

Die Kunststoffdichtungsbahn – vom ungeliebten Exoten zum bewährten und anerkannten Abdichtungselement

1. Einleitung

Schon 1984 bestand der gesetzlich geregelte Schutz des Grundwassers. An Bauwerke für den Grundwasserschutz werden deshalb „höchste Anforderungen“ gestellt. 1984 gibt es vielfach noch rein mineralische Abdichtungen; aber bereits auch Massnahmen, bei denen Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt werden.

Dr. Knipschild berichtet anlässlich der ersten SKZ-Fachtagung 1984: „Mineralische Abdichtungen werden vielfach favourisiert, weil man ihnen mehr zutraut. Diese meist rein gefühlsmäßige Einstellung wird dann noch von Kenntnislücken über das werkstoffspezifische Verhalten von Kunststoffdichtungsbahnen unterstützt.“ So wundert es denn nicht, das im gleichen Tagungsband auch das Wort Foliendichtung zu finden ist.

Vor 30 Jahren begannen die Untersuchungen der BAM und des SKZ zum Permeationsverhalten von Dichtungsbahnen gegenüber Sickerwässern und organischen Lösemitteln. 1983 wurde bereits eine Fläche von 1 Mio m² Dichtungsbahnen in Basisabdichtungen für den Grundwasserschutz verbaut. Zum Thema Oberflächenabdichtung gibt es jedoch vorerst nur die allgemeine Forderung, dass durch Ausbildung einer entsprechenden Oberflächenneigung von mindestens 3 % Niederschlag vom Deponiekörper ferngehalten wird.

Wesentliche Grundzüge von Deponiebaumassnahmen sind in dieser Zeit etabliert worden, und haben bis heute Bestand. In den letzten 30 Jahren haben sich dann auch geosynthetische Dichtungsbahnen aus verschiedenen polymeren Werkstoffen zu einem unentbehrlichen und sicheren Element des Deponiebaus entwickelt. Waren es zu Beginn noch Werkstoffe mit weitgehend unbekanntem Langzeiteigenschaften, so haben sich in den letzten Jahren Polyethylen-Compounds mit gesicherten Langzeiteigenschaften als Standard für Deponieabdichtungen - sowohl in der Basis als auch in der Oberfläche – bewährt.

Die Entwicklung dieser Dichtungsbahnen für die Abdichtung von Mülldeponien ist Gegenstand dieser Präsentation, die den Bogen spannt von der Werkstoffentwicklung, der Darstellung der geltenden Normen und Richtlinien über die Produktentwicklung zur Darstellung der zur jeweiligen Zeit innovativen Verarbeitungsverfahren.

2. Historische Entwicklung

2.1 Dichtungsbahnen

Bitumendichtungsbahnen waren schon Anfang des vorigen Jahrhunderts als Dachabdichtungen im Einsatz. Vielfach werden sie heute im Wasserbau, sowie zur Bauwerksabdichtung eingesetzt. Sie haben in den 70er und 80er Jahren eine relativ verbreitete Anwendung im Deponiebau in Deutschland gehabt. In der NRW-Richtlinie werden Bitumendichtungsbahnen mit einer Mindestdicke von 5.0 mm parallel zu den Polymer-Dichtungsbahnen mit einer Mindestdicke von 2.0 mm gefordert. Dabei wurden glasfaserverstärkte Produkte, häufig mit einer zusätzlichen in der Bitumenbahn liegenden PEHD-Folie als Sperrschicht eingesetzt. In Frankreich werden Bitumendichtungsbahnen auch weiterhin für Deponieoberflächenabdichtungen eingesetzt. Geeignete Langzeitprüfverfahren und vor allem –ergebnisse sind bis heute nicht bekannt.

Mit der Entwicklung der Kunststoffindustrie begann auch die Entwicklung von polymeren Abdichtungsbahnen.

Dichtungsbahnen aus PVC-P (weichgemachtes PVC) wurden bereits in den 50er-Jahren verbreitet im Wasserbau eingesetzt. Sie haben seither wegen ihrer hohen Flexibilität und der relativ einfachen Schweißbarkeit eine weit verbreitete Anwendung für Bauwerksabdichtungen und bei Dachabdichtungen gefunden. Im Deponiebau sind sie aufgrund der eingeschränkten Chemikalienbeständigkeit in den meisten Ländern nur noch selten zu finden. PVC-P Dichtungsbahnen wurden vor 30 Jahren aber auch in Deutschland für Deponieabdichtungen verwendet. Die geringe chemische Widerstandsfähigkeit und vor allem der Verlust an Weichmachern durch Auslaugung macht sie für Deponieabdichtungen mit Angriff von Sickerwasser ungeeignet.

Die sog. ECB-Bahnen (Ethylen -Copolymerisat- Bitumen) wurden ebenfalls in den 70er Jahren entwickelt. Dabei ist in dem Polymer „tröpfchenförmiges“ Bitumen eingelagert, so dass diese Bahnen eine sehr hohe Flexibilität aufweisen. Durch den Ethylenanteil wird ein homogenes Bahnenprodukt mit wesentlich verbesserten Eigenschaften hinsichtlich der langfristigen Dichtigkeit, der Beständigkeit sowie der prüfbaren Schweißbarkeit im Vergleich zu reinen Bitumenbahnen erreicht. Das Material hatte weit verbreitete Anwendung in unseren Deponien. Nichtsdestotrotz bleibt durch den Bitumenanteil immer eine wenig prüfbare Komponente im Bahnenmaterial enthalten.

Auch EPDM-Dichtungsbahnen für Abdichtungen kamen bereits vor mehr als 40 Jahren zum Einsatz. Vorteil der Bahnen ist die enorme Glattlage und die äußerst geringe thermische Längenausdehnung. Im Deponiebau haben diese Bahnen in Deutschland keine weite Verbreitung erfahren, sie werden aber in vielen Ländern für Oberflächenabdichtungen, für Speicherung von Wasser oder auch für Kanalabdichtungen eingesetzt. Die chemische Beständigkeit gegenüber Deponiesickerwasser ist generell sehr gering.

Die erste PEHD-Dichtungsbahn wurde 1967 in Südafrika produziert – mit 12 m Breite, aber nur 0.5 mm Dicke.



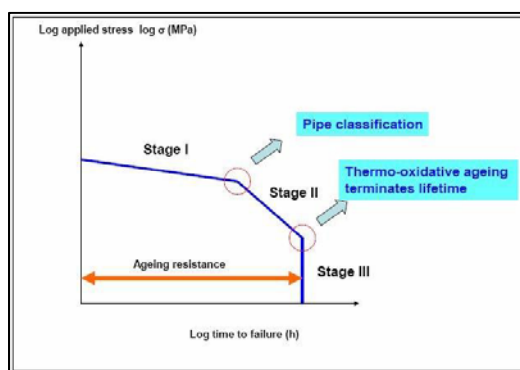
Quelle: Geoafrika 2009

In Deutschland wurde die erste PEHD-Dichtungsbahn 1972 produziert. Bevor sie als Abdichtungselement für Deponien anerkannt wurden, wurden diese Bahnen für die Lagerung von Wasser bzw. im Bereich des Grundwasserschutzes ausserhalb von Deponien verwendet. Nach anfänglichen Diskussionen, ob eine "künstliche" Dichtungsbahn als Alternative zu mineralischen Abdichtungsmaterialien eingesetzt werden können, haben die frühen Untersuchungen der BAM und des SKZ vor 30 Jahren deutlich gemacht, dass PEHD-Dichtungsbahnen ein hervorragendes Abdichtungselement gegenüber Deponiesickerwasser darstellen. Im Vergleich zu allen anderen oben genannten Werkstoffen haben sie wesentliche Vorteile hinsichtlich der chemischen Beständigkeit und sehr geringe Permeationsraten z. B. gegenüber Chlorkohlenwasserstoffen.

Die Untersuchung der Permeationsraten haben dann zur Entwicklung von 2.5 mm dicken PEHD-Dichtungsbahnen beigetragen, da in den Langzeitprüfungen ermittelt wurde, dass die Permeationsraten mit zunehmender Dicke überproportional abnimmt. Weiterhin haben diese Untersuchungen zur Entwicklung der klassischen Kombinationsabdichtung - bestehend aus einer mineralischen Dichtschicht und einer polymeren Dichtungsbahn - geführt.

2.2 PEHD-Dichtungsbahnen

Aus der Dachabdichtung sowie der Abdichtung kleinerer Wasserbaumaßnahmen waren die Werkstoffe Polyethylen, PVC und ECB am bekanntesten. Daraus entwickelte sich der Trend, auch bei Deponieabdichtungen vorerst auf diese Werkstoffe zurückzugreifen. Sehr bald hat man jedoch erkannt, dass gegenüber weich gemachten und modifizierten Materialien der Werkstoff Polyethylen einen deutlichen Vorteil bietet. Die erste PE Dichtungsbahnen wurden konsequenterweise daher aus Werkstofftypen hergestellt, die über nachgewiesene Langzeiteigenschaften (im Rohrbereich) verfügten. Bereits in den 30er-Jahren wurden bei der BASF Rohre aus LDPE hergestellt und sind seitdem im Zeitstandinnendruckversuch im Einsatz. Bei diesem Prüfverfahren werden Rohre mit Innendruck beaufschlagt und über verschiedene Temperaturstufen im Zeitrafferverfahren bis zum Versagen geprüft. Über die Gleichung nach Arrhenius ist man in der Lage, eine entsprechende Langzeit-Aussage für eine Lebensdauerabschätzung zu treffen.



Quelle: Hessel-Ingenieurtechnik

Die Nachteile der aus diesen PEHD-Werkstofftypen hergestellten Dichtungsbahnen waren ihre relativ hohe Steifigkeit aufgrund der damals üblichen hohen Dichte von PE, um auch eine entsprechend hohe chemische Widerstandsfähigkeit zu erreichen. Werkstoffe mit hoher Kristallinität wurden vorerst favourisiert, da sie auch hinsichtlich einer geringeren Permeation von Vorteil erschienen. Die Spannungsrisssbeständigkeit stand noch nicht im Focus. So kam

es denn auch zum vorzeitigen Versagen erster PEHD-Dichtungsbahnen – zwar mit sehr guter chemischer Beständigkeit, aber eben geringen Spannungsrißbeständigkeit.

Erst in den späten achtziger Jahren gelangt durch die Entwicklung bimodaler PE Werkstoffe eine mehr oder weniger anwendungsgerechte Konfiguration der Werkstofftypen. Erstmals war es dann möglich, neben den klassischen Kriterien Dichte, Zeitstand-Innendruckfestigkeit und Schmelzindex auch Kriterien hinsichtlich des langsamen und schnellen Rißwachstums in die Werkstoffentwicklung ein zu bauen. Dadurch war es nun möglich, PE-Werkstoffe für die einzelnen Ansprüche maßgeschneidert – also auch für Dichtungsbahnen – zu entwickeln.

Die Weiterentwicklung von Polyethylen-Werkstoffen für flexible Abdichtungsbahnen hat zu deren weitverbreiteten Anwendung in allen Bereichen des Grundwasserschutzes geführt. Hier sei aber nicht zu vergessen, dass nicht nur der Werkstoff selbst, sondern auch die Schweißnahtqualität und deren Prüfbarkeit zu der weltweiten Erfolgsgeschichte beigetragen haben.

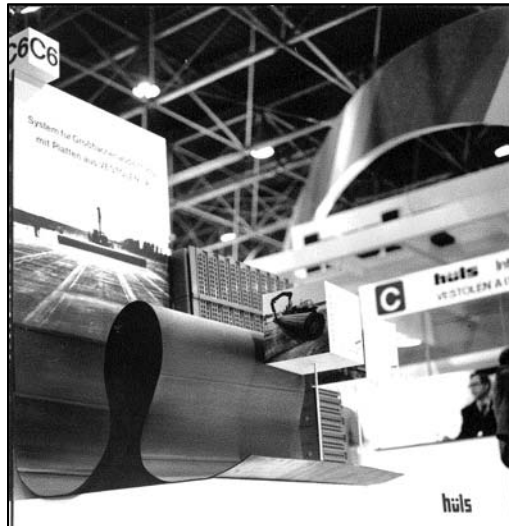
3. Herstellungsverfahren

3.1 Web-Extrusionsverfahren

Vielen sind die Begriffe PEX und SEX noch bekannt- parallel oder senkrecht zur Produktionsrichtung. PEX stellt dabei den heutigen Begriff MD – in Maschinenrichtung und PEX den Begriff CMD - quer zur Maschinenrichtung dar. Diese Begriffe stammen aus der Zeit des „Web-Extrusionsverfahrens“.

Zuerst wurde das plastifizierte Material bahnenweise in einer Breite von etwa 60 cm auf eine vorgeheizte Trommel aufgetragen/extrudiert und durch sogenannte Haubenheizungen so lange oberhalb des Schmelzpunktes gehalten, bis der Extruder die nächste Bahn angeschlossen war. Dabei liefen die Bahnenkanten ineinander und es entstand die Dichtungsbahn.

Im Bereich der produktionsbedingten Fließmarkierung war der Dickensprung mit maximal 0.7 mm definiert.



Quelle: GSE Lining Technology GmbH

Diese Dichtungsbahnen mit einer Gesamtbreite von 10 m sind bei vielen Deponiebaumaßnahmen, aber auch für freiliegende Beckenauskleidungen verwendet worden und sogar in der Freibewitterung bis heute erfolgreich im Einsatz.

3.2 Blasfolienextrusion

Das Blasfolienverfahren wurde speziell zur Herstellung von dünnen Folien, vor allem in der Verpackungsindustrie entwickelt. Dabei wird das im Extruder plastifizierte Polymer über eine Ringdüse vertikal nach oben „geblasen“. Auf der Innenseite wird das zum Schlauch geblasene Material über eine kurze Strecke gestützt z. B. durch einen Stahlzylinder oder durch Luftdruck. Die ringförmig extrudierte Bahn wird ca. 25 m in die Höhe geführt, dort umgelenkt, aufgeschnitten und die nun entstandene Bahn wieder nach unten geführt und zur Rolle aufgewickelt.



Quelle: GSE Lining Technology GmbH

Dieses Verfahren lässt die Herstellung von Produkten mit sehr dünnen Wanddicken zu, die mittels Flachfolienextrusion nicht hergestellt werden können. Dies lässt auch erkennen, warum ausserhalb von Europa Dichtungsbahnen zumeist mittels Blasfolienextrusion hergestellt werden, während gerade im deutschsprachigen Raum auf Grund der Forderung nach 2.5 mm dicken Dichtungsbahnen (seit einigen Jahren auch 3 mm) die Flachfolienextrusion als Herstellungsmethode dominiert.

3.3 Flachfolienextrusion/-kalandrierung

Von der PVC Kalandrierung von Bahnen (z. B. Fußbodenbelägen) kommend wurde parallel zur Blasfolienextrusion ein Verfahren entwickelt, dass die Vorteile der klassischen Extrusion mit der Kalandrierung verbinden. Bestandteile einer derartigen Fertigungsanlage sind ein Ein- oder Doppelschneckenextruder, der eine gleichmäßige Aufschmelzung und Homogenisierung des PE Werkstoffes ermöglicht. Nachgeschaltet ist eine Flachdüse bis zu einer Breite von 9 m, mit der eine gleichmäßige Verteilung der Formmasse auf die gewünschte Bahnenbreite erreicht wird. Unmittelbar danach ist ein zumeist aus 3 Walzen bestehende Kalandrierer geschaltet, bei dem einerseits die Bahnen gibt nochmals endkalibriert wird und andererseits eine unmittelbare Abkühlung des Extrudates erfolgt.



Quelle: GSE Lining Technology GmbH

Vorteile dieses Verfahrens sind die Möglichkeit zur Herstellung größerer Bahndicken und die gleichzeitige Einhaltung enger Dickentoleranzen.

4. Bahnenbreiten

Die erste Dichtungsbahn wurde wie bereits geschrieben, mit einer Breite von 12 m hergestellt, hatte aber nur eine Dicke von 0.5 mm. Bereits 1973 wurden Dichtungsbahnen mit 10 m Breite hergestellt. Mit Entwicklung der Flachfolienextrusion wurden anfänglich 2m breite Bahnen hergestellt, hin über die Entwicklung von 4 und 5 m breiten Bahnen. Heute haben sich vielfältig Produktionsbreiten von 7 m bis hin zu 9 m durchgesetzt um den Anteil der Schweißnähte zu reduzieren und damit die Systemsicherheit zu erhöhen. Dem Hersteller stellt sich bei solchen Breiten immer die Herausforderung eine gleichmäßige Produktqualität auch über eine große Breite herzustellen. Dem Anwender auf der Deponie stellt sich die Herausforderung des praktischen Handlings auf der Baustelle.

5. Entwicklung strukturierter Oberflächen

5.1 Geprägte Strukturen

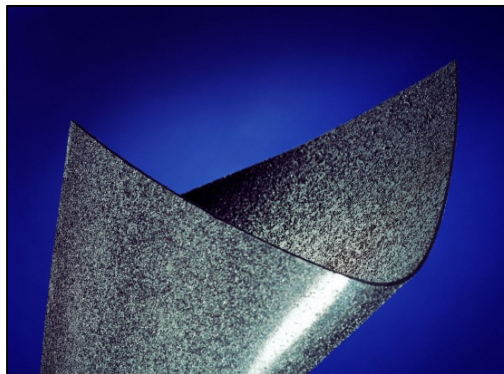
Parallel zur Entwicklung der Flachfolienextrusion/-kalandrierung bei Kunststoffdichtungsbahnen wurde auch die Ausprägung von Oberflächenstrukturen vorangetrieben. Dabei werden in den Kalandrierwalzen – wie oben beschrieben – die Negativformen der gewünschten Oberflächenstruktur mittels Bohren, Fräsen oder Erodieren eingearbeitet. Durch den Abdruck dieser Struktur in das noch weiche Material bei der Extrusion wird die endgültige Form der Oberfläche bestimmt. Entscheidend dabei ist neben der exakten Abstimmung der Walzengeometrie auch die unterschiedliche Ausprägung der Struktur an der Bahnenober- bzw. Unterseite, um in der Einbaulage eine sichere Ableitung der hangabwärts gerichteten Kräfte zu gewährleisten.



Quelle: GlobalSynthetics, Australia

5.2 Aufgetragene Strukturen/ Sprühstrukturen

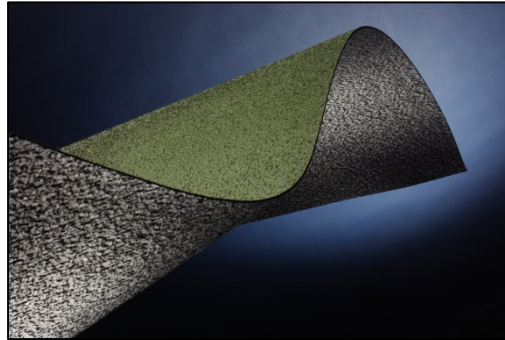
Bahnen mit Sprühstruktur wurden erstmals zu Beginn der 90er Jahre hergestellt. Dabei war für Basisabdichtungen eine erhöhte Reibung nur für einen begrenzten Zeitraum benötigt, nämlich bis der Auffangraum befüllt und das System in sich stabil war. Für Oberflächenabdichtungen, bei denen die langfristige Standsicherheit unter der Einwirkung von Normallast und Scherlast gewährleistet sein muss, waren dann weitaus höhere Anforderungen an die Struktur- nämlich die Dauerhaftigkeit und der dauerhafte Verbund zur Dichtungsbahn selbst - gestellt. Auch hier hat die Pionierarbeit der BAM wesentlich zur Entwicklung beigetragen.



Quelle: GSE Lining Technology GmbH

5.3 Texturierte Strukturen

In der Blasfolientechnologie wurden schon 1986 co-extrudierte Bahnen mit rauer Oberflächenstruktur hergestellt. Hierbei werden 3 Lagen Material gleichzeitig extrudiert. Durch Zufuhr von Stickstoff in die Außenlagen werden Blasen erzeugt die beim Aufplatzen die kantige Struktur erzeugen. Durch diesen Prozess lassen sich Dichtungsbahnen mit sehr rauer Struktur aber auch mit gemäßigter Struktur herstellen.



Quelle: GSE Lining Technology GmbH

Auch die Entwicklung des Regelwerkes hat die Entwicklung geprägter Strukturen entscheidend beeinflusst. Während man ursprünglich versuchte, durch massive Ausprägungen eine möglichst hohe Scherfestigkeit zwischen Kunststoffdichtungsbahn und der mineralischen Dichtschicht zu erreichen, musste man feststellen, dass derartige Oberflächenstrukturen zu erheblichen Schwächung der Bahnen hinsichtlich ihres Zeitstandverhaltens führen. Die Folge waren neuartige, weniger ausgeprägte, aber intensiv verteilte Strukturelemente, die auch dem Anwendungsfall in der Deponieoberfläche besser gerecht wurden.

6. Entwicklung der Regelwerke

6.1 Deutsche Normen

Die DIN-Normenreihe 16726 und die sogenannten „Stoffnormen“ 16729 bis 16739 fanden in den 80er Jahren breite Anwendung. Die DIN 16726 ist auch heute noch aktuell. Es werden die Prüfverfahren für Abdichtungsbahnen beschrieben. Die Anforderungen an die Dichtungsbahntypen waren in den „Stoffnormen“ festgelegt. Insbesondere für die Arbeit im Prüflabor waren diese Normen sehr hilfreich. Die DIN 16739 für Polyethylenbahnen wurde

leider nie fertiggestellt und außer der DIN 16726 ist keine dieser Normen mehr gültig. Das Expertenwissen aus diesen Jahren ist aber heute noch Bestandteil vieler Spezifikationen und auch im internationalen Normungskreis immer wieder anzutreffen.

6.2 Europäische Anwendungsnormen für Dichtungsbahnen

Heute sind Dichtungsbahnen CE-gekennzeichnet. Grundlage dafür ist die Bauproduktenverordnung, die vorsieht, dass Produkte im europäischen Handel entsprechend geprüft und gekennzeichnet werden müssen, um deren sicheren und gebrauchstauglichen Einsatz zu gewährleisten.

Um dieser Forderung gerecht zu werden, wurden sog. Anwendungsnormen auf europäischer Ebene (EN) für Geokunststoffe, also auch für Dichtungsbahnen entwickelt. Diese Anwendungsnormen legen fest, welche Eigenschaften für den vorgesehenen Einsatz relevant sind, um Produkte hinsichtlich wesentlicher Merkmale zu charakterisieren bzw. vergleichen zu können (Harmonisierung). Die Kennwerte selbst bzw. deren Höhe wird in diesen Normen im Wesentlichen nicht geregelt. Nichtsdestotrotz ist es Pflicht des Herstellers, auf Grundlage dieser Normen und der darin geregelten Prüfung in einer Leistungserklärung zum Produkt dessen Dauerhaftigkeit anzugeben. Die Dauerhaftigkeit wird aber nicht unter Anwendungsbedingungen geprüft, sondern lediglich in simplen Indextests, die keine konkrete Aussage für einen speziellen Anwendungsfall liefern.

Daher sind nach wie vor die Anforderungen der BAM oder auch der LAGA-Vorschriften für Deponiebauwerke zu berücksichtigen, denn erst diese erlauben es, ein Produkt hinsichtlich seiner langfristigen Funktionstauglichkeit im konkreten Anwendungsfall zu beurteilen.

6.3 Nationale Regelwerke und Güterichtlinien für Deponien

Als „Urmeter“ der einschlägigen Richtlinien und Normen kann die im Jahr 1985 vom Landesamt für Wasser und Abfall des Landes Nordrhein-Westfalen herausgegebene Richtlinie für Deponiebasisabdichtungen aus Dichtungsbahnen angesehen werden. Diese „NRW-Richtlinie“ ist letztlich Basis für die aufbauende Richtlinienarbeit, die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) federführend weiter gestaltet wurde. In vielen Vorträgen bei den vergangenen 29 Deponietagungen sorgten die Berichte über diese Richtlinienarbeit für durchaus angeregte Diskussionen.

Die rechtliche Grundlage für die Festlegung der Mindeststandards für Kunststoffdichtungsbahnen und andere geosynthetische Produkte im Deponiebau bildet die TA Abfall von 1990 bzw. die TA Siedlungsabfall, die im Jahr 1993 Rechtsverbindlichkeit erlangte. Über entsprechende Erlässe wurde die BAM ermächtigt, ein entsprechendes Richtlinienwerk zu erstellen, das die gesamte qualitätsrelevante Lieferkette vom Rohstoff über die Herstellung, die Produktprüfung selbst sowie die kontrollierte und ordnungsgemäße Verlegung und Fremdprüfung vor Ort umfasst. Mit Hilfe von Industrie- und Behördenvertretern im BAM-Fachbeirat ist ein Regelwerk entstanden, das zweifellos einzigartig ist und einen Qualitätsstandard darstellt, der dem Gefährdungspotential derartige Lagerstätten gerecht wird.

6.3.1 AK-GWS

Dem Mitveranstalter und Motor dieser Tagung ist es zu verdanken, dass neben der gesetzlich festgelegten Regeln ein Qualitätssicherungskonzept auf freiwilliger Basis entstanden ist, das ebenfalls als außergewöhnlich gelten kann. Dem Vereinszweck folgend wurde bereits frühzeitig erkannt, dass es eben nicht genügt, am Ende einer Baumaßnahme eine halbwegs dichte Abdichtung zu übergeben. Systematisches Qualitätsmanagement, Schulung der Mitarbeiter, kritische Eigenüberwachung und vorbeugende Maschinenwartung waren Themen, die dem traditionellen Baubetrieb anfangs nur sehr schwer zu vermitteln waren. Durch konsequente Bewußtseinsbildung ist es aber gelungen, bei allen Mitgliedsbetrieben einen Standard zu schaffen, der einerseits der Bedeutung des Bauwerkes gerecht wird und andererseits europaweit einzigartig ist.