere, zumeist drei bis vier Teilladungen. Diese Teilladungen sowie die Ladungen der in einer Sprenggruppe liegenden Bohrungen werden nach vorgegebenen Zeitabständen (Zündzeitverzögerungen) gezündet.

Mit der Anordnung der Teilladungen und Auswahl von geeigneten Zündabständen kann die SSPV hinsichtlich Energieeintrag, Erschütterungsauswirkung und Verdichtungserfolg gesteuert werden.

5 Vorlaufende Untersuchungen

Das geplante Vorhaben weist eine Reihe von Besonderheiten auf, welche gründliche vorlaufende Untersuchungen erfordern. Neben den arten- und naturschutzfachlichen sowie den liegenschaftsseitigen Aspekten sind insbesondere folgende Schwerpunkte zu klären:

1. Das Sanierungsgebiet des ehemaligen Tagebaus Borna zeichnet sich durch schwierige Untergrundverhältnisse aus. Deren detaillierte Kenntnis ist für die Bemessung und die geotechnische Nachweisführung unerlässlich, weswegen umfangreiche Feld- und Laboruntersuchungen durchzuführen waren.
2. Wegen des Umfangs der Sanierung sind die vorgesehenen Bautechnologien auch unter der Maßgabe der Zeit- und Kostenersparnis zu optimieren. Zu diesem Zweck werden im Vorfeld der Hauptmaßnahme die vorgesehenen Sanierungsverfahren unter den vorherrschenden Standortbedingungen in insgesamt drei Probefelder getestet.

5.1 Geotechnische Untersuchungen

Als wichtige Voraussetzung für die Planung der Sanierungsmaßnahmen waren die Ergebnisse einer Vielzahl von geotechnischen Untersuchungen auszuwerten. Aufbauend auf den Ergebnissen der im Vorfeld realisierten vergleichsweise geringumfänglichen geotechnischen Voruntersuchung wurde das Untersuchungsprogramm für die geotechnische Hauptuntersuchung aufgestellt. Ziel war es dabei, vertiefende Informationen zum Aufbau der Kippe bis zum Liegenden sowie grundsätzliche Informationen zu den bodenmechanischen Eigenschaften der anstehenden Kippenböden zu erhalten. Das vorhandene Aufschlussraster war weiter zu verdichten und die Aussagegenauigkeit zum Kippenkörper (Verteilung der Kippenböden) und zu den Materialeigenschaften (z. B. Lagerungsverhältnisse) zu erhöhen. Im Rahmen der geotechnischen Hauptuntersuchung wurden ca. 100 Drucksondierungen, 12 Linierbohrungen, 7 Baggerschürfe, 36 Ramm- und Rammkernsondierungen realisiert.

An den gestörten und ungestörten Bodenproben wurden verschiedene Indextests zur Ermittlung bodenphysikalischer und bodenmechanischer Parameter der maßgebenden Schichteinheiten vorgenommen. Hieraus werden unter anderem die für die Auslegung der Sicherungsmaßnahmen zu präzisierenden Festigkeitskennwerte der Kippenböden ermittelt. Zu den durchgeführten Laboruntersuchungen zählen u. a. 191 Korngrößen-

verteilungen, 161 Korndichtebestimmungen, 117 Triaxialversuche und 130 Wassergehalte.

Anhand der Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden die in den geotechnischen Berechnungen getroffenen Parameterannahmen verifiziert bzw. angepasst. Ein Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Ermittlung der Restscherfestigkeiten der verflüssigungsempfindlichen Kippenböden. Diese Parameter haben maßgeblich Einfluss auf die Dimensionierung der Versteckten Dämme (Stützkörper) und zur Ermittlung der Gerätestandsicherheit bei der Bauausführung.

5.2 Testen der Sanierungstechnologien

Die Auslegung der Parameter der vorgesehenen Sanierungstechnologien konnte bei den planerischen Untersuchungen im Vorfeld der umfangreichen geotechnischen Untersuchungen nur auf der Grundlage von Annahmen getroffen werden, die auf Erfahrungswerten von Sanierungsmaßnahmen in anderen Gebieten beruhen. Diese wurden auf die Kippenböden am Speicherbecken Borna übertragen, da für den mitteldeutschen Raum bislang keine repräsentativen Zahlen existieren. Dies betrifft vor allem die bodenmechanischen Kennwerte, wie beispielsweise die (Rest-) Festigkeit, die Dichte, die Kornform und den Porenanteil. Gleiches gilt für die Bodenreaktionen infolge der Sanierungstätigkeiten, wie beispielsweise das Setzungsverhalten oder der erreichbare Verdichtungsgrad. Aber auch technologische Aspekte, wie beispielsweise der Ein- und Ausfahrwiderstand der Rütteltechnik oder die Ramm- und Bohrbarkeit der Böden sind wichtige Randbedingungen für eine auf die Bauaufgabe optimierte Planung.

Solche standortspezifischen Erkenntnisse sind unter anderem für das bei der SRDV vorzuziehende Rüttelraster, das Rüttelregime und die Auswahl des geeigneten Zugabematerials von entscheidender Bedeutung. Aber auch für die SSPV werden ortskonkrete Anhaltswerte, beispielsweise für geeignete Sprenglochabstände und Ladungstiefen, benötigt.

Um für die Ausschreibung der Sanierungsmaßnahmen eine hinreichende Planungssicherheit zu erhalten, werden Probefelder angelegt. Die Lage der Probefelder wurde so gewählt, dass die dort gewonnenen Ergebnisse möglichst auf das gesamte Sanierungsgebiet und deren großräumigen Homogenbereiche übertragen werden können. Es sind insgesamt drei Probefelder mit einer Gesamtfläche von ca. 139 000 m² vorgesehen. Die Ausführungszeit der Probefelder SRDV beträgt voraussichtlich 18 bis

20 Monate, das Probefeld SSPV kann mit 5 Monaten deutlich schneller abgearbeitet werden. Für die erforderlichen Nachsondierungen und deren Auswertung ergibt sich unter Einhaltung der Liegezeit insgesamt ein zusätzlicher Zeitbedarf von etwa 12 Monaten.

Ziel der Untersuchungen in den Probefeldern ist es, die technologischen Parameter so zu variieren, dass ein optimiertes Sanierungskonzept abgeleitet werden kann. Diese Feldversuche werden durch ein umfangreiches Qualitätssicherungs- und Überwachungsprogramm begleitet. Anhand dessen kann der Einfluss der einzelnen Parameter auf den Sanierungserfolg sehr genau bewertet werden. Außerdem werden die infolge des Technikeinsatzes entstehenden Auswirkungen, wie beispielsweise Bodendeformationen, Schwingungen und Lärm, mit-erfasst, um ggf. Gegenmaßnahmen zur Minimierung der Betroffenheiten Dritter rechtzeitig ergreifen zu können.

6 Ausblick

Ziel der auf mehrere Jahre angelegten Sanierungsmaßnahmen ist die Aufhebung der vorhandenen geotechnischen Sperrbereiche. Zugleich sollen die Voraussetzungen für eine uneingeschränkte Bewirtschaftung des Speichers als Hochwasserschutz-einrichtung, für eine sichere land- und forstwirtschaftlichen Nutzung sowie zum Zwecke der Naherholung geschaffen werden, was voraussichtlich ab 2029 Realität sein wird.

Autoren

Dr.-Ing. Vinzent Sturm
CDM Smith Consult GmbH
Weißenfelser Str. 65 H
04229 Leipzig
vinzent.sturm@cdmsmith.com

Dipl.-Ing. Helge Beuermann
BIUG Beratende Ingenieure für Umwelt-
geotechnik und Grundbau GmbH
Weisbachstraße 6
09599 Freiberg
h.beuermann@biug-geotechnik.de

Vinzent Sturm and Helge Beuermann

The geotechnical remediation of the Borna reservoir

During geotechnical studies it was established that according to the applicable standards large parts of the embankments consisting of excavation materials in the storage basin Borna are not sufficiently stable. Due to the loosely bedded, non-cohesive loose material in conjunction with small groundwater corridor distances there is a latent danger of liquefaction and settlement flow. This is the reason why the use of the lake-area was severely limited through the establishment of an exclusion area. Extensive geotechnical rehabilitation work, such as vibroflotation and blast densification, is intended to eliminate any potential danger and further explained in this article.

 Springer Professional.de

Rütteldruckverdichtung



Kolymbas, D.: Baugrundverbesserung. In: Geotechnik. 5. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2019.
www.springerprofessional.de/link/16365056

Prinz, H.; Strauß, R.: Rutschungen. In: Ingenieurgeologie. 6. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 2018.
www.springerprofessional.de/link/16083996