

Filter- und Dichtungskomponenten in Stauanlagen

Katja Werth
Georg Heerten

Geotextile Filter- und Dichtungsschichten im Wasserbau haben eine lange Tradition. Mit Blick auf erfolgreich ausgeführte und seit über 30 Jahren messtechnisch überwachte Maßnahmen anspruchsvoller Stauanlagen sind die Vorteile von erosionsfesten Filter- und Dichtungsschichten aus Geokunststoffen dokumentiert. Die Erosionssicherheit geotextiler Filter-, Drän- und Dichtschichten ist besonders hervorzuheben und ein wesentliches, positives Unterscheidungsmerkmal zu klassischen mineralischen Funktionsschichten. Am Beispiel des 80 m hohen Dammes der Trinkwassertalsperre Frauenau in Bayern kann die Langzeiterfahrung von multifunktional eingesetzten geotextilen Filtern beschrieben werden. Weiterhin gibt der Beitrag Hinweise zum Einsatz von hochleistungsfähigen Dichtungssystemen aus Kunststoffdichtungsbahnen, geosynthetischen Tondichtungsbahnen für Dämme, Deiche, Pumpspeicherbecken und Triebwasserkanäle.

Stichworte: Staudamm, geotextiler Filter, Bentonitmatte,
Kunststoffdichtungsbahn

1 Einleitung

Für Geokunststoffe stehen heute je nach Anwendungsbereich eine Vielzahl von Regelwerken und Normen zur Verfügung, die eine sichere Bemessung und Ausführung von Filter- und Dichtungssystemen für Stauanlagen erlauben. Dennoch sind es oftmals die bereits in Vergessenheit geratenen Entwicklungen und Überlegungen bei der Konzeption von Stauanlagen mit Geokunststoffen, die die erstaunliche Leistungsfähigkeit der bereits vor über 30 Jahren eingesetzten Materialien verdeutlichen.

Sowohl bei Dichtungen als auch bei Filter- und Dränschichten stehen mit Geokunststofflösungen erosionsstabile Systeme zur Verfügung, womit die innere und damit strukturelle Sicherheit dieser Funktionsschichten nachweislich unbegrenzt hoch ist, was bei mineralischen Schichten mit losem Korn-an-Korn-Gefüge unter hydraulischer Beanspruchung nur begrenzt gegeben ist.

Die Anwendung von geotextilen Filtern im Verkehrswasserbau geht auf eine mittlerweile über 40-jährige Einsatzzeit zurück. Bis heute sind die mit dicken Filtervliesstoffen hergestellten ca. 200 km Deckwerke entlang des Mittellandkanals nahezu unterhaltungsfrei.

Der gleiche Anwendungszeitraum kann für polymere Dichtungsbahnen genannt werden. In *Sänger & Fabian (2001)* werden die Erstanwendungen von polymeren Dichtungsbahnen als wasserseitige Dammdichtungen am Beispiel der Talsperre Hopfgarten bei Weimar, ausgeführt in 1976 vorgestellt. Weitere Beispiele sind die Talsperren Wallroda und die Speicher Altenberg sowie Schadebach.

Erfolgreiche Erstanwendungen im Wasserbau von vernadelten, vollflächig schubkraftübertragenden geosynthetischen Tondichtungsbahnen wurden 1989 bei der Sanierung des Lechkanals dokumentiert (*Heerten et al, 2010*).

2 Erfahrungen mit geotextilen Filter und Dichtungsschichten

2.1 Sanierung Oberbecken PSW Reisach-Rabenleite

Nachdem der Hochspeicher Rabenleite, Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerks Reisach-Rabenleite, nach fast 40-jähriger Betriebszeit erhebliche Wasserverluste bis zu 37 l/s aufwies (*Rau & Dressler, 1994*) wurde Anfang der 1990er Jahre vor dem Hintergrund einer erfolgreichen Ausführung am Lechkanal ein Konzept für eine Totalsanierung mit kontrollierbarer Asphaltabdichtung von ca. 120.000 m² erarbeitet und ausgeführt. Zwischen Sekundärdichtung aus vernadelten geosynthetischen Tondichtungsbahnen und Primärdichtung (Asphaltbeton) wurde eine 20 cm dicke mineralische Dränschicht aus gebrochenem Betonmaterial der Altdichtung in der gesamten Beckensohle angeordnet und unterhalb der Sohle über Dränleitungen am neuen Kontrollgang angeschlossen. Über das Kontrollsystem mit Dränschicht auf Bentonitmatte wird anfallendes Sickerwasser gemessen und die Daten des Hochspeichers vom zentralen Leitstand im Kraftwerk im Rahmen der normalen Betriebssteuerung der Gesamtanlage überwacht und kontrolliert. Zur kontrollierten Messung des Sickerwassers der Asphaltabdichtung (Primärdichtung) wurde die Beckensohle in 14 dachförmig profilierte Kontrollfelder unterteilt.

Die auf der Bentofix®-Bentonitmatte eingebaute 20 cm dicke mineralische Dränschicht aus gebrochenem Betonmaterial der Altdichtung weist Durchlässig-

keitsbeiwerte von $k = 10^{-4}$ bis 10^{-5} m/s auf und liefert zusammen mit dem Bodenaufleger die Initialfeuchtigkeit für das Quellen der Bentonitmatte. Abb. 1 zeigt den Grundriss des in Kontrollfelder aufgeteilten Beckens und den Aufbau des kontrollierbaren Doppeldichtungssystems mit Asphaltabdichtung und Primärdichtung und der Bentonitmatte als Kontrolldichtung (Abb. 2).

Zwei erfolgreiche Bewährungsproben für das ausgeführte Kontrollsystem sind in *Heerten (2009)* dokumentiert: Anfänglich wurden Sickerwasserraten von ca. 2 l/s gemessen, die sich durch Kolmation von Asphaltporen auf ca. 1 l/s reduzierten. Im Jahr 2000 wurden zunehmende Sickerwassermengen am Einlauftrichter registriert und der Bauwerksanschluss Asphalt / Beton kann koordiniert mit anderen Arbeiten bei Beckenstillstand saniert werden. Über Nachweis des damaligen Eigentümers E.ON Wasserkraft GmbH sind anschließend sehr niedrige Sickerwassermengen dokumentiert (Abb. 3).

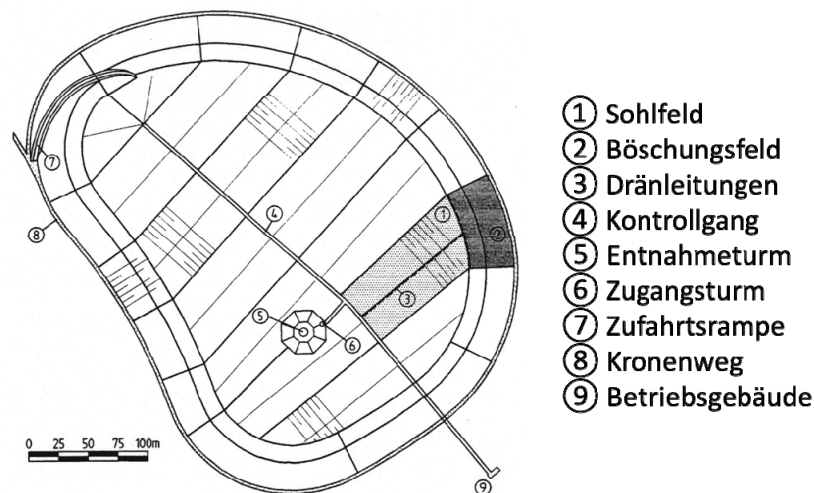


Abbildung 1: Kontrollfelder und Dränleitungen für die kontrollierbare Sohldichtung

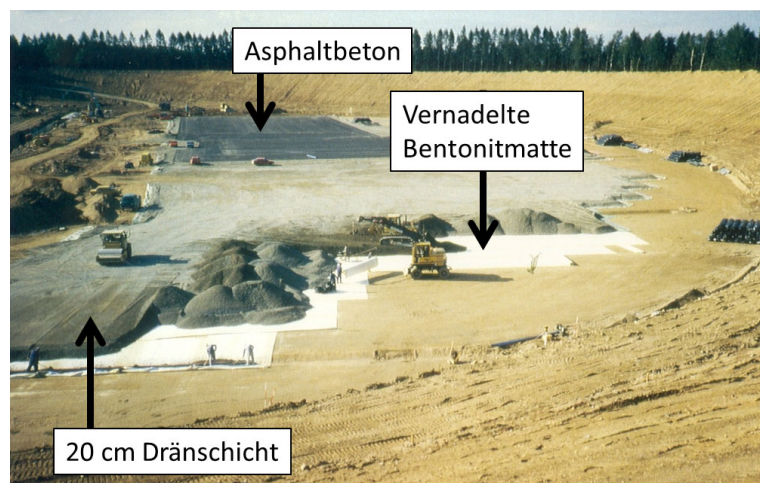


Abbildung 2: Ausführung mit Bentonitmatte, Dränschicht und Asphaltbetondichtung

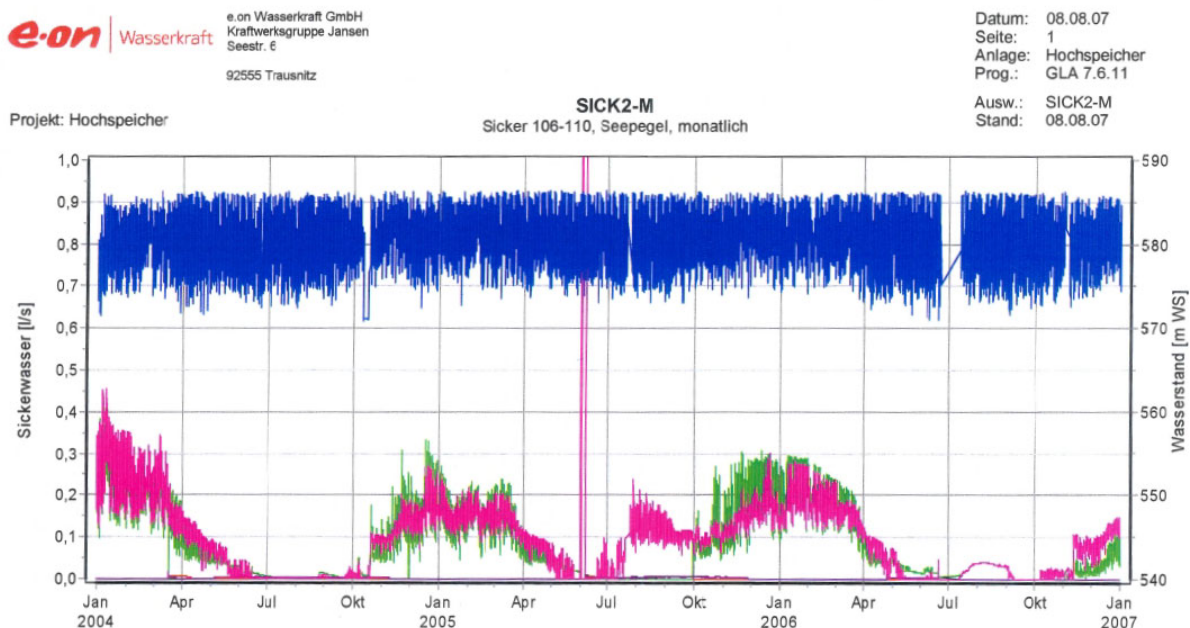


Abbildung 3: Sickerwassermengen im Hochspeicher Rabenleite, aus: Heerten (2009)

2.2 Staudamm der Trinkwassertalsperre Frauenau

Der in den Jahren 1976 bis 1981 errichtete und ca. 84 m hohe Staudamm Frauenau ist als Steinschüttdamm mit zentralem Dichtungskern gestaltet. In der Kernmitte ist eine Tonbetonwand in Trockenschlitzwandbauweise hergestellt worden, die auf dem Kontroll- und Injektionsgang gründet. Die Tonbetondichtwand stellt eine Vergütungszone der Lehmkerndichtung dar. Der Querschnitt des Staudamms ist in Abb. 4 dargestellt.

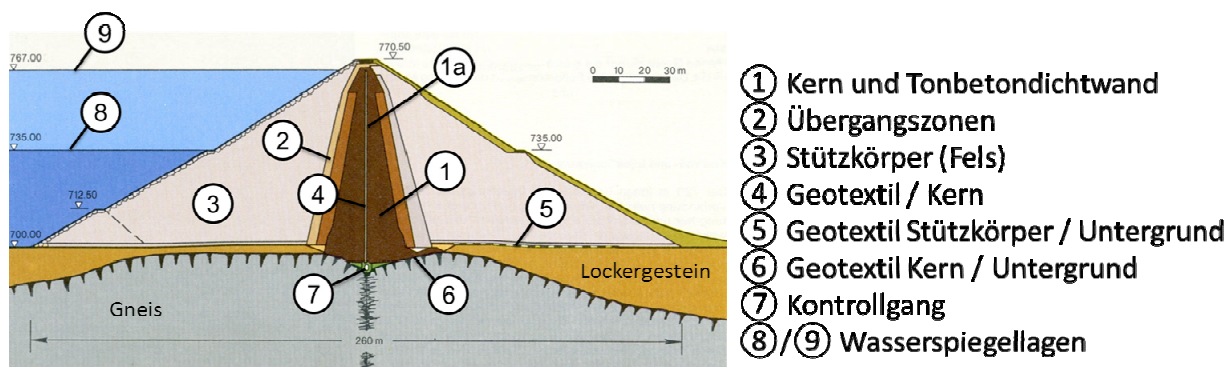


Abbildung 4: Trinkwassertalsperre Frauenau - Querschnitt des Dammes

Die Herstellung der 60 cm breiten Tonbetondichtwand mit einem an der Luftseite angeordnetem dicken vernadeltem Filtervliesstoff (Terrafix 1002 NS mit einem Flächengewicht von 1100 g/m², Dicke d = 9 mm) erfolgte trocken bei

standsicheren Aushubtiefen unter Berücksichtigung der Boden-Zement-Suspension (Abb. 5, links).

Die ausgehärtete Tonbetondichtwand musste möglichen Verformungen der benachbarten Dammkernzonen ohne Rissbildung folgen können. Zur Sicherheit bei Rissbildungen und zur Vergleichmäßigung von Vertikalverschiebungen wurde der geotextile Filter dreischichtig aus porenmäßig abgestuftem vernadeltem Vliesstoff entwickelt. So wurde eine grobporige Wasserableitenebene innerhalb des Vliesstoffes und beidseitigem Filterporensystem konzipiert. Die Vermeidung eines Feinkornaustrags aus dem Dammkern durch eventuelle Risse im Tonbeton und damit das wirksame Bodenrückhaltevermögen des Vliesstoffes im verformten Zustand wurde in projektbezogenen Laboruntersuchungen untersucht und dem Vliesstoff ergänzend die Selbstheilungsfunktion bei Rissbildungen zugewiesen (Abb. 5, rechts).



Abbildung 5: Herstellung der Tonbetondichtwand mit dickem vernadeltem Filtrervliesstoff (links) und verformter Vliesstoff bei projektspezifischen Untersuchungen zum Verformungs- und Bodenrückhaltevermögen (rechts)

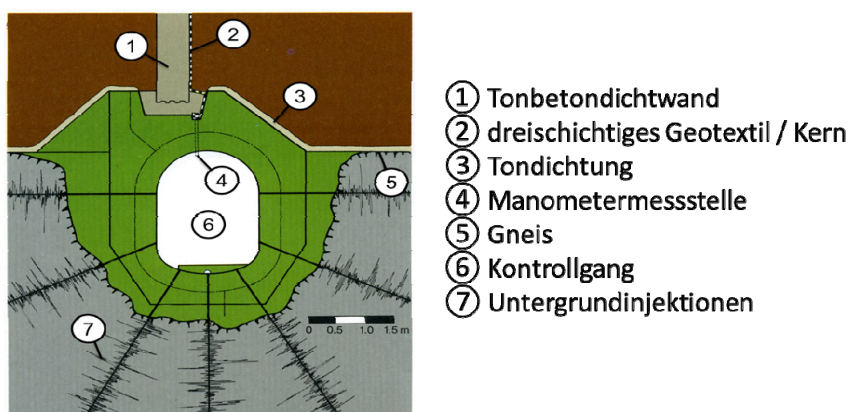


Abbildung 6: Trinkwassertalsperre Frauenau - Querschnitt des Damms

Zur Überwachung des statischen und hydraulischen Verhaltens wurde der Staudamm der Trinkwassertalsperre Frauenau damals mit umfangreicher Messtechnik ausgerüstet (Setzungspegel, Porenwasser- und Erddruckgeber, Sickerwasserpegel und -mengenerfassung). Eine Schlüsselfunktion übernimmt dabei der Filtervliesstoff aufgrund des Wasserableitvermögens innerhalb der Ebene, so dass eine Art senkrechter Kontrolldrän konzipiert wurde. Der geotextile Filtervliesstoff wurde im Kontrollgang an das Porenwassermesssystem angeschlossen und damit ein wirksames Monitoring-Instrument geschaffen (Abb. 6). In Dammlängsrichtung wurden 9 Messabschnitte in Schottkonstruktion unter Einsatz einer Noppen-Dichtungsbahn zur Erfassung von Wasserständen innerhalb des Dammes eingerichtet. Durch den wasserableitenden Vliesstoff waren erstmals großflächige Messungen des inneren Dichtungselements möglich. Ausführliche Informationen zum Messprogramm und den Ergebnissen werden in *List (1987)* gegeben.

Das Geotextil an der luftseitigen Grenzschicht der Tonbetondichtwand erfüllt im überwachten Zustand seit mehreren Jahrzehnten verschiedene Funktionen:

- Selbstheilendes Sicherungselement gegen Erosions- und Suffossionserscheinungen,
- Bodenrückhalt zur Vermeidung von Feinkornaustrag zur Luftseite hin bei nicht auszuschließenden Rissbildungen infolge Verformungszuständen im Dammkern bei Einstau der Talsperre mit dadurch auftretenden Horizontalverschiebungen und Setzungen der Dammkrone,
- Instrument zur flächigen Messung und Überwachung der Sickerwasserverhältnisse im Damm durch Wasserableitvermögen innerhalb der Ebene des dreischichtigen Vliesstoffes im komprimierten Zustand.

Gemäß Abb. 4 wurde der Vliesstoff ebenfalls zur Grenzschichtstabilisierung zwischen Lockergestein (Dammauflager) und verwittertem Gneis (Untergrund) angeordnet.

In Abb. 7 sind Jahresniederschlags- und mittlere Sickerwasserwerte von 1989 bis 2010 für den Staudamm der Trinkwassertalsperre Frauenau aufgetragen. Die Sickerwasserwerte laufen parallel zu den Niederschlagswerten. Die Sickerwassermengen variieren zwischen 0,3 und 0,68 l/s im Jahresmittel, wodurch eine hervorragende Leistungsfähigkeit der 20.000 m² großen eingestauten Kerndichtungszone über den 30-jährigen Messzeitraum abgeleitet werden kann.

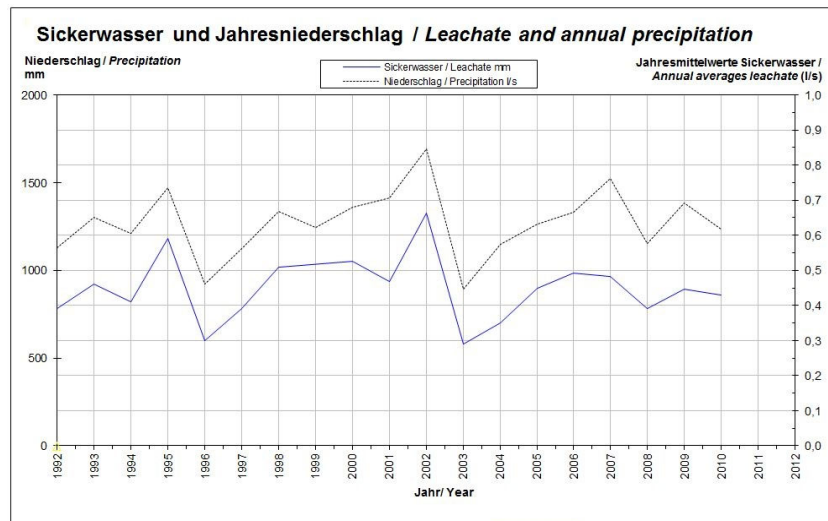


Abbildung 7: Langzeitmessungen von Niederschlag (Jahressummen) und Sickerwasser (Jahresmittelwerte) im Staudamm der Trinkwassertalsperre Frauenau

2.3 Instandsetzung Mittlerer Isarkanal, Haltung 2

Im Sommer 2009 wurde die vorhandene Kanalauskleidung in den Dammbereichen des Mittleren Isarkanal in der Haltung 2 ($Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$, $v = 1,3 \text{ m/s}$) zwischen dem Kraftwerk Finsing bis zum KW Aufkirchen nördlich von München auf einer Länge von ca. 5 km mit PEHD-Dichtungsbahnen (KDB) saniert.

In der vorhandenen Erdstoffsohle wurde eine neue Kanalauskleidung aus Beton in einer Schichtstärke von 20 cm eingebaut (100.000 m^2). Auf der ca. 140.000 m^2 großen Altbetonauskleidung im Böschungsbereich wurden die beidseitig glatten KDB lose verlegt, vollflächig verschweißt und linienartig an der Krone mit Befestigungsmitteln und im Sohlbereich mit einer 4 m breiten, mit Ankerrippen versehenen PEHD-Betonverbundbahn unter dem Sohlbeton verankert. Die KDB ist permanent freiliegend, d.h. ohne Deckschicht, angeordnet. Herausforderungen ergaben sich dadurch, dass in Abschnitten nur eine Teilabsenkung des Wasserspiegels möglich war, so dass spezielle Einbaukonzepte zu entwickeln waren (Abb. 8). Der Sohlbeton wurde mit einem für den Unterwassereinsatz umgerüsteten Fertiger im Nachlauf der Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen an Böschung / Sohle hergestellt.

Nähere Hinweise zum beschriebenen neuartigen Sanierungskonzept sind in *Straßer & Rehm (2010)* gegeben.



Abbildung 8: Ausführung der neuen KDB-Kanalauskleidung in Trockenbauweise und bei Teileinstau hinter dem Trenndamm.

3 Schlussfolgerung

Seit über 35 Jahren beweisen geotextile Filter- und Dichtungsschichten ihre Funktionstüchtigkeit in Stauanlagen. Bei richtiger Auswahl und Bemessung können erosionsfeste Filter- und Dichtungssysteme entworfen werden, die nachweislich zur Erhöhung der Funktionstüchtigkeit und -sicherheit der Bauwerke beitragen. Obwohl die Entwicklung der Geokunststoffe ihren Ursprung im Wasserbau findet, erfolgte der Anwendungsdurchbruch vor allem im Umweltschutz zum Schutz des Grundwassers gegen Schadstoffe. Geokunststoffe haben in diesem Bereich die Regelbauweisen mit mineralischen Baustoffen ersetzt und sind vom Gesetzgeber als Dichtungssysteme vorgeschrieben.

Für die Auswahl von geotextilen Filter- und Dichtungsschichten bei Stauanlagen sind die nachfolgend genannten Entwurfsgrundsätze für eine sichere Anwendung zu empfehlen.

Besondere Anforderungen an Bentonitmatten bei hohen und im Betrieb von z.B. Pumpspeichieranlagen variierenden hydraulischen Gradienten erfordert die Beachtung materialtechnischer Leistungsmerkmale. Ausgerüstet mit einer Vliesstoff-Gewebe-Kombination als Trägergeotextil, hoch quellfähigem

Natriumbentonitpulver und robuste Vliesstoffe als Deckgeotextilien ist die Erosionsstabilität des Bentonits nach *Rowe & Orsini (2003)* auch bei hydraulischen Gradienten von $i = 7000$ und hoch durchlässigem Auflager nachgewiesen. Ergänzend sollte die Verbundfestigkeit der Komponenten untereinander mit mindestens $100 \text{ N}/10 \text{ cm}$ betragen, damit langfristig eine hohe Dichtwirksamkeit durch die Aktivierung des Quellgedrucks aus dem Verbund heraus aktiviert werden kann. Eine vollflächige Vernadelung der Bentonitmatte unterstützt den vor genannten Aspekt zusätzlich. Bei Verwendung von Natriumbentonitpulver werden Selbstheilungskräfte aktiviert, so dass sich ggf. vorhandene Trockenrisse bei geringem Wasserdargebot in der Bentonitschicht von selbst wieder schließen. Ergänzende Prüfungen zur Erosionsstabilität unter hydraulisch turbulenten Randbedingungen nach Richtlinie *RPW (2009)* der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) sowie die höchste Geotextilrobustheitsklasse (GRK 5) ergänzen das Anforderungsprofil, das an Bentonitmatten für Pumpspeicherwerke, Dämme, Deiche, Hochwasserrückhaltedämmen und Kanälen gestellt werden sollte. Gegenüber erdbautechnisch herzustellen mineralischen Dichtungen stehen dann mit Bentonitmatten überlegende Eigenschaften für Stauanlagen zur Verfügung.

Für wasserbauliche Anwendungen sollten die Regelwerke der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und die Vorgaben für geotextile Filter grundsätzlich als Mindeststandard wahrgenommen werden (*TLG, 2008*). Bei besonderen Anforderungen wird empfohlen, die TLG-Vorgaben um die Bemessung der Vliesstoffporensysteme entsprechend *Heerten (2011)* zu ergänzen.

4 Danksagung

Die Autoren danken dem Bayerischen Wasserwirtschaftsamt Deggendorf für die Bereitstellung von Bildmaterial sowie aktueller Daten zu Sickerwassermengen beim Staudamm der Trinkwassertalsperre Frauenau.

5 Literatur

- Heerten, G. (2009): Erfahrungen mit Doppelabdichtungssystemen zur Überwachung von Stauanlagen. DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft, Berlin, 30.03 bis 3.04.09
- Heerten, G., Werth, K., Ledel, K. (2010): Sanierung alter Dichtungssysteme in Trinkwasser- und Triebwasserkanälen. Mitteilungsschrift zum 40. Internationalen Wasserbausymposium, IWW der RWTH Aachen, 7./8. Januar 2010, Aachen

- Heerten, G. (2011): Filter design in geotechnical engineering and the FRAUENAU dam experience. Conference Proceedings. XV European Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics, Athens, Greece, September 2011
- List, F. (1984): Technische Gesichtspunkte für die Anwendung von Geotextilien im Staudammbau. 1. Nationales Symposium Geotextilien im Erd- und Grundbau, Tagungsband, Hrsg. FGSV e.V., DGGT e.V. und DVWK e.V, Mainz, 1984
- List, F. (1987): Geotextilien im Staudamm Frauenau als Sicherheitselement und für Mess- und Kontrollzwecke. Wasserwirtschaft 77, Nr. 6, S. 361 – 365, 1987
- Rau, M., Dressler, J. (1994): Mess- und Kontrollsystem für das Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerkes Reisach-Rabenleite. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstitutes, Heft 71, Geokunststoff-Ton-Dichtungen GTD, LGA, 1994
- Rowe, K.; Orsini, C. (2003): Effect of GCL and subgrade type on internal erosion in GCLs under high gradients. Geotextiles & Geomembranes, issue 21, Elsevier, 2003
- RPW (2006): Richtlinie zur Prüfung mineralischer Weichdichtungen. BAW, Karlsruhe
- Sänger, F., Fabian, F. (2011): Fast 40 Jahre Erfahrung mit Geokunststoffen. Tagungsband und Vortrag zum 7. NAUE Geokunststoff-Kolloquium, Dresden, Januar 2011
- Straßer, K.-H., Rehm, H. (2010): Instandsetzung der Kraftwerkstreppe Mittlere Isar – Neue Abdichtungstechnologien. Tagungsbeitrag, 15. Symposium der Wasserbauinstitute TU München, TU Graz und ETH Zürich, Wallgau, 1.7. bis 3.7.2010
- TLG (2008): Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG), BMBV, Wasserstraßen, Schifffahrt, 2008

Autoren:

Dipl.-Ing. Katja Werth

BBG Bauberatung Geokunststoffe
GmbH & Co. KG
Gewerbstraße 2
32332 Espelkamp

Tel.: +49 5743 – 9320 568
Fax: +49 5743 – 9320 566
E-Mail: kwerth@bbgeo.com

Prof. Dr.-Ing. Georg Heerten
Beratender Geschäftsführer

NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbstraße 2
32339 Espelkamp-Fiestel

Tel.: +49 5743 – 41 210
Fax: +49 5744 – 41 283
E-Mail: gheerten@naue.com