

Meteorologische Besonderheiten beim (bzw. Einflüsse auf den) Bau von Deponien an unterschiedlichen Dichtungssystemen praxisnah dargestellt

1. Einleitung

Dichtungssysteme sind so zu gestalten, dass sich die zu erwartenden Witterungseinflüsse (Sonneneinstrahlung, Frost, Regen, Schnee und Wind) nicht schädlich auf die Funktionsfähigkeit auswirken können.

Diese Anforderungen sind in erster Linie an Oberflächenabdichtungssysteme zu stellen, da sie über eine lange Zeit der Witterung ausgesetzt sind. Die Schutzfunktion wird im Endausbau durch die Rekultivierungsschicht und den Bewuchs wahrgenommen. So fordert die TA Siedlungsabfall (unter Punkt 10.4.1.4 d), dass die Rekultivierungsschicht so auszuführen ist, dass sie die Dichtung vor Frosteinwirkung schützt und der Bewuchs einen ausreichenden Schutz gegen Wind- und Wassererosion bietet. Im Anhang 5 der Deponieverordnung wird ergänzend der Schutz gegen Austrocknung gefordert. Bei fertig gestellten, ausreichend dicht bewachsenen Deponieoberflächenabdichtungen werden diese Anforderungen i. d. R. sicher eingehalten – sieht man mal von der Diskussion über die Austrocknung mineralischer Dichtungen außerhalb von Kombinationsabdichtungen mit einer Kunststoffdichtungsbahn ab.

Bei einer Deponiebasisabdichtung gehört eine Bodenabdeckung, vergleichbar zu der vorgeannten Rekultivierungsschicht zunächst einmal nicht zum eigentlichen, fertigen Abdichtungssystem. Dieses „endet“ mit der Entwässerungsschicht, im Regelfall 30 bis 50 cm dick. Da die Entwässerungsschicht in der genannten Dicke aber keine Frostfreiheit der darunter liegenden Schichten garantiert, muss bei frostempfindlichen Dichtungen eine zusätzliche Überdeckung erfolgen. Der Einbau von Boden gestaltet sich bei steilen Böschungen > 1:2,0 teilweise schwierig. Hinzu kommt das Erfordernis, die Schicht bzw. deren Oberfläche erosionsstabil auszubilden, was bei Ansaat mit Gräsern zu einer Erhöhung der organischen Substanz führt, die in der Deponie grundsätzlich unerwünscht ist.

Die gleichen Probleme können auch bei temporären Oberflächenabdeckungen und längere Zeit freiliegenden Zwischendichtungen z. B. auf unbelegten Böschungen auftreten, bei denen eine entsprechend ausgebildete Abdeckschicht nicht systemimmanent ist.

Noch gravierender können die Probleme, sein die beim Bau der Dichtungssysteme durch Witterungseinflüsse entstehen. Hier ist der Schutz der einzelnen Schichten erforderlich, der mit erheblichen technischen und finanziellen Aufwändungen für provisorische Sicherungsmaßnahmen (Herstellung und Rückbau) einhergeht. Anderenfalls kann Sanierung beschädigter Bauleistungen erforderlich werden mit Auswirkungen auf den Bauablauf und die Bauzeit und damit auf die Baukosten.

2. Organisatorischer Witterungsschutz

Entscheidend für eine möglichst hohe Qualität der Dichtungen bei gleichzeitig günstigen Angebotspreisen ist die richtige Wahl der Bauzeit und des Bauablaufs.

So sollten insbesondere Oberflächenabdichtungsmaßnahmen im Herbst oder Winter ausgeschrieben und beauftragt werden, da die den Dichtungsbau vorbereitenden Arbeiten wie Umlagerungs- und Profilierungsarbeiten und der Einbau der Gasdrän- und Ausgleichsschicht relativ witterungsunabhängig möglich sind (s. u.). Das führt zum einen zu geringeren Geruchs- und Staubemissionen und ermöglicht eine (Teil-) Auslastung der Baufirmen auch über den Winter.

Die dafür erforderlichen Materialien können aus Deponieersatzbaustoffen bestehen, also aus mineralischen Materialien, die bei anderen Baumaßnahmen als Abfallstoffe anfallen und in den genannten Schichten verwertet werden können. Dabei ist es von nicht zu unterschätzendem Vorteil, wenn die erforderlichen Stoffe und Mengen mit einem ausreichenden zeitlichen Spielraum besorgt bzw. frühzeitig gesichert werden können, da deren rechtzeitige Akquisition im Rahmen einer Baumaßnahme mit engem Zeitplan schwierig sein und zu höheren Beschaffungspreisen führen kann.

In der Regel beginnen Baumaßnahmen mit dem Bodenaushub, so dass größere Mengen häufig aber auch erst im Frühjahr nach der Frostperiode zu erhalten sind. Dann kann der Winter aber wenigstens für die Umprofilierung des Abfallkörpers und die Akquisition von Materialien genutzt werden, da die zur Umsetzung vorgesehenen Baumaßnahmen zumindest bekannt sind (z. B. durch Bekanntmachung der Ausschreibung). Das Wissen um eine Verwertungsmöglichkeit der Bodenabfälle kann zu Wettbewerbsvorteilen führen und ist somit von großem Interesse für die Bieter.

Werden die Profilierungsarbeiten und der Einbau der ggf. erforderlichen Gasdrän- und Ausgleichsschicht zumindest in Teilbereichen in der Schlechtwetterperiode abgeschlossen, kann mit den witterungsempfindlichen Arbeiten begonnen werden, sobald das Wetter es zulässt.

Ist es für Profilierungsarbeiten und für den Einbau der Gasdrän- und Ausgleichsschicht noch möglich, sie erst „horizontal“ also schichtweise komplett fertig zu stellen, bevor die folgende Schicht aufgebracht wird, so muss der Rest des Dichtungssystems annähernd „vertikal“ also mit geringen Versätzen der einzelnen Schichten abschnittsweise fertig gestellt werden, damit die Dichtung ausreichend geschützt wird (s. u.). Lediglich die Entwässerungsschicht kann unter Umständen auch flächig fertig gestellt werden, wenn z. B. kein Frostschutz für die Dichtung erforderlich ist und die Rekultivierungsschicht erst nach der Winterpause eingebaut werden soll, weil der Bewuchs als Erosionsschutz sonst nicht mehr rechtzeitig und umfangreich genug auflaufen würde.

In allen anderen Fällen ist die Aufbringung der Rekultivierungsschicht über fertig gestellten Dichtungsabschnitten zumindest in der Frosteindringtiefe vor der Winterpause erforderlich. Um Erosionsschäden, die auch in der Winterpause zur Vermeidung von Frostschäden im Rinnenbereich frühzeitig nach ihrem Auftreten saniert werden müssen, zu vermeiden, ist eine rechtzeitige Ansaat (i. d. R. bis Ende August) erforderlich, die die Bildung einer weitgehend geschlossenen Vegetationsdecke vor der regenreichen Zeit ermöglicht (s. u.).

Zu einem sinnvollen Bauablauf, der eine frühzeitige Wiederaufnahme der Arbeiten nach Regenfällen gewährleisten kann, gehört auch die rechtzeitige Erstellung der endgültigen oder -falls diese nicht in ausreichender Größe oder nicht frühzeitig hergestellt werden können- provisorischen Systeme zur Wasserfassung und -ableitung. Dabei sind besonders die Zwischenbauzustände zu betrachten. So können die auf einer freiliegenden oder nur mit einer Entwässerungsschicht überdeckten Dichtung ablaufenden Wassermengen die für den Endausbau festgelegten Bemessungsannahmen um ein vielfaches überschreiten. Dies ist besonders beim Bau von Basisabdichtungen bei Grubendeponien zu beachten, wo die Versickerungsbecken entsprechend groß ausgelegt und regelmäßig von den abgeschwemmten Feinbestandteilen z. B. der Dichtungslagen geräumt werden müssen. Etwaige Pumpen müssen die zügige Wasserableitung redundant gewährleisten, Zwischenspeicher bzw. Pumpensümpfe müssen entsprechend großzügig ausgelegt werden.

Die Wasserfassungsanlagen müssen ggf. mit entsprechenden Erosionsschutzmaßnahmen versehen werden, wobei für den Lebendverbau zu beachten ist, dass er bereits ausreichend hergestellt sein muss, wenn er seine Funktion wahrnehmen soll.

Optimal wäre es, jegliche äußere Zuflüsse von außerhalb des Baufelds zu vermeiden z. B. durch gesonderte Fanggräben und Ableitungssysteme. Unvermeidliche Zuflüsse sind bei der Auslegung der Fassungssysteme zu berücksichtigen.

Bei all diesen Maßnahmen zur Wasserhaltung des Tagwassers muss beachtet werden, dass kontaminierte Wässer (z. B. vom unabgedeckten Deponiekörper oberhalb des Baufelds ablaufend) von unkontaminierten Wässern sicher getrennt gehalten werden und diese Trennung auch über eine etwaige Winterpause sicher funktionieren muss. Kontaminierte Abflüsse können zum Beispiel dann auftreten, wenn sie nicht mehr wie im Ursprungszustand auf den unterliegenden Böschungen versickern oder an deren Fußpunkt gefasst werden können, weil dort jetzt eine Abdichtung aufgebracht wurde. Kontaminierte Wässer müssen darüber hinaus einer schadstoffbezogen und hydraulisch geeigneten Behandlungsanlage zugeführt werden.

Der Bauablauf sollte grundsätzlich so gestaltet werden, dass von unten nach oben, entgegen der Entwässerungsrichtung vom Tief- zum Hochpunkt gearbeitet wird, so dass das konzentriert auf der Dichtung ablaufenden Oberflächenwasser nicht in den Baubereich geleitet wird.

3. Witterungsanfälligkeiten und Schutzmaßnahmen bei einzelnen Systemkomponenten

Grundsätzliches

Mineralische Komponenten unterliegen je nach Feinkornanteil, Körnungslinie, Art der enthaltenen Tonmineralien und des Einbauwassergehaltes der Austrocknung bei Sonneneinstrahlung und Windeinwirkung (Schrumpfrisse), Erosion durch Regen und Wind (Rinnenbildung, Verwehungen), Aufweichung durch Niederschläge und Frost/Tauwechsel (Quellen) sowie Auflockerung der Lagerungsdichte durch Frost.

Auf Geokunststoffe (Geotextilien und Kunststoffdichtungsbahnen) wirkt besonders der Windangriff. Bei Temperaturschwankungen, unterstützt durch direkte Sonneneinstrahlung dehnen sich die Geokunststoffe in der Regel stark aus, wodurch sich starke Wellen bilden können. Schädigungen können bei lange offen liegenden Geokunststoffen auch durch UV-Strahlung entstehen.

Über diese Schadensmechanismen hinaus kann es auch durch Kombination einzelner Systemkomponenten in den Zwischenbauzuständen zu Problemen kommen. So bildet sich bei Sonneneinstrahlung an der Unterseite einer Kunststoffdichtungsbahn Kondensat, was bei einer unterliegenden mineralischen Dichtung eine Vernässung der oberen Schicht bewirkt. Dies kann wiederum zu einer Gleitfugenbildung mit daraus resultierenden Standsicherheitsproblemen der Abdichtung und der darüber befindlichen Schichten in Böschungsbereichen führen.

Ausgleichsschicht/Planum

Beim Bau von Oberflächenabdichtungen können Umlagerungs- bzw. Profilierungsarbeiten in der Regel in der kalten und nassen Jahreszeit durchgeführt werden, da die Abfälle und Ausgleichsschichten meist ausreichend grobe Bestandteile enthalten. Das gilt zumindest bei herkömmlichen Abfällen, wie sie bis 2005 die Regel waren. Abfälle aus der mechanisch biologischen Aufbereitung hingegen verhalten sich aufgrund ihres hohen Feinkornanteils und der meist fehlenden Grobfraction eher wie bindige Böden, also analog zu den unten beschriebenen mineralischen Dichtungen.

Für Basisabdichtungen sind Profilierungsarbeiten aufgrund der häufig verwendeten feinkörnigen und bindigen Böden (z. B. zur Ergänzung bzw. zum Anschluss an eine geologische Barriere) selten witterungsunempfindlich durchzuführen, da deren Befahrbarkeit und Erosionsstabilität eingeschränkt sowie eine erhöhte Frostempfindlichkeit (Klumpenbildung und daraus resultierende, erschwerte Verdichtbarkeit) gegeben ist. Hier gelten die Prinzipien, die auch für mineralische Dichtungen gelten.

Gasdränschicht

Gasdränschichten können aufgrund ihrer erhöhten Durchlässigkeit, ihres eher geringen Fein- und höheren Grobkornanteils und damit gegebenen Frostunempfindlichkeit ebenfalls bei Frost- und Niederschlagsperioden eingebaut werden, zumal die bei Oberflächenabdichtungen häufig anzutreffenden stärkeren Oberflächengefälle für eine schnelle Ableitung des Oberflächenwassers sorgen. Die Austrocknung hat keine Auswirkung auf die Funktion und Einbaubarkeit der Gasdränschicht und der folgenden Schichten. Abgesehen von der Verhinderung kleinräumiger, konzentrierter Wasserabläufe die bei Überschreitung der Schlepptensionen zu Erosionsrillen führen können, sind unter den üblichen Rahmenbedingungen keine gesonderten Schutzmaßnahmen erforderlich.

Schutzschichten

Mineralische Schutzschichten bestehen aus feinkörnigen Sanden oder auch aus bindigen Bodenmaterialien. Letztere werden z. B. nach den Empfehlungen des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme unter einer Kunststoffdichtungsbahn gefordert. Zur Wahrnehmung der Schutzfunktion sind überdies besondere Anforderungen an die Ebenheit der Oberflächen zu stellen (bei bindigen Schutzschichten auch an die Geschlossenheit der Oberfläche). Dadurch sind mineralische Schutzschichten besonders erosionsanfällig. Hinzu kommt bei bindigen Böden die Gefahr der Riss- und Schollenbildung bei zu starker Sonneneinstrahlung. Auch können stärkere Winde zur Austrocknung führen. Als Schutz gegen diese Witterungseinwirkungen sollten Schutzschichten nur in einer Größe hergestellt werden, die noch am gleichen Tag mit einer Kunststoffdichtungsbahn überdeckt werden kann, so dass sie vor Regen- und Winderosion geschützt ist. Um eine Austrocknung der Schutzschicht bei starker Sonneneinstrahlung zu verhindern ist u. U. eine feindosierte Bewässerung der Flächen erforderlich.

Deutlich unproblematischer stellt sich der Einsatz von Geotextilien als Schutzschichten hinsichtlich des Witterungsschutzes dar. Hier ist lediglich eine Windsicherung mit Sandsäcken erforderlich.

Dichtungsschichten

Tonmineralische Dichtungen:

Tonmineralische Dichtungen reagieren aufgrund ihrer meist natürlichen und damit nicht steuerbaren Zusammensetzung teilweise sehr unterschiedlich auf Witterungseinflüsse. Grundsätzlich lassen sich aber folgende Aussagen treffen: Da mineralische Dichtungen abschnittsweise (wenige 1.000 m²) herzustellen und direkt nach Freigabe der einzelnen Schichten mit der folgenden Schicht zu überbauen sind, spielen Erosionen hier nur eine untergeordnete Rolle.

Entscheidender ist die Vernässung der oberen Schicht durch Niederschläge, was insbesondere bei hohem Tongehalt und quellfähigen Tonmineralen zu einer großen Wasseraufnahme bei einem starken Wasserhaltevermögen führen kann. Die langsame Abtrocknung vernässter Schichten kann zu erheblichen Störungen im Bauablauf führen und lässt sich je nach Materialeigenschaften auch durch Auffräsen der oberen Schicht nicht immer wesentlich beschleunigen. Das Befahren vernässter Flächen ist erst nach Abtrocknung wieder möglich und die Oberfläche ist erneut zu verdichten und im Falle der oberen Lage zu glätten.

Ein weiteres, sehr ernsthaftes Problem für den Bauablauf und die Qualität der Dichtung stellt die Austrocknung bei Sonneneinstrahlung, ggf. unterstützt durch Wind, dar. Einmal entstandene Trocknungsrisse schließen sich bei Befeuchtung in der Regel nicht wieder vollständig und schollenartige Ablösungen getrockneter Flächen verbinden sich nicht mehr fugenlos mit der darunter liegenden Schicht. Sind solche Schäden aufgetreten, hilft nur noch erneutes Auffräsen, ggf. unter gleichzeitiger Wasserzugabe, und erneuter Verdichtung.

Eine Minderung der Symptome kann dadurch erreicht werden, dass das Material auf dem trockenen Ast der Proctorkurve eingebaut wird. Das setzt aber voraus, dass der Wassergehalt des Materials entweder bereits beim Abbau so gering ist oder durch technische Maßnahmen in diesen Wertebereich gebracht werden kann (auffräsen des Materials innerhalb oder außerhalb des Baufelds, Zugabe von trockenem Material oder Bentonit usw.), was aber immer Auswirkungen auf die Baukosten und den Bauablauf hat.

Als Schutzmaßnahmen gegen Vernässung und Austrocknung sollte eine möglichst frühzeitige Überbauung mit der nächsten Schicht erfolgen. Dies erfolgt i. d. R. erst nach Freigabe der Schicht auf Basis der Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung Ggf. ist eine Überbauung direkt nach der Probenahme möglich - dann aber meist auf eigene Gefahr der Baufirma. Ist die Überbauung kurzfristig nicht möglich oder steht ein Niederschlagsereignis unmittelbar bevor, ist das Glätten durch Abwalzen der Oberfläche eine sinnvolle Maßnahme. Eine weitere Schutzmaßnahme gegen Vernässung und Austrocknung stellt das Abdecken mit Baufolien dar, was sich dann lohnen mag, wenn die fertig gestellten Flächen längere Zeit ohne Überdeckung durch die folgenden Schichten überdauern müssen. Die Folien müssen z. B. mit Sandsäcken gegen Wind gesichert werden. Besonders ist darauf zu achten, dass unter den Folien kein nennenswerter Lufttransport stattfinden darf, was bei einem durch Sonneneinstrahlung aufgeheiztem und damit mit Feuchtigkeit aus der Dichtung angereichertem Luftpolster zu einem erheblichen Wasseraustrag aus der Dichtung führen kann. Gegen die Bildung von Trocknungsrisse ist auch eine Berieselung mit Wasser möglich.

Im Gegenzug kann es bei der vorgenannten provisorischen Überdeckung mit Folien, wie auch bei der endgültigen Verlegung einer Kunststoffdichtungsbahn ohne zügige Überdeckung mit den folgenden mineralischen Schichten zu der o. g. Kondensatwasserbildung kommen. Über die flächige Vernässung der oberen Schicht der mineralischen Dichtung mit der erwähnten Gleitfugenbildung kann es auch zu einem konzentrierten Wassereinstau unter Folien bzw. der Kunststoffdichtungsbahn kommen, wenn Kondensatwasser von langen Böschungen zwischen Kunststoffdichtungsbahn und mineralischer Dichtung zum Fußpunkt der Böschung abläuft und sich dort sammelt. In diesem Fall ist die Kunststoffdichtungsbahn auf-

zuschneiden, das Wasser abzupumpen, das vernässte Dichtungsmaterial gegen neues auszutauschen und die Kunststoffdichtungsbahn zu sanieren. Dieser Schaden tritt ausgerechnet im Tiefpunkt der Deponie auf, also an einer Stelle, an der es bei einer Basisabdichtung ganz besonders auf die Dichtigkeit ankommt. Erschwerend kommt für eine qualitativ hochwertige Sanierung hinzu, dass die Sanierungsarbeiten ggf. unter beengten Verhältnissen, z. B. durch die in diesem Bereich verlegte Sickerwasserdrainage oder Durchführungsbauwerke ausgeführt werden müssen.

Die mineralische Dichtung ist in der Regel gegen Frosteinwirkung zu schützen. Dafür ist eine rechtzeitige und ausreichend mächtige Aufbringung der folgenden Schichten erforderlich. Bei einer Oberflächenabdichtung ist das im Regelfall durch die Überdeckung mit einer mineralischen Entwässerungsschicht von 30 cm Dicke und einer Rekultivierungsschicht von mindestens 1 m Mächtigkeit zumeist gegeben. Beim Einsatz von Dränmatten muss die Schichtdicke der Rekultivierungsschicht ggf. entsprechend verstärkt werden, um die prognostizierte Frosteindringtiefe mindestens zu erreichen.

In einer Basisabdichtung wird die mineralische Dichtung auch nach Fertigstellung des eigentlichen Dichtungssystems von den oberhalb liegenden Schichten nicht vollständig gegen Frosteinwirkungen geschützt, da die Überdeckung mit der mineralischen Entwässerungsschicht (ca. 30 bis 50 cm) nicht ausreicht. Hier muss rechtzeitig vor der Frostperiode zusätzliches Material aufgebracht werden, um mindestens die prognostizierte Frosteindringtiefe zu erreichen. Dabei kann es sich auch in einer Winterpause um Material bis zu den jeweiligen Deponiezuordnungswerten handeln, wenn die genehmigungsrechtliche Freigabe dafür erfolgt, obwohl die Baumaßnahme noch nicht abfallwirtschaftlich abgenommen ist. Hierbei ist zu bedenken, dass dadurch zwar kein Deponievolumen verloren geht, aber aus den so belegten Bereichen fällt bereits Sickerwasser an. Dies setzt also voraus, dass die Sickerwasserfassungs-, -ableitungs- und -entsorgungssysteme bereits funktionieren und auf die entsprechende Flächengröße und den hohen (weil ungepufferten) Sickerwasseranfall ausgelegt sind. Werden diese Bedingungen nicht eingehalten oder steht nicht genügend Ablagematerial bis zur Frostperiode sicher zur Verfügung, muss rechtzeitig unbelastetes Bodenmaterial eingebaut werden.

Trisoplast®:

Lässt sich Trisoplast® auch so unproblematisch wie nichtbindiger Boden verteilen und verdichten, so verhält es sich gegenüber Witterungseinflüssen ähnlich wie die vorbeschriebene tonmineralische Dichtung, wobei der Bentonitanteil zu einer Verstärkung der Probleme führen kann.

Schon bei hoher Luftfeuchtigkeit z. B. in den Morgenstunden und im Herbst/ Frühjahr oder bei Niederschlägen kann es bei unabgedeckten Schichten zum unbelasteten Quellen des Bentonits und damit zur Bildung einer Schmierschicht auf der Oberfläche kommen. Trocknet die Oberfläche ab, entstehen feine Risse und die ehemals aufgeweichte Schicht „blättert ab“. In diesem Fall muss der lose Anteil abgeschoben, bzw. nach dem Merkblatt Qualitätssicherung bei Abdichtungen aus Trisoplast® sogar die gesamte Dichtung ausgetauscht werden. Zum Schutz gegen das unbelastete Quellen ist die Dichtungsschicht möglichst kurzfristig mit einer Bodenschicht zu überdecken. Eine alleinige Abdeckung mit einer Kunststoffdichtungsbahn im Falle einer Kombinationsdichtung reicht als Schutz vor Vernässung der Dichtungsoberfläche also nicht aus und begünstigt aufgrund der oben beschriebenen Kondensatbildung diesen Vorgang ggf. noch.

Da Trisoplast® aufgrund der oben geschilderten Mechanismen empfindlich gegen Frost-/Tauwechsel ist, sind die bereits bei der tonmineralischen Dichtung beschriebenen Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Die Gefahr der Bildung von Trocknungsrissen ist bei nicht feucht gewordenem Material allerdings auch bei direkter Sonneneinstrahlung gering.

Geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten):

Das Quellen ohne Auflast ist auch beim Einsatz von Bentonitmatten zu verhindern, da es dazu führen kann, dass das aufgeweichte Bentonit bei punktueller Belastung z. B. durch Betreten der Oberfläche seitlich weggedrückt wird und dann an diesen Stellen die Dichtwirkung reduziert ist. Hier gelten die Schutzmaßnahmen, wie sie für die Trisoplast® –Dichtung beschrieben sind, ebenso wie für den erforderlichen Schutz aufgrund der Frostempfindlichkeit.

Trockene Bentonitmatten sind unempfindlich gegen Sonneneinstrahlung, sieht man einmal von den Einflüssen der UV-Strahlung ab, die wegen der kurzfristig erforderlichen Überdeckung der Matten unproblematisch ist.

Ihre Trockenheit begünstigt aber die Staubentwicklung des Bentonits, was bei entsprechenden Windverhältnissen dazu führen kann, dass sich der Bentonitstaub während der Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen in den Nahtbereichen absetzt und die Qualität der Schweißnähte herabsetzt. Auch Bentonitmatten müssen trotz Ihres relativ hohen Gewichts gegen Windsog in Ihrer Lage z. B. durch Sandsäcke gesichert werden.

Kapillarsperre:

Kapillarsperren sind hinsichtlich der Witterung ausgesprochen unempfindlich. Sollten sich allerdings Erosionserscheinungen durch Wind oder Niederschläge an der Oberfläche zeigen, sind diese vor Überbauung mit den folgenden Systemkomponenten zu beseitigen. Voraussetzung für eine Vermeidung von Belastungsspitzen ist eine gleichmäßige Oberfläche, auf der das Wasser erfasst wird.

Kunststoffdichtungsbahnen:

Hinsichtlich der Witterungseinflüsse ist der Temperaturexstension der Kunststoffdichtungsbahnen ein besonderes Augenmerk zu widmen. Durch das Ausdehnen bei höheren (Tages-) Temperaturen und das Zusammenziehen bei niedrigeren (Nacht-) Temperaturen kann es bei einer Verlegung auf Böschungen der Schwerkraft folgend zu hangabwärtsgerichteten Bewegungen der Dichtungsbahnen kommen. Diesem Phänomen kann mit Einbindegräben oder einer Beschwerung der Dichtungsbahnen an der Böschungsoberkante entgegengewirkt werden, solange noch keine Freigabe für die Überbauung mit den folgenden Schichten gegeben ist.

Durch die Ausdehnung bei höheren Temperaturen kommt es zur Bildung von Wellen, die bei einer Belegung häufig vorgetrieben und konzentriert bzw. verstärkt werden. Wenn die Wellen zu groß werden, kann es zu Überfaltungen kommen. Außerdem können sich bei der Belegung schräg laufende Wellen bilden, die nicht mehr rausgetrieben werden und sich als Kniffe ausbilden können. Diese müssen dann aufgeschnitten und mit einer Auftragsnaht und einem Zuschnitt verschlossen werden. Bei einer zu starken Wellenbildung sollte die Belegung in den frühen Morgenstunden erfolgen, wenn sich die Kunststoffdichtungsbahnen durch die tieferen Nachttemperaturen zusammengezogen und sich die Wellen geglättet haben. Das setzt aber entsprechende Temperaturunterschiede voraus, die zum Herbst hin immer geringer werden. Haben sich die Wellen auch durch die o. g. hangabwärtsgerichteten Bewegungen gebildet, reichen die Temperaturunterschiede möglicherweise zum Glätten nicht mehr

aus. Aus diesem Grund sollen Kunststoffdichtungsbahnen deshalb kurzfristig freigegeben und mit den folgenden Bodenschichten überdeckt werden.

Aber auch die unterschiedlichen Temperaturen von bereits seit Stunden verlegten und der Sonne ausgesetzten zu den neu ausgerollten Bahnen können bei einer direkten Verschweißung zu Spannungen in den Nähten und nachfolgender Wellenbildung führen.

Entscheidend beim Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen ist die Sicherung gegen Windangriffe. Das wird üblicherweise mit Hilfe von Sandsäcken bewerkstelligt. Bei Staubverwehungen kann es zu einer Verschmutzung der Nahtbereiche kommen, die verhindert bzw. vor dem Verschweißen entfernt werden muss.

Beim Verschweißen der Kunststoffdichtungsbahnen untereinander darf die Luftfeuchtigkeit nicht zu hoch sein. Bei Regen sind die Schweißarbeiten einzustellen, ebenso wie bei Temperaturen unter 5 °C.

Der UV-Schutz spielt bei der relativ kurzen Zeit, in der die Kunststoffdichtungsbahnen der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, keine Rolle.

Asphaltdichtungen:

Asphaltdichtungen sind unempfindlich gegen Witterungseinflüsse. Bei ihrem Einbau sind allerdings die aus dem Straßenbau bekannten Bedingungen wie Außentemperaturen über 3 °C und Niederschlagsfreiheit zu beachten. Es ist allerdings erforderlich, dass der Untergrund nicht aufgeweicht sein darf, damit das Widerlager für die Verdichtung während des Einbaus ausreichend tragfähig ist.

Entwässerungsschicht

Aus der Sicht des Witterungsschutzes sind mineralische Entwässerungsschichten optimal, da sie in der Regel erosionsunempfindlich sind, als Teil des Frostschutzes dienen, die Sonneneinstrahlung auf die mineralische oder künstliche Dichtung verhindern und eine Auflast auf die Dichtungslage darstellen (Schutz gegen unbelastetes Quellen, Windsicherung, Auflast für Messungen mit einem Dichtungskontrollsystem).

In Oberflächenabdichtungen werden zunehmend Dränmatten eingesetzt, die bis zur Überbauung durch Sandsäcke o. ä. gegen Wind gesichert werden. Die oben beschriebenen Einwirkungen auf die darunterliegenden Dichtungslagen müssen dann von der folgenden Rekultivierungsschicht aufgenommen werden, die aufgrund ihrer größeren Schichtdicke und ihrer größeren Witterungsabhängigkeit aber nur deutlich langsamer einzubauen ist.

Rekultivierungsschicht

Die Rekultivierungsschicht ist hinsichtlich des langfristigen Witterungsschutzes das entscheidende Element des Oberflächenabdichtungssystems. Sie ist nicht nur für die Dauer der Bauzeit sondern über die gesamte Liegezeit der Oberflächenabdichtung den Witterungseinflüssen ausgesetzt.

Materialauswahl:

Die Rekultivierungsschicht besteht in der Regel aus maximal 30 cm Oberboden und mindestens 70 cm Wurzelschicht. Die Gesamtschichtdicke ist neben den Anforderungen an die Bepflanzung bei frostempfindlichen Dichtungsschichten von der örtlichen Frosteindringtiefe und natürlich der Frage, ob eine mineralische Entwässerungsschicht oder nur eine Dränmatte eingesetzt werden, abhängig. Die besondere Exposition (Auskühlung der gegen Wind ungeschützten freien Hänge und Kuppen) ist dabei zu berücksichtigen. Zur Reduzierung der Frosteindringtiefe kann die Erwärmung aus dem Deponiekörper langfristig nicht angesetzt werden, da der wärmeproduzierende Abbau der biologischen Inhaltsstoffe über die Zeit abnimmt. Neuere Deponien haben aufgrund des geringen biologischen Potentials nur eine geringe Erwärmung, bei Schlackedeponien ist die Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Alterung des Ablagerungsmaterials sehr unterschiedlich. Bei der Schichtdickenbemessung sind bei locker eingebauten Böden (s. u.) Sackungen zu berücksichtigen.

Um eine möglichst hohe Verdunstung des Niederschlagswassers zu erreichen und damit die Wassermenge zu reduzieren, mit der die Dichtung belastet wird, werden im Anhang 5 der Deponieverordnung und in den GDA-Empfehlungen E2-31 Anforderungen an die Materialauswahl definiert. Danach soll der Oberboden humushaltig sein. Im Oberboden und in der Wurzelschicht soll möglichst viel pflanzenverfügbares Porenwasser gespeichert werden. Die eingesetzten Böden sollen eine hohe nutzbare Feldkapazität, eine ausreichende Luftkapazität und ausreichende Nährstoffgehalte aufweisen, damit Pflanzenwurzeln auch in niederschlagsarmen Zeiten in der Rekultivierungsschicht bleiben und nicht in die Entwässerungsschicht einwachsen. Gut geeignet wegen der hohen Wasserspeicherung, guten Durchwur-

zelbarkeit und geringen Schrumpfgefährdung sind Schluffe, schluffige Sande, lehmige Sande, schluffiger Lehm und sandiger Lehm.

Vor dem Hintergrund der Erosionsstabilität sollte die obere Schicht der Rekultivierungsschicht bzw. der Oberboden aus lehmigem Sand bestehen, organische Substanz erhöht die Gefügestabilität. Schluffe, schluffige Sande und schluffiger Lehm gehören in den Unterboden (Wurzelschicht), da sie erosionsanfällig sind.

Einbau:

Die Rekultivierungsschicht soll nur gering verdichtet eingebaut werden, damit die o. g. Materialanforderungen und eine schnelle Durchwurzelung erreicht werden können. Dazu sollte eine Zwischenlagerung des Materials möglichst vermieden werden, da das zu einer erhöhten Vorverdichtung führen kann. Der Einbau des Unterbodens und des Oberbodens sollte jeweils in nur einer Lage mit einem Langarm- oder Teleskopbagger und Kettenfahrzeuge mit geringer Bodenpressung (Pistenbully oder Moorraupe) erfolgen. Die Raupenfahrtrichtung in Fallrichtung oder alternativ das Eggen quer zur Falllinie schafft kleine hangparallele Rillen, die den Wasserabfluss unterbrechen und in denen das Wasser versickern kann. Ggf. können unterstützend größere Querrinnen zur gezielten Wasserfassung und -ableitung angelegt werden. Auftretende Erosionsrinnen sind kurzfristig zu sanieren, um die Schäden gering zu halten.

Ansaat:

Ein flächendeckender, ausreichend tiefwurzelnder Bewuchs reicht in aller Regel zur Verhinderung von Erosionsschäden aus. Es ist also besonders wichtig, dafür zu sorgen, dass die Ansaat möglichst frühzeitig nach Fertigstellung der Rekultivierungsschicht ausgebracht wird. Dies kann als Anspritzbegrünung erfolgen, wobei das Saatgut mit Dünger, Kleber und Trägermaterial als wässrige Lösung angemischt und mit Spezialfahrzeugen auf die Flächen ausgebracht wird. Vorteil gegenüber der Handansaat ist, auf exponierten Böschungen ein Verwehen der Ansaat durch den Kleber verhindert wird. Klarer Nachteil ist allerdings, dass sich die Anspritzbegrünung nur lohnt, wenn Flächen von etwa 10.000 m² fertig gestellt sind. Das führt dazu, dass große Flächen zunächst ungeschützt bleiben und die Zeit zum Auflaufen der Saat vor der kälteren Jahreszeit verkürzt wird. Auf erosionsgefährdeten Böschungen ist aus unserer Sicht deshalb die Handansaat vorzuziehen, da sie ohne besonderen Geräteaufwand direkt nach Fertigstellung von Teilflächen auch arbeitstäglich erfolgen kann.

Entscheidend ist neben der Frage der Saatausbringung insbesondere die Zusammensetzung der Saatgutmischung. Sie sollte zum frühzeitigen Auflaufen des Bewuchses einen Anteil an schnellwachsenden Gräsern enthalten. Da diese in der Regel nur einjährig sind, müssen auch mehrjährig wachsende Gräser enthalten sein, die für ein langfristig stabiles Wurzelwerk sorgen. Um diese langfristig mit Nährstoffen zu versorgen, sollte in Abhängigkeit von den Nährstoffgehalten im Boden zusätzlich ein Langzeitdünger ausgebracht werden.

Erosionsschutzmatten/Anwachshilfen:

Das Ausbringen der Ansaat sollte bis Ende August/Anfang September abgeschlossen sein, da danach aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung, der kühlen Winde und der insgesamt geringeren Temperaturen der Bewuchs nicht mehr ausreichend schnell aufläuft und wächst. Gegen Ende Oktober/Anfang November endet die Pflanzenentwicklung und wird erst im März/April wieder fortgesetzt. Durch Abdecken der frisch angesäten Flächen mit Erosionsschutzmatten, z. B. mit Strohmatte, Kokosmatte oder auch einem dünnen, lichtdurchlässigen Vlies kann eine Verbesserung der Anwachsbedingungen und die Verlängerung des Entwicklungszeitraums erzielt werden, da unter dem Vlies ein günstigeres Mikroklima (geringerer Luftaustausch und damit geringere Auskühlung, höhere Feuchtigkeit) herrscht.

Darüber hinaus schützen die Erosionsschutzmatten und auch das Vlies in gewissem Umfang vor Erosionen durch Niederschläge. Kommt es allerdings zu konzentrierten Wasserabflüssen, können sich auch unterhalb der Matten Erosionsrinnen bilden. Das gilt besonders dann, wenn Unterläufigkeiten entstehen oder Teilbereiche nicht ausreichend gegen Wind gesichert wurden.

4. Auswirkungen auf den Bauvertrag

Nebenleistung / besondere Leistung:

Die Abgrenzung zwischen Nebenleistungen, also die Leistungen, die der Auftragnehmer ohne besondere Vergütung erledigen muss, und den besonderen Leistungen, für deren Erbringung er zusätzlich vergütet wird, die er also über Regelungen im Bauvertrag bezahlt bekommt bzw. für deren Ausführung er anderenfalls einen Nachtrag stellen kann, ist in den im Teil C der VOB abgedruckten Normen DIN 18299 ff. jeweils im Abschnitt 4 geregelt.

Die DIN 18299, regelt unter 4.1.10: „Sichern der Arbeiten gegen Niederschlagswasser, mit dem normalerweise gerechnet werden muss, und seine etwa erforderliche Beseitigung“ ist eine Nebenleistung.

Im Gegensatz dazu werden als besondere Leistungen gemäß DIN 18299, 4.2.6: „Besondere Schutzmaßnahmen gegen Witterungsschäden, Hochwasser und Grundwasser, ausgenommen Leistungen nach Abschnitt 4.1.10“ bezeichnet. Zu den hier genannten Schutzmaßnahmen gehören z. B. Fange- und Ableitgräben für Oberflächenwasser, das aus anderen, außerhalb des Baufeldes liegenden Bereichen (z. B. oberhalb liegende Böschungen) zulaufen würde.

Das wird für den Bereich Erdarbeiten auch in DIN 18300, 4.2.1 durch Verweis auf die Regelung in 3.3.1 konkretisiert, dieser lautet: „Der Auftragnehmer hat die erforderlichen Entwässerungsmaßnahmen rechtzeitig auszuführen. Reichen die vereinbarten Maßnahmen für das Beseitigen von Grund-, Schichten-, Quell-, Sicker- und Oberflächenwasser nicht aus, so sind die erforderlichen zusätzlichen Maßnahmen gemeinsam festzulegen. Diese sind besondere Leistungen (siehe Abschnitt 4.2.1).“

Besondere Schutzmaßnahmen gegen andere Witterungseinflüsse, wie Frost/Schnee, Wind und Sonne sind demnach auch besondere Leistungen, die extra vergütet werden müssen, soweit keine diesbezüglichen Regelungen im Bauvertrag enthalten sind (z. B. Definition als Nebenleistungen oder gesonderte Positionen). Dabei sind besondere Leistungen so zu verstehen, dass die Leistungen nicht ohnehin schon im Bauvertrag vorgesehen sind z. B. die frühzeitige Abdeckung der mineralischen Dichtung mit der Kunststoffdichtungsbahn oder deren Überbauung mit der Entwässerungsschicht oder der Einbau der Rekultivierungsschicht als Frostschutz.

Behinderung:

Behinderungen in der ordnungsgemäßen Ausführung der Leistung aufgrund von meteorologischen Besonderheiten sind in der VOB/B, §6, Nr. 2, Abs. 1 geregelt. Dort heißt es: „Ausführungsfristen werden verlängert, soweit die Behinderung verursacht ist ... c) durch höhere Gewalt oder andere vom Auftragnehmer unabwendbare Umstände.“ Im Absatz 2 findet sich dazu noch eine Abgrenzung: „Witterungseinflüsse während der Ausführungszeit, mit denen bei Abgabe des Angebots normalerweise gerechnet werden musste, gelten nicht als Behinderung.“

Höhere Gewalt umfasst außergewöhnliche, entgegen aller Erfahrung stark auftretende Witterungsverhältnisse, mit denen der Auftragnehmer bei Vertragsabschluss nicht rechnen konnte, z. B. wolkenbruchartiger Regen, der so stark und selten ist, dass damit an der Baustelle im Durchschnitt alle 20 Jahre gerechnet werden kann, aber auch außergewöhnlich lang anhaltende Kältewellen und besonders harte Winter mit nachfolgender extremer Schlammbildung.

Voraussetzung für die Anerkennung solcher Behinderungen ist es, dass der Auftragnehmer den Auftraggeber unverzüglich schriftlich darüber informiert oder dass die Tatsache und deren hindernde Wirkung dem Auftraggeber bekannt waren oder hätten sein müssen (VOB/B, § 6, Nr. 1). Die Arbeiten sind sofort nach Wegfall der hindernden Umstände wieder aufzunehmen und es ist der Auftraggeber darüber zu benachrichtigen (VOB/B, § 6, Nr. 3).

Werden diese Randbedingungen eingehalten, sind die Vertragsfristen nach VOB/B, § 6, Nr. 4 zu verlängern: „Die Fristverlängerung wird berechnet nach der Dauer der Behinderung mit einem Zuschlag für die Wiederaufnahme der Arbeiten und die etwaige Verschiebung in eine ungünstigere Jahreszeit.“ Dies gilt sowohl für den Fertigstellungstermin, als auch für Zwischenfristen. Sind die Fristen kalendermäßig benannt (Datum oder Kalenderwoche), müssen mit der Vereinbarung der neu berechneten Fristen auch die Vertragsstrafen auf die neuen Termine bezogen werden, wenn sie weiterhin Bestand haben sollen.

Schadenersatz:

Der Ersatz des entstandenen Schadens ist nicht in § 6, Nr. 6 geregelt, da die dortige Regelung ein Verschulden einer Vertragspartei voraussetzt („Sind die hindernden Umstände von einem Vertragsteil zu vertreten, so hat der andere Teil Anspruch auf Ersatz des nachweislich entstandenen Schadens...“), was das Vorliegen höherer Gewalt ausschließen würde. Auch nach der grundsätzlichen Regelung im §12, Nr. 6, VOB/B steht dem Auftragnehmer kein Schadenersatz zu, da er für den Schutz des Bauwerks bis zur Abnahme verantwortlich ist (Gefahrübergang auf den Auftraggeber erst bei Abnahme). Eine Ausnahme davon ist allerdings in § 7, Nr. 1 der VOB/B „Verteilung der Gefahr“ geregelt: „Wird die ganz oder teilweise ausgeführte Leistung vor der Abnahme durch höhere Gewalt, Krieg, Aufruhr oder andere, objektiv unabwendbare vom Auftragnehmer nicht zu vertretende Umstände beschädigt oder zerstört, so hat dieser für die ausgeführten Teile der Leistungen die Ansprüche nach § 6 Nr. 5; für andere Schäden besteht keine gegenseitige Ersatzpflicht.“

Im Falle der höheren Gewalt, d. h. auch von meteorologischen Besonderheiten, findet ein Gefahrenübergang auf den Auftraggeber statt. Der Auftraggeber wird also bei höherer Gewalt von seiner Vergütungspflicht für eine vor der Abnahme beschädigte Leistung nicht befreit, sondern muss diese nach den Vertragspreisen vergüten. Zusätzlich muss er die Kosten, die bereits für noch nicht ausgeführte Leistungen entstanden sind, bezahlen. Für die Wiederherstellung bzw. Neuerrichtung der beschädigten oder zerstörten Leistungsteile muss er eine erneute Vergütung an den Auftragnehmer nach § 2 Nr. 6 VOB/B (Nachtragsangebot) zahlen. Darin sind dann auch die erschwerten Bedingungen bzw. Vorarbeiten für die Herstellung (z. B. Abräumen aufgeweichter Schichten usw.) zusätzlich zu den eigentlichen Arbeiten zu vergüten. Da für andere Schäden keine gegenseitige Ersatzpflicht besteht, können aber Stillstandszeiten vor Aufnahme der Arbeiten, soweit sie nicht durch den Auftraggeber verursacht sind, nicht geltend gemacht werden.

5. Zusammenfassung

Abdichtungen von Deponien sind unterschiedlichen Witterungseinflüssen wie Sonneneinstrahlung, Frost, Regen, Schnee und Wind ausgesetzt. Sie haben erheblichen Einfluss auf die Auswahl und Bemessung des Gesamtsystems für den Endzustand, insbesondere aber auch auf die Herstellung, was Schutzmaßnahmen, Bauablauf und Zwischenzustände angeht.

Entscheidend für einen wirtschaftlichen Erfolg sowohl auf Seiten des Auftraggebers, als auch für den Auftragnehmer ist die Wahl der richtigen Bauzeit und des optimalen Bauablaufs. Die Bauarbeiten für Dichtungsmaßnahmen sollten zum Herbst/Winter ausgeschrieben werden, so dass vorbereitende, witterungsunabhängige Arbeiten weitgehend fertig gestellt sind, sobald das Wetter im Frühjahr die witterungsabhängigen Dichtungsarbeiten ermöglicht. Wasserfangs- und -ableitungssysteme müssen unter Berücksichtigung der Bauzustände bemessen und frühzeitig hergestellt, Fremdzuflüsse ins Baufeld verhindert werden. Maßnahmen zum Frostschutz sind sowohl für etwaige Winterpausen, als auch für den Endzustand rechtzeitig vorzubereiten und umzusetzen.

Zur Auswahl der Dichtungssysteme ist festzuhalten, dass dem Schutz insbesondere mineralischer Dichtungsschichten aufgrund ihrer Witterungsanfälligkeit eine hohe Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Aber auch Kunststoffdichtungsbahnen unterliegen hinsichtlich der Witterung einigen nicht unbedeutenden Einflüssen (z. B. Wellenbildung durch Temperaturschwankungen), die teilweise erhebliche Auswirkungen auf den Bauablauf haben. Bei der

Kombination von mineralischen Abdichtungen und Kunststoffdichtungsbahnen sind zusätzlich zu den Auswirkungen auf die einzelnen Komponenten noch die aus der Kombination entstehenden wie z. B. Kondenswasserbildung zu berücksichtigen.

Für Witterungen, mit denen beim Bau üblicherweise gerechnet werden muss, stellen die erforderlichen Schutzmaßnahmen in der Regel Nebenleistungen dar (aufgrund von Regelungen der VOB/C oder Individualabsprachen im Bauvertrag) oder sie sind in dem Leistungsverzeichnis als gesonderte Positionen auszuweisen. Handelt es sich bei den Witterungseinflüssen hingegen um einen Fall der höheren Gewalt (Einflüsse, die in den letzten 20 Jahren nicht eingetreten sind), liegt eine Behinderung vor, die unter bestimmten Umständen zu einer Verlängerung von Vertragsfristen und zur Vergütung der eingetretenen Schäden am Bauwerk an den Auftragnehmer führen kann.

Literatur

- [1] AK TRISOPLAST (2002): Empfehlungen des AK Trisoplast[®] zur Herstellung von Abdichtungen aus Trisoplast (Stand: 17.07.2002).
- [2] BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND PRÜFUNG (2000): Anforderungen an Dichtungskontrollsysteme in Oberflächenabdichtungen von Deponien. Empfehlungen des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme (AK DKS) der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin. Herausgegeben vom Labor IV.32, Deponietechnik. 1. Auflage, November 2000.
- [3] BRÄCKER, W. (2002): Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen. Abfallwirtschafts-Fakten 6.1, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, und Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, August 2002.
- [4] DEPV: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I Nr. 52 vom 29.07.2002, S.2807), zuletzt geändert am 13. Dezember 2006 durch Artikel 2 (Änderung der Deponieverordnung) der Verordnung zur Umsetzung der Ratsentscheidung vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldéponien (BGBl. I Nr. 59 vom 16.12.2006 S. 2866).
- [5] DEUTSCHER VERGABE- UND VERTRAGSAUSSCHUSS FÜR BAULEISTUNGEN, HRSG.: DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2006): Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Ausgabe 2006.

- [6] INGENSTAU/KORBION, HRSG: LOCHER/VYGEN (2007): VOB - Teile A und B. Kommentar 2006, 16. Auflage, 2007.
- [7] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK, DGGT (2006): Geotechnik der Deponien und Altlasten, GDA-Empfehlung E 2-31 „Rekultivierungsschichten“, Bautechnik 9/2006.
- [8] HEYER, D. (2000): Bentonitmatten als Dichtungselement in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien. Die sichere Deponie. Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen. Tagungsband der 16. Fachtagung am 10./11.02.2000 in Würzburg.
- [9] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNISCHE VOLLZUGSFRAGEN“ (2007): Eignungsbeurteilung von Trisoplast[®] zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungen von Deponien, 09.01.2007
- [10] LAGA (2000): Themenbereich Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen. Ergebnisse der LAGA ad hoc Arbeitsgruppe Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen, Beschluss der LAGA vom 08./09.02.00. Abgedruckt in: BRÄCKER, W. (2002): Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen. AbfallwirtschaftsFakten 6.1 [1]
- [11] MELCHIOR, S. (2005): Erfahrungen bei der Herstellung und Qualitätssicherung von Deponieabdichtungen mit Trisoplast. Die sichere Deponie. Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen. Tagungsband der 16. Fachtagung am 10./11.02.2000 in Würzburg.
- [12] MELCHIOR, S. (1999): Bentonitmatten als Elemente von Oberflächenabdichtungssystemen. Die sichere Deponie. Wirksamer Grundwasserschutz mit Kunststoffen. Tagungsband der 15. Fachtagung am 18./19.02.1999 in Würzburg.
- [13] TA Si (1993): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall). Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993.
- [14] TD UMWELTECHNIK GMBH & Co. KG (2006): Merkblatt Qualitätssicherung bei Abdichtungen aus Trisoplast[®], Teil II Qualitätssicherung beim Einbau von Trisoplast[®], 12.12.2006.
- [15] ZANNER, CHRISTIAN (2007): Bauzeit/Fristen, gestörter Bauablauf, Vertragsstrafe, Vortrag vom 13.03.2007.

Dipl.-Ing. Axel Piepenburg: Meteorologische Besonderheiten beim (bzw. Einflüsse auf den) Bau von Deponien²⁰
an unterschiedlichen Dichtungssystemen praxisnah dargestellt