

Bentofix® IQ
INTELLIGENTES ENGINEERING,
BESSERE DICHTUNGSSYSTEME
PLANUNGS-LEITFADEN



Der Erfinder der vernadelten,
richtungsunabhängigen
schubkraftübertragenden geosynthetischen
Tondichtungsbahn. Außergewöhnliche Qualität
und hinreichende Erfahrung.
Bentofix® - Das Original!



1 Bentofix® - das Original

Bentofix® sind vernadelte und mit „Thermal Lock“ fixierte Bentonitmatten – auch bekannt als geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD; bzw. GBR-C für geosynthetic barrier-clay). Dabei handelt es sich um eine werkseitig hergestellte hydraulische Dichtung aus hoch quellfähigem Natrium-Bentonitpulver, das vollflächig, richtungsunabhängig und schubkraftübertragend zwischen einem mechanisch verfestigten Deckvliesstoff und einem Bändchengewebe, bzw. einem Verbundstoff aus

Abb. 1
Bentofix®, die original vernadelte geosynthetische Tondichtungsbahn



einem Vliesstoff und einem Bändchengewebe, erosions-sicher durch Vernadelung eingekapselt ist. Zusätzlich gibt es Bentofix® X-Typen die mit einer polyethylenen Beschichtung hergestellt werden (siehe Kapitel 3). Das eingekapselte Bentonitpulver zeichnet sich durch außergewöhnlich hohes Quellvermögen und Selbstheilungseffekte aus. Es dichtet im Bauwerk im Kontakt mit frischem Wasser sofort und dauerhaft ab. Durch den zusätzlichen thermischen Verbund „Thermal Lock“ der schubkraftübertragenden Vernadelung (bei Bentofix® ohne Beschichtung) wird die so genannte Faserarmierung am Trägergeotextil befestigt und somit der Herausziehwiderstand und gleichzeitig die Langzeitschubkraftübertragung erhöht. Bei Bentofix®-Typen mit zusätzlicher Beschichtung wird dieser Effekt erzielt indem die Fasern in der polyethylenen Beschichtung verankert sind. Dadurch hat Bentofix® eine hohe innere Scherfestigkeit und ist somit auch ideal für das Dichten von Böschungen geeignet.

Bentofix® geosynthetische Tondichtungsbahnen als Verbundstoff sind ein Vorzeigbeispiel für die Fähigkeiten von Geokunststoffen: Im Zusammenwirken mit dem natürlichen Mineral Bentonit ergibt sich ein leistungsfähiger Baustoff. Bentofix®-Tonabdichtungen waren bereits vor über 20 Jahren revolutionär. Die Einführung der Vernadelung als Herstellungstechnologie erbrachte die notwendige innere und die äußere Scherfestigkeit von GTDs und ermöglichte erst dann Anwendungsmöglichkeiten



Abb. 2
Eingebaute Bentofix®-GTD als Umweltschutzmaßnahme unter einer Straße

in Böschungsbereichen. Die Vernadelung verbindet die drei Schichten – Deckgeotextil, Bentonit-Dichtungskern, Trägergeotextil – fest miteinander. Dieser Verbund erzeugt ein Abdichtungsprodukt, das die besten Eigenschaften der beiden Ausgangsmaterialien – Geokunststoff und natürliches Bentonitmineral – in sich vereint. Zusammen kombiniert erreichen die Komponenten eine vergleichende, wenn nicht sogar bessere Leistungsfähigkeit als 50 cm bis über 100 cm mächtige Tondichtungen.

In Kontakt mit frischem Wasser quillt der Bentonit schnell auf und erzeugt eine homogene, gelartige Dichtungsschicht. Der für Bentofix® verwendete Natrium-Bentonit quillt gerade in der Einbauphase im Kontakt mit frischem Wasser sofort auf und kann somit eventuell unerwartet auftretende mechanische Beschädigungen sicher abdichten. Richtig dimensioniert sind Bentofix® Typen nachweislich widerstandsfähig gegen Austrocknungserscheinungen und damit herkömmlichen mineralischen Dichtungen überlegen.

Die äußeren, hochleistungsfähigen Geotextillagen schützen den Bentonit-Dichtungskern zuverlässig vor Verschiebungen und kapseln diesen erosionssicher ein. Sie sind robust gegenüber typischen Einbaubeanspruchungen und widerstehen anwendungstypischen Beanspruchungen, z. B. Scherspannungen an Böschungen, wechselnde Wasserspiegel, etc..

Bentofix® geosynthetische Tondichtungsbahnen kommen zum Einsatz als Dichtung in:

- Kanälen, Dämmen, Deichen und Hafenbecken
- Basis-, Oberflächen- und Böschungsabdichtungen von Deponien
- Bereichen von Straßen und Schienenwegen zum Grundwasser- und Umweltschutz
- Lärmschutzwänden
- Auffangbecken und Talsperren
- Industriellen, bergbautechnischen oder naturnahen Sammelbecken und Teichen
- Bauwerksabdichtungsanwendungen
- Tunnelbaumaßnahmen



Abb. 3
Bentofix®-GTD als Deponieoberflächenabdichtung unter einer Carbofol® PEHD Kunststoffdichtungsbahn

Bentofix® Anwendungen

Voraussichtliche Wichtigkeit
(1 - gering; 10 - sehr hoch)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Zusätzliche Empfehlungen
für Bentofix® X
(mit polyethylenener Beschichtung)

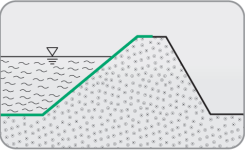




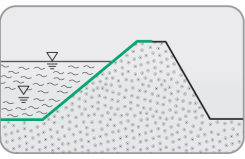




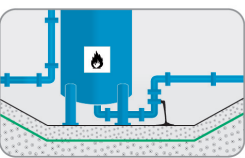




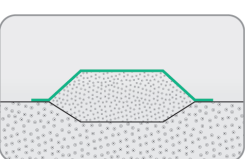

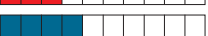


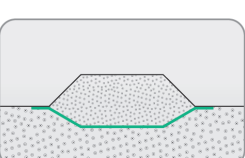





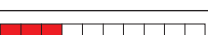



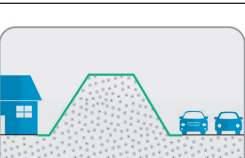
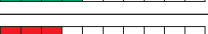



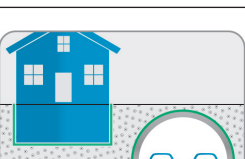
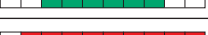



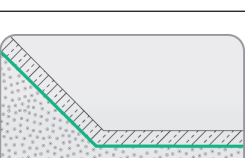




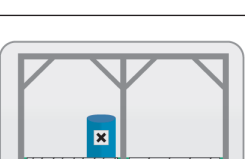




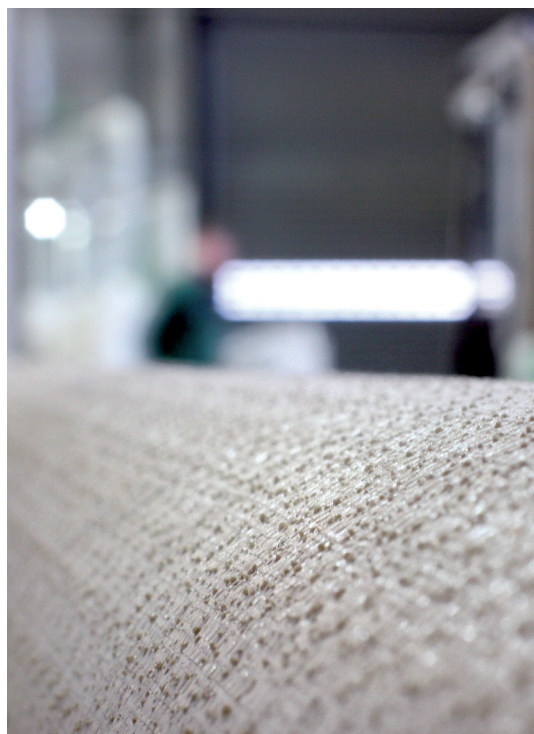
	Speicherbecken, Damm- und Kanalbau (permanente Wassersäule)	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise bei hohen Wassersäulen notwendig
	Speicherbecken, Damm- und Deichbau (variable Wassersäule)	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Auffangbecken für umweltgefährdende Stoffe, Tanklager	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise notwendig
	Deponie- oberflächen- dichtungen	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig (nur wenn Gasdichtigkeit gefordert ist)
	Deponiebasis- dichtungen	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben (wenn alleinige Dichtung) • Abkleben der Überlappungen üblicherweise notwendig • Beschichtete Seite unten (in Kombinationsabdichtung) • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Infrastruktur- baumaßnahmen, RiStWag	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Lärmschutzwälle, Bodeneinkapselung, M T S E	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Bauwerks- abdichtung, Tunnelbau	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Direkte Überbauung mit Beton	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise nicht notwendig
	Hallen- bodendichtung	Wassersäule  Chemischer Einfluss  Austrocknung  Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschichtete Seite oben • Abkleben der Überlappungen üblicherweise notwendig

Abb. 4
Tabelle
Bentofix®-
Anwendungen

2 Clever: Thermal Lock

NAUE ist bekannt für seine zahlreichen Innovationen in der Herstellung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen sowie für das Engagement in der Forschung und Lehre von Geokunststoffen und Abdichtungselementen zum Nutzen des gesamten Geokunststoffmarktes. Eine dieser innovativen NAUE-Technologien ist „Thermal Lock“. Zusätzlich zur Vernadelung erfolgt mit Hilfe von Wärme eine „thermische Fixierung“ der durch alle drei Schichten durchgestochenen Fasern. Diese Herstellungstechnologie verschmilzt die vernadelten Fasern des geotextilen Deckvliesstoffes mit dem Trägergeotextil von Bentofix®-Typen ohne Beschichtung dauerhaft und verbessert die Wasserdurchlässigkeit bei geringen Auflasten. „Thermal Lock“ erhöht den Herausziehungswiderstand der Fasern. Das verbessert auch den Kontaktreibungswinkel und sichert sowohl eine dauerhaft hohe innere Scherfestigkeit als auch die unmittelbare Produkt-Verbundfestigkeit während des Quellungsprozesses.

Abb. 5
„Thermal Lock“-Struktur auf Bentofix®



3 Die nächste Generation: Bentofix® X

Die fest miteinander verbundenen Geotextilien halten die Bentonitschicht lagestabil in Bentofix® und verbessern die Wirkungsweise und Dauerhaftigkeit des dichtenden Verbundstoffes. Der Erfolg von Bentofix® hat sich in Millionen von eingebauten Quadratmetern gezeigt. Es gibt aber auch Situationen, die eine noch bessere Dichtung erfordern: Dafür wurde Bentofix® X entwickelt.

Bentofix® X ist z. B. gefragt, wenn in der ersten Anwendungsphase Gas austreten kann und der Bentonit noch nicht vollständig gequollen ist oder wenn (zeitweise) Austrocknung die Leistungsfähigkeit der Bentonitschicht beeinflusst. Dies ist z. B. für Anwendungen relevant, bei denen Radon austreten kann, bei geringen Auflasten oder bei Becken, Teichen und Kanälen mit wechselnden Wassersäulen.

Bentofix® X ist charakterisiert durch eine fest aufgebrachte Polyethylenbeschichtung. Die gleichmäßig extrudierte Polyethylenbeschichtung des geotextilen Gewebes ermöglicht eine zusätzliche Dichtung, noch vor der Quellung des Bentonits.

Bentofix® X ist eine weiterentwickelte, geosynthetische Tondichtungsbahn für ausgewählte Anwendungen. Sie zeigt beispielhaft, wie GTDs durch Anpassungen im Aufbau auch speziellen Herausforderungen von Baustellen gerecht werden.

Abb. 6
Aufbringung der extrudierten Polyethylenbeschichtung auf das Bentofix®-Trägergewebe



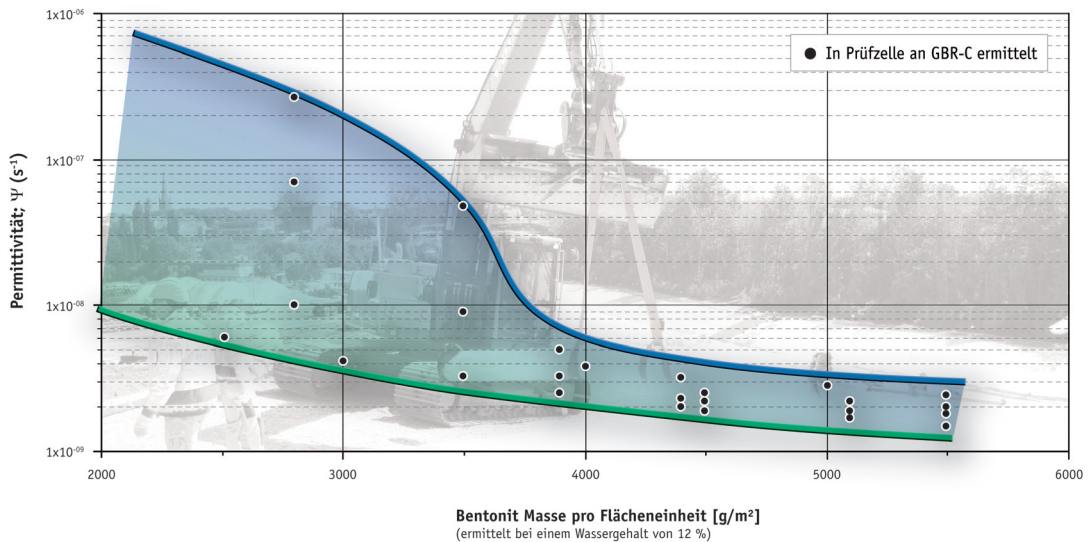
4 Die richtige Menge Bentonit

Die Masse an Natrium-Bentonit pro Flächeneinheit einer geosynthetischen Tondichtungsbahn ist wichtig für deren Dichtungswirksamkeit. Diese verbessert sich mit zunehmender Masse pro Flächeneinheit, was eine bessere Dichtung sowie Wirksamkeit bedeutet. In vielen nationalen und internationalen Regelwerken findet man eine Mindestmasse Natrium-Bentonit von 3.700 g/m² (bei 0 % Wassergehalt; GRI, USA & GIGSA, Südafrika). In Deutschland sind 4.500 g/m² das übliche Minimum (bei 12 % Wassergehalt bzw. 4.000 g/m² bei 0 % Wassergehalt – „Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen“; EAD-GTD, 2002,

DGGT). Falls notwendig, kann Bentofix® bei Bedarf mit bis zu 10.000 g/m² Bentonit hergestellt werden.

NAUE empfiehlt, den nationalen und internationalen Empfehlungen zu folgen und mindestens 3.700 g/m² Natrium-Bentonit einzusetzen. Diese Bentonitmenge in Kombination mit dem außergewöhnlichen Quellverhalten von Bentonitpulver, der angewandten Vernetzungstechnologie und Thermal Lock macht Bentofix® zu einer langfristig sicheren Wahl für eine wirksame hydraulische Barriere.

Abb. 7
Permittivitätsbereich in Abhängigkeit zur Natrium-Bentonit Masse pro Flächeneinheit (beeinflusst z. B. durch den Bentonittyp, die Homogenität der Bentonitverteilung, die Verbundart oder die Verbunddicke)



Bentonit* Masse pro Flächeneinheit [g/m²]	Index flux [10 ⁻⁹ (m²/m²)/s]	Permeation [l/m²/s]	Permeation [l/ha/day]	Permeation rate [%]	
2.500	5.5	5,5 x 10 ⁻¹²	0,48 x 10 ⁻³	153	hohe Permeation
3.000	4.8	4,8 x 10 ⁻¹²	0,41 x 10 ⁻³	133	
3.700	4.3	4,3 x 10 ⁻¹²	0,37 x 10 ⁻³	119	
4.000	4.1	4,1 x 10 ⁻¹²	0,35 x 10 ⁻³	114	niedrige Permeation
4.670	3.6	3,6 x 10 ⁻¹²	0,31 x 10 ⁻³	100	
5.000	3.3	3,3 x 10 ⁻¹²	0,29 x 10 ⁻³	92	
5.300	3.1	3,1 x 10 ⁻¹²	0,27 x 10 ⁻³	86	
5.600	2.6	2,6 x 10 ⁻¹²	0,22 x 10 ⁻³	72	sehr niedrige Permeation
5.700	2.3	2,3 x 10 ⁻¹²	0,20 x 10 ⁻³	64	
7.000	2.0	2,0 x 10 ⁻¹²	0,17 x 10 ⁻³	56	
8.000	1.5	1,5 x 10 ⁻¹²	0,13 x 10 ⁻³	42	

* (12 % Wassergehalt)

Abb. 8
Gemessene und umgerechnete Permeation von Bentofix® bei verschiedenen Natrium-Bentonit Massen pro Flächeneinheit, geprüft bei 30 kPa Auflast und 1,5-m-Wassersäule

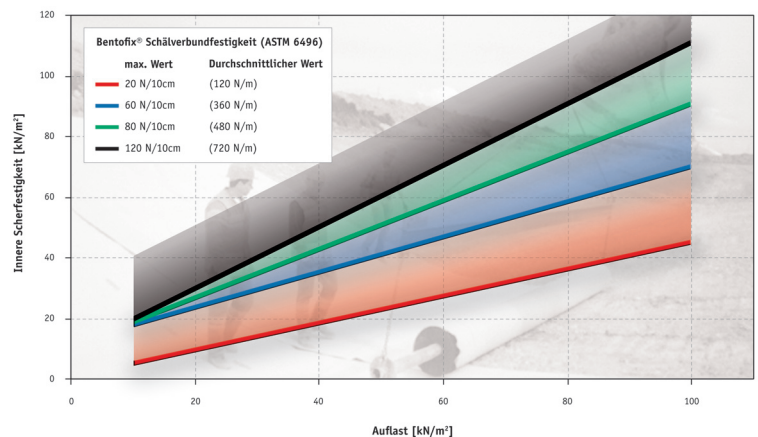
5 Verbundfestigkeit wichtig für die innere Scherfestigkeit

Weil Bentofix® geosynthetische Tondichtungsbahnen Verbundstoffe sind und die einzelnen Lagen so konzipiert sind, dass sie optimal miteinander wirken, ist die Verbundfestigkeit zwischen den einzelnen Lagen besonders wichtig. Bereits 1994 hat NAUE den entscheidenden Zusammenhang zwischen der Schälverbundfestigkeit (misst die Festigkeit des Faserverbundes zwischen Träger- und Deckgeotextil) und der inneren Scherfestigkeit von Bentofix® erkannt und publiziert. Mit steigender Schälverbundfestigkeit erhöht sich auch die innere Scherfestigkeit.

Das ermöglicht letztlich steilere und sicherere Böschungen. Auch wenn die starken scherkraftübertragenden Fasern den Bentofix®-Verbund während des Quellens zusammenhalten, wird empfohlen, noch vor einer Quellung der geosynthetischen Tondichtungsbahn eine Auflast von mindestens 0,30 m Boden

aufzubringen. Die Vernadelung von Bentofix® erhöht die innere Scherfestigkeit, indem es die äußeren Geotextillagen und den Bentonit-Dichtungskern sicher und fest verbindet. Darüber hinaus erzeugt die Vernadelung und das thermische Verschmelzen der Fasern (Thermal Lock) bzw. die aufgebrachte Polyethylenbeschichtung die für viele Anwendungen wichtige allseitige und richtungsunabhängige Scherfestigkeit und Schälverbundfestigkeit von Bentofix®.

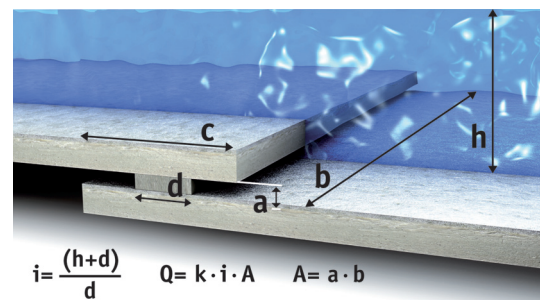
Abb. 9
Konservative Korrelation zwischen der inneren Scherfestigkeit und Bentofix®-Verbundfestigkeit (unter geringer Auflast vorgequollen)



6 Sichere Überlappungen von Bentofix®

Trifft Wasser auf eine geosynthetische Tondichtungsbahn, fließt das Wasser nicht direkt durch. Die Komplexität der Vliesstoff-Oberfläche und der gequollene Bentonit-Kern sorgen dafür, dass das Wasser seitlich ausweicht, um einen möglichen Weg nach unten zu finden. Geosynthetische Tondichtungsbahnen müssen überlappt werden, um eventuelle Wasserwege zu verhindern. Deshalb werden die Überlappungsbereiche von nicht beschichteten Bentofix®-Bahnen schon während der Produktion standardmäßig mit dem hoch quellfähigem Natrium-Bentonit-Pulver imprägniert und zwar im Längsrandbereich auf eine Breite von 50 cm. Somit wird eine wasserundurchlässige Zone für den Überlappungsbereich sichergestellt. Bentofix® BFG ist sogar vollflächig mit Natrium-Bentonit-Pulver imprägniert. Dies ist ein Vorteil in vielen Anwendungen, z. B. in Auffangbecken und Bauwerksabdichtungen, weil die äußere bentonit Imprägnierte Vliesstoffkomponente einen direkten Pressverbund in allen Überlappungsbereichen erzeugt. Grundsätzlich gilt: je breiter der bentonit Imprägnierte Überlappungsbereich desto besser

seine Dichtungseigenschaften. Abbildung 10 macht den Einfluss der Breite des Überlappungsbereichs deutlich. Es ist erkennbar, dass schmalere Überlappungen, also 1 bis 2 cm, einen wesentlich höheren Durchfluß haben. Das ist für eine Abdichtung nicht zielführend. Breitere Bentonitüberlappungen bedeuten mehr Sicherheit für die Dichtigkeit und eine geosynthetische Tondichtungsbahn die auf lange Sicht bezüglich ihrer Eigenschaften den Erwartungen entspricht.



Q Durchfluss · k GTD-Wasserdurchlässigkeit · i Gradient · A Fläche · a Bentonitdicke in der Überlappung
b Breite der Überlappung · h Wasseraufstauhöhe · d Breite der Bentoniteinstreuung · c Länge der überlappten Fläche

h [m]	d Überlappung [m]						
	0,01	0,02	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50
0,3	0,60	0,31	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
0,5	0,99	0,51	0,12	0,08	0,07	0,05	0,04
1	1,96	0,99	0,21	0,15	0,12	0,08	0,06
2	3,91	1,96	0,41	0,28	0,21	0,15	0,10
4	7,80	3,91	0,80	0,54	0,41	0,28	0,17
8	15,57	7,80	1,57	1,06	0,80	0,54	0,33

Durchfluss Q [l/Überlappung*/Tag] durch die GTD Überlappung „d“ (* ca. 50 Rollen bei 10.000 m²)

Abb. 10
Errechneter Durchfluss nur im Überlappungsbereich für ein Projekt mit 10.000 m² verlegten Bentofix®

7 Einfluss des Oberbodens auf das Deckgeotextil

Geosynthetische Tondichtungsbahnen sollten sofort nach der Verlegung mit Boden (oder einer Kunststoffdichtungsbahn, z. B. Carbofol®) bedeckt werden, um ein freies Quellen des Bentonits zu verhindern. Allerdings kann auch das Aufbringen des Bodens selbst eine Beeinflussung der Wirkungsweise der geosynthetischen Tondichtungsbahn hervorrufen. Dies betrifft vornehmlich das Deckgeotextil und dieses gilt es gegen solche Beanspruchungen zu schützen. Durch die richtige Auswahl der geotextilen Decklage, z. B. Geotextilart, Festigkeit und Dicke ist es möglich, einen maximalen Schutz sicherzustellen. Im Normalfall wird Bentofix® so verlegt, dass der Deckvliesstoff mit einer Masse von mindestens 200 g/m² pro Flächeneinheit auf der Oberseite zum Liegen kommt. Dieser schützt wirksam vor Einbaubeschädigungen und verhindert den Austritt von Bentonit. Das bietet zudem Sicherheit bei punktuellen Beanspruchungen, vor allem wenn der Oberboden grobkörnige Bestandteile hat.

Wenn die Mächtigkeit der Bodendeckschicht, die Baustellenbedingungen oder die Qualität des Bodens es erfordern, sind auch Deckvliesstoffe mit einer höheren Masse pro Flächeneinheit bei Bentofix® möglich.

Erfordern die örtlichen Gegebenheiten höhere Kontaktreibungswinkel, kann Bentofix® mit Vliesstoffkomponenten im Deck- und Trägergeotextil geliefert werden (z. B. bei Bentofix® B 4000). Dabei ist das



Abb. 11 Bodenaufbringung auf Bentofix®

Trägergeotextil immer ein Verbundstoff bestehend aus einem Bändchengewebe und einem vernadelten Vliesstoff. Für eine erste Abschätzung des Kontaktreibungswinkels zwischen Geotextil und Boden können die Formel $\lambda = \tan \delta' / \tan \phi'$ (Ergebnisse in Abb. 12) und Scherversuche mit vergleichbaren Materialien herangezogen werden. Die innere Reibung des Bodens ($\tan \phi'$) und der Kontaktreibungswinkel ($\tan \delta'$) ergeben einen Reibungskoeffizienten λ als Vergleichsparameter. Beispielhaft sind die Reibungskoeffizienten für verschiedene Parameter (Geotextilart und Reibungswinkel des Bodens) angegeben. Abschätzungen können jedoch keinesfalls Scherversuche mit den tatsächlich verwendeten Materialien ersetzen. Bei der polyethylenbeschichteten Bentofix® geosynthetischen Tondichtungsbahn sind die Oberflächenstrukturen je nach der Dicke der Beschichtung unterschiedlich, so dass die Kontaktflächen projektbezogen einzeln betrachtet werden sollten.

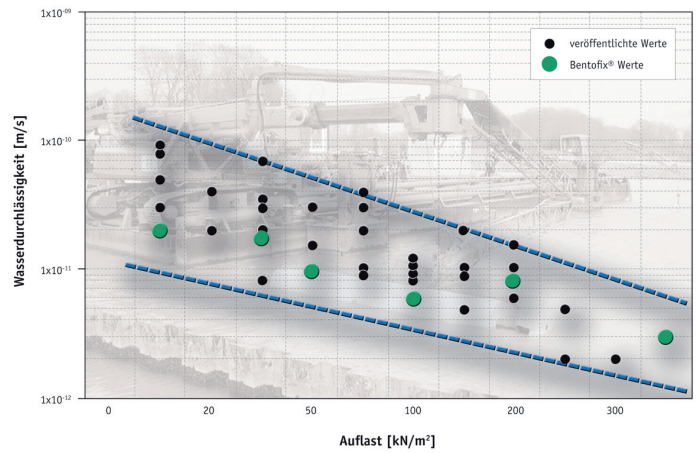
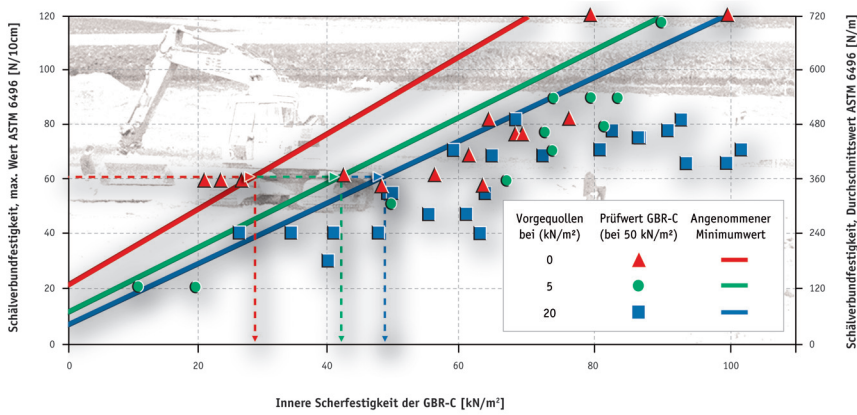
Abb. 12 Abschätzung des Scherverhaltens einer geosynthetischen Tondichtungsbahn (reg – regulär ohne Thermal Lock TL – Thermal Lock BG – Bändchengewebe VS – Vliesstoff)

Bodentyp	bindige Böden						feinkörnige nicht bindige Böden						grobkörnige nicht bindige Böden					
	0,6 ~ 0,75		0,75 ~ 0,83		0,75 ~ 0,92		0,65 ~ 0,8		0,8 ~ 0,85		0,88 ~ 0,94		0,75 ~ 0,85		0,8 ~ 0,9		0,9 ~ 0,97	
Scherfuge Geotextil	BG (reg)	BG (reg)	BG (TL)	BG (TL)	VS	VS	BG (reg)	BG (reg)	BG (TL)	BG (TL)	VS	VS	BG (reg)	BG (reg)	BG (TL)	BG (TL)	VS	VS
Innere Reibung des Bodens [°]																		
22	13,6	16,9	16,9	18,5	16,9	20,4	14,7	17,9	17,9	19,0	19,6	20,8	16,9	19,0	17,9	20,0	20,0	21,4
23	14,3	17,7	17,7	19,4	17,7	21,3	15,4	18,8	18,8	19,8	20,5	21,8	17,7	19,8	18,8	20,9	20,9	22,4
24	15,0	18,5	18,5	20,3	18,5	22,3	16,1	19,6	19,6	20,7	21,4	22,7	18,5	20,7	19,6	21,8	21,8	23,4
25	15,6	19,3	19,3	21,2	19,3	23,2	16,9	20,5	20,5	21,6	22,3	23,7	19,3	21,6	20,5	22,8	22,8	24,3
26	16,3	20,1	20,1	22,0	20,1	24,2	17,6	21,3	21,3	22,5	23,2	24,6	20,1	22,5	21,3	23,7	23,7	25,3
27	17,0	20,9	20,9	22,9	20,9	25,1	18,3	22,2	22,2	23,4	24,2	25,6	20,9	23,4	22,2	24,6	24,6	26,3
28	17,7	21,7	21,7	23,8	21,7	26,1	19,1	23,0	23,0	24,3	25,1	26,6	21,7	24,3	23,0	25,6	25,6	27,3
29	18,4	22,6	22,6	24,7	22,6	27,0	19,8	23,9	23,9	25,2	26,0	27,5	22,6	25,2	23,9	26,5	26,5	28,3
30	19,1	23,4	23,4	25,6	23,4	28,0	20,6	24,8	24,8	26,1	26,9	28,5	23,4	26,1	24,8	27,5	27,5	29,3
31	19,8	24,3	24,3	26,5	24,3	28,9	21,3	25,7	25,7	27,1	27,9	29,5	24,3	27,1	25,7	28,4	28,4	30,2
32	20,6	25,1	25,1	27,4	25,1	29,9	22,1	26,6	26,6	28,0	28,8	30,4	25,1	28,0	26,6	29,4	29,4	31,2
33	21,3	26,0	26,0	28,3	26,0	30,9	22,9	27,5	27,5	28,9	29,7	31,4	26,0	28,9	27,5	30,3	30,3	32,2
34	22,0	26,8	26,8	29,2	26,8	31,8	23,7	28,4	28,4	29,8	30,7	32,4	26,8	29,8	28,4	31,3	31,3	33,2
35	22,8	27,7	27,7	30,2	27,7	32,8	24,5	29,3	29,3	30,8	31,6	33,4	27,7	30,8	29,3	32,2	32,2	34,2
36	23,6	28,6	28,6	31,1	28,6	33,8	25,3	30,2	30,2	31,7	32,6	34,3	28,6	31,7	30,2	33,2	33,2	35,2

8 Auflast: Möglichst vor der ersten Wasseraufnahme

Kommt trockener Bentonit in Kontakt mit Wasser, quillt er, weil Bentonit Wasser extrem gut aufnimmt. Dabei wird die Bentonitmasse mit zunehmendem Wassergehalt gelartig und bildet eine geschlossene Dichtungsschicht. Auflast und Festigkeit des Faserverbunds beeinflussen das Quellen. Beide bauen einen Gegendruck zum Quelldruck des aufquellenden Bentonits auf. Um die Leistungsfähigkeit der Bentonitdichtung zu maximieren, empfiehlt es sich vor jeglicher Wasseraufnahme eine Auflast auf die geosynthetische Tondichtungsbahn aufzubringen.

Abb. 13
Einfluss der Vorquellung unter Auflast auf die innere Bentofix® Scherfestigkeit abgesichert bei einer Auflast von 50 kN/m²



Nötig ist eine mindestens 0,30 m mächtige Bodenauflast (bei Verkehrsflächen > 0,50 m) aber die Sicherheit wird um ein Vielfaches erhöht, wenn der komplette Deckboden vor Beginn der Bentonitquellung eingebaut wird. Eine höhere Auflast (Abb. 14) verbessert

Abb. 14
Wasserdurchlässigkeit von geosynthetischen Tondichtungsbahnen in Korrelation zur Bodenauflast

zudem die Dichtigkeit von Bentofix® und ist ein Langzeitschutz gegen Austrocknung, Durchwurzelung und andere Beanspruchungen. Zudem werden höhere innere Scherfestigkeiten erzielt, wenn der Bentonit unter höheren Auflasten quillt (Abb. 13).

9 Robuste Geotextilien sichern die Wirkungsweise der geosynthetischen Tondichtungsbahn

Die Lebensdauer aller geosynthetischen Tondichtungsbahnen hängt von den einkapselnden Geotextilien ab; sie bestimmen den Kontaktreibungswinkel, schützen vor Einbaubeschädigungen und kapseln den Bentonit erosionssicher ein. Die Masse pro Flächeneinheit (je höher desto besser) des Geotextils ist hier das entscheidende Kriterium. Vernadelte Vliesstoffe (mechanisch verfestigt) haben hier wesentliche Vorteile gegenüber Bändchengeweben. Durch ihre komplexe, dreidimensionale und stabile Fasermatrix wird ein mögliches Entweichen von quellendem Bentonit verhindert. Dadurch wird der Kontaktreibungswinkel nicht durch eine Bentonitschmierschicht reduziert. Auch ist ein Vliesstoff als Deckgeotextil robuster gegen Einbaubeschädigungen beim Einbau des Bodenmaterials. Es liegt auf der Hand, dass ein Vliesstoff mit einer größeren Masse pro Flächeneinheit einen höheren Schutz bietet als Vliesstoffe mit geringeren Massen pro Flächeneinheit oder

beschädigungsanfällige Bändchengewebe. Der derzeitige empfohlene Mindeststandard für einen Vliesstoff liegt bei 200 g/m². Dies ist besonders wichtig beim Einbau, weil die Oberseite der geosynthetischen Tondichtungsbahn in dieser Einbauphase höheren Belastungen ausgesetzt ist als während der eigentlichen Nutzungsdauer. Bentofix® wird üblicherweise so eingebaut, dass die robustere Vliesstoffseite nach oben zum Füllboden zeigt. NAUE bietet für Anwendungen mit noch höheren Belastungen, bei denen z. B. Robustheit und Kontaktreibungswinkel besonders wichtig sind, Bentofix® Typen (z. B. B 4000) mit einer höheren Vliesstoff-Masse pro Flächeneinheit an. In jedem Fall sollte die Höchstzugkraft der geosynthetischen Tondichtungsbahn mindestens 10 kN/m besitzen, unabhängig davon welche Geotextilien zum Einsatz kommen.



Abb. 15
Aufbringung des Bodens auf Bentofix®

10 **Pulver übertrifft Granulat**

Hersteller können prinzipiell pulverförmigen oder granulierten Bentonit für den Kern von geosynthetischen Tondichtungsbahnen verwenden. Bentofix® wird jedoch ausschließlich mit hochquellfähigem Natriumbentonit-Pulver hergestellt. Pulver übertrifft Granulat bei einem Schlüsselprozess: der sofortigen Abdichtung. Bentonitpulver erlaubt dank seiner feinen Körnung eine optimale Verteilung in der Tondichtungsbahn. Die Hohlräume zwischen Granulat-Körnern sind größer und am Anfang kann Wasser durch diese Zwischenräume fließen, der Abdichtungsprozess dauert länger und während dieser Zeit fließt Wasser durch das

Dichtungssystem. Anders das Verhalten von Bentonitpulver: Es quillt sofort, da das Wasser auf eine viel größere Bentonit-Oberfläche ohne große Zwischenräume trifft.

Abb. 16 zeigt deutlich, dass Bentonitpulver bei gleichem Wassergehalt eine geringere Permittivität als Bentonitgranulat hat; mit und ohne Auflast. Sofortiges Quellen und eine bessere Verteilung des Bentonits bringen ein besseres Langzeitverhalten der Bentofix® Dichtung (Abb. 17).

Abb. 16
Verhalten der Gaspermittivität von Bentofix® (Bentonitpulver) gegenüber Bentonitgranulat in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Bentonits

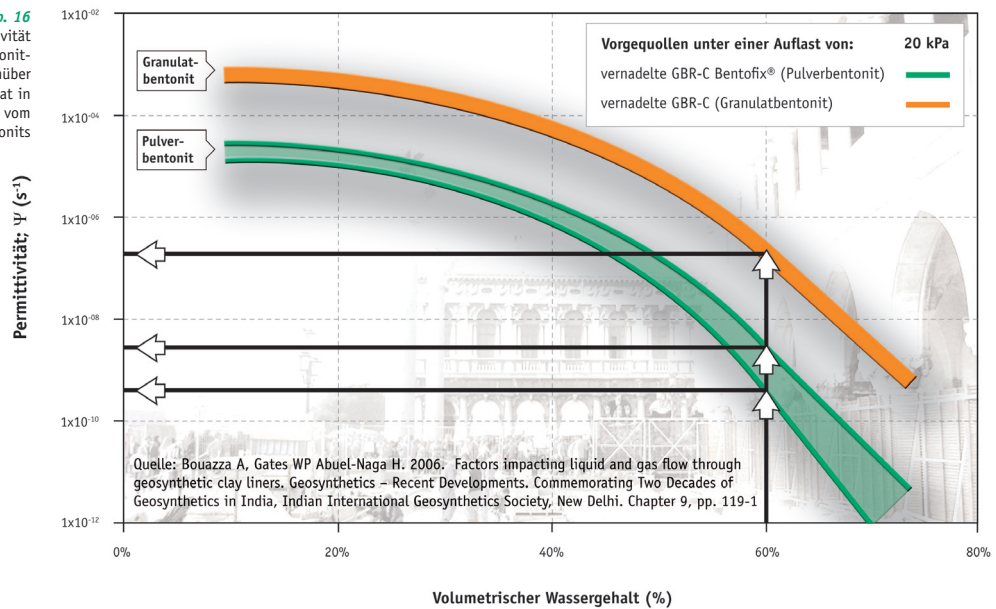
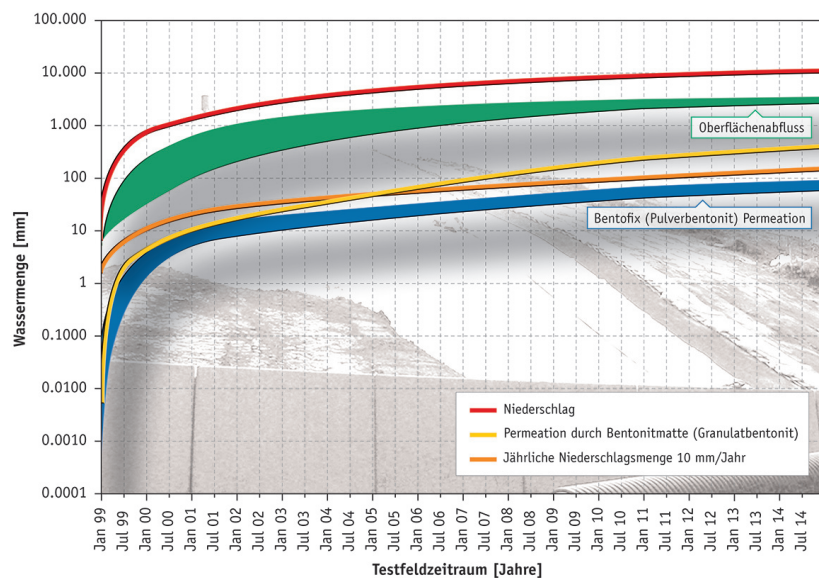


Abb. 17
Niederschlag, Drainagewasserabfluss und Wasserpermeation durch geosynthetische Tondichtungsbahnen unter einer Bodenauflast von 1 m in deutschen Klimaverhältnissen



11 Das Bentogramm: einfach effektiv

Mit seinen vielfältigen Varianten bietet Bentofix® ökonomische und dauerhafte Dichtungslösungen auch für sehr spezielle Anforderungen. Die verschiedenen Bentofix®-Typen wurden entwickelt, um bei verschiedenen Anwendungsbelastungen eingesetzt werden zu können, z. B. hohe Wassersäulen, Minderung des Umweltrisikos bei chemischen Einflüssen, Schutz gegen Durchwurzelung, Minimierung der Austrocknungsgefährdung, etc..

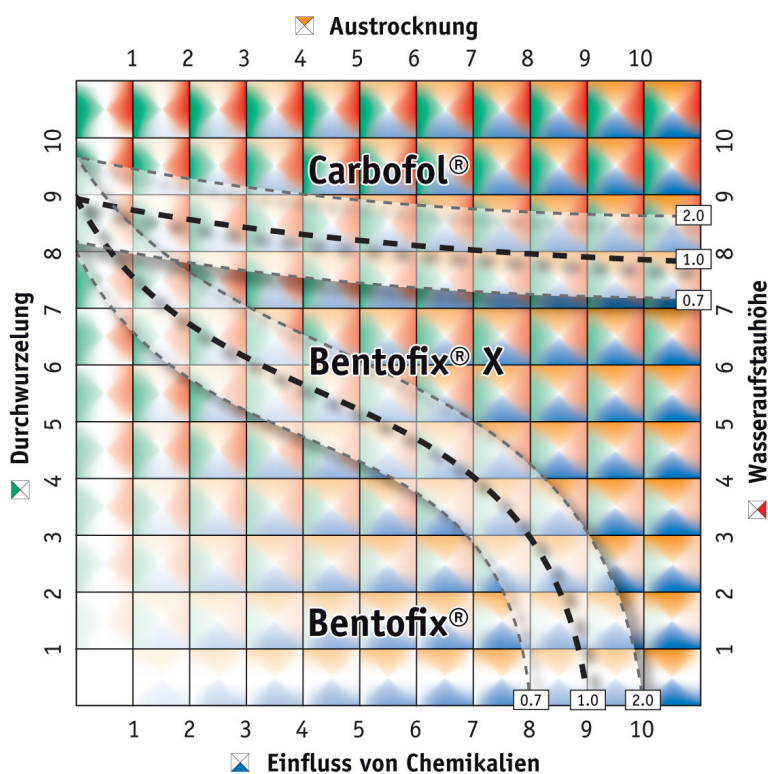


Abb. 18

Nutzung des Bentogramms:

1. Festlegen der vier Schlüsselwerte für die Anwendung (1 – niedrig, 10 – hoch)
2. Gegenüberliegende Werte (Austrocknung–Chemische Einwirkungen, Durchwurzelung–Wassersäule) jeweils verbinden
3. Produkteigenschaften aus Abb. 19 festlegen und entsprechende gestrichelte Trennungslinie festlegen
4. Der Kreuzungspunkt zeigt dann ob eine Bentofix® Type, eine beschichtete Bentofix® X oder eine Carbofol® Kunststoffdichtungsbahn empfohlen wird

Anmerkung: Carbofol® ist eine Kunststoffdichtungsbahn mit glatter oder strukturierter Oberfläche von NAUE.

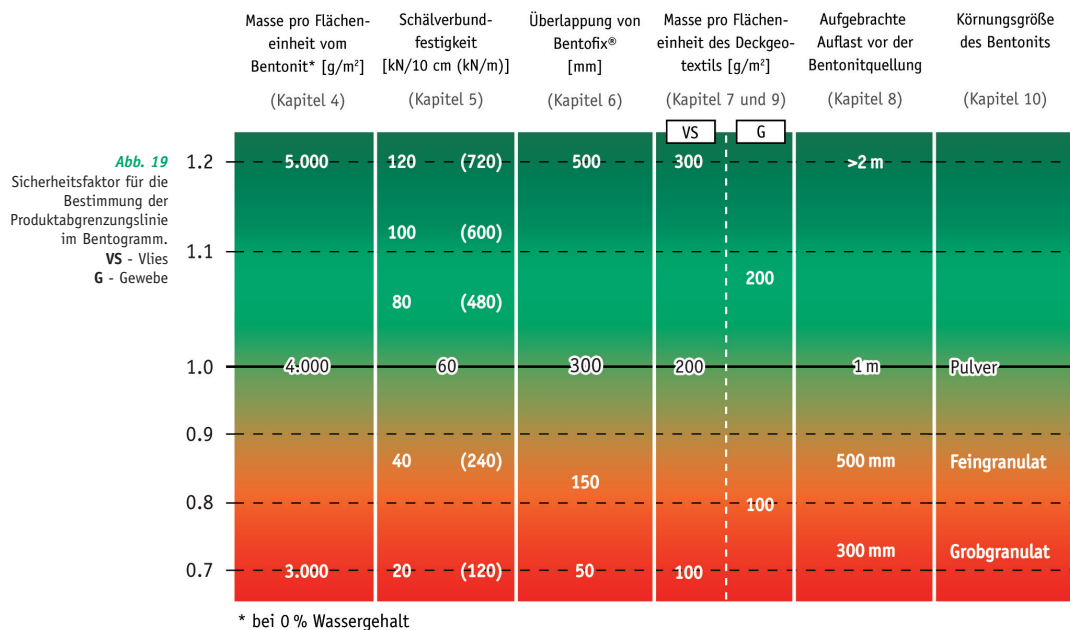
Das Bentofix®-Bentogramm (Abb. 18) ist ein einfach zu handhabendes Werkzeug, um den richtigen Bentofix®-Typ (bzw. eine Kunststoffdichtungsbahn) für das entsprechende Bauvorhaben zu finden. Zunächst legt man auf einer Skala von 1 bis 10 (10 = am höchsten, wichtigsten) die projektspezifische Bedeutung der vier Schlüsselbereiche fest, die

das Abdichtungssystem beeinflussen kann: Durchwurzelung, Austrocknungsgefährdung, Wassersäule und chemische Einwirkungen (Empfehlung siehe Abb. 4). Im Anschluss daran verbindet man die ausgewählten Parameter von den zwei gegenüberliegenden Schlüsselbereichen (Austrocknung mit Einfluss von Chemikalien, Durchwurzelung mit Wassersäule) mit einer Linie und bestimmt den Kreuzungspunkt.

Die dicken, schwarz gestrichelten Linien grenzen die Produkte bei standardmäßiger Auswahl voneinander ab, wobei je nach Auswahl aus Abb. 19 sich ein zuständiger Faktor ergibt (0,7; 1,0; 2,0 – Werte dazwischen können interpoliert werden). Maßgebend ist jeweils nur eine Abgrenzungslinie, je nach Auswahl der Produkteigenschaften (aus Abb. 19).

Zusätzlich wird ein produktspezifischer Sicherheitsfaktor (Abb. 19) bestimmt, z. B. für die Bentonit-Masse pro Flächeneinheit, die Verbundfestigkeit, die Überlappung, die Art des Deckgeotextils einschließlich seiner Masse pro Flächeneinheit, die Auflast vor der Quellung und die Körnung des verwendeten Bentonits (Details zu diesen Punkten siehe Kapitel 4–10). Durch die Multiplikation mit diesen Faktoren kann die Bereichsgrenze für die Produktauswahl in beide Richtungen verschoben werden, um zu klären, ob die GTD-Komponenten den Anforderungen und Bedürfnissen vom Projekt entsprechen die vorher im Bentogramm markiert wurden.

Hinweis: Die gestrichelten Begrenzungslinien sind als allgemeine Leitlinie zu sehen, nicht als genaue Abgrenzung. Abhängig von der Anwendung kann auch ein Produkt, das knapp außerhalb des Bereichs liegt, die perfekt passende Lösung sein. Andere anwendungsspezifische Anforderungen bedürfen eine erweiterte Betrachtung, z. B. Pressverbund zwischen einer Carbofol® KDB und Bentofix® GTD.



Dichtungssystem	Durchlässigkeit des Bodens k_L (m/s)	Transmissivität unter KDB θ (m ² /s)	Durchfluss Q (m ³ /s)	
			Lochdurchmesser 1 mm	Lochdurchmesser 10 mm
Kunststoffdichtungsbahn (KDB) alleine	-	-	$4,57 \times 10^{-6}$	$4,57 \times 10^{-4}$
KDB + 0,6 m Boden	1×10^{-6}	0 (idealer Pressverbund)	$3,60 \times 10^{-9}$	$3,63 \times 10^{-8}$
KDB + 0,6 m Ton	1×10^{-9}	0 (idealer Pressverbund) 1×10^{-7}	$3,60 \times 10^{-12}$ $2,54 \times 10^{-8}$	$3,63 \times 10^{-11}$ $3,56 \times 10^{-8}$
KDB + GCL (10 mm Dicke)	2×10^{-10} (GTD)	0 (idealer Pressverbund) 2×10^{-10}	$2,59 \times 10^{-13}$ $8,46 \times 10^{-11}$	$4,00 \times 10^{-12}$ $1,70 \times 10^{-10}$

Abb. 20 Radiale Transmissivität durch ein Loch und Permeation unterhalb der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) bei einem guten und schlechten Pressverbund zwischen KDB und darunter liegender Schicht (Boden oder geosynthetische Tondichtungsbahn)

12 Zusammenfassung

Ingenieurtechnische Dichtungssysteme schützen die Umwelt in industriellen, geotechnischen und Tiefbau-Maßnahmen. Sicherheit ist dabei von höchster Wichtigkeit. Obwohl der Sicherheitsfaktor von 1,0 für Dichtungen mit geosynthetischer Tondichtungsbahn nicht zwingend vorgeschrieben ist (siehe Abb. 19 Sicherheitsfaktoren), gilt er doch als allgemein anerkannte Basis, um die Wirksamkeit der Dichtung und die Vertrauensgrenze zu maximieren.

Die Entscheidungen, die ein Planer bei der Materialzusammenstellung einer geosynthetischen Tondichtungsbahn trifft, beeinflussen die Wirkungsweise und die Lebensdauer des Systems deutlich. Das umfasst u. a. die Auswahl des Bentonittyps, dessen Masse pro Flächeneinheit, die Gestaltung der Überlappungen, den geotextilen Schutz, die Schälverbundfestigkeit und die

Auflast vor der Quellung. Bentofix®-Tondichtungsbahnen erfüllen oder übertreffen international anerkannte Anforderungen. Zusammen mit unserem Ingenieurwissen sorgt dies für maximale Sicherheit und langfristige Wirksamkeit. NAUE bietet eine große Palette verschiedener Bentofix®-Tondichtungsbahnen, darunter solche mit selbstdichtendem Bentonit im imprägnierten Überlappungsbereich, mit vollflächig imprägnierter Bentoniteinstreuung im Deckvliesstoff, mit robusten einkapselnden Vliesstoffen auf beiden Seiten für höhere Kontaktreibungswinkel, mit speziellen Modifikationen für die Unterwasserverlegung, mit zusätzlicher polyethylen Beschichtung und vielem mehr. Darüber hinaus ist NAUE immer bereit, das technische Know-how zu liefern und die richtige Bentofix® geosynthetische Tondichtungsbahn für Ihr Projekt anzubieten.



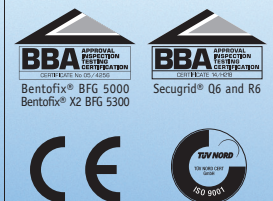
NAUE GmbH & Co. KG
 Gewerbestraße 2
 32339 Espelkamp-Fiestel

Telefon 05743 41-0
 Telefax 05743 41-240
 E-Mail info@naue.com
 Internet www.naue.com

Mitgliedschaften der NAUE Unternehmensgruppe



Zertifizierungen der NAUE Gruppe



NAUE®, Bentofix®, Carbofol® und Secugrid® sind eingetragene Warenzeichen der NAUE GmbH & Co. KG in verschiedenen Ländern.

Der Inhalt dieser Broschüre bezieht sich auf NAUE Produkte und berücksichtigt den Stand der Technik bei Redaktionsschluss. Jegliche Haftung ist ausgeschlossen.
 © 2015 bei NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel · Alle Rechte vorbehalten. · Nr. 256 · Status 13.05.2015