

**Erfahrungen aus der Qualitätssicherung  
von Abdichtungen aus Trisoplast**  
Fallbeispiele aus Rheinland-Pfalz

Stefan Melchior

erschienen 2005 in:

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz &  
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
(Hrsg.):

Sanierung, Oberflächenabdichtung, Rekultivierung & Nachsorge von Deponien  
5. Deponieseminar am 20. September 2005 in Nieder-Olm

Redaktion: Dr. Ulrich Maier-Harth  
Bezug: [vertrieb@lgb-rlp.de](mailto:vertrieb@lgb-rlp.de)

Dr. habil. Stefan Melchior  
melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft  
Karolinenstraße 6; 20357 Hamburg  
Hermannstraße 65; 55286 Wörrstadt  
[www.mplusw.de](http://www.mplusw.de)

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	117
2	Herstellungsprozess und Vorgehen bei der Qualitätssicherung.....	120
3	Praxiserfahrungen.....	121
3.1	Auswahl und Qualitätssicherung der Komponenten .....	121
3.2	Mischprozess.....	123
3.3	Einbau der Trisoplast-Dichtung.....	126
3.4	Qualitätssicherungsprogramm.....	136
4	Fazit .....	139
	Literaturverzeichnis .....	141

## **Verzeichnis der Abbildungen**

Abbildung 1	Mischreihenfolge und Massenanteile der Komponenten von Trisoplast, schematische Darstellung des Zusammenwirkens von Bentonit und Polymer sowie elektronenmikroskopische Aufnahme der Mikrostruktur
Abbildung 2	Ablaufschema Herstellung und Qualitätssicherung von Trisoplast
Abbildung 3	Mischanlagen
Abbildung 4	„Klassischer“ Einbau mit Langarmbagger und Walze
Abbildung 5	Verdichtung mit der Rüttelplatte
Abbildung 6	Mischgutverteilung und -verdichtung mit der Raupe
Abbildung 7	Mischgutverteilung und -verdichtung mit Fertiger und Walze
Abbildung 8	Struktur der Dichtungsoberfläche während der Herstellung mit Fertiger und Walzen

# 1 Einleitung

Trisoplast ist ein patentgeschütztes mineralisches Abdichtungsmaterial, das seit 1992 in den Niederlanden und seit 2001 auch in Deutschland zur Abdichtung von Deponien und Altlasten eingesetzt wird. Es besteht aus einem mineralischen Zuschlagstoff (Sand), Bentonit und Polymer (Abbildung 1a) und wird aus diesen qualitätsgeprüften Komponenten in Mischanlagen bei geringer Wasserzugabe hergestellt und auf dem trockenen Ast der Proctorkurve als Dichtung eingebaut. Bei Wasserzutritt quillt der Bentonit und es entsteht im Porenraum des mineralischen Zuschlagstoffes ein Netz aus Bindungen zwischen den funktionellen Gruppen des Polymers und dem Tonmineral Bentonit (Abbildungen 1b und c). Trisoplast-Dichtungen zeichnen sich durch sehr geringe Wasserdurchlässigkeiten, eine hohe rissfreie Verformbarkeit, ein günstiges Austrocknungsverhalten sowie Alterungsbeständigkeit aus.

Die grundsätzliche Eignung von Trisoplast für die Verwendung in Oberflächenabdichtungen von Deponien wurde 2001 und 2002 im Arbeitskreis Trisoplast untersucht, in dem Vertreter der Landesumweltbehörden, des Umweltbundesamts, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung sowie externe Sachverständige von Hochschulen und Ingenieurbüros zusammengearbeitet haben. Die Beurteilung von Trisoplast erfolgte auf der Grundlage der Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen [1] sowie den Zulassungsgrundsätzen für Dichtungsschichten aus natürlichen mineralischen Baustoffen [2] des Deutschen Instituts für Bautechnik. Die in diesen Dokumenten enthaltenen Prüffelder wurden durch fünf Fachgruppen des AK Trisoplast bearbeitet. Obmann des AK Trisoplast war Herr Dipl.-Ing. W. Bräcker (Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, vormals Niedersächsisches Landesamt für Ökologie). Die Arbeit in den Fachgruppen wurde durch den Autor dieses Beitrages koordiniert.

Die Ergebnisse der Fachgruppenarbeit zu den geotechnischen Belangen, zur Beständigkeit des Polymers und zu den baubetrieblichen Themen wurde in internen Berichten dokumentiert. Am 12.08.2002 wurden die Empfehlungen des AK Trisoplast in der gemeinsamen Stellungnahme der im Arbeitskreis vertretenen Landesumweltbehörden zu Trisoplast verabschiedet und veröffentlicht [3]. Die Stellungnahme enthält die folgenden entscheidenden Festlegungen für den Einsatz von Trisoplast in Deponieoberflächenabdichtungssystemen:

1. Trisoplast ist als mineralische Komponente der Regeldichtung anzusehen und für die Herstellung von mineralischen Abdichtungselementen in der Oberflächenabdichtung aller Deponieklassen geeignet.
2. Bei Einhaltung der Empfehlungen zur Herstellung [4] und Qualitätssicherung [5] lässt sich mit Trisoplast eine homogene Abdichtungsschicht herstellen, deren Dichtigkeit nur in sehr geringem Maße von der Einbaudichte abhängt, so dass der einlagige Einbau von Trisoplast vertretbar ist.



3. Die hydraulische Wirksamkeit einer mindestens 7 cm dicken Trisoplastabdichtung mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 3 \times 10^{-11}$  m/s (Laborwert) ist mit der einer 50 cm dicken mineralischen Abdichtung mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5 \times 10^{-10}$  m/s vergleichbar.
4. Die geringe Dicke und der einlagige Einbau von Trisoplast setzen hohe Anforderungen an die Qualitätssicherung und noch zu formulierende Anforderungen an das Auflager voraus.
5. Der AK Trisoplast sieht noch gewisse Unsicherheiten bei der Herstellung von einlagigen mineralischen Abdichtungen und empfiehlt daher, Trisoplast zunächst mit einer Mindestdicke von 10 cm einzubauen. Im Einzelfall und in kritischen Bereichen kann eine Mindestdicke von 15 cm erforderlich sein. Eine Reduzierung der Mindestdicke auf 7 cm, die für die o.g. Wirksamkeit der Trisoplast-Dichtung ausreicht und in den Niederlanden seit Jahren üblich ist, setzt eine gegenüber dem Arbeitskreis nachgewiesene Optimierung des Einbauverfahrens voraus.

Bezüglich der Unsicherheiten bei der Herstellung von einlagigen Dichtungen und Trisoplast, die zu einer Erhöhung der geforderten Mindestdicke gegenüber dem materialspezifisch erforderlichen Maß geführt haben, nennt die Empfehlung folgende Ansatzpunkte für Optimierungen:

1. Vermeidung von Klumpenbildung im Mischgut
2. Vermeidung der Entstehung von Walzrissen beim Einbau (die Dichtung muss visuell rissfrei hergestellt werden)
3. Optimierung des Herstellungsprozesses und Einbauverfahrens (z.B. Einsatz eines Fertigers)
4. Definition von quantitativen Anforderungen an das Auflager und die Dichtungsherstellung
5. Schutzmaßnahmen bei der Überschüttung durch grobe Entwässerungsschichtmaterialien und langfristig wirksame Maßnahmen zum Schutz vor Austrocknung der eingebauten Dichtung (beides nur relevant bei Anwendung von Trisoplast ohne bedeckende Kunststoffdichtungsbahn)

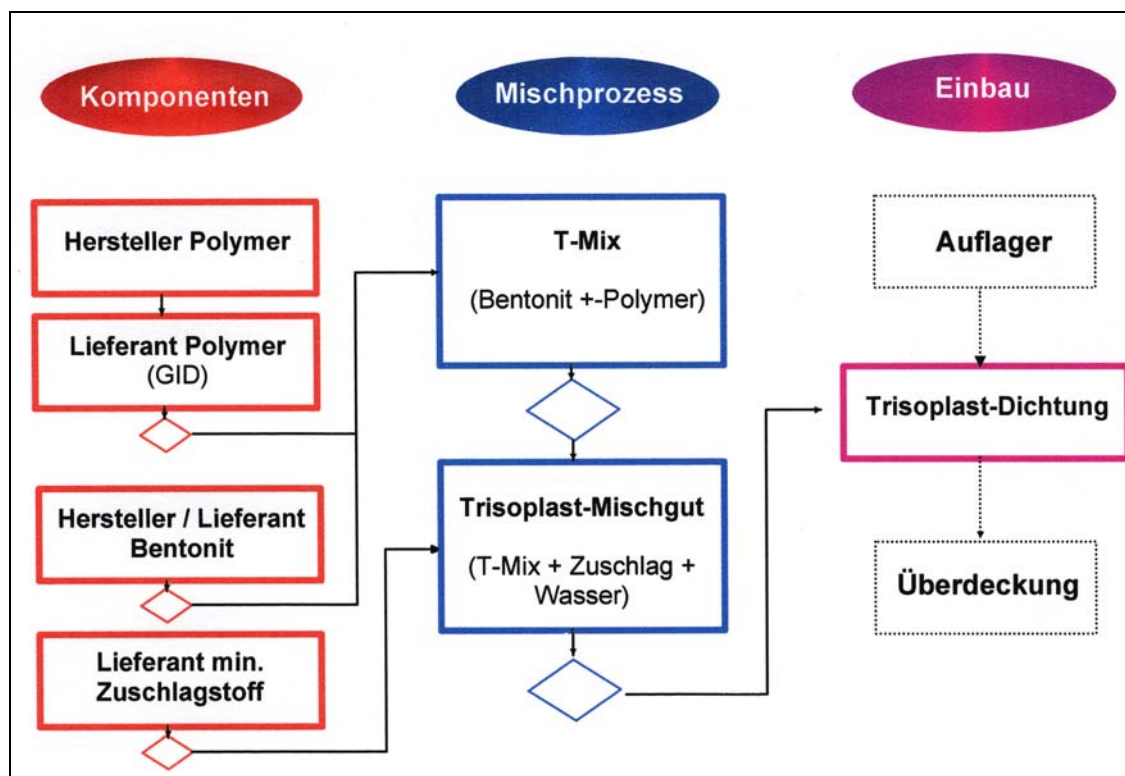
Seit der Verabschiedung der Empfehlungen des AK Trisoplast hat die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft mehrere Abdichtungsmaßnahmen mit Trisoplast als Eigen- oder Fremdprüfer oder örtliche Bauüberwachung begleitet. Einige dieser Projekte wurden in Rheinland-Pfalz ausgeführt. Im vorliegenden Beitrag sollen ausgewählte Erfahrungen aus diesen Projekten dargestellt und erläutert werden.

## 2 Herstellungsprozess und Vorgehen bei der Qualitätssicherung

Bei mineralischen Dichtungen aus natürlichen bindigen Böden werden im Regelfall zunächst die als Materialquellen verfügbaren Lagerstätten hinsichtlich ihrer Materialhomogenität erkundet, die Eignung des Materials als mineralische Dichtung untersucht und im Erfolgsfall die Eignung der Einbautechnik und des Materials im bauvorbereitenden Probefeld getestet und nachgewiesen. Im Zuge der flächenhaften Herstellung der Dichtung wird dann die Anlieferung des Dichtmaterials und dessen Einbau mit der im Probefeld festgelegten Einbautechnik qualitätsgesichert.

Trisoplast besteht aus in ihren Eigenschaften definierten, industriell hergestellten (Polymer) oder zumindest in Anlagen aufbereiteten mineralischen Komponenten (Bentonit und Sand). Daher entfällt hier, beim Sand mag es Ausnahmen geben, im Regelfall die Erkundung von Lagerstätten. Dafür ist die anforderungsgemäße Qualität der ausgewählten Komponenten nachzuweisen sowie die Qualität der Mischprozesse zu lenken und zu prüfen. Ansonsten entsprechen die einzelnen Herstellungs- und Prüfschritte prinzipiell denen einer herkömmlichen mineralischen Dichtung aus natürlichen bindigen Böden, wobei die Einbautechnik und der Prüfumfang selbstverständlich aufgrund der deutlich unterschiedlichen Materialeigenschaften und aufgrund des geringmächtigen einlagigen Einbaus abweichen. Hier werden bei Trisoplast höhere Anforderungen gestellt.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Herstellungsschritte und deren Qualitätssicherung bei Trisoplast (zu den Grundlagen siehe [4] und [5]). Sie werden in Abschnitt 3 im Zusammenhang mit den in der Praxis gewonnenen Erfahrungen diskutiert.



**Abbildung 2** Ablaufschema Herstellung und Qualitätssicherung von Trisoplast

## 3 Praxiserfahrungen

### 3.1 Auswahl und Qualitätssicherung der Komponenten

Die Anforderungen an die Komponenten von Trisoplast werden in Teil 2 von [5] spezifiziert. Der Nachweis der geforderten Eigenschaften und die Auswahl der Komponenten hat sich bisher in keinem der von uns betreuten Projekte als schwierig dargestellt. Im einzelnen können folgende Feststellungen getroffen werden:

#### ***Mineralischer Zuschlagstoff (Sand)***

In allen von uns betreuten Projekten gelangten ausschließlich solche Sande zur Eignungsprüfung, die die geforderten Eigenschaften auch tatsächlich aufwiesen. Die Auswahl des jeweiligen Sandes für ein Projekt scheint im Regelfall daher für den Lizenznehmer Trisoplast eher eine ökonomische Frage (Einkaufspreis, Transportkosten zur Mischanlage) zu sein als eine Frage der Verfügbarkeit technisch geeigneter Sande.

Die Anforderungen an den Kornaufbau des mineralischen Zuschlagsstoffes lassen ein relativ breites Spektrum an Sanden zu. Demzufolge treten relativ selten Qualitätsmängel bei der Eingangsprüfung der Sande auf. Die Eigenschaften des fertigen Mischguts werden allerdings durchaus davon beeinflusst, ob man im Rahmen des zulässigen Körnungsbandes einen eher feineren oder einen gröberen Sand auswählt. Bei geringem Wassergehalt neigt ein Mischgut mit einem relativ groben Sand zu einem spröderen Verhalten als ein Mischgut mit einem feinsandigerem Zuschlagstoff, das in der Regel besser formbar ist und bindiger wirkt. Ein relativ feuchtes Mischgut wirkt klebriger und neigt mehr zur Klumpenbildung, wenn der Sand relativ fein ist.

#### ***Bentonit***

Bisher kam in den von uns betreuten Projekten immer der gleiche Na-aktivierte Bentonit zum Einsatz (Aktiv-Bentonit IBECO B2N-TD der Fa. S&B Industrial Minerals GmbH, Marl). Der Bentonit unterliegt bei der Aufbereitung der werkseitigen Qualitätsüberwachung des Lieferanten und wird für die Auslieferung mit den entsprechenden Prüfzeugnissen versehen. Die Untersuchungsergebnisse der werkseitigen Überwachung des Bentonit-Lieferanten haben sich bisher im Rahmen der üblichen methodenabhängigen Abweichungen bestätigt. Ein kleines Manko besteht darin, dass der Bentonit-Lieferant die Parameter Quellvolumen, Methlenblaufaufnahme sowie den Montmorillonitgehalt mit anderen Methoden untersucht als es das Merkblatt Qualitätssicherung bei Abdichtungen mit Trisoplast [5] vorschreibt. Hier sollte entweder das Vorgehen der werkseitigen Qualitätsüberwachung oder aber das Trisoplast-Merkblatt dahingehend angepasst werden, dass die Bestimmung der genannten Parameter werkseitig und durch den Fremdüberwacher zukünftig mit den gleichen Methoden erfolgt.

## ***Polymer***

Das Polymer wird durch den niederländischen Patentinhaber, der es von einem zertifizierten Hersteller bezieht, an den deutschen Lizenznehmer für Trisoplast geliefert. Vom Patentinhaber werden Ergebnislisten mit den werkseitig beim Hersteller durchgeführten Tests sowie Prüfzeugnisse der durch ihn selbst veranlassten und gemäß [5] bei einem unabhängigen Institut durchgeführten Untersuchungen mitgeliefert. Der deutsche Lizenznehmer lässt seinerseits im nach [5] vorgeschriebenen Prüfraster durch einen unabhängigen Probennehmer Proben entnehmen und durch unabhängige Prüfinstitute analysieren. Die Rückstellproben werden verplombt und mindestens zwei Jahre lang aufbewahrt.

Dieses Procedere wird unabhängig von den einzelnen Baumaßnahmen mit fortlaufenden Nummern für die Polymer-Big-Bags durchgeführt. Die Eigen- und Fremdprüfer der einzelnen Bauprojekte erhalten aus diesem Gesamtdatensatz jeweils die Auszüge, die die Polymerlieferungen betreffen, die in dem jeweiligen Projekt für die Mischgutproduktion verarbeitet wurden.

Wir haben daher als Eigen- oder Fremdprüfer die mitgelieferten Qualitäts- und Identitätsdokumente des Polymers überprüft, jedoch keine systematischen labortechnischen Untersuchungen des Polymers veranlasst. Lediglich im Einzelfall wurde das Polymer anhand der beim deutschen Lizenznehmer Trisoplast lagernden, verplombten Rückstellproben im Sinne einer Beweissicherung geprüft, um auszuschließen, dass am Mischgut beobachtete Qualitätsmängel auf die Eigenschaften des eingesetzten Polymers zurückzuführen sind. Die Ergebnisse dieser Polymeruntersuchungen waren bisher einwandfrei.

## ***Mischwasser***

Bisher wurde in den von uns betreuten Projekten ausschließlich Trinkwasser als Mischwasser eingesetzt, so dass diesbezüglich keine Untersuchungen erforderlich waren. Allerdings war es nicht immer einfach, vom Mischanlagenbetreiber bzw. von der Eigenüberwachung Trisoplast einen entsprechenden Nachweis oder zumindest eine verbindliche Eigenerklärung über den Einsatz von Trinkwasser zu erhalten. Hier bietet es sich aus unserer Sicht an, diesen Nachweis in die Mischanlagenbeschreibung, die nach [5] durch den Mischanlagenbetreiber vorzulegen ist, zu integrieren.

## ***Konformitätsnachweis***

Mit den ausgewählten Komponenten wird vor Baubeginn eine der Rezeptur von Trisoplast genau entsprechende Testmischung hergestellt. Aus der Testmischung werden bei definierten Wassergehalten Proben mit definierten Verdichtungsgraden hergestellt, um den Nachweis zu führen, dass die Dichtwirksamkeit der Testmischung mit der Standardqualität von Trisoplast konform ist. Aus diesem Konformitätsnachweis werden die für die Herstellung der Dichtung im konkreten Projekt zulässigen Spannweiten des Wassergehalts und die Mindestverdichtung abgeleitet.

Die bisherige Praxis zeigt, dass die Komponenten häufig zu spät ausgewählt werden, so dass der vollständige Konformitätsnachweis zu Baubeginn noch nicht vorliegt. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Massenanteile der Komponenten in der Testmischung einzeln verwogen und durch die Überwacher selbst kontrolliert und dokumentiert werden. Mischgut, das in einer Mischanlage mit nicht genau bekannter und ggf. mit Bentonit überdosierter Rezeptur hergestellt wurde, darf für den Konformitätsnachweis nicht genutzt werden.

### **3.2 Mischprozess**

Der Mischprozess wird in Teil 3 von [5] sowie in [4] und [6] auf der Grundlage der beim Einsatz von Trisoplast in den Niederlanden üblichen Vorgehensweise beschrieben. Dort werden in der Regel eigens für Trisoplast konzipierte mobile Mischanlagen zur Baustelle gebracht und dort ausschließlich für das jeweilige Projekt genutzt. Dabei werden zunächst die pulverförmigen Komponenten Polymer und Bentonit trocken bzw. mit ihrem sehr geringen Lieferwassergehalt dosiert in das erste Mischaggregat gegeben und zum sogenannten T-Mix vermischt, dann in das zweite Mischaggregat überführt und dort mit dem mineralischen Zuschlagstoff und dem Mischwasser zum fertigen Trisoplast-Mischgut verarbeitet.

In Deutschland wird dieser Mischprozess in zwei getrennten Anlagen durchgeführt und räumlich und zeitlich entkoppelt. Dies hat mehrere Konsequenzen für die praktische Durchführung der Mischgutherstellung, für die Durchführung der Qualitätssicherung sowie unter Umständen auch für die Mischgutqualität, die nachfolgend kurz beschrieben werden sollen:

#### ***T-Mix-Herstellung***

Die Vormischung der Komponenten Polymer und Bentonit zum sogenannten T-Mix erfolgt in Deutschland in den Werken Marl und Oelsnitz des Bentonitlieferanten S&B Industrial Minerals GmbH (IBECO). Der T-Mix wird von dort per Siloauto zu der im jeweiligen Projekt eingesetzten Mischanlage in der Nähe der Abdichtungsbaustelle transportiert. Die Produktion unterliegt bei S&B Industrial Minerals einer akkreditierten Qualitätsüberwachung. Zu jeder T-Mix-Lieferung wird von S&B ein Werkszeugnis vorgelegt, das die Kennwerte des T-Mix sowie die Massenanteile der Komponenten enthält. Die Herstellung des T-Mix ist mittlerweile in vielen Projekten durchgeführt worden und liefert konstant qualitätsgerechte Ergebnisse.

Bei dieser Praxis der T-Mix-Herstellung in zwei Mischanlagen, die das ganze Bundesgebiet bedienen, hat der T-Mix in der Wahrnehmung der am konkreten Bauprojekt beteiligten Fachleute den Charakter eines eigenständigen Vorprodukts bzw. eines von einem externen Hersteller gelieferten Baustoffes erhalten. Demzufolge werden nach Anlieferung die Eigenschaften des Baustoffs, die Lieferscheine sowie die beiliegenden Werkszeugnisse nach [5] geprüft. Anders als in den Niederlanden wird der Mischprozess selbst, d.h. im wesentlichen die Dosierung von Polymer und Bentonit sowie die Mischdauer, nicht durch die am Bauprojekt beteiligten Qualitätsüberwacher begleitet. In den durch uns betreuten Trisoplast-Projekten traten bislang keinerlei Probleme mit dem T-Mix auf, die auf einen zu geringen Polymeran-

teil, eine nicht hinreichende Homogenisierung oder auf mangelhafte Komponenten hätten schließen lassen.

### **Herstellung des Trisoplast-Mischguts**

Der T-Mix wird in Deutschland anders als in den Niederlanden in Benton-Mischanlagen mit dem mineralischen Zuschlagstoff und dem Wasser gemischt. Dabei kommen technisch unterschiedliche Anlagen zum Einsatz, die für jedes Projekt individuell durch den deutschen Lizenznehmer Trisoplast nach wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Abbildung 3 zeigt einige dieser Mischanlagen.

Die wesentlichen technischen Unterschiede der Anlagen bestehen in der Art und Leistung der Mischkammer, der Art der Förderanlagen für die Zugabe von Sand und T-Mix, den Messvorrichtungen zur Kontrolle der Dosierung von Sand, T-Mix und Mischwasser, den Möglichkeiten zur detaillierten Steuerung der Mischung selbst sowie den Ausgabeprotokollen der Steuerungssoftware. Es hängt vom Alter und der Vorgeschichte der Anlage sowie von der Sorgfalt des Betriebes ab, in welchem Zustand sich die Anlage befindet. Die Mischung erfolgt im Auftragsverhältnis, d.h. durch das Personal des jeweiligen Mischanlagenbetreibers, das durch beim Einfahrbetrieb durch den deutschen Lizenznehmer Trisoplast vor Ort unterstützt wird.

Dieser Teil des Trisoplast-Mischprozesses ist fehleranfällig und erfordert erfahrungsgemäß eine intensive und erfahrene Qualitätssicherung. Mindestens so wichtig wie die labortechnische Prüfung des produzier-



**Abbildung 3** Mischanlagen

ten Mischguts ist dabei die Qualitätslenkung beim Einfahrbetrieb der Anlage sowie die visuelle Kontrolle des Anlagenbetriebs und des Mischguts. Die wichtigsten Mängel, die bei Mischung von Zuschlagstoff und T-Mix auftreten können, und deren Ursachen können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Verunreinigung des Mischguts mit Zement (feinverteilt oder in verhärteten Klumpen)

Solche Verunreinigungen beruhen auf einer unzureichenden Reinigung des Silos und der Fördereinrichtung zur Mischkammer vor der Einblasung des T-Mix in den Silo. Diese Reinigung ist in der Praxis allerdings auch nicht so einfach durchführbar, da die Zugänglichkeit eingeschränkt ist und eine Spülung mit Wasser weder möglich noch vom Anlagenbetreiber erwünscht wird. Demzufolge werden Zementreste bei jedem Einfahrbetrieb mit Trisoplast mit dem ersten Durchsatz ausgetragen. Diese Chargen sind zu verwerfen. Wenn eine Anlage im Intervallbetrieb zur Beton- und zur Trisoplast-Mischung eingesetzt wird, kann die Reinigung daher recht teuer und aufwändig werden.

- Klumpenbildung im Mischgut

Es gibt zwei Kategorien von Klumpen im Mischgut. Zum einen in ihrer Zusammensetzung homogene und der Standardrezeptur des Mischguts entsprechende Klumpen, die locker zusammenhaften und mit leichtem Druck zerfallen. Solche Klumpen sind normal und stellen keinerlei Qualitätsmangel dar. Zum anderen können aber auch inhomogene Klumpen angetroffen werden, die in ihrem Inneren mehr oder weniger ausgeprägte Anreicherungen von T-Mix und manchmal zusätzlich auch noch einen deutlich höheren Wassergehalt als das umgebende Mischgut aufweisen. Sie haben häufig Durchmesser von rund 3 cm bis 10 cm. Solche Klumpen entstehen durch Anhaftungen von T-Mix an den Mischwerkzeugen und der Wandung der Mischkammer bei der Zugabe des T-Mix-Pulvers in die feuchte Mischkammer. Sie lösen sich ab, wenn sie zu dick werden und fallen in das Mischgut. Die Anfälligkeit für eine derartige Klumpenbildung hängt von der Art der Mischkammer, vom Sollwassergehalt des Mischguts und von der zeitlichen Steuerung des Mischprozesses ab. Ihr kann durch Anpassungen des Betriebs und zwischenzeitliche Reinigung der Mischkammer begegnet werden. Die Klumpenbildung beschränkt sich dann auf ein so geringes Maß (seltene Einzelklumpen), dass weder die Zusammensetzung des Mischguts nachteilig verändert noch die Qualität der eingebauten Dichtung beeinträchtigt wird.

- Unzureichende Homogenisierung der Komponenten (Sandstreifen oder -nester) und des Wassergehalts im Mischgut

Ursache hierfür sind häufig zu kurze Mischzeiten, eine zu geringe Leistung des Aggregats (Chargengröße verringern) oder eine unzureichende Homogenität des Wassergehalts des Sandes (Vorratsbunker unzureichend gegen Niederschlag oder Ober-

flächenwasser gesichert). Diese Ursachen lassen sich meist recht einfach beheben und spielen daher in der Regel nur beim Einfahrbetrieb der Anlage eine Rolle.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Trisoplast-Mischgut auf technisch unterschiedlichen Anlagen qualitätsgerecht hergestellt werden kann. Wenn Qualitätsprobleme auftreten, dann meist beim Einfahrbetrieb der Anlage zu Projektbeginn sowie nach längeren Mischpausen oder nachdem zwischenzeitlich Beton auf der Anlage gemischt wurde. Eine kompetente Qualitätsüberwachung vorausgesetzt, sind solche Probleme beherrschbar. In den von uns als Fremdüberwacher betreuten Projekten musste noch keine Mischanlage aus Qualitätsgründen abgelehnt werden.

Im Vergleich zum Einsatz von tonhaltigen natürlichen Böden in der mineralischen Dichtung bedeutet der Mischprozess bei Trisoplast einen zusätzlichen Arbeitsschritt, der mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Dieses ist auch bei der Planung der Bauvorbereitung zeitlich zu berücksichtigen, damit die entsprechenden Verträge rechtzeitig geschlossen werden und die Anlage vor Beginn des Probefeldbaus eingefahren und qualitätsgerecht eingestellt ist.

Die technische Mischung der Komponenten hat allerdings für Trisoplast auch den großen Vorteil, dass die Materialzusammensetzung sehr genau definiert und homogen ist und der Wassergehalt prozentgenau auf die Erfordernisse der weiteren Verarbeitung ausgerichtet und eingestellt werden kann, die u.a. von der Witterung und der Gerätetechnik beim Einbau abhängen. Eine solch einfach zu bewerkstelligende, schnelle und genaue Wassergehaltseinstellung ist bei natürlichen Böden nicht gegeben.

### **3.3 Einbau der Trisoplast-Dichtung**

#### ***Arbeitsschritte***

Die für den Einbau des Mischguts auf der Baustelle wesentlichen Arbeitsschritte sind:

- Anlieferung und Zwischenlagerung des Mischguts
- Herstellung, Beprobung und Freigabe des Dichtungsauflegers
- Aufnahme des Mischguts im Zwischenlager und Transport zum Einbauort
- Verteilen und höhengleiches Abziehen des Mischguts am Einbauort
- Verdichtung, Beprobung und Freigabe der Dichtung
- Einbau von KDB und Entwässerungsschicht (je nach Dichtsystem)
- Sondereinbau im Bereich von Schächten, Durchdringungen und örtlich beengten oder geometrisch anspruchsvoll ausgeformten Bereichen (z.B. Gräben)

Bei diesen Arbeiten sind eine Reihe von auf den ersten Blick trivialen Sachverhalten qualitätsrelevant (z.B. Aufbau und Witterungsschutz des Zwischenlagers, Vermeidung von Materialverunreinigungen und unnötigen Streuverlusten beim Materialumschlag), auf die hier jedoch im Detail nicht eingegangen werden soll. Von übergeordnetem Interesse sind die durch den AK Trisoplast thematisierten Erfahrungen zum Dichtungsaufleger und zur Weiterentwicklung der Einbautechnik.

### ***Erfahrungen zur Herstellung des Auflagers***

Material und Einbauverfahren des Dichtungsauflegers müssen so beschaffen sein, dass eine hinreichend ebene und gleichmäßig tragfähige Oberfläche entsteht, auf der die Trisoplast-Dichtung mit den erforderlichen Baugeräten in gleichmäßiger Schichtdicke und ausreichender Verdichtung eingebaut werden kann, wobei Trisoplast hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit nur sehr geringe Anforderungen an den Verdichtungsgrad stellt. Eine zu geringe Tragfähigkeit und Verdichtung des Auflagers würde zu Fahrspuren, Absätzen und Mulden in der Auflageroberfläche führen, die sich unweigerlich in schwankenden Schichtdicken der Dichtung niederschlagen würden. Das Verfehlen der Mindestanforderung an die Mächtigkeit der Dichtung und ein unnötiger Mehrverbrauch des Dichtungsmaterials wären die Folge.

Die Herstellung des Dichtungsauflegers hat sich entgegen der allgemeinen Erwartung als unproblematisch erwiesen. In keinem der von uns betreuten Fällen waren langwierige systematische Untersuchungen zur Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen den Materialeigenschaften des Dichtungsauflegers und unterschiedlichen Einbautechniken der Trisoplast-Dichtung erforderlich. Es gelang jeweils geeignete örtlich verfügbare Materialien zu finden, die auf der Grundlage von Voruntersuchungen im Labor ausgewählt und nach den üblichen bautechnischen Versuchen z.B. zur Optimierung der Anzahl der Überfahrten der Verdichtungsgeräte so eingebaut wurden, dass die Trisoplast-Dichtung qualitätsgerecht hergestellt werden konnte. Das bedeutet nicht, dass zwischen Auflagerqualität und Dichtungseinbau kein Zusammenhang bestünde. Auf rolligen Böden sind dem Einbau von Trisoplast ohne zusätzliche Maßnahmen beispielsweise enge Grenzen gesetzt. In unseren Projekten wurden daher immer Dichtungsauflagermaterialien oder Materialmischungen eingesetzt, die gemischtkörnig waren und einen gewissen bindigen Anteil aufwiesen, so dass sie für Trisoplast ausreichend verdichtet werden konnten. Die dabei erreichten  $E_{V2}$ -Werte schwankten von Projekt zu Projekt erheblich und lagen zum Teil lediglich knapp über 20 MN/m<sup>2</sup>.

Monokausale, allgemeingültige und auf der Baustelle mit Standardversuchen überprüfbare quantitative Zusammenhänge zwischen Auflagereigenschaften und Einbautechnik der Trisoplast-Dichtungen, auf deren Grundlage Sollwerte für bestimmte Prüfgrößen festgelegt werden können, können aus den bestehenden Erfahrungen und Daten nicht abgeleitet werden. Da die Tragfähigkeit in der Oberflächenabdichtung in der Regel deutlich von der Tragfähigkeit der oberen Abfallschichten abhängt, ist der Lastplattendruckversuch kaum aussagekräftig. Zielführender ist die visuelle Prüfung des Verhaltens des Auflagers bei Überfahung mit den für den Einbau der Dichtung erforderlichen Baugeräten. Auch auf einem Aufla-

ger mit einem  $E_{V2}$ -Wert von deutlich unter 25 MN/m<sup>2</sup> war die Herstellung der Dichtung problemlos möglich. Wassergehalt, Trockendichte und Verdichtungsgrad sind sinnvolle Messparameter zur Prüfung des Auflagers. Die projektspezifisch im Dichtungsaufleger zu erreichenden Sollwerte sind auf der Grundlage der Erfahrungen im Probefeld festzulegen. Außerdem sollte das Auflager ausreichend wasserdurchlässig sein, um die mit Trisoplast möglichen hohen Flächenleistungen beim Einbau nicht durch längere Wartezeiten, bis das Auflager nach Regenfällen abgetrocknet ist, zu gefährden.

### ***Bauverfahren zur Verteilung und Verdichtung des Mischguts:***

Die Empfehlungen des Arbeitskreises Trisoplast basieren auf dem Standardeinbauverfahren, das in den Niederlanden entwickelt wurde. Das Mischgut wird mit dem Langarmbagger in der Fläche verteilt und mit der breiten Baggerschaufel auf die Soll-Schütthöhe abgezogen. Die Schütthöhe wird dabei über einen randlich liegenden Abstandshalter (Doppel-T-Träger) kontrolliert. Anschließend wird das auf Höhe gebrachte Mischgut mit selbstfahrenden Walzen, an steilen Böschungen auch mit seilgezogenen Walzen, verdichtet (siehe [4] und [6] sowie Abbildung 4). Dieses Verfahren ist erprobt und leistungsfähig. Es ist allerdings nicht frei von dem Risiko der Walzrissbildung. Beim Anfahren von Walzen kann es außerdem zu einer unerwünschten Wellenbildung kommen.

Hauptursache der Walzrissbildung ist, dass die Verdichtungsenergie und der Vortrieb mit der konvex geformten Walze in die ebene Fläche des geschütteten und auf eine einheitliche Höhe abgezogenen Trisoplast-Mischguts eingebracht wird. Vor und hinter der Walze wirken bei der Überfahrt sowohl Scherkräfte als auch Zugkräfte, die im Zuge der Be- und Entlastung zu Rissen quer zur Fahrtrichtung der Walze führen können. Je kleiner der Radius und je größer die Masse der Walze ist, desto stärker sind diese Phänomene ausgeprägt. Außerdem können bereits durch das Abziehen des unverdichteten Mischguts mit der Baggerschaufel Rissstrukturen vorgeprägt werden. Dies muss nicht zwangsläufig so sein, ist bei bestimmten Kombinationen von Wassergehalt und Gerätetechnik allerdings im Einzelfall zu beobachten.

Seit 2002 wurden durch ausführende Firmen und den deutschen Lizenznehmer Trisoplast alternative Einbauverfahren getestet und z.T. auch großflächig eingesetzt. Diese Verfahren sollen nachfolgend kurz vorgestellt werden:

#### Verteilung mit Langarmbagger und Verdichtung mit Rüttelplatte

Bereits im Zuge der Beschlussfassung des AK Trisoplast hatte der deutsche Lizenznehmer Trisoplast Demonstrationsversuche zum Einbau mit der Rüttelplatte durchgeführt und unabhängig bewerten lassen. Hauptziel dieser Versuche war der Nachweis, dass mit der Rüttelplatte eine ausreichend ebene und rissfreie Oberfläche für die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn hergestellt werden kann. Die Versuchsergebnisse waren sowohl hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit als auch in praktischer Hinsicht (Handhabung an der Böschung, Flächenleistung) erfolgreich.

Rüttelplatten wurden zur Verdichtung von Trisoplast großtechnisch in einer Maßnahme eingesetzt, bei der eine Oberflächenabdichtung auf einer Altlast unter geometrisch anspruchsvollen Randbedingungen in Randabschluss an eine alte, mechanisch empfindliche Dichtwand angeschlossen werden musste. Trisoplast wurde in diesem Bereich mehrlagig eingebaut. Jede Lage wurde einzeln mit der Rüttelplatte verdichtet und vor dem Überbauen im frischen Zustand an der Oberfläche aufgeraut. Die oberste Lage wurde einschließlich eines randlichen Grabenprofils so eben und glatt hergestellt, dass sie die Anforderungen an das Auflager für die Kunststoffdichtungsbahn erfüllte. Abbildung 5 zeigt Bilder zu diesem Einbauverfahren.

Ein Vorteil der Rüttelplatte ist, dass sie als Kleingerät auch in größerer Anzahl eingesetzt werden kann, so dass hinsichtlich Flächenleistung und räumlicher Aufteilung der Einbauaktivitäten sehr flexibel auf die täglichen Erfordernisse der Baustelle reagiert werden kann und technische Defekte sich weniger gravierend auf den Bauablauf auswirken als Ausfälle bei Großgeräten.

#### Verteilung und Verdichtung mit der Raupe

Das erste Projekt, in dem Trisoplast in Deutschland in eine endgültige Deponieoberflächenabdichtung eingebaut wurde, war bereits vor der Verabschiedung der Empfehlung des AK Trisoplast geplant, ausgeschrieben und vergeben worden. Die Empfehlungen des Arbeitskreises beispielsweise hinsichtlich der Schichtmächtigkeit konnten daher in dieses Projekt bauvertraglich nicht einfließen. Die vertraglich vereinbarte Mindestschichtdicke betrug 8 cm



**Abbildung 4** „Klassischer“ Einbau mit Langarmbagger und Walze

(in setzungsempfindlichen Randbereichen 13 cm). Eine weitere Besonderheit dieses Projekts war die Anordnung einer Sandschicht zwischen Kunststoffdichtungsbahn und Trisoplast-Dichtung. Auch die Qualitätsüberwachung war im Detail anders organisiert als die Empfehlungen des Arbeitskreises es vorsehen. Wir wurden durch den Bauherrn über den deutschen Lizenznehmer Trisoplast mit der Qualitätsüberwachung der Trisoplast-Dichtung beauftragt. Trotz dieser Besonderheiten wurden die Empfehlungen des Arbeitskreises während der Baumaßnahme beachtet und auch vor deren Hintergrund innovative Bauweisen erprobt und eingesetzt.



**Abbildung 5** Verdichtung mit der Rüttelplatte

Nach Vorversuchen mit der „klassischen“ Einbauweise mit Langarmbagger und Walze in einem ersten Probefeld wurde das Einbauverfahren dahingehend geändert, dass das Mischgut mit einem Dumper angeliefert, anschließend mit einer 17 t schweren Raupe in der Fläche verteilt und dabei auch gleichzeitig verdichtet wurde (Abbildung 6).



**Abbildung 6** Mischgutverteilung und -verdichtung mit der Raupe

Problematisch war dabei zunächst das Eindringen der Stege der Raupenketten in das Material. Die dabei entstehende Struktur im relativ trocken eingestellten Trisoplast konnte auch mit schweren Walzen nicht mehr hinreichend geglättet werden. Die Baufirma hat daraufhin die Ketten verändert (Abtrennen der Stege und Einbau von zusätzlichen Platten zwischen den Stegen) und den Wassergehalt des Mischguts erhöht, so dass eine hinreichend glatte Oberfläche hergestellt werden konnte. Die Oberfläche wurde dann lediglich mit einer leichten Tandemwalze (2,7 t) nachbearbeitet.

Die Flächenleistungen waren so hoch, dass die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn nicht behindert wurde. Die erzielten Zahlenwerte der Flächenleistung sind folglich für die technische Leistungsfähigkeit der Einbaumethode nicht aussagekräftig, da sie im Wesentlichen durch andere Parameter und Notwendigkeiten bestimmt wurden.

#### Verteilung und Vorverdichtung mit dem Fertiger und Verdichtung mit Walzen

2004 wurde auf Initiative der ausführenden Firma erstmals ein Asphaltfertiger (HTG S1800) für die Herstellung einer Trisoplast-Dichtung eingesetzt (Abbildung 7). Der Einbau mit dem Fertiger läuft wie folgt ab: Vom Böschungskopf aus wird das Mischgut per LKW zum Fertiger transportiert und in dessen Mulde abgekippt. Im Fertiger wird das Mischgut per Schnecke zum Heck gefördert und dort auf die zuvor eingestellten Breite verteilt und auf das Auflager geschüttet. Beim Fahren wird das Mischgut dann mit dem Balken auf eine einheitliche Höhe abgezogen und leicht angedrückt. Diese Schütthöhe wird zuvor am Gerät eingestellt, indem der Balken am Böschungstiefpunkt auf Kanthölzern abgestellt und der seitliche Taster auf diese Höhe justiert wird. Beim Fahren wird das Abziehen auf Schütthöhe dann automatisch

nachjustiert. Zusätzlich wird die Schütthöhe manuell überwacht. Gleiches gilt für die gleichmäßige Verteilung des Mischguts.



**Abbildung 7** Mischgutverteilung und -verdichtung mit Fertiger und Walze

Außer dem Fahrer sind beim Einbau 2 bis 3 weitere Personen damit beschäftigt, die Einstellungen zu kontrollieren, Bereiche mit ungleichmäßiger Mischgutaufbringung per Schaufel nachzubessern und den Schneckenvortrieb für das Mischgut gleichmäßig durchgängig zu halten. Der Fertiger benötigt natürlich aufgrund seiner Bauart eine ebenflächige Einbaufläche, um eine gleichmäßige Schichtdicke zu erzielen.

Durch das Abziehen mit dem Balken wird das Mischgut vorverdichtet. Hinter dem Fertiger erfolgt die Erstverdichtung mit einer kleinen Walze. Eine große Walze arbeitet dann die fertige Dichtungsoberfläche nach.

Insgesamt hat sich das Einbauverfahren mit dem Fertiger als leistungsfähig und geeignet erwiesen. Es handelt sich jedoch keinesfalls um ein einfaches und sorglos zu betreibendes Verfahren.

### ***Bewertung der Bauverfahren hinsichtlich Schichtdicke und Oberflächenbeschaffenheit***

#### Schichtdicke

Beim mehrlagigen Einbau mit der Rüttelplatte im Randabschlussbauwerk wurde die Einhaltung der Mindestdicke der einzelnen Lagen kontrolliert. Ein dünnschichtiger Auftrag von Tri-

soplast (< 10 cm) wurde nicht zugelassen. Durch Wasserzufluss aufgeweichte Oberflächen mussten in mindestens 10 cm Dicke ausgebaut und erneuert werden.

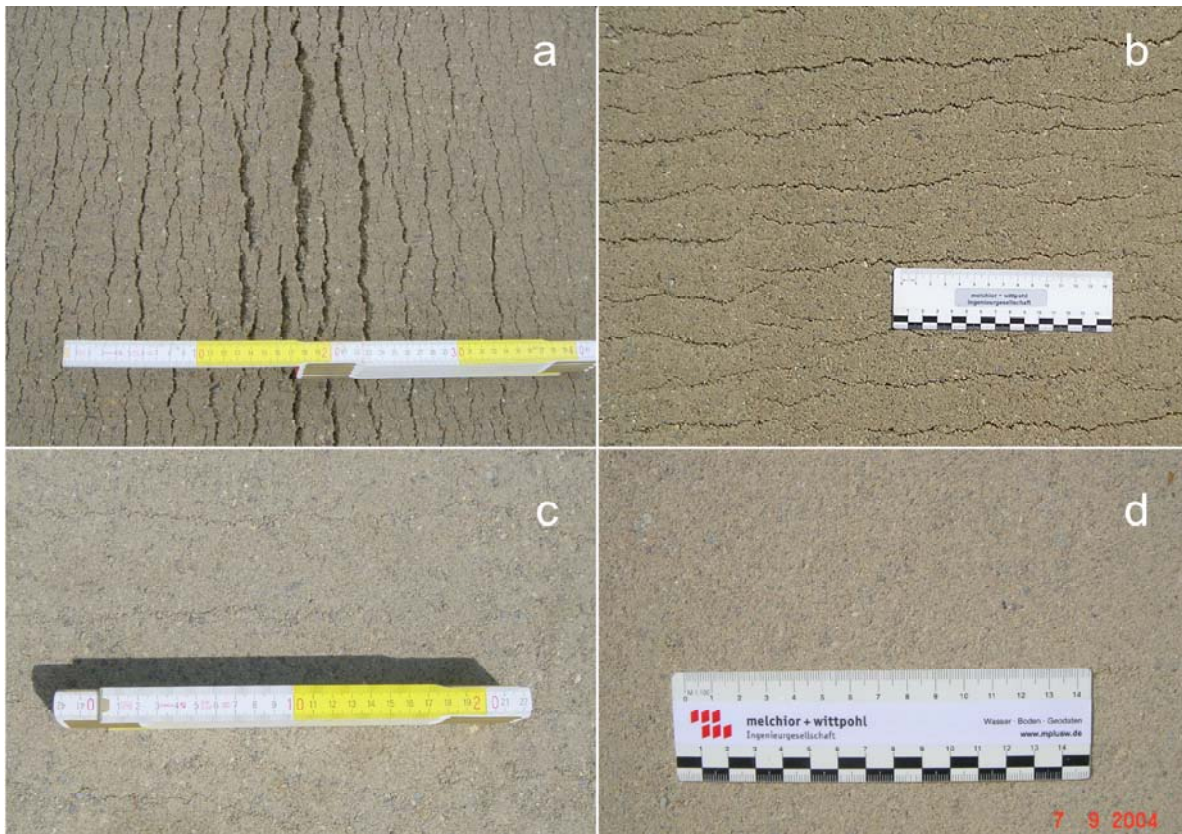
Beim Einbau mit der Raupe galt die projektspezifische Mindestanforderungen an die Schichtdicke von 8 cm. Insgesamt 85 Messwerte für die Freigabe von Teilflächen ergaben einen Mittelwert von 12,2 cm bei einer Spannweite von 8 bis 22 cm. Werte unter 8 cm führten zum Ausbau und Neueinbau der Teilflächen. Davon waren jedoch nur 113 m<sup>2</sup> (Gesamtfläche der Abdichtung 2,8 ha) betroffen.

Die mit Fertiger und Walze erzielte Schichtdicke wurde im vorgeschriebenen Raster von 100 m<sup>2</sup> auf die Einhaltung der Mindestanforderung von 10 cm kontrolliert. Insgesamt 300 Einzelwerte ergaben keine Beanstandungen. Die Schichtdicke war sehr gleichmäßig. Lediglich eine Teilfläche von 30 m<sup>2</sup>, die in der Nähe eines Schachtes mit dem Bagger und einer Walze hergestellt wurde, musste wegen zu geringer Schichtdicke ausgebaut und erneuert werden.

#### Oberflächenbeschaffenheit (Ebenheit und Rissfreiheit)

Die Anforderungen an die Ebenheit der Oberfläche werden bei der Verdichtung mit der Rüttelplatte erreicht. Der Spezialschild des beim Demonstrationsversuch im Rahmen des AK Trisoplast eingesetzten Rüttlers ist besonders gut geeignet, um die Bildung von Absätzen und Kanten bei der Verdichtung zu verhindern. Obwohl bei der Verdichtung mit der Rüttelplatte keine konvexe Walze zu Scher- und Zugkräften führt, ist eine Rissbildung auch beim Einsatz von Rüttelplatten nicht ausgeschlossen. Sie kann bereits beim Abziehen des unverdichteten Mischguts vorgeprägt sein und tritt bevorzugt auf, wenn die Erstverdichtung böschungsbwärts erfolgt. Wenn die Richtungen beim Abziehen des Mischguts und bei der Erstverdichtung allerdings aufeinander abgestimmt sind, können mit Rüttelplatten ohne zusätzlichen Aufwand sehr glatte, ebene und rissfreie Oberflächen hergestellt werden.

Beim Einbau mit der Raupe sind keine so glatten Oberflächen möglich. Die Anforderung von  $\pm 2$  cm unter dem 4-m-Richtscheit wurde zwar eingehalten, so dass die Oberfläche der Dichtung muldenfrei war und die bedeckende Sandschicht aufgebracht werden konnte. Als Auflager für die Kunststoffdichtungsbahn hätte die Oberfläche jedoch zur Erzielung des Pressverbundes noch nachbearbeitet werden müssen. Die Rissproblematik konnte beim Raupen-einbau mit nachfolgender Glättung der Oberfläche mit Walzen gut beherrscht werden. Aufgrund der erheblichen Vorverdichtung durch die schwere Raupe verursacht die Walze auch bei kleinem Walzendurchmesser keine Risse. Lediglich auf einer sehr kleinen Fläche musste die Oberfläche wegen kleiner Risse nachbearbeitet werden bis diese vollständig geschlossen waren. Auf einer weiteren Kleinfläche von 10 m<sup>2</sup> musste die Dichtung aufgrund von Rissen, die nicht aufgrund der Einbautechnik der Dichtung, sondern wegen einer Aufweichung des Auflagers entstanden waren, samt Auflager ausgetauscht werden.



**Abbildung 8** Struktur der Dichtungsoberfläche während der Herstellung mit Fertiger und Walzen:

- a: nach dem Abziehen des Schüttguts mit dem Balken (extremes Beispiel)
- b: nach dem ersten Walzen (Risse noch offen)
- c: Risse nach mehrmaligem Walzen geschlossen (Lage der ehemaligen Risse an Oberflächenstruktur noch erkennbar)
- d: Oberfläche ohne Struktur

Die Oberflächenebenheit der Dichtung ist beim Einbau mit dem Fertiger sehr gut, da die Vorverdichtung durch den Balken des Fertigers ein optimales Planum für die Walzen bietet. Randliche Absätze und kleinere Unebenheiten werden durch die Walzen beseitigt. Beim Abziehen des Mischguts mit dem Balken des Fertigers treten häufig Aufschuppungen des Materials auf, zwischen denen quer zur Fahrtrichtung des Fertigers langgezogene Risse klaffen (Abbildung 8a). Diese Risse werden zunächst durch die kleine Walze zusammengedrückt (Abbildung 8b) und anschließend durch die Verdichtungsenergie der großen Walze vollständig geschlossen (Abbildung 8c). Dabei ist entscheidend, dass die Risse sofort im frischen Zustand wieder geschlossen werden und weder Fremdbestandteile enthalten noch an ihren Flanken ausgetrocknet sind. Dieses kann einfach vor Ort durch visuelle Begutachtungen in Verbindung mit einem Auseinanderziehen von aus der Dichtung entnommenen Handstücken überprüft werden. Auf der Grundlage der umfangreichen Prüfungen zu diesem Thema im Probefeld wurde für die Herstellung der Dichtung in der Fläche folgende Anforderung formuliert und in den Qualitätssicherungsplan aufgenommen:

*„Nach dem Einbau dürfen auf der Oberfläche der Trisoplast-Dichtung keine offenen Risse mehr zu erkennen sein. Die Lage der Risse, die beim Abziehen des Mischguts mit dem Balken des Fertigers oder bei der Verdichtung mit der Walze entstanden sind, darf auf der Oberfläche noch in Form eines Musters aus sehr leichten Vertiefungen (maximal 2 mm) erkennbar sein, sofern die ehemaligen Risse durch die Verdichtung im frischen Zustand geschlossen wurden und die Rissflanken weder angetrocknet noch durch Staub oder Fremdboden verunreinigt waren. Beim Auseinanderziehen einer aus der Dichtung ausgestochenen Probe darf die Probe nicht entlang vorgeprägter Schwachzonen oder ehemaliger Risse brechen.“*

Diese Anforderung wurde beim großflächigen Einbau problemlos erfüllt. Mit zunehmender Erfahrung mit der neuen Einbautechnik wurden die Oberflächen immer ebener und zeigten ausnahmslos eine vollständig geschlossene Oberflächenstruktur (Bild 8d). An dieser Stelle sei allerdings betont, dass diese Qualität beim Einsatz eines Fertigers nur erreicht wird, wenn die ausführende Firma sorgfältig arbeitet und am Einbauort ein ausreichend großes Team einsetzt, das motiviert, qualitätsbewusst und gut koordiniert zu Werke geht (inkl. Walzenfahrer und Polier und ohne Eigenprüfer und Dumperfahrer 5 bis 7 Personen am Einbauort!).

### Sonstiges

Neben diesen in Bezug auf die Anmerkungen des AK Trisoplast wesentlichen Erfahrungen zu den unterschiedlichen Einbauverfahren gibt es selbstverständlich eine Reihe von weiteren Arbeitsschritten und Maßnahmen, die für eine qualitätsgerechte Herstellung von Trisoplast-Dichtungen wichtig sind (beispielsweise Witterungsschutz, Entwicklung eines auf die bauzeitliche Entwässerung der Baufelder abgestimmten Bauablaufs, Vermeiden von Verunreinigungen). Auf diese Dinge soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sie auch bei anderen Systemen wesentlich und allgemein bei der Deponieabdichtung zu beachten sind. Andere Sachverhalte sind eher für die bauvertragliche Gestaltung und die Kosten relevant und werden daher hier auch nicht weiter beleuchtet. Aus technischer Sicht sind speziell zu Trisoplast noch folgende Erfahrungen von Belang:

- Die Oberfläche der fertigen Dichtung kann durch Sonneneinstrahlung so abtrocknen, dass sich einzelne Sandkörner aus dem Verband lösen. Wenn die Kunststoffdichtungsbahn bei der Verlegung über solche Oberflächen gezogen und nicht gerollt wird, kann sich an einigen Stellen unter der KDB loser Sand ansammeln. Wenn diese Möglichkeit besteht, sollte die Oberfläche der Trisoplast-Dichtung vor der Verlegung der KDB abgefegt werden. Hinsichtlich der Schichtdicke ist dieses unproblematisch, da damit flächenhaft kein nennenswerter Abtrag der Schicht verbunden ist. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Dichtungsoberflächen, die nach Beendigung der Prüfungen im Probefeld viele Tage bei hohen Lufttemperaturen und Windgeschwindigkeiten in der prallen Sonne lagen und entsprechend abgetrocknet waren, keine Austrocknungsrisse zeigten sofern sie nicht zwischenzeitlich durch Niederschlag befeuchtet wurden.

- Es ist sicherzustellen, dass die unbedeckte Trisoplast-Dichtung nicht durch Regen, seitlichen Zufluss oder starke Taubildung ohne Auflast quellen kann. Das Merkblatt zur Qualitätssicherung fordert daher eine Bedeckung der Dichtung mit mindestens 30 cm Boden innerhalb von 48 h. Die Bedeckung vor der Quellung ist wichtig. Die „48-h-Regel“ ist aus unserer Sicht vor dem Hintergrund der vorliegenden Erfahrungen allerdings überzogen, da es keine Rolle spielt, ob die Dichtung 48 h oder 72 h offen liegt, sofern sie keine Befeuchtung erfährt. Der kurzfristige Witterungsschutz ist zur Vermeidung des unbelasteten Quellens daher wichtiger als die 48-h-Regel. Außerdem sei angemerkt, dass die 48-h-Regel die Baufirma regelrecht zu Wochenendarbeit zwingt, wenn sie Freitags noch Trisoplast-Dichtungen herstellt. Wir schlagen daher vor, die Frist auf 72 h auszuweiten.
- Immer wieder ist auf Baustellen zu beobachten, dass aus Unwissenheit und Unbedarftheit Markierungspflöcke, Stangen oder Pflasternadeln in die fertige Dichtung geschlagen werden. Es ist Aufgabe des Poliers und der Qualitätsprüfer alle Beteiligten auf der Baustelle dahingehend zu sensibilisieren, dass sie solches vermeiden und in dem Falle, dass sie solches bemerken, dafür sorgen, dass diese Löcher fachgerecht verschlossen werden. Die Qualitätsprüfer müssen am Einbauort präsent sein.

### 3.4 Qualitätssicherungsprogramm

Das Merkblatt Qualitätssicherung bei Abdichtungen aus Trisoplast [5] wurde in der Erstversion 1998 und 1999 auf der Grundlage der zum damaligen Zeitpunkt in den Niederlande vorliegenden Erfahrungen zur Herstellung und Qualitätssicherung von Trisoplast entwickelt. In die derzeit gültige Fassung 2.2 von 2002 sind auch die Wünsche und Vorschläge der Fachkollegen aus dem Arbeitskreis Trisoplast eingeflossen.

In den vergangenen drei Jahren wurde das Merkblatt durch die in der Qualitätssicherung von Trisoplast tätigen Sachverständigen in der Praxis angewendet und quasi seiner „Feuertaufe“ unterzogen. In den von uns betreuten Projekten hat das Merkblatt diesen Praxistest bestanden. Das Vorgehen bei der Qualitätssicherung von der Auswahl der Komponenten über die Überwachung des Mischprozesses bis hin zur Prüfung des Einbaus hat sich bewährt. Auch die Anforderungen an den Konformitätsnachweis und das Probefeld, die vorgeschlagenen Prüfmethode, die genannten Sollwerte sowie die Ausführungen zur Qualitätslenkung haben sich weitgehend als tauglich erwiesen. Es liegt allerdings auch in der komplexen Natur dieser Prüfaufgabe, dass es im Detail erheblichen Fortschreibungsbedarf gibt. Durch eine Überarbeitung des Merkblatts könnte das Procedere bei der Qualitätssicherung transparenter und für noch relativ unerfahrene Anwender etwas einfacher und schneller nachvollziehbar gestaltet werden. In einigen Bereichen hat sich der Prüfumfang als zu aufwändig, in dem Umfang nicht erforderlich und in der Praxis kaum leistbar herausgestellt. In einigen Punkten sollten die Methoden, z.B. auch hinsichtlich der Probenvorbereitung, etwas genauer spezifiziert werden, damit die Ergebnisse verschiedener Prüfer besser vergleichbar werden. Eine detaillierte Darlegung dieser Thematik würden den Umfang dieses Beitrags sprengen und im ein-

zelen sehr speziell werden. Daher sollen hier nur die wichtigsten Ansatzpunkte für die Fortschreibung des Merkblatts aufgelistet werden:

- Das Merkblatt kann in mehreren Punkten gestrafft und vereinfacht werden. So versucht es beispielsweise in seiner jetzigen Form alle erdenklichen Kombinationen im Mischprozess (zentrale stationäre Mischanlage, mobile Anlage auf der Baustelle, gesonderte Herstellung von T-Mix und Trisoplast-Mischgut) mit mehreren Prüftabellen zu fassen, die je nach tatsächlichem Vorgehen entsprechend kombiniert werden müssen. Das ist recht unübersichtlich und kann erheblich entfrachtet werden, da sich in der Praxis das oben geschilderte Verfahren etabliert hat und Ausnahmen nicht aufgetreten sind. Eine Ergänzung des Merkblatts durch übersichtliche Ablaufschemata würde die Lesbarkeit erleichtern. Unübersichtlich ist auch die Zuständigkeit der unterschiedlichen Prüfer für Polymer und mineralische Komponenten, Mischprozess und Einbau, die so in der Praxis nicht zum Tragen kommt.
- Bei der Anwendung des Merkblattes neigen die Anwender erfahrungsgemäß dazu, nur die Tabellen und den dort enthaltenen Prüfumfang zu beachten. In einem solchen Fall werden wesentliche Aufgaben der Qualitätslenkung beim Mischprozess und beim Einbau der Trisoplast-Dichtung übersehen. Ein Beispiel hierfür ist die Beschreibung der Mischanlage. Eine solche Beschreibung einschließlich des Vorgehens bei der Mischung hat der Mischanlagenbetreiber über seinen Auftraggeber der Fremdüberwachung vorzulegen, damit eine kompetente Überwachung möglich ist. Diese Anforderung ist jedoch lediglich im Text des Merkblattes, nicht jedoch im Tabellenanhang enthalten und wird daher häufig übersehen.
- In den Tabellen zum Prüfumfang wird die Prüfhäufigkeit je nach Parameter auf unterschiedliche Maße bezogen (Anzahl der Proben pro Volumen, Masse, Fläche oder Einbautage bzw. -wochen). Dieses kann wesentlich vereinfacht werden, damit die vor Ort Tätigen einfacher feststellen können, wann sie wieder eine Probe zu entnehmen haben und die Sachverständigen schneller kontrollieren können, ob der geforderte Prüfumfang auch tatsächlich geleistet wurde.
- Die unterschiedlichen Methoden beim Bentonitlieferanten und im Merkblatt sollten angeglichen werden.
- Bei einigen Methoden muss die Probenvorbehandlung besser beschrieben, auf die speziellen Eigenschaften von Trisoplast angepasst und vereinheitlicht werden, damit die Ergebnisse besser vergleichbar werden (u.a. Qualität der Durchmischung, Protovorsuch, Wasseraufnahmevermögen)
- Der Definition, was unter einem Riss in der Dichtung zu verstehen ist, sollte im Merkblatt eindeutig festgelegt werden, um eine objektive und nachvollziehbare visuelle Prüfung der Trisoplast-Dichtungsfläche zu ermöglichen.

- Die Anzahl der Überprüfungen des Bentonitgehalts und der Wasserdurchlässigkeit nach Einbau sollte erheblich reduziert werden. Bei ordnungsgemäßer Durchführung der vorherigen Arbeitsschritte (Eingangskontrolle der Komponenten, Mischprozess, Eingangsprüfung Mischgut auf der Baustelle) und der sonstigen einbaubegleitenden Prüfungen ist das Risiko äußerst gering, dass die Sollwerte nicht erreicht werden (de facto hatten wir diesbezüglich bisher überhaupt keine Probleme). Hinzu kommt, dass beispielsweise die Durchlässigkeitsprüfung aufgrund des geringen Einbauwassergehalts und der geringen Durchlässigkeit von Trisoplast extrem zeitaufwändig ist. Sollte eine aus dem Baufeld entnommene Probe nach mehreren Monaten einen unzulässig hohen Durchlässigkeitsbeiwert von beispielsweise  $8 \times 10^{-11}$  m/s statt  $3 \times 10^{-11}$  m/s aufweisen, so ist in der Praxis kaum vorstellbar, dass das betreffende, zu diesem Zeitpunkt in der Regel bereits vollständig überbaute Baufeld dann wieder ausgebaut wird. Die kompetente Durchführung der sonstigen Schritte der Qualitätssicherung und insbesondere die Qualitätslenkung beim Mischprozess und im Baufeld ist für die Qualität der Abdichtung wesentlich wichtiger als die nachträgliche Kontrolle der genannten Parameter nach Einbau.
- Für die Auswertung der im Prüfumfang verbleibenden Durchlässigkeitsversuche sollte die in den jüngsten Projekten von uns und der jeweiligen Eigenüberwachung erfolgreich getestete Schnellmethode nach [10] Anwendung finden, um insbesondere beim Konformitätsnachweis und beim Probefeld schneller, d.h. nach rund 4 Wochen belastbare Aussagen zur Einhaltung der Anforderungen an die Durchlässigkeit treffen zu können. Dies sollte allerdings nicht dazu führen, dass die Versuche dann ausnahmslos abgebrochen werden. Gerade die genannten Versuche im Vorfeld der Baumaßnahme sollten bis zum Erreichen des stationären Zustandes durchgeführt werden.
- Die Aufgabenteilung zwischen Eigen- und Fremdprüfung sollte genauer spezifiziert werden. Die Eigenprüfung sollte eine höhere Verantwortung hinsichtlich der bauverfahrenstechnischen Beratung der ausführenden Firma übernehmen und nicht nur ihre Messwerte, sondern auch den Bauablauf einschließlich der zugehörigen Randbedingungen und Festlegungen dokumentieren. Dies gilt insbesondere für die Phase der Bauvorbereitung und das Probefeld. Die Rolle der Fremdprüfung sollte hinsichtlich folgender Aufgaben stärker betont werden: Kontrolle des Eigenprüfers, frühzeitige Festlegung der Regelungen sowohl für die baubegleitende Dokumentation als auch bei Freigabe von Materiallieferungen und Teilflächen, Qualitätslenkung für den Gesamtprozess.

Beide Institutionen müssen messend tätig sein und das tatsächlich eingesetzte Personal auch die hierfür erforderliche Erfahrung mitbringen. Anders können Sie die Qualität nicht kompetent prüfen. Die Fremdprüfung sollte aus unserer Sicht allerdings verstärkt zu Beginn

der Maßnahme Kontrollmessungen durchführen, während die Eigenprüfung ihren Schwerpunkt bei der regelmäßigen baubegleitenden Messung legen sollte.

## 4 Fazit

Seit der Verabschiedung der Empfehlungen des Arbeitskreises Trisoplast sind eine Fülle von praktischen Erfahrungen zur Abdichtung mit Trisoplast gesammelt worden, die eine recht differenzierte Einschätzung der Stärken und Risiken dieses Systems erlauben. Dieses würde jedoch eine sehr sorgfältige und ausgewogene Festlegung des Vergleichmaßstabs einer solchen Bewertung erfordern, die hier nicht erfolgen soll. In dieser Arbeit soll daher abschließend lediglich ein Fazit dahingehend gezogen werden, welche Arbeitsschritte und Verfahren sich bei der Herstellung und Qualitätssicherung von Abdichtungen aus Trisoplast bewährt haben und wo aus unserer Sicht noch Verbesserungsbedarf besteht. Da Oberflächenabdichtungen grundsätzlich kostenaufwändige Flächenbauwerke darstellen, die einer Umweltgefährdung vorbeugen oder diese im bereits eingetretenen Schadensfall mindern sollen, haben der Bauherr und die Öffentlichkeit einen Anspruch darauf, dass die Investition erfolgreich und das Ergebnis mangelfrei ist. Daran sind auch qualifizierte Baufirmen interessiert. Dieser Qualitätsanspruch liegt den nachfolgenden Bewertungen und Ausführungen zugrunde und sollte bei allen Oberflächenabdichtungssystemen eingefordert werden.

- Die Komponenten und die Rezeptur von Trisoplast sind stimmig und in ihren Qualitätsmerkmalen gut beschrieben.
- Die speziellen Eigenschaften von Trisoplast hinsichtlich Abdichtungswirkung, Verformungsverhalten und Beständigkeit gegen Austrocknung erlauben die Herstellung von sehr hochwertigen Dichtungen für viele Anwendungsbereiche mit in der Praxis gut beherrschbaren Bauverfahren.
- Die neuen Einbauverfahren mit Rüttelplatten, Raupen und Fertigern haben sich in der Praxis bewährt und erweitern das Spektrum an bautechnischen Möglichkeiten bei der Abdichtung mit Trisoplast.
- Hinsichtlich der Mischtechnik sind noch Verbesserungen möglich, um das Herstellverfahren weniger störanfällig zu gestalten. Es ist problematisch und erhöht Materialverbrauch und Prüfaufwand wenn auf einer Lohnmischanlage abwechselnd für ein Trisoplast-Projekt Trisoplast und für andere Aufgaben Beton gemischt wird.
- Die durch den Arbeitskreis Trisoplast befürchtete Klumpenbildung im Mischgut kann bei entsprechender Qualitätslenkung und -überwachung gut beherrscht werden.
- Die Einbautechnik und der Wassergehalt des Mischguts müssen auf die bautechnische Aufgabe und die Eigenschaften von Untergrund und Dichtungsaufleger abgestimmt werden. Allgemeingültige, von den Randbedingungen des Einzelprojekts unabhängige und mit Zahlenwerten spezifizierte Anforderungen können an das Dich-

tungsaufleger aus unserer Sicht nicht gestellt werden, da die Tragfähigkeit zumindest auf Siedlungsabfalldeponien zu stark vom Untergrund abhängig ist und die Anforderungen je nach Einbautechnik der Dichtung unterschiedlich sind.

- Die Einhaltung der Mindestschichtdicke der Dichtung ist unproblematisch. Je nach Einbauverfahren muss dafür allerdings ein unterschiedlich großes Vorhaltemaß eingehalten werden. Der Einbau mit Raupen bewirkt eine deutlich stärkere Überhöhung der tatsächlichen Schichtdicke gegenüber dem Mindestmaß als es beim Fertiger der Fall ist.
- Die Rissbildung beim Abziehen des Mischguts auf die erforderliche Schütthöhe und bei der Verdichtung des Mischguts kann beherrscht werden, wenn der Geräteeinsatz darauf abgestimmt wird. Es ist sehr zu empfehlen, die Anforderungen an die Oberflächenstruktur der Dichtung bauvertraglich und im Qualitätssicherungsplan eindeutig zu beschreiben und festzulegen.
- Die im Merkblatt Qualitätssicherung bei der Abdichtung mit Trisoplast enthaltenen Vorgehensweisen und Ansätze haben sich in der Praxis bewährt. Gleichwohl gibt es zur Verbesserung der Lesbarkeit und der Anwendbarkeit des Merkblattes sowie bezüglich einer Reihe von Details (Methoden, Prüfumfang, Zuständigkeiten) Fortschreibungsbedarf.
- Eine kompetente Qualitätssicherung ist für den Erfolg einer Abdichtungsmaßnahme mit Trisoplast von sehr großer Bedeutung. Es ist sowohl für den Bauherrn als auch für den Lizenznehmer Trisoplast riskant, diese Leistungen in einem rigorosen Preiswettbewerb an unerfahrene Auftragnehmer zu vergeben. Die Aufgaben von Eigen- und Fremdprüfung beschränken sich nicht auf die Entnahme und Analyse von Proben. Mindestens ebenso wichtig ist die Qualitätslenkung zur Fehlervermeidung sowie die rechtzeitige Überprüfung vieler vermeintlich trivialer Sachverhalte in der Mischanlage und auf der Baustelle.

## Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. Berlin, 81 S., November 1995
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Zulassungsgrundsätze für Dichtungsschichten aus natürlichen mineralischen Baustoffen in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien. Berlin, 24 S, Dezember 1997
- [3] Arbeitskreis Trisoplast: Gemeinsame Stellungnahme der im Arbeitskreis Trisoplast vertretenen Landesumweltbehörden zum Themenbereich Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen: Abdichtungen mit Trisoplast. 12.08.2002, 5 S. + 2 Anlagen. (download von [www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de) unter den Links „vertiefte Informationen zu Aufgaben/Themen“ – „Abfallwirtschaft“ – „Deponiebaustoffe“)
- [4] Arbeitskreis Trisoplast: Empfehlungen des AK Trisoplast zur Herstellung von Abdichtungen aus Trisoplast. Stand 17.07.2002, 11 S. (entspricht Anlage 1 zu [3])
- [5] TD Umwelttechnik: Merkblatt Qualitätssicherung bei Abdichtungen aus Trisoplast. Ausgabe 2.2 vom 10.07.2002. 4 Teile + Anlagen; aufgestellt durch die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft. (entspricht Anlage 2 zu [3])
- [6] TD Umwelttechnik: Dokumentation Trisoplast. Wentorf, 50 S., Stand 05.08.2001; aufgestellt durch die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft
- [7] Boels, D., S. Melchior & B. Steinert: Are Trisoplast barriers sustainable? Alterra-Report 514, ISSN 1566-7197. Wageningen, Niederlande 44 S. + 119 S. Anhang
- [8] Melchior, S., W. Behrens & A. Claussen (2003): Die Wasserdurchlässigkeit von Trisoplast. Laborversuche, numerische Modellierung und statistische Auswertung. Teil 1: Laborversuche. Müll und Abfall, 4, S. 177-182.
- [9] Claussen, A., W. Behrens & S. Melchior (2003): Die Wasserdurchlässigkeit von Trisoplast. Laborversuche, numerische Modellierung und statistische Auswertung. Teil 2: Numerische Modellierung. Müll und Abfall, 6, S. 282 - 288.
- [10] Behrens, W., S. Melchior & A. Claussen: Die Wasserdurchlässigkeit von Trisoplast. Laborversuche, numerische Modellierung und statistische Auswertung. Teil 3: Statistische Auswertung Modellierung. Müll und Abfall, in Vorbereitung