

Schiebungsgeschwindigkeiten, die infolge der Relativverschiebung zwischen Betonkern und Stützkörper auftreten. Die Schubspannung, die aus der Viskosität des Bitumens resultiert, ist im Gegensatz zur Wandreibung nur von der Temperatur und der Schiebungsgeschwindigkeit abhängig. Die Normalspannung auf die Gleitschicht, die mit der Höhe nahezu linear anwächst, hat keinen Einfluß.

Mit Hilfe eines Kreisringschergerätes und den damit vorhandenen langen Verschiebungswegen konnte das Fließverhalten verschiedenster Bitumina in Abhängigkeit von Temperatur und Schiebungsgeschwindigkeit untersucht und das geeignete Bitumen ausgewählt werden (3).

Als größtes Problem für eine praktische Anwendung der Bitumengleitschicht erwies sich aus ersten Vorversuchen das Eindringen von Bodenkörnern in die nur dünne Gleitschicht. Eine Rückführung des Fließverhaltens auf ein von der Normalspannung abhängiges Reibungsverhalten und damit ein Unwirksamwerden der Gleitschicht ist die Folge.

Für eine großflächige Anwendung im Staudammbau ergaben sich für den Aufbau und Schutz der Gleitschicht folgende Anforderungen:

Aus technischer Sicht muß in erster Linie eine einwandfreie Funktion der Bitumenschicht über Jahrzehnte gewährleistet sein. Das Eindringen von Körnern in die Gleitschicht und umgekehrt das Einsickern von Bitumen in die Poren des Filter- und Stützkörpermaterials kann nur durch das Abdecken der Gleitschicht verhindert werden. Die Anforderung an eine solche Schutzabdeckung ist neben einer ausreichenden mechanischen Festigkeit und der Eigenschaft, Spannungsspitzen an der Grenzfläche zwischen Bitumen und Stützkörpermaterial, wie in Abb. 2 dargestellt, ausgleichen zu können, eine geringe Eigensteifigkeit. Die unterschiedlichen Setzungsverformungen im Stützkörper erzeugen dann keine Zwängungen in der Abdeckung. Als ideale Lösung bot sich nach zahlreichen Versuchen ein schweres Geotextil der Chemie Linz AG, ein 5 mm dickes Nadelvlies (700 g/m²), an.

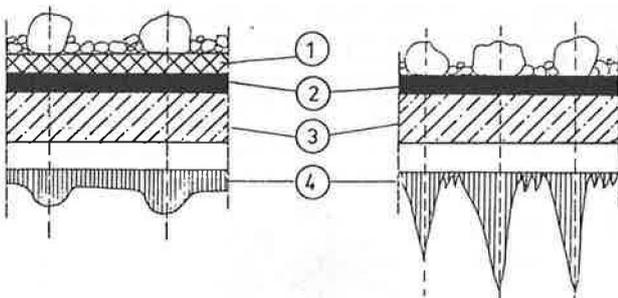


Abb. 2: Druckausgleichende Wirkung des Geotextils
1 Nadelvlies; 2 Bitumengleitschicht; 3 Betonkern;
4 Druckspannungsverteilung im Bitumen bei Lastaufbringung;

Zweite wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Gleitschicht ist deren wirtschaftliche Herstellbarkeit und die einfache Aufbringung auf den Kern. Ein Aufbürsten oder Aufspritzen des erhitzten Bitumens auf die Betonwand in mehreren Arbeitsgängen, um die geforderte Schichtdicke von 4 mm zu erreichen, ist arbeitsintensiv und witterungsabhängig. In einem zusätzlichen Arbeitsgang müßte bei dieser Aufbringungsart die Schutzabdeckung aufgeklebt werden. Als beste Möglichkeit erschien die industrielle Fertigung einer "Gleitfolie", Bitumengleitschicht und Abdeckung zusammen, ähnlich einer bituminösen Dichtungsbahn.

Die Abb. 3 zeigt den Aufbau der "Gleitfolie". Die Bitumenbahn selbst wurde mit Hilfe einer dünnen Trägerlage, einem Glasvlies (60 g/m²), hergestellt. Auf der einen Seite wurde noch während des Walzvorganges das Schutzvlies Polyfelt TS 008, auf der anderen Seite eine nur 0,01 mm dicke Trennfolie aufappliziert. Die Trennfolie hat die Aufgabe, ein Verkleben der Bitumenschicht mit dem Abdeckvlies beim Aufrollen zu verhindern. Sie wurde durch den Aufblämvorgang beim Aufkleben auf den Beton verbrannt. Die Entwicklungs- und Herstellungsarbeiten wurden zusammen mit der Dachpappenfabrik Dörr J. Gg. in Innsbruck durchgeführt. Abb. 4 zeigt die fertige Gleitfolie.

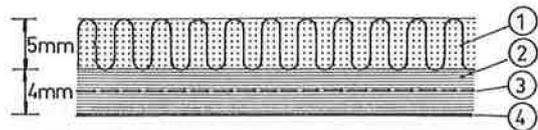


Abb. 3: Aufbau der "Gleitfolie"
1 Nadelvlies Polyfelt TS 008; 2 Bitumenschicht; 3 Glasvlies-Trägerlage; 4 Trennfolie;

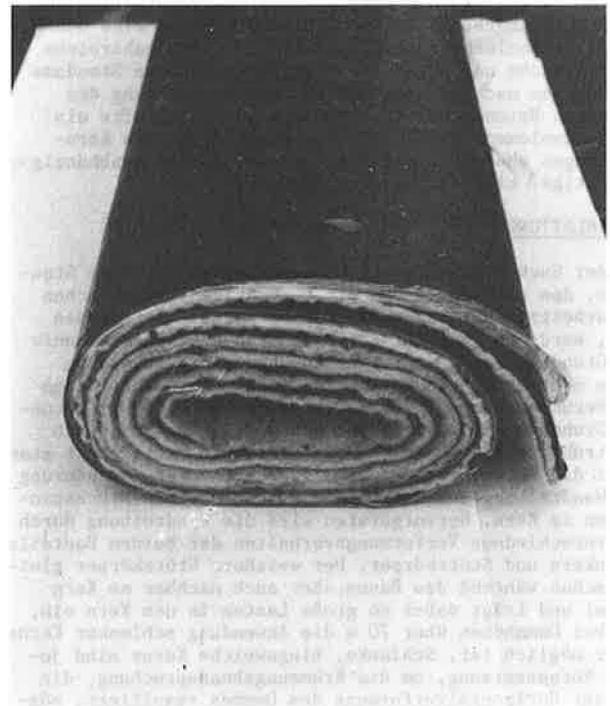


Abb. 4: Fertige industriell hergestellte Gleitfolie

3. DURCHFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Zum Nachweis, daß das Abdeckvlies die gewünschten Anforderungen erfüllt, wurden zahlreiche Untersuchungen mit Klein- und Großgeräten durchgeführt. Die Abb. 5 zeigt die Versuchsanordnungen, angefangen mit den Kleinversuchen. Gerät a) ist ein handelsübliches Direktschergerät mit einer Scherfläche von 10 x 10 cm, b) ein Kreisring-

schgergerät mit $b = 25$ mm Ringbreite. Die Versuchsanordnung b) erlaubte die langen Verschiebungswege, um das Fließverhalten des Bitumens in Abhängigkeit von Temperatur und Schiebungsgeschwindigkeit ermitteln zu können. Für Großversuche c) kam ein Schergerät mit 1×1 m Scherfläche zum Einsatz. Die Sonderversuche d) wurden an einer lotrechten Betonwand von 1,5 m Höhe und 3 m Breite durchgeführt. Der Versuch weist neben einer Erddruck- und Scherkraftmessung als Besonderheit eine Styroporschicht von 10 cm Dicke auf. Es waren dadurch Gleitbewegungen von 11 cm möglich. Mit Hilfe der Kleinversuche a) und b) wurde der beste Aufbau der Gleitfolie gefunden, die Großversuche c) und d) ermöglichten die Überprüfung der Folieneigenschaften bei Zuständen, die der Natur entsprechen. Abb. 6 zeigt das Aufbringen der bereits industriell hergestellten Gleitfolie auf die Betonwand des Sonderversuches. Das Bitumen wird durch Auflämmen erweicht.

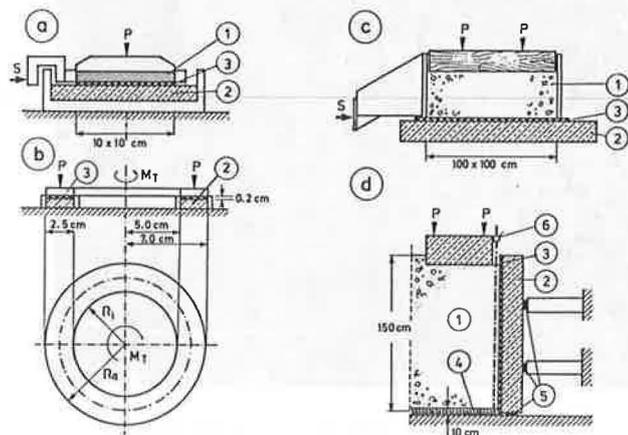


Abb. 5 : Versuchsanordnungen

a Direktschergerät; b Kreisringschergerät; c Großschergerät; d Sonderversuch;
1 Schüttmaterial; 2 Betonkörper; 3 Gleitschicht; 4 Styropor; 5 Kraftmeßdose; 6 Setzungspegel;
P - Normalkraft; S - Schubkraft; M_T - Drehmoment; $R_{i,a}$ - Radius innen, außen.

4. VERSUCHSERGEBNISSE

In diesem Bericht werden lediglich die Versuchsergebnisse, die die Schutzabdeckung der Gleitschicht, ein Geotextil, betreffen, besprochen.

Penetration von Körnern in das Bitumen

In Abb. 7 ist die Bitumenoberfläche nach einem Penetrations- und Gleitversuch im Großschergerät nach Ablösen des Schutzvlieses zu sehen. Der Versuch hat 80 Tage gedauert, die Normalspannung auf die Gleitfläche betrug 1 MN/m^2 . Nur vereinzelt große Körner bewirkten Einbuchtungen auf der Bitumenoberfläche. Die dem Textil zugeordnete Aufgabe des Druckausgleiches, wie in Abb. 2 dargestellt, wurde vom gewählten Nadelvlies gut erfüllt. Vergleichsversuche ohne Abdeckung zeigten das ungehinderte Eindringen der Körner in die Bitumenschicht schon nach kurzer Versuchsdauer, zu sehen in Abb. 8 an einer Bitumenprobe.



Abb. 6: Aufkleben der Gleitschicht im Labor

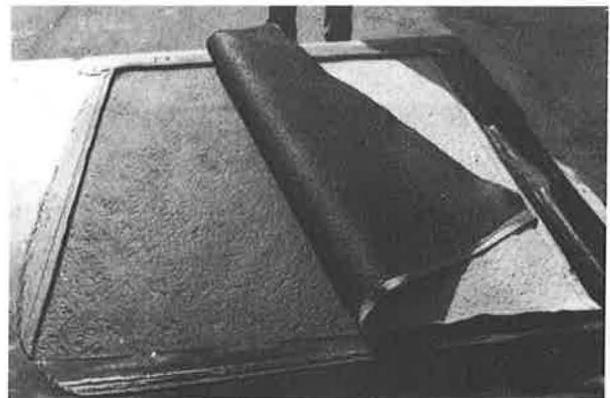


Abb. 7: Bitumenoberfläche nach Penetrationsversuch

Penetration von Bitumen in das Textil

Dies konnte anhand einer im Penetrationsversuch verwendeten Vliesprobe untersucht werden. Abb. 9, eine Rastermikroskopaufnahme, zeigt einen Schnitt durch das Nadelvlies. Das Bitumen drang in der Versuchszeit von 80 Tagen bei einer mittleren Temperatur von 18°C $0,8 \text{ mm}$ in das nur mehr 3 bis 4 mm dicke Vlies ein. Bei der wesentlich geringeren Temperatur von 5°C , wie sie im Dammmieren vorherrscht, erhöht sich die Viskosität um das 100fache. Ein Durchdringen des Textils ist somit auch nach langen Zeiträumen und bei hohen Normalspannungen unwahrscheinlich. Eine überschlägige rechnerische Ab-

schätzung der Eindringung in das Textil ergibt bei ungünstigen Annahmen eine Eindringtiefe von 2,8 mm in 10 Jahren.

Mechanische Festigkeit

Die mechanischen Beanspruchungen, die das Vlies als Schutz der Bitumengleitschicht erfährt, sind:
- Einstanzen der Bodenkörner und
- Reiben des Schüttmaterials an der Vliesoberfläche.
Ersteres konnte nach dem Ausbau des Penetrationsversuches im Großschergerät untersucht werden. Auch bei der großen Normalspannung von 1 MN/m^2 waren keine sichtbaren Verletzungen durch das gebrochene scharfkantige Filtermaterial am gewählten Nadelvlies feststellbar. Die Festigkeit der Vernetzung des verwendeten Vlieses bei Scherbeanspruchung wurde im Direktschergerät überprüft. Der Einbau des Geotextils, aufgeklebt auf eine Betonplatte, erfolgte in Scherebene. Die Versuche mit gebrochenem Schiefergneis ergaben einen Scherwinkel von 36° . Die Vliesoberfläche zeigte auch nach wiederholter Scherung mit einer Normalspannung von $0,5 \text{ MN/m}^2$ keine Aufrauung in der Vliesoberfläche und keine ausgezogenen Fasern.

Stauchung des Vlieses

Im Sonderversuch konnten gleiche Verformungsabläufe, wie sie im Staudamm auftreten, nachvollzogen werden. Bei einer Schütthöhe von 1,5 m traten bei einer größten Setzung von 11 cm Stauchungen von 3 cm auf. In Abb. 10 ist die Stauchungszone im Bereich der Überlappung zu sehen. Ein Schaden am Vlies oder eine Verminderung der Gleitschicht war dadurch nicht feststellbar. Ein Schnitt durch die Folie nach Ausbau des Sonderversuches zeigte eine gleichmäßig dick gebliebene Bitumengleitschicht. Dies bestätigt, daß das gewählte Nadelvlies die Aufgabe des Druckausgleiches und des Schutzes erfüllt und die Gleitschicht voll wirksam bleibt.

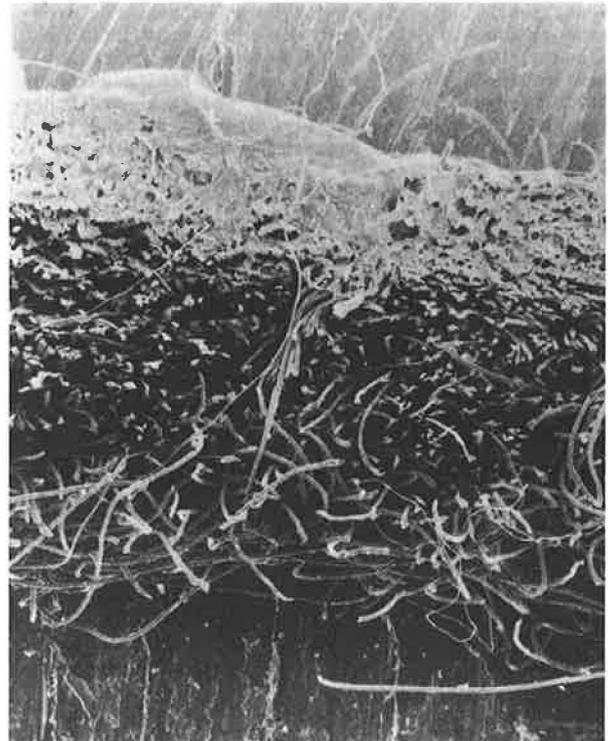


Abb. 9: Nadelvlies mit eingedrungenem Bitumen (Bitumen ist hell)



Abb. 8: Bitumenprobe mit eingedrückten Körnern

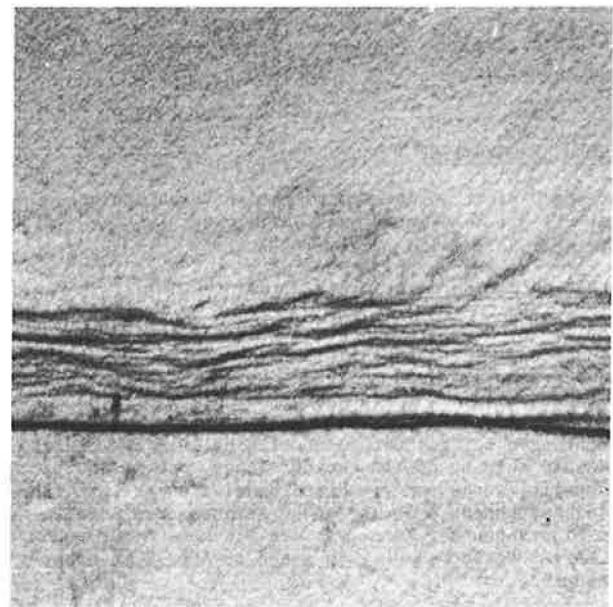


Abb. 10: Stauchungszone

5. ANWENDUNG BEIM STAUDAMM BOCKHARTSEE

In dankenswerter Weise hat sich die Salzburger AG für Elektrizitätswirtschaft (SAFE) entschlossen, den in den Jahren 1982/83 errichteten Staudamm Bockhartsee bei Badgastein mit einer Betonkerndichtung auszurüsten. Die Dammhöhe in Dichtungsebene beträgt 30 m. Abb. 11 zeigt den Damm im Bauzustand. Die Gleitfolie wurde wegen der geringen Dammhöhe nur auf der Wasserseite vollflächig aufgebracht. Die Klebung erfolgte ähnlich wie beim Sonderversuch auf die der Schüttung voreilenden Kernwand. Die Tätigkeit wurde von der jeweiligen Schüttoberfläche aus von zwei Arbeitern ohne Behinderung der Betonier- und Schütтарbeiten ausgeführt. Direkt an die Folie wurde das feinkörnige Stollenfräßmaterial (Gneis) mit einer Korngröße von maximal 20 mm geschüttet und mit einer Rüttelwalze verdichtet.

Zur genauen Messung des Dammverhaltens kamen umfangreiche Einrichtungen zum Einbau. In diesem Zusammenhang hervorzuheben sind die Betondruckgeber in der Aufstandsfläche des Kernes. In Abb. 12 ist der Verlauf der vertikalen Betondrücke dargestellt. Obwohl die Gleitschicht nur wasserseitig eingebaut wurde, zeigt die Messung das Funktionieren der Gleitfolie. In den Schüttpausen ist ein deutlicher Abfall der Betondrücken infolge der Schubspannungsrelaxation in der Gleitschicht zu erkennen. Die Ermäßigung der Betondrücke infolge der einseitig aufgetragenen Gleitschicht beträgt ca. 25 %.



Abb. 11: Staudamm Bockhartsee während des Baues

6. SCHLUSSBEMERKUNG UND DANK

Mit der Entwicklung einer Gleitschicht, bei der das Nadelvlies Polyfelt TS 008 der Chemie Linz AG die wichtige Schutzfunktion übernimmt, ist die Anwendung schlanker Betonkerne als Dichtungselement in hohen Staudämmen wieder erschlossen worden. Die durchgeführten Untersuchungen und die Großanwendung beim Staudamm Bockhartsee haben gezeigt, daß sowohl die Herstellung der Gleitschicht als auch das Aufbringen auf die Betonwand technisch problemlos möglich ist.

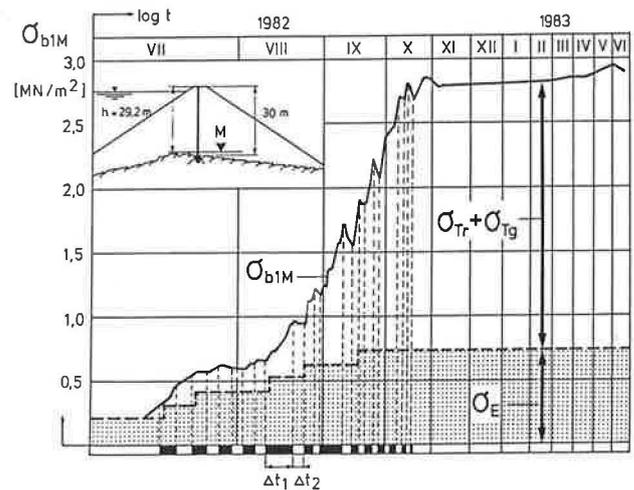


Abb. 12: Staudamm Bockhartsee, Meßergebnisse der Vertikalspannungen im Betonkern

$\bar{\sigma}_{b1M}$ - Meßwerte (Mittel aus 5 Gebern); M - Meßhorizont;
t - Zeit; Δt_1 - Schüttperioden; Δt_2 - Schüttpausen.

Abschließend soll den österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen und besonders der Eigentümerin des Staudammes Bockhartsee, der SAFE, für die Förderung des Forschungsprojektes sowie für die Zustimmung zur Veröffentlichung gedankt werden. Dank gebührt auch der Chemie Linz AG für die Beratung und Zur-Verfügung-Stellung der Textilien sowie der Dachpappen- und Teerproduktenfabrik Dörr J. Gg. Innsbruck für die großzügige Unterstützung bei der Herstellung der verschiedensten Folienkombinationen.

7. LITERATUR

- (1) Schober, W., Henzinger, J., "Membranartige Betonkerndichtungen für hohe Staudämme", Mitteilungen des Institutes für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau der Universität Innsbruck, Heft 6, Innsbruck 1984
- (2) Schober, W., Lercher, H., "Die membranartige Betonkerndichtung des Staudammes Bockhartsee, messende Überwachung und Interpretation", 15. Talsperrenkongreß in Lausanne, 1985
- (3) Henzinger, J., "Staudämme mit membranartiger Betonkerndichtung", Dissertation am Institut für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau der Universität Innsbruck, 1983