

Deponieoberflächenabdichtung in Deutschland – von den Anfängen bis zur Deponieverordnung

Dr. habil. Stefan Melchior
melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg
www.mplusw.de

Inhalt

1	Vorbemerkung.....	2
2	Die Anfänge	2
3	Geregelte Verhältnisse in untergesetzlichen technischen Anleitungen	3
4	Lehrjahre.....	5
4.1	Testfelder mit tonhaltigen mineralischen Abdichtungen.....	5
4.2	Entwicklung „alternativer Dichtungen“	6
4.2.1	Kapillarsperre	6
4.2.2	Wasserglasvergütete Dichtung und Chemoton	6
4.2.3	Mineralgemische und Trockeneinbau (Bentokies, Dywidag-Trockendichtung).....	7
4.2.4	Trisoplast.....	7
4.2.5	Bentonitmatten.....	8
4.2.6	Asphalt	9
4.3	Geoelektrischen Kontrollsysteme für die Kunststoffdichtungsbahn.....	9
5	Bauaufsichtliche Zulassungen des DIBt	9
6	Von der Dichtung zum System	11
6.1	Mineralische Entwässerungsschicht und Kunststoff-Dränelemente	11
6.2	Qualifizierte Rekultivierungsschicht und Bewuchs	12
6.3	Wasserhaushaltsschicht.....	12
7	Die gesetzlich verordneten Oberflächenabdichtungssysteme.....	13
8	Stand der Technik, Verhältnismäßigkeit und Nachhaltigkeit	16
9	Literatur	19

1 Vorbemerkung

Seit rund 30 Jahren werden in Deutschland Deponien und Altlasten mit Oberflächenabdichtungssystemen gesichert. In dieser Zeit wurden Oberflächenabdichtungen entwickelt, durch Naturwissenschaftler und Ingenieure untersucht und immer besser als technische Systeme verstanden, die sehr komplexen physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen ausgesetzt sind. Gleichzeitig haben sich die gesellschaftlichen und umweltpolitischen Prioritäten verändert. Wie gehen wir mit unseren Ressourcen um? Welche Gefahren gehen von Deponien im Vergleich zu anderen Anlagen und Umweltrisiken tatsächlich aus und wieviel ist uns die Sanierung oder Sicherung von Deponien und Altlasten wert? Wer muss welche Maßnahmen wann finanzieren und wer profitiert wovon? Wo kann man Geld sparen und wo wird am falschen Ende gespart? All diese Fragen und die unterschiedlichen Interessen haben auf die rechtlichen Vorschriften und die technischen Regelwerke eingewirkt und beeinflussen deren Fortschreibung.

In einem kurzen Text kann die Entwicklung der letzten 30 Jahre nur in den wichtigsten Facetten zusammengefasst und mit Literaturzitate ergänzt werden, wobei die Entscheidung, welche Facette und welche Studie wirklich wichtig ist, erstens natürlich vor dem Hintergrund des aktuellen Zeitgeists und selbstredend durch den Autor subjektiv auf der Grundlage seiner persönlichen Erfahrungen getroffen wird. Der Autor bedankt sich für die vielen interessanten und teils leidenschaftlichen Diskussionen in den vielen Jahren und entschuldigt sich bei den Kolleginnen und Kollegen, deren Themen und Fachbeiträge in diesem Aufsatz vielleicht zu kurz kommen.

2 Die Anfänge

Im Zuge der Industrialisierung und insbesondere in der Zeit des Wirtschaftswunders nach dem zweiten Weltkrieg bis in die 1980er Jahre wurde Müll weitgehend achtlos, unsortiert und ungesichert in wilde Müllkippen gebracht und dort unkontrolliert sich selbst überlassen. Häufig wurden alte Steinbrüche, Kiesgruben oder Tagebaurestlöcher mit Müll verfüllt. Brände, Gestank, Müllflug und Sickerwasseraustritte waren die sichtbaren Folgen. Mit wachsendem Umweltbewusstsein der Gesellschaft begann die Geschichte der Deponieabdichtung und sie begann an der Deponiebasis mit dem Ziel, die Verlagerung von umweltgefährdenden Stoffen aus der Deponie ins Grundwasser zu unterbinden (siehe z. B. Schenkel, 1976). Als Basisdichtung wurde zunächst Lehm und Ton sowie später auch unterschiedliche polymere oder bituminöse Folien verwendet. Anfang der 1980er Jahre wurde dann die Kombinationsdichtung als Verbund aus Kunststoffdichtungsbahn (KDB) aus PEHD als langzeitbeständige Konvektionssperre nach „BAM-Standard“ und schadstoffrückhaltender Tondichtung entwickelt (Knipschild 1985, August et al. 1986, Düllmann 1987, Steffen 1990). Die Kombinationsdichtung hat sich für die Basisabdichtung bis heute bewährt und gilt unverändert als Stand der Technik.

Schnell wurde klar, dass das Sickerwasser aus unvorbehandelten und gemischt abgelagerten Abfällen nicht nur an der Basis aufwändig gefasst, sondern möglichst frühzeitig schon in seiner Entstehung verringert werden sollte. Spätestens nachdem die ersten Fälle öffentlichkeitswirksam wurden, bei denen Austritte von toxischen Sickerwässern an den Böschungen von Deponien festgestellt wurden, wurde die Oberflächenabdichtung von Deponien als notwendige Maßnahme des Deponieabschlusses gefordert. Ein wegweisender Schritt hierzu war der von Stief 1986 veröffentlichte Beitrag „Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien“, in dem die Oberflächenabdichtung neben dem Standort (geologische Barriere), dem Abfall, der Basisabdichtung, der Überwachung und der Nachsorge als eine der erforderlichen Barrieren definiert wurde.

Aufgrund fehlender Erfahrungen wurden für die ersten Oberflächenabdichtungen die für die Deponiebasis entwickelten technischen Konzepte bemüht. Mineralische Oberflächenabdichtungen aus Lehm oder Ton waren unumstritten und galten als „in geologischen Zeiträumen beständig“. Anders die Einschätzung der Kunststoffdichtungsbahn, die vielen als „dünne Plastikfolie“ doch recht suspekt war. Dies drückte sich z. B. darin aus, dass die Kombinationsdichtung, mit der die Sondermülldeponie Hamburg-Georgswerder ab 1985 an ihrer Oberfläche abgedichtet wurde, in den offiziellen und veröffentlichten Dokumenten nicht als Kombinationsabdichtung bezeichnet wurde. Die Dichtung wurde der Öffentlichkeit vielmehr als mineralische Dichtung aus Geschiebemergel mit einer „bedeckenden Wurzel- und Nagetiersperre“ aus 1,5 mm PEHD präsentiert. Einige Jahre später war man in Hamburg sehr froh, die Wurzel- und Nagetiersperre auf den Geschiebemergel gelegt zu haben, erwies sich die KDB doch als die eigentlich wirksame Dichtungskomponente. Dass an der Oberfläche einer Deponie andere Milieubedingungen herrschen und andere Prozesse auf die Abdichtung einwirken als an deren Basis, war bei der Übertragung der Basisabdichtungssysteme in die Oberflächenabdichtung Mitte der 1980er Jahre nicht bedacht worden.

3 Geregelte Verhältnisse in untergesetzlichen technischen Anleitungen

Anfang der 1990er Jahre wurden die beiden untergesetzlichen Regelwerke TA Abfall (1991) und TA Siedlungsabfall (1993) als maßgebliche Grundlage für das behördliche Handeln verabschiedet. In diesen Regelwerken des Abfallrechts wurden erstmals Anforderungen an die Oberflächenabdichtung gestellt. Eine Vorgabe, wieviel Wasser durch ein Oberflächenabdichtungssystem versickern darf, sucht man in den Regelwerken vergeblich. Der Gesetzgeber entschied sich vielmehr dazu, den technischen Aufbau von Oberflächenabdichtungssystemen für die unterschiedlichen Deponieklassen im Detail vorzuschreiben, obwohl es seinerzeit noch keine langjährigen Erfahrungen zur Wirksamkeit und Beständigkeit unterschiedlicher Systeme gab. Für die Oberflächenabdichtung von Deponien der Klasse I (TA-Si) wurde eine rein mineralische Abdichtung ohne KDB für ausreichend erachtet. Deponien der Klassen II (TA-Si) und III (TA-A) sollten mit Kombinationsabdichtungen aus KDB und mineralischer Abdichtung oberflächengedichtet werden, DK III zusätzlich mit Dichtungskontrolleinrichtung (siehe Bild 1). TA-A und TA-Si legten zudem die Mindestdicke der Komponenten

Rekultivierungsschicht ($d \geq 1,0 \text{ m}$), Entwässerungsschicht ($d \geq 0,3 \text{ m}$), Dichtung (mineralische Dichtung $d \geq 0,5 \text{ m}$, KDB $d \geq 2,5 \text{ mm}$) und Dichtungsaufleger ($d \geq 0,5 \text{ m}$) fest und stellen Anforderungen an die Mindestdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht ($k_f \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) sowie den maximal zulässigen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert der mineralischen Dichtung ($k_f \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$). Im Anhang E der TA Abfall wurden die Material- und Prüfanforderungen bei der Herstellung von Deponieabdichtungssystemen umfangreich geregelt. Spezielle Eignungsuntersuchungen zur Langzeitbeständigkeit der Komponenten wurden seinerzeit allerdings noch nicht gefordert, sondern vorausgesetzt. Alternative mineralische Dichtungen waren für die Deponien der Klassen I und II nach TA Siedlungsabfall bei Nachweis ihrer Gleichwertigkeit zulässig, wobei der Vergleichsmaßstab, die Wertigkeit der mineralischen Regeldichtung, durch den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nur indirekt und aufgrund fehlender Angaben zum hydraulischen Gradienten, zur anzusetzenden Dränspende und zur erforderlichen Beständigkeit unpräzise beschrieben wurde.

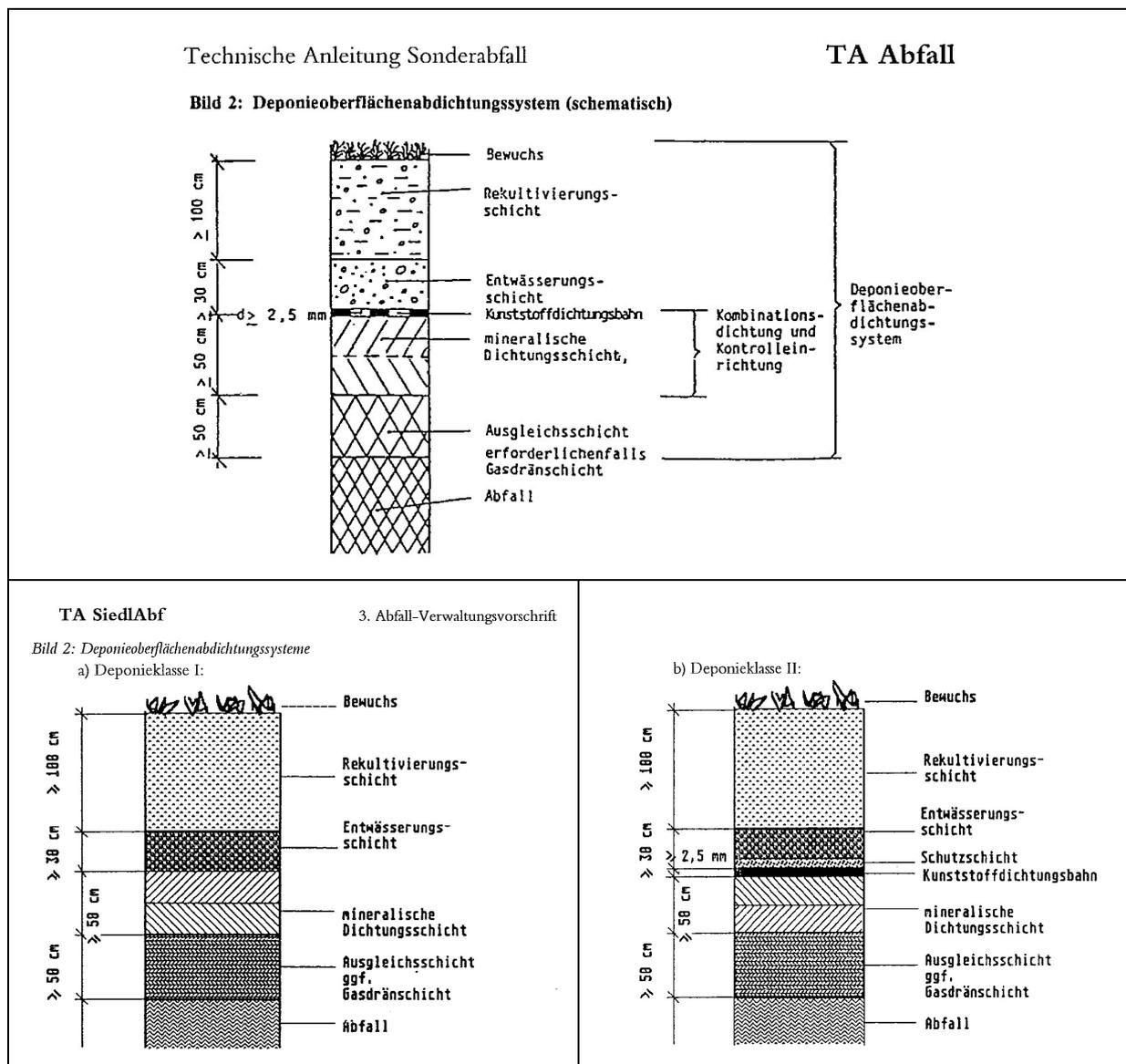


Bild 1 Regelsysteme nach TA Abfall (1991) und TA Siedlungsabfall (19939)

4 Lehrjahre

Die sehr detaillierte Vorgabe des konstruktiven Aufbaus der „Regelsysteme“ der TA Abfall (1991) und der TA Siedlungsabfall (1993) anstatt der Vorgabe der zu erzielenden Abdichtungswirkung verwundert rückblickend nicht nur, weil seinerzeit noch keine gesicherten Kenntnisse zur Wirksamkeit und Beständigkeit der festgeschriebenen Regelsysteme vorlagen, sondern auch, weil derartige Untersuchungen an verschiedenen Systemen und Standorten schon in der Durchführung waren und deren Ergebnisse nicht abgewartet wurden. In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre wurden im Zusammenhang mit der Sanierung der großen Sonderabfalldeponien Malsch, Gerolsheim und Hamburg-Georgswerder umfangreiche und durch das BMFT und Landesbehörden öffentlich finanzierte Verbundforschungsprojekte begonnen und in den 1990er Jahren durch das BMBF-Verbundvorhaben „Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen“ unter der Leitung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) ergänzt.

Auf vielen Deponien wurden Testfelder zur Untersuchung der Wirksamkeit und Beständigkeit von Oberflächenabdichtungssystemen angelegt. Die vielseitigsten, am besten ausgestatteten und am längsten betriebenen Testfeldanlagen befinden sich auf den Deponien Hamburg-Georgswerder (Melchior 1993), bei der Dillinger Hütte (Wolsfeld 2005) und auf der Deponie Deetz (Brücklmeier et al. 2003). Andere Testfelder hatten ihren Schwerpunkt auf bestimmten Systeme oder Systemkomponenten: Kapillarsperren auf den Deponien Am Stempel (Jelinek 1997), Karlsruhe-West (Zischak 1997) und Bayreuth (Wohnlich & Barth 2003), Metha-Material auf der Deponie Francop (Tresselt 2000), mineralische Dichtung auf der Deponie Im Dienstfeld (Henken-Mellies 2001), Bentonitmatten auf der Deponie Nadelwitz (Müller et al. 2006) sowie Rekultivierungsschichten auf der Deponie Leonberg (Wattendorf et al. 2005).

4.1 Testfelder mit tonhaltigen mineralischen Abdichtungen

Erste Testfelder zur Untersuchung des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungssystemen wurden auf der Deponie Dreieich-Buchsschlag hergestellt und von Wohnlich (1987) untersucht. Urban (1987) betreute ähnliche Testfelder auf der Deponie Gerolsheim. Beide Untersuchungen lieferten erste Erkenntnisse zum Wasserhaushalt der Systeme, litten jedoch unter messtechnischen und konstruktiven Schwierigkeiten und wurden nicht sehr lange betrieben. 1987 begann eine weitere Felduntersuchung auf der Deponie Hamburg-Georgswerder. Dort wurden durch die Universität Hamburg im Teilvorhaben 7 des BMBF-Verbundvorhabens „Neue Verfahren und Methoden zur Sanierung von Altlasten am Beispiel der Deponie Georgswerder“ sechs große Testfelder hergestellt, in denen mineralische Dichtungen aus Geschiebemergel, Kombinationsabdichtungen aus KDB über Geschiebemergel sowie erstmals in Deutschland auch eine Kapillarsperre untersucht wurden. Dabei zeigte sich, dass die untersuchten bindigen mineralischen Dichtungen aus Geschiebemergel innerhalb weniger Jahre durch Austrocknung, Durchwurzelung und Schrumpfrissbildung versagten (Melchior 1993, Melchior et al. 1994). Die in drei Testfeldern untersuchten Kombinations-

dichtungen funktionieren demgegenüber noch immer und werden weiter im Rahmen der Nachsorge der Deponie überwacht (Melchior et al. 2010).

Diese neuen und unerwarteten Erkenntnisse zur Rissempfindlichkeit mineralischer Dichtungen wurden in der Fachöffentlichkeit sehr leidenschaftlich und kontrovers diskutiert. Nach einigen Jahren und ähnlichen Befunden auf anderen Deponien (z. B. Maier-Harth & Melchior 2001) wurde jedoch allgemein und nicht nur in Deutschland anerkannt, dass die Untersuchungsergebnisse an den Geschiebemergeldichtungen der Testfelder Georgswerder keine irrelevanten Einzelfälle sind, sondern mit Austrocknung, Durchwurzelung und Schrumpfung schädliche Einwirkungen auf tonhaltige mineralische Dichtungen erstmals nachgewiesen wurden, die an vielen Standorten wirken und entsprechende Dichtungen schädigen können (siehe hierzu auch diverse Beiträge in Ramke et al. 2002).

4.2 Entwicklung „alternativer Dichtungen“

Diese Situation führte in den 1990er Jahren geradezu zu einem „Boom“ an alternativen mineralischen Abdichtungen (Kapillarsperre, wasserglasvergütete Dichtung, Chemoton, Bentokies, Trockendichtung, Bentonitmatte, Trisoplast), die als langfristig wirksamerer oder wirtschaftlicherer Ersatz der mineralischen Dichtung propagiert wurden. Dichtungen aus Asphalt wurden als Alternative zur Kunststoffdichtungsbahn diskutiert.

4.2.1 Kapillarsperre

Die Leistungsfähigkeit und Dimensionierung von Kapillarsperren wurden in großen Kipprinnen an der Technischen Universität Darmstadt (von der Hude et al. 1994, von der Hude 1999) und an der Universität Hamburg (Steinert 1999) untersucht. Die ersten Testfelder mit Kapillarsperren wurden auf der Deponie Hamburg-Georgswerder (Melchior 1993), auf der Deponie „Am Stempel“ (Jelinek 1997) und auf der Deponie Karlsruhe-West (Zischak 1997) hergestellt. Später folgten weitere Testfelduntersuchungen u. a. auf den Deponien Monte Scherbelino (Jelinek & von der Hude 1994), Esch-Belval (Schnatmeyer 1998), Breinermoor (von der Hude et al. 2001), Bayreuth (Barth 2003) und Deetz (Brücklmeier et al. 2003, Melchior, Steinert & Raabe 2010).

Die Wirksamkeit und Beständigkeit von Kapillarsperren ist durch die große Anzahl an Grundlagenstudien und Felduntersuchungen gut bekannt. Die Systeme können standortbezogen bemessen und auf ihre Eignung geprüft werden. Da sich der Einsatz von Kapillarsperren auf die Abdichtung von Böschungen beschränkt und die Wasserfassung aus Kapillarsperren auf langen Böschungen aufwändig ist, stellen Kapillarsperren trotz des guten Kenntnisstandes ein zwar erprobtes, aber insgesamt eher selten eingesetztes System dar. Steinert & Melchior (2011) geben einen Überblick über den aktuellen Stand.

4.2.2 Wasserglasvergütete Dichtung und Chemoton

Bereits sehr früh wurde versucht, die Dichtwirksamkeit von Lehmen durch die Zugabe von Wasserglas zu verbessern (Belouschek & Kügler 1993). Die pulverförmige Wasserglasver-

gütung wurde von den Protagonisten dieses Systems jedoch häufig mit der Verwertung von Abfällen verbunden, ohne die Zusammensetzung des Gemisches aus Boden und Abfall genau im Sinne einer Rezeptur zu beschreiben und offen zu legen. Mangels Standardrezeptur, belastbarer Langzeitstudien und aufgrund befürchteter Probleme bezüglich der Genehmigungsfähigkeit der abfallhaltigen Dichtung konnte sich die Wasserglasvergütung letztlich nicht durchsetzen.

Das System Chemoton beruht demgegenüber auf der Zugabe eines wasserglashaltigen Hydrosilikatgels und verzichtet auf die Vermischung mit Abfällen. Es erhielt 1998 eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt 1998b). Aus Kostengründen konnte sich das System auf dem Markt jedoch nicht durchsetzen. Düllmann (2007) gibt hierzu einen zusammenfassenden Überblick.

4.2.3 Mineralgemische und Trockeneinbau (Bentokies, Dywidag-Trockendichtung)

Neben den klassischen, auf dem nassen Ast der Proctorkurve eingebauten „Tondichtungen“ wurden bereits in den 1980er und 1990er Jahren tonhaltige mineralische Dichtungen entwickelt und eingesetzt, deren Korngerüst gezielt zusammengestellt und technisch gemischt wurde und die mit Wassergehalten auf dem trockenen Ast der Proctorkurve eingebaut wurden. Bentokies besteht aus gemischtkörnigen Böden, die mit im Vergleich zu Tonen aus natürlichen Lagerstätten geringerem Wassergehalt, jedoch nicht trocken verarbeitet werden. Das Dywidag-Mineralgemisch weist demgegenüber einen gestuften Kornaufbau mit Ausfallkörnungen auf und wird nahezu trocken gemischt. Durch die gewählten Kornaufbauten und eine darauf abgestimmte Einbautechnik werden die Mineralgemische sehr porenarm verdichtet. Beide Verfahren sind jedoch sehr kostenaufwändig. Das auf der Deponie Erbenschwang eingesetzte Dywidag-Mineralgemisch konnte sich daher trotz der 1998 erteilten bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt 1998a) auf dem Markt nicht durchsetzen.

Das von Prof. A. Horn und Mitarbeitern in München entwickelte Konzept des Bentokieses (Horn 1989, Schick 1997, Schick & Gartung 2007) nutzt zum Teil ähnliche Mechanismen wie sie später in Kiel von Prof. R. Horn und Mitarbeitern ins Feld geführt wurden, um der Schrumpfrissbildung in tonhaltigen mineralischen Dichtungen entgegenzuwirken (Junge 1999, Thienemann 1999, Horn 2004). Es ist unstrittig, dass der Einbau auf dem trockenen Ast der Proctorkurve der Schrumpfrissbildung entgegen wirkt. Die technische Umsetzung dieser Verfahren ist jedoch anspruchsvoll (Verdichtungsenergie, Einstellen des Wassergehalts, Gewährleistung des in der Oberflächenabdichtung erforderlichen Verformungsvermögens). Hinsichtlich der Nachweisführung zur Langzeitbeständigkeit besteht noch Forschungsbedarf.

4.2.4 Trisoplast

Auch Trisoplast wird aus definierten Komponenten hergestellt. Trockener Bentonit wird zunächst mit Polymerpulver und anschließend mit Sand vermischt. Das Verfahren wurde in den Niederlanden entwickelt und eingesetzt (Weitz et al. 1997) und kam Ende des letzten Jahr-

hunderts auf den deutschen Markt. Die Landesbehörden gründeten einen Arbeitskreis, der Trisoplast schließlich auf der Grundlage der Erfahrungen in den Niederlanden, ergänzender umfangreicher Untersuchungen zum Austrocknungsverhalten (Steinert et al. 2002) und zur Beständigkeit des Polymers sowie weiterer Labornachweise und dokumentierter Einbauversuche samt Qualitätsmanagementhandbuch für den Einsatz auf den Deponieklassen I bis III positiv beurteilte (AK Trisoplast 2002). Trisoplast hat sich als mineralische Abdichtungskomponente im Deponiebau, insbesondere auf Deponien der Klasse III etabliert. Es liegen umfangreiche Praxiserfahrungen vor, siehe z. B. Melchior (2005).

4.2.5 Bentonitmatten

Die ersten Bentonitmatten wurden zuerst in den U.S.A. entwickelt und kamen von dort auf den europäischen Markt. Deutsche Hersteller entwickelten ihre eigenen Produkte. Als in der Untersuchung der Testfelder auf der Deponie Hamburg-Georgswerder die ersten austrocknungsbedingten Schäden an den nicht durch Kunststoffdichtungsbahnen bedeckten Geschiebemergeldichtungen auftraten, bestand seitens der Hersteller der Bentonitmatten Interesse, die Produkte am Standort Georgswerder zu testen. Aufgrund des Quellvermögens der Bentonite war die Erwartung, dass die Matten in ggf. auftretenden Trockenphasen zwar schrumpfen und rissig werden würden, die Risse sich jedoch nach erneuter Befeuchtung sehr schnell wieder schließen würden. Es wurde ein ausschließlich aus öffentlichen Forschungsmitteln finanziertes Untersuchungsprogramm vereinbart, das die Untersuchung der Bentonitmatten in neuen Testfeldern vorsah, die neben den bereits bestehenden Feldern gebaut wurden. In den mit 1,0 m Boden bedeckten mineralischen Dichtungen war es erst nach sehr trockenen Sommern zu austrocknungsbedingten Schäden gekommen. Um nicht je nach Wetterverlauf ggf. viele Jahre warten zu müssen, bis Trockenstress und Pflanzenwurzeln auf die Matten einwirken, wurde mit den Herstellern im Vorfeld der Untersuchung einvernehmlich vereinbart, die Bentonitmatten in den neuen Testfeldern nur mit 0,5 m Boden zu bedecken. Entgegen der Erwartung zeigten die Bentonitmatten kein sog. „Selbstheilungsvermögen“ und wurden nach der ersten Trockenphase sehr schnell sehr durchlässig. Die Schäden waren irreversibel und auf Austrocknung, Rissbildung, Durchwurzelung und Ionenaustausch zurückzuführen (Melchior 1996 und 1999).

Die Untersuchungsergebnisse von den Bentonitmatteentestfeldern der Deponie Georgswerder fielen genau in die Zeit, in der die Hersteller der Matten bauaufsichtliche Zulassungen für ihre Produkte beim Deutschen Institut für Bautechnik beantragt hatten. Die Messergebnisse in Georgswerder (und deren Urheber) wurden von den Herstellern daher massiv in Frage gestellt und angegriffen. Es wurden Messfehler oder andere Ursachen (Leckagen infolge wühlende Bodentiere o. ä.) für die erhöhten Durchsickerungsraten vermutet. Im Ergebnis der Auseinandersetzung wurden Aufgrabungen der Testfelder vereinbart, die unter Aufsicht des DIBt und unabhängiger Sachverständiger stattfanden und bei denen unterschiedliche Institute Proben für Kontrollprüfungen gewannen (u. a. Röntgenaufnahmen, Durchlässigkeitsversuche, Bestimmung der Ionenbelegung und Austauschkapazität, Bestimmung des Quellvermögens). Die Ergebnisse dieser Aufgrabungen bestätigten in vollem Umfang die Ergebnisse und Hypothesen von Melchior (1996). Die Zulassungen des DIBt (1998c) wurden in der Fol-

ge nach langen Verhandlungen nur unter diversen Auflagen erteilt (Doppellagigkeit, Austrocknungsschutz durch erhöhte Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht, siehe Herold (1998)).

Melchior (2002) fasst die Ergebnisse dieser Testfelduntersuchung abschließend zusammen. Egloffstein (2000) vertiefte die Untersuchung der Auswirkung des Ionenaustausches auf die Wirksamkeit von Bentonitmatten durch Vergleich mit Proben von anderen Standorten und ergänzenden Laborversuchen.

Das Konzept der doppelagigen Verlegung der Bentonitmatten hat sich nicht durchgesetzt, da es die Austrocknung nachweislich nicht verhinderte (Melchior 1999). Da sich an der Konstruktion der Matten seither wenig verändert hat, müssen Bentonitmatten nach wie vor zuverlässig durch mächtige und wasserspeichernde Rekultivierungsschichten (siehe Bild 3) und eine möglichst lange feucht bleibenden Sandschutzschicht oder durch eine bedeckende KDB vor Austrocknung und Durchwurzeln geschützt werden.

4.2.6 Asphalt

Dichtungen aus Asphalt sind im Wasserbau weit verbreitet. Im Deponiebau wurden sie vor allem für die Anwendung in Basisabdichtungen diskutiert, aufgrund ihrer Kosten jedoch nur vereinzelt gebaut. Oberflächenabdichtungen aus Asphalt sind ebenfalls selten. 1996 hat das Deutsche Institut für Bautechnik eine bauaufsichtliche Zulassung für Deponieasphalt für Deponieabdichtungen der Deponieklasse II erteilt (DIBt 1996). Hundhausen (2005) und Egloffstein (2007) geben einen Überblick über Asphaltabdichtungen.

4.3 Geoelektrischen Kontrollsysteme für die Kunststoffdichtungsbahn

Bereits 1991 forderte die TA Abfall für die Oberflächenabdichtung von Deponien der Klasse III ein Dichtungskontrollsystem. Daran hat sich auch im aktuellen Deponierecht nichts geändert. Von den verschiedenen grundsätzlichen Möglichkeiten eines Kontrollsystems (Auffangwannen, Tracergase etc.) hat sich das Verfahren der geoelektrischen Leckageortung durchgesetzt. Rödel & Schwöbken (2004) stellen die Möglichkeiten und verfügbaren Systeme vor. Um die Anforderungen an solche Systeme zu formulieren wurde bei der BAM der AK DKS gegründet, der erstmals 2000 seine Empfehlungen veröffentlicht hat (Fortschreibungen siehe BAM (o.J.)).

5 Bauaufsichtliche Zulassungen des DIBt

Da die TA Siedlungsabfall Regelsysteme oder zu diesen Systemen gleichwertige Systeme gefordert hatte, ohne die Wertigkeit der Regelsysteme genau zu beschreiben, wurden die unteren Abfallbehörden in der Genehmigungspraxis mit technisch-wissenschaftlich sehr komplexen Anträgen zu alternativen Dichtungen konfrontiert. Es bestand Bedarf nach bundeseinheitlichen Regelungen, da die föderale Prüfung auf der unteren Verwaltungsebene für die Verwaltung und die Antragsteller gleichermaßen unerfreulich war. Die Länder beauftrag-

ten daher das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) mit der länderübergreifenden Zulassung alternativer mineralischer Abdichtungen nach Baurecht.

Beherrschendes und sehr kontrovers diskutiertes Hauptthema bei der Erarbeitung der baurechtlichen Zulassungen des DIBt waren die Anforderungen, die zur Sicherung der Langzeitbeständigkeit an den Schutz der mineralischen Abdichtungskomponenten vor Pflanzenwurzeln, Austrocknungsrisssbildung und Ionenaustausch zu stellen sind. Das DIBt entwickelte Grundsätze, nach denen die Eignung der Antragsgegenstände nachzuweisen war. In den DIBt-Grundsätzen wurde versucht, die Anforderungen an die Wirksamkeit der Abdichtung gegenüber TA-A und TA-Si quantitativ zu konkretisieren. Außerdem wurde ein Katalog an Nachweisen und Nachweismethoden zu den Kriterien Dichtwirksamkeit, mechanische Beständigkeit, Langzeitbeständigkeit und Herstellbarkeit entwickelt (DIBt 1995 und 1997).

In der Folge begann eine Art „Wettrüsten“ zwischen Sachverständigen, die Anforderungen an die Beständigkeit stellten, und Herstellern, die meinten diese Anforderungen zu erfüllen oder nicht erfüllen zu müssen. Die Diskussionen wurden kontrovers und mit einer gewissen Heftigkeit geführt. Für die Untersuchung der Langzeitbeständigkeit der Dichtungen gegen die oben genannten Einwirkungen standen jedoch keine allgemein erprobten und wissenschaftlich anerkannten Laborprüfmethoden zur Verfügung, nach denen das Verhalten der Dichtungen unter für die Anwendungspraxis repräsentativen Bedingungen in absehbaren Zeiten hätte untersucht werden können. In einigen Punkten ist dies bis heute so. In der Folge wurden Fallbeispiele aus Freilanduntersuchungen (Testfeldern) herangezogen. Sofern die Dichtungen in den Untersuchungen Schäden zeigten, wurde seitens der Hersteller versucht, nachzuweisen, dass die Untersuchungen entweder fehlerhaft durchgeführt wurden oder aufgrund der jeweils gegebenen Randbedingungen für die bundesweite Praxis irrelevant seien. Sofern dies nicht gelang, wurden andere Fallbeispiele bemüht, in denen keine Schäden auftraten, und die als Grundlage für die Zulassung dienen sollten. Die Sachverständigen forderten daraufhin, dass die beantragte Dichtung nicht nur in einem Fall, sondern bundesweit in allen Fällen funktionieren müsse. Im Ergebnis wurde durch Schutzmaßnahmen mit erhöhtem Aufwand (z. B. größere Dicke der Rekultivierungsschicht) „nachgerüstet“. Um natürliche Prozesse von den Abdichtungen fernzuhalten, wurde der Aufbau des Gesamtsystems aufwändiger und komplizierter.

Aus Sicht des Autors war diese Zeit durch fachlich sehr interessante Diskussionen und Untersuchungen geprägt, die den Erkenntnisstand voranbrachten. Das DIBt und insbesondere der Obmann Herr Herold und die beteiligten Sachverständigen haben in den Grundsätzen für den Eignungsnachweis und in den Zulassungsgrundsätzen Pionierarbeit geleistet, die heute von der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ fortgesetzt und verfeinert wird. Rückblickend waren die Diskussionen jedoch in dem Sinne auch kontraproduktiv, dass die Fokussierung auf immer aufwändigere Schutzmaßnahmen gegen natürliche Einwirkungen zum einen die Kosten und Komplexität der Systeme erhöht und zum anderen den Blick auf die positive Nutzung der natürlichen Prozesse zur Optimierung des Nutzens und der Beständigkeit des Oberflächenabdichtungssystems verstellte hat. Mit zunehmenden Kosten für die Schutzmaßnahmen stieg zudem die Energie von Bauherren, Planern und Ausführenden die vermeintlich

unsinnigen und „akademischen“ Anforderungen in der Praxis zu umgehen. In der Folge wurde mancherorts viel Geld für Baumaßnahmen mit empfindlichen Abdichtungskomponenten ausgegeben, die ihren eigentlichen Zweck nur kurz oder ungewiss erfüllten.

6 Von der Dichtung zum System

Die Fachdiskussion war nach Verabschiedung der TA Siedlungsabfall (1993) zunächst sehr auf die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Abdichtungskomponenten ausgerichtet. Das änderte sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts, nachdem der Einfluss der Verdunstung auf die hydrologische Wirksamkeit des gesamten Oberflächenabdichtungssystems immer besser verstanden wurde und mit den Kunststoff-Dränelemente neue Produkte auf den Markt kamen.

6.1 Mineralische Entwässerungsschicht und Kunststoff-Dränelemente

Analog zur Entwicklung geeigneter Abdichtungskomponenten begann die Entwicklung, Anwendung und Untersuchung von Deponieentwässerungssystemen an der Deponiebasis (siehe Ramke 1991 und Gartung 1994). Im Oberflächenabdichtungssystem wurden daher zunächst wie an der Deponiebasis Kiesdränschichten mit sehr grobem Kies 16/32 gefordert. Es zeigte sich schnell, dass in Oberflächenentwässerungsschichten aufgrund des in der Regel höheren Gefälles und der geringeren Gefahr der Verockerung oder Dichtsetzung mit organischen Inhaltsstoffen aus dem Sickerwasser auch feinkörnigerer Kiese geeignet sind. Die GDA-Empfehlung E2-20 (DGGT 1997 ff.) liefert die Grundlage für die Planung und Dimensionierung eines hydraulisch leistungsfähigen, filterstabilen und frostsicheren Entwässerungssystems auf den Abdichtungskomponenten.

In den 1990er Jahren kamen Kunststoff-Dränelemente auf den Markt. Sie sind wesentlich preisgünstiger als mineralische Entwässerungsschichten, als Rollenware einfacher anzuliefern und schneller in der Fläche zu verlegen. Aufgrund ihrer geringen Dicke sind sie allerdings auch wesentlich anfälliger gegen Verlegefehler, Druck- und Scherbeanspruchung sowie Dichtsetzung durch Feinboden, Eisenocker und Pflanzenwurzeln. Es gibt Fallbeispiele, bei denen insbesondere die Produkte der ersten Generation keine ausreichende mechanische Widerstandskraft hatten und innerhalb einiger Jahre so stark zusammengedrückt wurden, dass sie in Verbindung mit Verlegefehlern eine Stauwasserbildung und erhebliche Standsicherheitsprobleme verursachten (Melchior 2010). Auf Initiative der BAM wurde die Widerstandsfähigkeit der Matten gegen Druck- und Scherbeanspruchung besser untersucht. Dies führte zur Entwicklung und Zulassung von Produkten aus langzeitbeständigeren Werkstoffen und Produkten mit geändertem Aufbau (siehe Müller 2012 und BAM o. J.). Die Verlegung von Kunststoff-Dränelementen muss sehr sorgfältig überwacht werden. Insbesondere der Anschluss an die Wasserfassung am Böschungsfuß stellt häufig einen Schwachpunkt dar. Aufgrund des im Vergleich zu mineralischen Entwässerungsschichten geringeren Porenanteils muss bei Kunststoff-Dränelementen besonders sorgfältig geprüft und sichergestellt werden, dass das Kunststoff-Dränelement den Böden der Rekultivierungsschicht gegenüber filterstabil ist und keine Verockerung zu befürchten ist.

6.2 Qualifizierte Rekultivierungsschicht und Bewuchs

In den Anfängen der Deponieoberflächenabdichtung wurde die Eignung von Böden für die Rekultivierungsschicht in der Regel nicht untersucht und irgendein örtlich verfügbarer bindiger Boden mit den auf der Baustelle vorhandenen Raupen auf der Entwässerungsschicht eingeschoben und anschließend eine Standard-Grasmischung angesät. Schon vorhandene Hinweise zum Bewuchs von Deponien von Brechtel (1978, 1984), Konold (1981) und Neumann (1981) wurden nur am Rande wahrgenommen. Die verschiedenen Testfelduntersuchungen an Oberflächenabdichtungssystemen zeigten, welchen hohen Beitrag die Rekultivierungsschicht und der Bewuchs durch die Verdunstung dazu leisten kann, dass möglichst wenig Wasser überhaupt als Dränspende den Abdichtungskomponenten zusickert und diese im Falle von einbau- oder alterungsbedingten Fehlstellen durchströmen kann. Außerdem wurde klar, dass oberirdisch sehr unscheinbare krautige Pflanzen wie Hornklee, Löwenzahn und Disteln beachtliche Wurzeltiefen erreichen und auf die tieferen Schichten des Oberflächenabdichtungssystem einwirken (Melchior 1993).

In den 1990er Jahren richtete sich das Augenmerk daher verstärkt auf die Frage, wie Rekultivierungsschicht und Bewuchs fachgerecht als Systemkomponenten zu gestalten sind. Hierzu kam in einigen Bundesländern der Wunsch, Deponieoberflächen nach der Rekultivierung forstlich nutzen zu können. Erste Arbeiten zum „qualifizierten“ Aufbau von Rekultivierungsschicht und Bewuchs stammen von Bönecke (1994), Brauns et al. (1996), Berger & Sokollek (1997), Konold et al. (1997), Melchior (1998) und Wattendorf (2001). Sie fanden 2000 Eingang in die Erstellung der GDA-Empfehlungen E2-31 Rekultivierungsschicht (DGGT 2000q ff.) und E2-32 Bewuchs auf Abfalldeponien (DGGT 2000b ff.). In den genannten Empfehlungen wurden geotechnische, bodenkundliche, hydrologische und vegetationstechnische Grundlagen zusammengeführt und seither mehrfach fortgeschrieben und an den Stand der Technik angepasst. Arbeitsweisen und Kriterien, die in anderen Fachbereichen Stand der Technik waren (Land- und Forstwirtschaft, Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Rekultivierung und Wiedernutzbarmachung im Braunkohletagebau, vorsorgender Bodenschutz), fanden so Eingang in die Deponietechnik und 2002 in die erste Deponieverordnung, in der für die Rekultivierungsschicht eine hohe nutzbare Feldkapazität und eine ausreichende Luftkapazität gefordert wurde. Zum aktuellen Stand der Technik siehe Wattendorf et al. (2005), Melchior (2010, 2012), DepV (2009) und den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 7-1 der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ vom 23.05.2011.

6.3 Wasserhaushaltsschicht

In einigen Regionen Deutschlands (insbesondere in Teilen von Rheinland-Pfalz und Brandenburg) ist der durchschnittliche Jahresniederschlag so gering, dass bei geeignetem Aufbau von Rekultivierungsschicht und Bewuchs die tatsächliche Verdunstung nahezu den gesamten Niederschlagseintrag umfassen und eine technische Abdichtung oder zumindest eine von zwei geforderten Abdichtungskomponenten somit überflüssig machen kann. Dieser Ansatz wurde parallel zur Diskussion um „qualifizierte“ Rekultivierungsschichten unter der Bezeichnung Wasserhaushaltsschicht bekannt und in Testfeldstudien erfolgreich getestet

(siehe Maier-Harth 2005, Wattendorf 2005 und Melchior et al. 2007, 2010). Die DepV (2009) hat die Wasserhaushaltsschicht erstmals als mögliche Komponente von Oberflächenabdichtungssystemen berücksichtigt und stellt Anforderungen an deren Aufbau und Mindestwirksamkeit.

7 Die gesetzlich verordneten Oberflächenabdichtungssysteme

Nach wenigen Jahren wurde dem DIBt Ende der 90er Jahre das Mandat der baurechtlichen Zulassungen der mineralischen Dichtungen von den Ländern wieder entzogen. Die LAGA wurde kurzfristig tätig, um die entstandene Lücke zu füllen und die unteren Abfallbehörden durch übergeordnete Einschätzungen der alternativen Dichtungen in ihrer Genehmigungspraxis zu unterstützen (LAGA 2000).

Erst nach Verabschiedung der DepV (2002) nahm die LAGA 2003 durch Gründung der Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ die Nachfolge des DIBt konsequent und seit 2009 mit „offiziell“ gesetzgeberischen Auftrag durch die neue DepV (2009) umfassend auf. Die LAGA Ad-hoc-AG hat die DIBt-Grundsätze fortgeschrieben sowie bundeseinheitliche Qualitätsstandards (BQS) und Eignungsbeurteilungen für mineralische Abdichtungskomponenten erarbeitet (siehe Bräcker 2014 sowie die in den Literaturstellen LAGA Ad-hoc-AG bis 2009 und ab 2010 angegebenen Links). Eignungsbeurteilungen der LAGA liegen für solche mineralischen Abdichtungskomponenten vor, für die ein Produkthersteller oder Patentinhaber einen Antrag gestellt hat. Andere Systemkomponenten, für die es keinen speziellen Produkthersteller gibt (Rekultivierungsschicht, Wasserhaushaltsschicht, Methanoxidationsschicht, Entwässerungsschicht, Kapillarsperre, mineralische Dichtung aus natürlichen Baustoffen), werden in den BQS behandelt. In den BQS und Eignungsbeurteilungen der LAGA wird ausführlich auf andere technische Regelwerke hingewiesen (z. B. GDA-Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik - DGGT, DIN-Normen, Fachberichte der Länder). Allen Dokumenten und Regelwerken ist gemein, dass sie sich jeweils mit einer einzelnen Komponente befassen und die Systemzusammenhänge in Bezug auf diese Komponente beschreiben.

Für die Zulassung von Deponieabdichtungskomponenten aus Kunststoff ist gemäß DepV (2009) die BAM zuständig. Sie veröffentlicht ihre Dokumente unter der in BAM (o.J.) angegebenen Link.

Paradoxaerweise hat sich die DepV (2009) von Vorgaben zum detaillierten konstruktiven Aufbau von „Regelabdichtungssystemen“ gelöst, in der Praxis allerdings eine große Vereinheitlichung der Systemaufbauten verursacht. Bild 2 zeigt die für die Deponieklassen I bis III heute in fast allen Fällen gebräuchlichen Schichtaufbauten. Abweichungen sind zwar möglich, allerdings sehr selten. Die Systeme weisen in aller Regel eine KDB als erste Dichtungskomponente auf. Bei der DK II hat sich als zweite Abdichtungskomponente die Bentonitmatte durchgesetzt, bei der DK III Trisoplast.

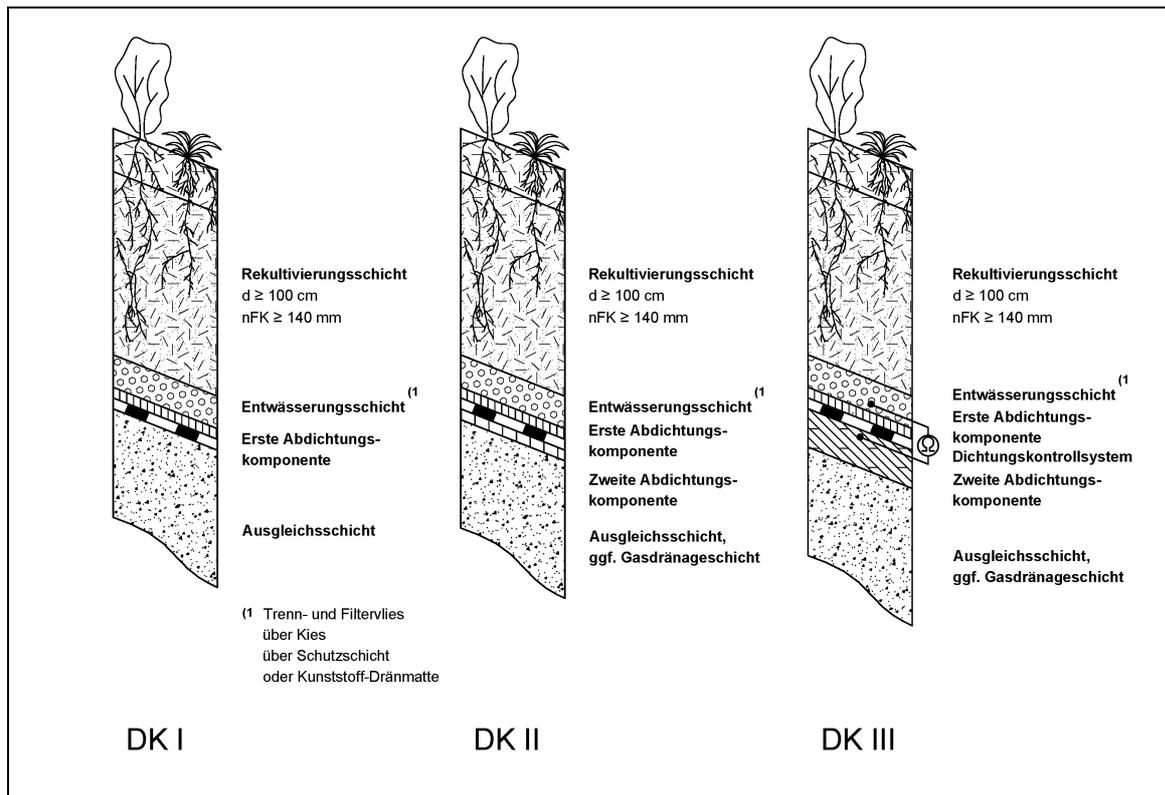


Bild 2 Oberflächenabdichtungssysteme nach DepV (2009)

Die Kunststoffdichtungsbahn hat somit von den Anfängen als „Plastikfolie“ bis heute eine beachtliche Karriere vollzogen. Ohne die BAM und deren Fachbeirat wäre das sicher nicht gelungen. Müller (2001) hat ein umfassendes Handbuch zur Anwendung der KDB im Deponiebau vorgelegt. Albers & Müller (2007) fassen Kernpunkte zur Anwendung von Kunststoffdichtungsbahnen in der Oberflächenabdichtung zusammen.

Für alle Komponenten des Oberflächenabdichtungssystems wird der einzuhaltende Stand der Technik in den bundeseinheitlichen Qualitätsstandards der LAGA (BQS 4 bis 9) definiert. Die Verbindlichkeit und Angemessenheit der Vorgaben der BQS wird derzeit diskutiert. Bei einigen Aspekten, in denen die BQS auf längst etablierten technischen Regeln (DIN Normen, GDA-Empfehlungen) aufbauen, ist dies überraschend. Offenbar wurden die alten Vorgaben in der Vergangenheit weniger ernst genommen als die via DepV (2009) und Länderbeschluss der LAGA verbindlich verankerten BQS.

Als mineralische Abdichtungskomponenten wurden Trisoplast für alle Deponieklassen sowie für die Deponieklassen I und II mehrere Bentonitmatten und die Metha-Dichtung aus aufbereitetem Hamburger Baggergut von der LAGA „Ad-hoc-AG“ positiv eignungsbeurteilt. Bild 3 zeigt, wie unterschiedlich die jeweiligen Abdichtungskomponenten gegen Austrocknung und Durchwurzelung geschützt werden müssen, wenn sie nicht durch eine aufliegende KDB geschützt werden. Durch diesen aufwändigen Schutz sowie die Auflage einer Einrichtung eines Kontrollfeldes bei Oberflächenabdichtungssystemen ohne Konvektionssperre sind solche Oberflächenabdichtungssysteme ohne KDB nicht konkurrenzfähig.

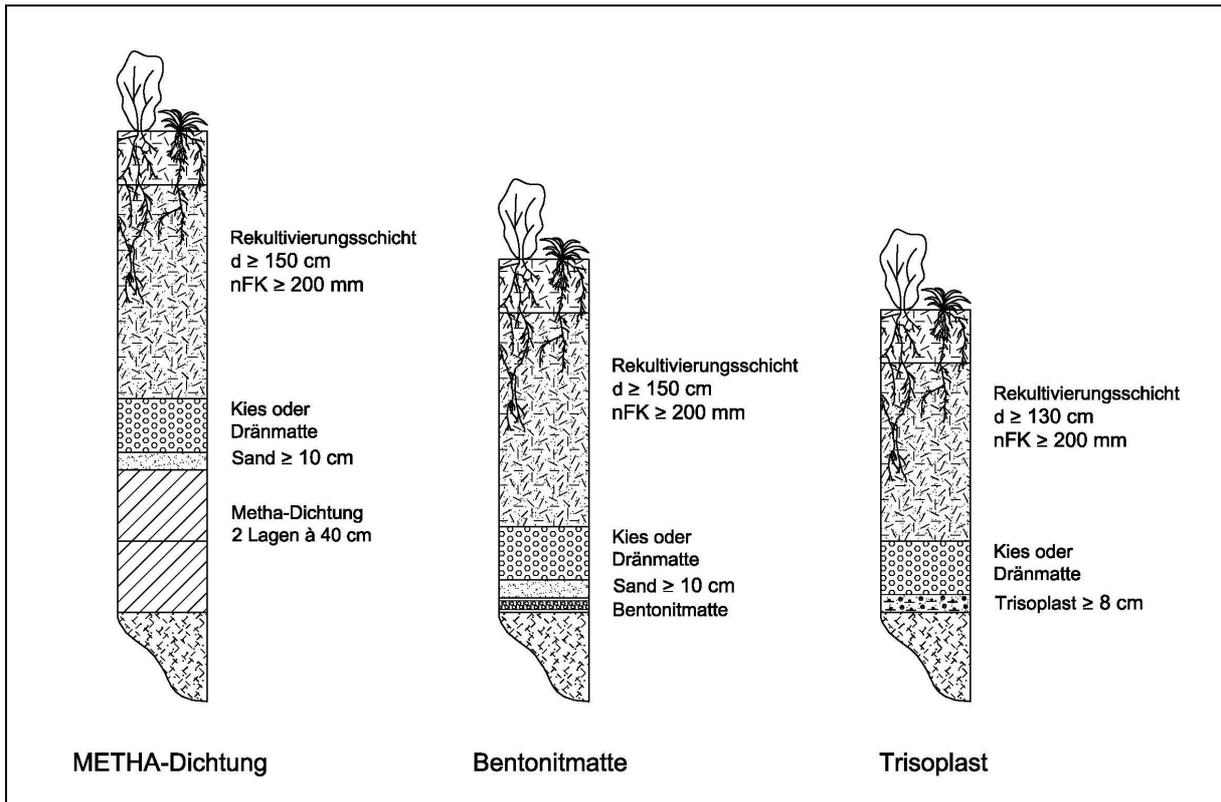


Bild 3 Mindestforderungen zum Schutz von mineralischen Abdichtungskomponenten nach den Eignungsbeurteilungen der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

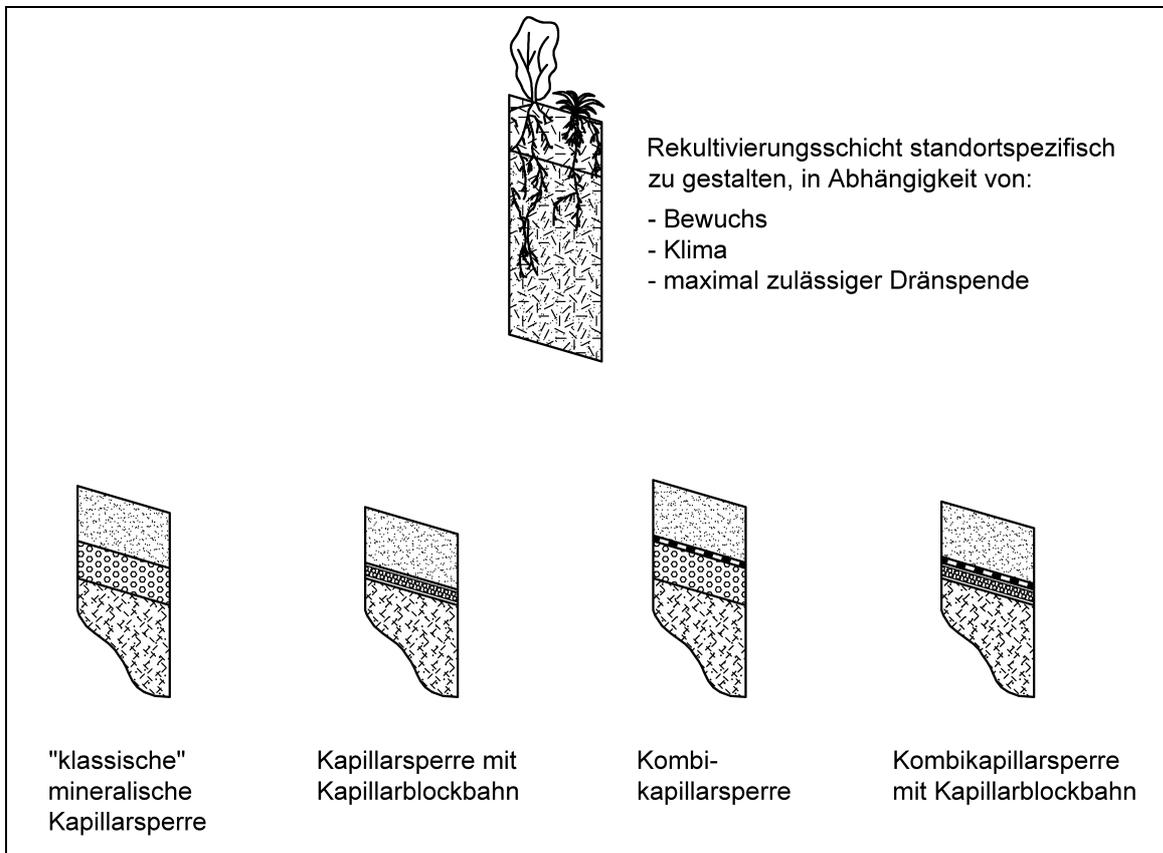


Bild 4 Aufbau unterschiedlicher zulässiger Kapillarsperrensysteme

Auffällig ist allerdings, dass der zusätzliche Schutz der mineralischen Abdichtungskomponenten dann nicht mehr gefordert wird, wenn die mineralische Abdichtungskomponente unter einer KDB angeordnet wird. Das bedeutet im Grunde, dass der mineralischen Abdichtungskomponente unter der KDB keine langfristige, über die Funktionsdauer der KDB hinausreichende Dichtwirksamkeit abverlangt wird (sonst müsste man sie ja nach Versprödung und flächenhafter Porosität der KDB genauso schützen als wäre die KDB von vornherein nicht vorhanden). Die mineralische Abdichtungskomponente stellt somit unter der KDB möglicherweise lediglich eine zusätzliche Sicherheit zur Abdichtung einbau- oder setzungsbedingter Fehlstellen der KDB dar, die trotz Qualitätsüberwachung beim Bau und trotz Monitoring in der Nachsorgephase nicht erkannt wurden. Misstraut der Gesetzgeber Qualitätsüberwachung und Monitoring? Sind die Finanzmittel für die zweite, mineralische Abdichtungskomponente gut investiert? Sollten die Mittel nicht evtl. besser für Maßnahmen eingesetzt werden, die das Auftreten von Schäden in der KDB anzeigen oder die Folgen von Schäden der KDB gering halten (beispielsweise Wasserhaushaltsschicht statt zweiter Abdichtungskomponente oder dickere mineralische Abdichtung im Bereich von Wasserfassungen anstatt flächenhafter dünner zweiter Abdichtungskomponente)?

Bild 4 stellt die nach aktuellem Deponierecht zulässigen Varianten für Kapillarsperrensysteme vor. Nicht graphisch dargestellt sind die Anforderungen der DepV (2009) an Wasserhaushaltsschichten (Minstdicke $d \geq 1,5$ m, nutzbare Feldkapazität $n_{FK} \geq 220$ mm). Auch bezüglich Kapillarsperre und Wasserhaushaltsschicht gilt, dass die Forderung der DepV (2009) nach einem Kontrollfeld die Anwendung dieser Systeme bei fehlender KDB erschwert.

8 Stand der Technik, Verhältnismäßigkeit und Nachhaltigkeit

Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten werden in Deutschland nunmehr seit fast 30 Jahren geplant, gebaut und „nachgesorgt“. In dieser Zeit wurde ein im internationalen Vergleich hervorragender Stand des Wissens und der Technik erreicht. Auslöser hierfür waren die in den 1980er Jahren in der deutschen Öffentlichkeit sehr präsente Altlastenproblematik und der später befürchtete „Müllnotstand“. Beides hat den Grundwasserschutz befördert, erhöhte Anforderung an den Betrieb von Deponien ausgelöst und zu entsprechenden Rechtsvorschriften geführt. Bundesweit wurde die Wirksamkeit ausgeführter Oberflächenabdichtungssysteme in zahlreichen Testfeldern, teils über Jahrzehnte untersucht. Insbesondere in den 1980er und 1990er Jahren wurden umfangreiche Forschungsverbundvorhaben zur Deponieabdichtung öffentlich gefördert. Geprägt wurde diese Entwicklung durch ambitionierte Amtsträger (stellvertretend genannt seien hier die Herren Stief, Engelmann, August, Holzlhöner, Müller, Herold und Bräcker) und Institutionen (BAM, LAGA, UBA, DIBt), sehr ertragreiche angewandte Forschung von Hochschulen, umfangreiches ehrenamtliches Engagement bei der Erstellung von technischen Regelwerken (z. B. GDA-Empfehlungen), engagierte Planer und Qualitätsprüfer sowie innovative Hersteller. Zahlreiche Tagungen werden seit vielen Jahren gut besucht.

Die Kunststoffdichtungsbahn hat sich als wichtigste Abdichtungskomponente aller drei Deponieklassen durchgesetzt. Sie wird in der Deponiekategorie II meist mit der Bentonitmatte und in der Deponiekategorie III mit Trisoplast und einem geoelektrischen Dichtungskontrollsystem kombiniert. Abdichtungssysteme ohne Konvektionssperre haben aufgrund des in der DepV für diesen Fall geforderten Kontrollfeldes so gut wie keine Realisierungschance mehr. In der Regel werden die in der DepV oder in den maßgeblichen Regelwerken gestellten Mindestanforderungen an die Abdichtungskomponenten, die Entwässerungsschicht und die Rekultivierungsschicht ausgeschrieben und die Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems qualitätsüberwacht.

Erfüllt dieser Stand der Technik die gestellten Ziele? Ist der dafür erforderliche finanzielle Aufwand verhältnismäßig? Wie lange wirken diese Systeme? Wird erkannt, wenn sie nicht mehr funktionieren? Wer kümmert sich dann technisch und finanziell um die Bauwerke? Würde es sich heute lohnen, mehr Geld in redundantere und ggf. länger funktionstüchtige Lösungen zu investieren?

Diese Fragen können nur zum Teil beantwortet werden und werden in der Fachöffentlichkeit sicher sehr unterschiedlich eingeschätzt. Hierzu abschließend einige Thesen:

- Die Sickerwasserbildung wird bei unserem heutigen Konzept in erster Linie durch die KDB im Oberflächenabdichtungssystem begrenzt. Wir haben bezüglich der KDB einen hohen technischen Standard (BAM-Zulassung der Produkte und Fremdprüfer). Wenn dieser Standard nicht gehalten werden kann, werden Probleme entstehen. Der Qualitätsstandard der Produkte kann durch Rechtswirkung der EU oder durch transatlantische Handelsvereinbarungen verändert werden. Gleiches gilt für die Zulassung von Fremdprüfern. Bezüglich der Fremdprüfung kommt ein weiterer Gesichtspunkt hinzu. Früher war die KDB wie andere Abdichtungsprodukte einem Konkurrenzdruck gegenüber anderen technischen Lösungen (z. B. mineralische Dichtungen) ausgesetzt. Das ist heute nicht mehr der Fall. Wenige Hersteller und Verleger treten im Markt auf. Die Fremdprüfung der Verlegung ist heutzutage eine Routineaufgabe. Hersteller und Verleger kennen sich gut und begegnen sich immer wieder. In dieser Situation ist Aufmerksamkeit und eine erhöhte Kontrolle z. B. durch die zuständige Genehmigungsbehörde und die BAM geboten.
- Der heutige gute Stand der Technik wird maßgebend durch die BAM und die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ gesichert. Es ist zu hoffen, dass beide Institutionen ihr Mandat behalten und mit ausreichender finanzieller und personeller Ausstattung wahrnehmen können. Hierzu gehört auch, dass die Vertreter beider Institutionen über ausreichenden Kontakt zur Praxis verfügen und unangemeldet auf Baustellen erscheinen, da Papier bekanntlich geduldig sein soll.
- Welchen Stellenwert genießt in Zukunft der Grundwasserschutz an Deponiestandorten? Davon wird abhängen, ob die Nachsorge konsequent durchgeführt wird und bei nachlassender Wirksamkeit der Systeme Konsequenzen nach sich zieht.

- Alle Oberflächenabdichtungssysteme werden irgendwann unwirksam werden. Wenn die Nachsorge kompetent durchgeführt und finanziell angemessen ausgestattet wird und wenn eine Erneuerung unwirksam gewordener Systeme finanziert werden wird, dann sollten aus heutiger Sicht technische Systeme mit einem minimalen finanziellen Aufwand hergestellt werden. Das könnte z. B. bedeuten, dass man bei Deponien der Klassen II und III auf den flächigen Einsatz der zweiten Abdichtungskomponente unter der KDB verzichtet und nur an den Bereichen, in denen auf der KDB viel Wasser abfließt und gefasst werden muss, unter der KDB eine zweite und dann möglichst robuste mineralische Abdichtungskomponente anordnet (also keine zweite Abdichtungskomponente, die als dünne Rollenware mechanisch ebenso empfindlich ist wie die KDB). Auf einem solchen Abdichtungssystem könnte dann ein Kunststoff-Dränelement und eine Rekultivierungsschicht angeordnet werden, die gerade so mächtig ist, dass das Entwässerungssystem frostfrei bleibt und das Dränsystem nicht durch Pflanzenwurzeln blockiert wird.
- Wenn wir heute jedoch nicht sicher sind, dass die Nachsorge aufmerksam durchgeführt wird und Schäden erkannt werden, dann sollten die heute herzustellenden Systeme redundant ausgelegt und nicht zu knapp bemessen werden. Systeme, die natürliche Prozesse gezielt nutzen (Verdunstung durch einen optimalen Aufbau von Rekultivierungsboden und Bewuchs) können sich langfristig als sehr viel leistungsfähiger erweisen als Systeme, die ausschließlich auf technische Komponenten setzen.
- Nicht verhältnismäßig und nachhaltig ist es aus Sicht des Autors, sehr empfindliche Systeme z. B. im Oberflächenabdichtungssystem der Deponieklasse I mit hohem Aufwand gegen schwer zu vermeidende Einwirkungen aus natürlichen Prozessen schützen zu wollen (z. B. Durchwurzelung, Austrocknung, Setzungsdifferenzen). Sehr sinnvoll kann es hingegen sein, eine an sich robuste Abdichtung durch einen standortangepassten Systemaufbau langfristig noch robuster zu machen (an Trockenstandorten wird ein Aufbau aus Wasserhaushaltsschicht über Entwässerungsschicht und KDB vermutlich nachhaltiger sein als ein Aufbau aus Standard-Rekultivierungsschicht über Entwässerungsschicht über Verbunddichtung KDB über Bentonitmatte).
- Unabhängig davon, für welches System man sich entscheidet: Es wird Geld kosten und Ressourcen verbrauchen. Wir sollten als Bauherren, Planer, Bauüberwacher oder Behörde dafür sorgen, dass die Böden und Kunststoffe fachgerecht und ohne Mangel in das Oberflächenabdichtungssystem eingebaut werden. In der Vergangenheit wurden beispielsweise häufig für die Rekultivierungsschicht gut geeignete, natürliche Böden aus Unkenntnis zu feucht und dann ggf. mit ungeeignetem Gerät eingebaut. Im vorsorgenden Bodenschutz, in der Vegetationstechnik, in Forst- und Landwirtschaft gilt die Vermeidung einer Bodenschadverdichtung als gute fachliche Praxis, die über die Parameter Luftkapazität oder Wasserdurchlässigkeit am besten beschrieben wird. Der diesbezüglich durch die GDA E2-31 und den BQS 7-1 in der Deponietechnik erreichte technische Standard, der sich mit den Standards der genann-

ten Fachbereiche deckt, sollte nicht aus kurzfristigen Kostenüberlegungen über Bord geworfen werden. Erosion und Standsicherheitsprobleme können sonst ggf. sehr schnell erhebliche Folgekosten verursachen.

- Die höchste Wahrscheinlichkeit, dass sich in Zukunft jemand im Sinne der Nachsorge um die oberflächengedichtete Deponie kümmert, besteht, wenn die Fläche einer interessanten Nachnutzung zugeführt wird. Der Systemaufbau sollte auf die Nutzung abgestimmt sein und die Nutzung daher bereits während der Planung entwickelt und berücksichtigt werden.

9 Literatur

- AK DKS – Arbeitskreis Dichtungskontrollsysteme (2000): Anforderungen an Dichtungskontrollsysteme in Oberflächenabdichtungen von Deponien. Empfehlungen des AK DKS. Herausgegeben durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Labor IV.32 Deponietechnik. Berlin, 46 S.
- AK Trisoplast (2002): Gemeinsame Stellungnahme der im Arbeitskreis Trisoplast vertretenen Landesumweltbehörden vom 12.08.2002 zu Oberflächenabdichtungen mit Trisoplast. 6 S. + Anlagen zur Herstellung und Qualitätssicherung von Abdichtungen aus Trisoplast (im Internet unter: www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de unter "Vertiefte Informationen zu Aufgaben / Abfallwirtschaft")
- Albers, K. & W. Müller (2007): Kunststoffdichtungsbahnen als Abdichtungselement in Oberflächenabdichtungssystemen. In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 6, 65-86
- August, H., Holzlöhner, U. & R. Tatzky (1986): Durch die Kombinationsdichtung zum absoluten Grundwasserschutz. Grundlagenuntersuchungen zur Dichtefunktion von Kunststoff-Erddichtungsstoff-Verbunddichtungen. Beihefte Müll und Abfall, 26, 65-68
- August, H., U. Holzlöhner & T. Meggyes (1997): Verbundvorhaben Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen. Schlussbericht. Herausgegeben durch das Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Berlin, 482 S.
- BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (o.J.): Richtlinien für die Zulassung von Geotextilien, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelementen, Kunststoffdichtungsbahnen und Dichtungskontrollsysteme im Deponiebau sowie Listen fremdprüfender Stellen und Tabellen zugelassener Produkte. http://www.bam.de/de/service/amtI_mitteilungen/abfallrecht/index.htm
- Barth, C. (2003): Die Wirksamkeit der Kapillarsperre als Deponieoberflächenabdichtung. Feldversuche auf der Deponie Bayreuth. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München. 100 S. + Anhang
- Belouschek, P. & J. U. Kügler (1993): Wasserglasvergütete mineralische Dichtsysteme in der Deponietechnik. Wasser + Boden, 11, 855-861
- Berger, K. & V. Sokollek (1997): Sind qualifizierte Abdeckungen von Altdeponien unter den gegebenen klimatischen Voraussetzungen der BRD sinnvoll bzw. möglich? In: Egloffstein, T. & G. Burkhardt (Hrsg.): Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis. 103, 15-39
- Bönecke, G. (1994): Forstwirtschaftliche Belange bei der Oberflächenabdichtung und Rekultivierung von Deponien. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 34, 409-425
- Bräcker, W. (2014): Anforderungen an Oberflächenabdichtungen, bundeseinheitlicher Qualitätsstandard und Eignungsbeurteilung der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“. In: Stegmann, R. et al. (Hrsg.): Deponietechnik 2014. Verlag Abfall aktuell. Hamburger Berichte 40, 91-104
- Brauns, J., K. Kast, H. Schneider, W. Konold, P. Wattendorf & B. Leisner (1996): Erarbeitung von Regeln zur Herstellung einer Rekultivierungsschicht bei Deponien mit dem Stand der Technik

- entsprechenden Oberflächenabdichtungssystemen unter Beachtung fortwirtschaftlicher Belange. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Karlsruhe. 97 S. + 3 Anhänge
- Brechtel, H. M. (1978): Möglichkeiten der Steuerung des Wasserhaushaltes von Deponien durch Pflanzendecken. In: Jäger, B. und Keyser, R. (Hrsg.): Aktuelle Probleme der Deponietechnik. Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Berlin.
- Brechtel, H. M. (1984): Beeinflussung des Wasserhaushalts von Deponien. Loseblattsammlung Müll und Abfall, 4623, Berlin
- Brücklmeier, W., Melchior, S. & B. Steinert (2003): Versuchsfelder zur Untersuchung der Wirksamkeit alternativer Oberflächenabdichtungssysteme auf der Deponie Deetz. In: Witt, K.J. & R. Katzenbach (Hrsg.): 1. Symposium Umweltgeotechnik der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. - Fachsektion Deponien und Altlasten in Weimar. Bauhaus Universität Weimar, Schriftenreihe Geotechnik, 10, 2, 371- 379
- DepV – Deponieverordnung (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 24.07.2002. BGBl. I Nr. 52, S. 2807, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 12.08.2004, BGBl. I Nr. 44, S. 2190
- DepV - Deponieverordnung (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager BGBl. I, Nr. 22, S. 900
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. 81 S.
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1996): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-67.11-1 (Deponieasphalt für Deponieabdichtungen der Deponieklasse II) vom 14.08.1996
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1997): Zulassungsgrundsätze für Dichtungsschichten aus natürlichen mineralischen Baustoffen in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien. Berlin, 24 S.
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1998a): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-68.12-2 vom 20.01.1998; Zulassungsgegenstand: DYWIDAG-Mineralgemisch DMG 16/32 zur Verwendung in Deponieabdichtungssystemen von Deponien nach TA Siedlungsabfall und TA Ab-fall. 13 S. + 4 Anlagen
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1998b): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-68.12-7 vom 06.05.1998; Zulassungsgegenstand: Vergütetes Mineralgemisch CHEMOTON zur Verwendung in Deponieabdichtungssystemen von Deponien nach TA Siedlungsabfall und TA Ab-fall. 14 S. + 4 Anlagen
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik (1998c): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen Nr. Z-68.11-3, -4, -6 und -8 vom 30.03.98 und 14.05.98; Zulassungsgegenstände: Geosynthetische Tondichtungsbahnen NaBento NBD 01R, Bentomat S.S., Bentofix DZ 6000 und Bentofix BZ 6000 zur Verwendung in Deponieabdichtungssystemen von Deponien der Deponieklasse I nach TA Siedlungsabfall. 14 bis 16 S. + 6 Anlagen
- DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (1989, 1993, 1997 ff.): GDA-Empfehlungen des AK 6.1 „Geotechnik der Deponiebauwerke“ (zuvor AK 11 „Geotechnik der Deponien und Altlasten“). Veröffentlicht zunächst in den genannten Jahren in Buchform sowie in Teilen in der Zeitschrift Bautechnik. Fortschreibungen seit einigen Jahren im Internet veröffentlicht unter www.gdaonline.de.
- DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (1997 ff.): GDA Empfehlung E2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. Erstfassung 1997, dreimal fortgeschrieben. Aktuelle Fassung 2011 siehe www.gdaonline.de
- DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2000a ff.): GDA-Empfehlung E 2-31: Rekultivierungsschichten. Erstfassung 2000, zweimal fortgeschrieben. Aktuelle Fassung 2010 siehe www.gdaonline.de
- DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2000b ff.): Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien. Erstfassung 2000, einmal fortgeschrieben. Aktuelle Fassung 2010 siehe www.gdaonline.de

- Düllmann, H. (1987): Geotechnische und baubetriebliche Einflüsse auf die Dichtigkeit von Deponieabdichtungen aus Ton. Ergebnisse aus Praxisversuchen. In: Fehlau, K.P., Stief, K. (ed.): Fortschritte der Deponietechnik '87. 29 S.
- Düllmann, H. (2007): Wasserglasvergütete Dichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungen von Deponien. In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 6, 313-332
- Egloffstein, T. (2000): Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien. Dissertation Universität Karlsruhe, ICP Eigenverlag, Karlsruhe, 162 S.
- Egloffstein, T. (2007): Asphaltabdichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen. In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 6, 253-264
- Gartung, E. (1994): Entwässerungssystem - Teil des Abdichtsystems. In: Burkhardt, G., Egloffstein, T. (Hrsg.): Alternative Dichtungsmaterialien im Deponiebau und in der Altlastensicherung. Seminar des VDI-Bildungswerkes am 17.-18.03.1994 in Karlsruhe. Schriftenreihe Angew. Geol. Karlsruhe, 30, 173-196
- Henken-Mellies, U. (2001): Langzeituntersuchungen an einer mineralischen Oberflächenabdeckung: Großlysimeter auf der Deponie „Im Dienstfeld“/Lkr. Ansbach. In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, 119. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 141-152
- Herold, C. (1998): Die bauaufsichtlichen Zulassungen von Bentonitmatten als Dichtungselement für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien nach Deponieklasse I der TA Siedlungsabfall. In: Müll und Abfall, 5, 303-315
- Holzlöhner, U. (1997): Wasserhaushalt, Austrocknungsgefährdung mineralischer Abdichtungsschichten. In: August, H., U. Holzlöhner & T. Meggyes: Verbundvorhaben Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen. Schlussbericht. Herausgegeben durch das Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Berlin, 33-45
- Horn, A. (1989): Mineralische Deponie-Flächendichtungen aus gemischtkörnigen Böden. In: Bautechnik, 66, 9, 311-318
- Horn, R. (2004): Empfehlungen zur Herstellung nicht schrumpfanfälliger mineralischer Dichtungen mit zusätzlicher mineralischer Wasserspeicherschicht (nstmin) für Deponieoberflächenabdichtungssysteme. Müll und Abfall, 2, 67-70
- Hundhausen, U. (2005): Asphaltabdichtungen als Oberflächenabdichtung - Eine Alternative zur Kunststoffdichtungsbahn? In: Arbeitskreis Grundwasserschutz & Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): Fachtagung „Die sichere Deponie“. 10.-11.02.2005, 13 S.
- Jelinek, D. (1997): Die Kapillarsperre als Oberflächenbarriere für Deponien und Altlasten – Langzeitstudien und praktische Erfahrungen in Feldversuchen. Dissertation an der Technischen Hochschule Darmstadt. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Hochschule Darmstadt, 97, 141 S. + Anhang.
- Jelinek, D. & N. von der Hude (1994): Kapillarsperrensysteme auf der Deponie "Monte Scherbelino"- vier Alternativen im Test. In: Wasser und Boden, 11, 60-65.
- Junge, T. (1999): Zur Bedeutung des Porenwasserdrucks für die Zugfestigkeit von Böden. Dissertation Universität Kiel. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel, Bd. 52, 114 S. + Anhang
- Knipschild, F. W. (1985): Deponieabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen. Müll und Abfall. Beiheft 22. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 68-74
- Konold, W. (1981): Anleitung zur Rekultivierung von Deponien, Teil 1. Texte Umweltbundesamt, 13. Berlin, 161 S.

- Konold, W., P. Wattendorf & B. Leisner (1997): Anforderungen an die Rekultivierungsschicht beim Rekultivierungsziel „Wald“. In : Egloffstein, T. & G. Burkhardt (Hrsg.): Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, 103, 179-188
- LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (2000): Oberflächenabdeckungen und Oberflächenabdichtungen. Arbeitspapiere der gleichnamigen Arbeitsgruppe. Auch erschienen als Anlage in Bräcker, W. (2000): Oberflächenabdeckungen und Oberflächenabdichtungen. AbfallwirtschaftsFakten 6. Herausgegeben durch das Niedersächsische Landesamt für Ökologie in Hildesheim.
- LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ (bis 2009): Grundsätze und Eignungsbeurteilungen von mineralischen Komponenten von Deponieoberflächenabdichtungssystemen (www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)
- LAGA Ad-Hoc-AG „Deponietechnik“ (ab 2010): Bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen von mineralischen Komponenten von Deponieabdichtungssystemen (www.laga-online.de)
- Maier-Harth (2005): Erfahrungen beim Bau von Wasserhaushaltsschichten auf Deponien in Rheinland-Pfalz. In: Konold, W. (Hrsg.): Fachtagung qualifizierte Rekultivierungsschichten am 07.12.2005 in Böblingen, 92-115
- Maier-Harth, U. & S. Melchior (2001): Überprüfung der Wirksamkeit der 10 Jahre alten mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. In: Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Oberflächenabdichtung und Rekultivierung von Deponien, Mainz, Germany, 121-182
- Melchior, S. (1993): Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Dissertation an der Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 22, 330 S. + Anhang.
- Melchior, S. (1996): Die Austrocknungsgefährdung von bindigen mineralischen Dichtungen und Bentonitmatten in der Oberflächenabdichtung - Ergebnisse von mehrjährigen In-Situ-Versuchen und Aufgrabungen auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder. In: Maier-Harth, U. (Hrsg.): Geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung - Möglichkeiten zur standortbezogenen Optimierung. 3. Deponie-Seminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz am 30. Mai 1996 in Bingen-Büdesheim/Rhein. Selbstverlag, Mainz, 40 S.
- Melchior, S. (1998): Ansätze zur Gestaltung und Dimensionierung von Rekultivierungsschichten in Abdecksystemen für Altdeponien und Altlasten. In: Stief, K. & B. Engelmann (Hrsg.): Geforderte Maßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien - Kostentreibende Willkür oder Notwendigkeit? Erich Schmidt Verlag, Berlin, 161-180
- Melchior, S. (1999): Bentonitmatten als Elemente von Oberflächenabdichtungssystemen. In: Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): Die sichere Deponie. 15. Fachtagung am 18./19.02.1999 in Würzburg. 34 S.
- Melchior, S. (2002): Field studies and excavations of geosynthetic clay barriers in landfill covers. In: Zanzinger, H. et al. (eds.): Clay geosynthetic barriers. Proceedings of the International Symposium, Nürnberg, 16.-17.04.2002, 321-330
- Melchior, S. (2005): Erfahrungen bei der Herstellung und Qualitätssicherung von Deponieabdichtungen mit Trisoplast. In: Arbeitskreis Grundwasserschutz & Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): Fachtagung „Die sichere Deponie“. 10.-11.02.2005, 25 S.
- Melchior, S., S. Raabe, B. Krüger & B. Steinert (2007) Erfahrungen mit dem System Wasserhaushaltsschicht zur Oberflächenabdichtung von Deponien am Beispiel der Versuchsfelder auf der Deponie Deetz. In: Witt, K. J. et al. (Hrsg.): 3. Symposium Umweltgeotechnik. Bauhaus Universität Weimar, Schriftenreihe Geotechnik, 17, 101-110
- Melchior, S. (2010): Langzeitverhalten einer Dränmatte in einer Oberflächenabdichtung. In: Kilchert, M. & K. D. Hegewald (Hrsg.): 6. Leipziger Deponiefachtagung. Stilllegung, Sicherung und Nachsorge von Deponien. Beitrag B09. Leipzig, 23 S.
- Melchior, S. (2010): Rekultivierungsschichten - Geltende Anforderungen, Stand der Technik und Praxiserfahrungen. In: Gebert, J. & E.-M. Pfeiffer (Hrsg.): Mikrobielle Methanoxidation in Deponie-Abdeckschichten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 63, 25-42

- Melchior, S. (2012): Bautechnische und hydrologische Anforderungen an Rekultivierungsschichten. In : Gebert, J. & E.-M. Pfeiffer (Hrsg.): Mikrobielle Methanoxidation in Deponie-Abdeckschichten. Abschluss-Workshop. Hamburger Bodenkundliche Arb., 68, 55-66
- Melchior, S., V. Sokollek, K. Berger, B. Vielhaber & B. Steinert (2010): Results from 18 Years of In Situ Performance Testing of Landfill Cover Systems in Germany. *Journal of Environmental Engineering*, 136, 8, 815–823
- Melchior, S., B. Steinert & S. Raabe (2010): Ergebnisse zur Wirksamkeit ausgewählter Oberflächenabdichtungssysteme der Versuchsfelder der MEAB auf der Deponie Deetz. In: Henken-Mellies, U. (Hrsg.): 21. Nürnberger Deponieseminar 2010. Deponien nach 2009: Weiterbetrieb sowie Abdichtung und Nachsorge; Umgang mit Altablagerungen. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Nürnberg, 89, 103-116
- Melchior, S., B. Vielhaber, K. Berger & G. Miehlich (1994): Das Austrocknungsverhalten von mineralischen Oberflächenabdichtungen. In: Egloffstein, T. & G. Burghardt (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten. VDI-Seminar 12.-13.9.1994 in Karlsruhe. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 34, 223-241
- Müller, W. (2001): Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik. Birkhäuser Verlag, Basel, 384 S.
- Müller, W. (2012): Zur inneren Scherfestigkeit von Kunststoff-Dränelementen. In: *Geotechnik*, 35, 4, 257-262
- Müller, M., R. Baumert, J. I. Schoenherr, F. Sängler & B. Opitz (2006): Langzeitbewertung von Deponieoberflächensicherungsvarianten anhand von Testfeld- und Aufgrabungsuntersuchungen. In: Kilchert, M. & K. D. Hegewald (Hrsg.): 2. Leipziger Deponiefachtagung, Beitrag B12, 14 S.
- Neumann, U. (1981): Anleitung zur Rekultivierung von Mülldeponien, Teil 2. Texte Umweltbundesamt, 13. Berlin, 103 S.
- Ramke, H.-G. (1991): Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle. Dissertation TU Braunschweig. Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau, 114, 326 S. + 3 Anhänge
- Ramke, H.-G., E. Gartung, G. Heibroock, W. Lükewille, S. Melchior, B. Vielhaber, K. Bohne, U. Maier-Harth, K.-J. Witt (Hrsg.) (2002): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 3, 474 S.
- Ramke, H.-G., K.-J. Witt, W. Bräcker & M. Tiedt (2007): Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 6, 362 S.
- Rödel, A. & S. Schwöbken (2004): Oberflächenabdichtung mit einem Dichtungskontrollsystem - eine technisch sinnvolle Alternative zur Kombinationsabdichtung. In: Arbeitskreis Grundwasserschutz & Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): Fachtagung „Die sichere Deponie“. 26.-27.02.2004, 25 S.
- Schenkel, W. (1976): Die Bedeutung der geordneten Deponie in der Abfallwirtschaft und einige Anmerkungen zu ihrer wasserwirtschaftlichen Praxis. *Wasser und Boden*, 8, 195 – 197
- Schick, P. (1997): Bodenmechanische und bautechnische Eigenschaften von Bentokiesdichtungen – Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. *Bautechnik* 74, 5, 320-330
- Schick, P. & E. Gartung (2007): Gemischtkörnige Abdichtungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. In: In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 6, 181-204
- Schicketanz, R. (1992): Prüfumfang bei der Qualitätssicherung von Kunststoffdichtungsbahnen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Abdichtung von Deponien und Altlasten. Berlin: EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, 1992 (Grundkurs), 373-388

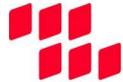
- Schnatmeyer, C. (1998): Alternative Oberflächenabdichtungssysteme für Halden und Altstandorte am Beispiel einer Gichtstaubdeponie. Dissertation an der Fakultät der Bio- und Geowissenschaften der Universität Karlsruhe. 162 S. + Anhang
- Steinert, B., O. Flöter & S. Melchior (2002): Vergleichende Laboruntersuchungen des Austrocknungs- und Durchwurzelungsverhaltens von bindigen mineralischen Dichtungen aus Geschiebemergel und Trisoplast. In: Ramke et al. (2002) Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, 3, 317 – 330
- Steinert, B. (1999): Kapillarsperren für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten – Bodenphysikalische Grundlagen und Kippinnenuntersuchungen. Dissertation an der Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 45, 250 S. + Anhang
- Steinert, B. & S. Melchior (2011): Aktuelle Entwicklungen beim Einsatz von Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen - Neue Regelwerke, Systeme und Konsequenzen für die Praxis. In: Arbeitskreis Grundwasserschutz & Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): Tagung "Die sichere Deponie" am 24./25.02.2012. Würzburg, 24 S.
- Steffen, H. (1990): Anforderungen an die Dichtungselemente von Kombinationsdichtungen für die Deponiebasis. Müll und Abfall, 10, 638-649
- Stief, K. (1986): Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien. Müll und Abfall, 1, 15-20
- TA Abfall (1991): Gesamtfassung der Zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/ physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Gemeinsames Ministerialblatt, 42. Jg., Nr. 8, S. 139-214, Bonn, 12. März 1991
- TA Siedlungsabfall (1993): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. Bundesanzeiger 99a, 14. Mai 1993
- Thienemann, J. B. (1999): Zur Bedeutung von Wassergehalt und Struktur für die mechanische Stabilität und hydraulische Dichtigkeit von mineralischen Deponieabdichtungen aus Geschiebemergel. Dissertation Universität Kiel. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel, 49, 280 S. + Anhang
- Tresselt, K. (2000): Feldversuche zur Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungssystemen mit Dichtungen aus Hafenschlick. Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften, Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arb., 46, 280 S. + Anhang
- Urban, S. (1987): Gestaltung einer dichten Deponieabdeckung - Resultate eines Testprogrammes. In: Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. (Hrsg.): Vertiefersseminar zeitgemäße Deponietechnik. Stuttgart, 26 S.
- Vielhaber, B. (1995): Temperaturabhängiger Wassertransport in Deponieoberflächenabdichtungen. Feldversuche in bindigen mineralischen Dichtungen unter Kunststoffdichtungsbahn. Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 29, 200 S.
- von der Hude, N., D. Jelinek & M. Kämpf (1994): Kapillarsperrensysteme für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 34, 125-158
- von der Hude, N. (1999): Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Laborversuche und Bemessungsregeln. Dissertation an der Technischen Universität Darmstadt. 161 S. + Anhang
- von der Hude, N., S. Melchior & S. Möckel (1999): Bau einer Kapillarsperre im Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Breinermoor, Teil 2. Müll und Abfall 31, 4, 99-103
- von der Hude, N., S. Möckel & W. Menke (2001): Testfeldergebnisse der konventionellen Kapillarsperre und der Kapillarblockbahn im Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Breinermoor. In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, 122, 295-316.
- Wattendorf, P. (2001): Anforderungen an die Bepflanzung von Deponien aus deponietechnischer, forstwirtschaftlicher und landespflegerischer Sicht - eine Gratwanderung zwischen landespflege-

30. SKZ-Tagung "Die sichere Deponie" am 20./21. Februar 2014 in Würzburg

- rischen Zielen und der langfristigen Sicherung des Deponiebauwerks. In: Maier-Harth, U. (Hrsg.): 4. Deponieseminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz. Mainz, 14 S.
- Wattendorf, P. (2005): Der Wasserhaushalt von Rekultivierungsschichten: Ergebnisse von Messungen und Modellierungen. In: Konold, W. (Hrsg.): Fachtagung qualifizierte Rekultivierungsschichten am 07.12.2005 in Böblingen, 54-73
- Wattendorf, P., Konold, W., Ehrmann, O. (Hrsg.) (2005): Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren. Culterra, Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 41, 268 S.
- Weitz, A. M., D. Boels, H. J. J. Wiegers, J. J. Evers-Vermeer (1997): Application of Trisoplast for Lining of Landfills. Staring Centre (SC-DLO), Report 142. Wageningen. 50 S. + Anlage
- Wöhnlich, S. (1987): Auswirkungen nachträglicher Grundwasserschutzmaßnahmen auf den Wasserhaushalt von Deponien unter besonderer Berücksichtigung von Oberflächenabdichtungen. Dissertation Universität Karlsruhe. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 1, 269 S.
- Wöhnlich, S. & C. Barth (2003): Die Wirksamkeit einer Kapillarsperre als Deponieoberflächenabdichtung. Abschlussbericht Entwicklungsprojekt E 54 der Universität München. 106 S.
- Wolsfeld, N. (2005): Bodenphysikalische Eignung mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme für Monodeponien der Stahlindustrie. Dissertation Universität Freiburg. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, 43, 160 S. + Anhang
- Zischak, R. (1997): Alternatives Oberflächenabdichtungssystem „Verstärkte mineralische Abdichtung mit untenliegender Kapillarsperre“ – Wasserbilanz und Gleichwertigkeit. Dissertation an der Universität Karlsruhe. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 47, 179 S. + Anhang

Anschrift des Verfassers:

Dr. habil. Stefan Melchior



melchior + wittpohl
Ingenieurgesellschaft

Rödingsmarkt 43, 20459 Hamburg
T.: 040 / 430 950 - 10
E-Mail: melchior (at) mplusw.de www.mplusw.de