

E 5-2 Qualitätsüberwachung bei mineralischen Oberflächen- und Basisabdichtungsschichten

Stand: GDA 1997

1 Allgemeines

Das Abdichtungssystem einer Deponie umfasst sämtliche Abdichtungselemente von der Deponiebasis bis zur Deponieoberfläche. Ein Abdichtungssystem besteht in unterschiedlicher Kombination aus mehreren der folgenden Elemente:

- Auflager der Abdichtung
- Abdichtung (Basis und Oberfläche)
- Schutzschicht/Trennschicht
- Entwässerungsschicht
- Entgasungsschicht
- ggf. Kontrollschicht

Jedes Element unterliegt einem Qualitätsmanagement entsprechend den allgemeinen Grundsätzen von E 5-1.

2 Auflager der Abdichtung

Das Auflager der Abdichtung stellt die tragende Basis für Dichtungssysteme dar. Die Eignung und das Setzungsverhalten des anstehenden Bodens bzw. des Abfalls bei der Oberflächenabdichtung sind bereits im Entwurf zu überprüfen und zu berücksichtigen. Die Untersuchungen sind im Rahmen der Qualitätssüberwachung nach Freilegen des Baufeldes erforderlichenfalls zu spezifizieren bzw. nach Füllung der Deponie auf der Oberfläche des Abfalls zu überprüfen.

Durch Eigen- und Fremdprüfungen sind nachzuweisen:

- Qualitätsmerkmale des Untergrundes als Sicherungselement des Standortes (E 1-1 bzw. E 2-1) entsprechend Genehmigungsbescheid
- ausreichende Tragfähigkeitseigenschaft des Untergrund-Planums und des Abfallkörper-Planums
- Einhaltung der zulässigen Toleranzen in der Ebenflächigkeit des Planums sowie die Einhaltung der Soll-Höhenlage.

3 Abdichtung

3.1 Prüfungsumfang

Nach Abnahme des Auflagers der Abdichtung und bestandener Eignungsprüfung nach E 3-1 mit Untersuchungen im Versuchsfeld nach E 3-5 kann mit der Herstellung der mineralischen Abdichtungsschicht begonnen werden. Im Rahmen der Qualitätsüberwachung werden Feld- und Laborprüfungen durchgeführt.

Der nachfolgend angegebene Mindestprüfungsumfang gilt als eine Prüfung bezogen auf die Fläche einer Abdichtungslage sowohl für die Eigenprüfung als auch für die Fremdprüfung. Folgende Untersuchungen und Prüfungen sind durchzuführen.

- Prüfung der Identität des einzubauenden Materials im Vergleich mit dem Material der Eignungsprüfung durch Bodenansprache nach DIN 4022, Teil 1 und durch Bestimmung der Kornverteilung, Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Wasseraufnahme und des Wassergehalts (je 1000 m²)
- Wassergehalt beim Einbau, Homogenität des eingebauten Materials, Anzahl der Walzenübergänge, ggf. Wasserzugabe (je 1000 m²)
- Kleinstückigkeit, ggf. Frästiefe und Menge der Zusätze bzw. Dosierung bei Mehrkomponentengemischen im Zwangsmischer (je 1000 m²)
- Schichtdicke der einzelnen Lagen, Ebenflächigkeit der Schichtflächen sowie die Einhaltung der Soll-Höhenlagen (je 500 m²)
- erreichte Verdichtung und Homogenität der Abdichtungsschicht je Lage durch Bestimmung von Dichte und Wassergehalt, Kornverteilung und ggf. Plastizität sowie durch optische Beurteilung (je 1000 m²)
- Durchlässigkeit der Abdichtungsschicht je Lage durch Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (je 2000 m²).

Um Schwachstellen in der Abdichtungsschicht zu vermeiden, kann es insbesondere bei uneinheitlichem Baustoff erforderlich sein, das Prüfraster zu verkleinern. Darüber hinausgehende Untersuchungen sind im Einzelfall und unter Berücksichtigung der Art der Abdichtung festzulegen.

3.2 Allgemeine Hinweise zu den Prüfungen

Von dem verwendeten Material sind an der Entnahmestelle bzw. als Eingangsprüfung bei Anlieferung und darüber hinaus am Einbauort Stichproben zu entnehmen. Die Untersuchungsergebnisse sind mit den Werten der Eignungsprüfung zu vergleichen. Zusätzlich ist optisch und bei feinkörnigem Bodenmaterial durch Handprüfungen (DIN 4022, Teil 1, Abschnitt 8) festzustellen, ob der Boden in ausreichender Gleichmäßigkeit angeliefert wird. Die Gleichmäßigkeit muss sich sowohl auf die Zusammensetzung als auch auf die Konsistenz des Bodens beziehen. Jede aufzubringende Lage ist vor und nach der Verdichtung auf ihre Dicke zu überprüfen.

Die Stückigkeit von bindigem Abdichtungsmaterial ist im Hinblick auf das Erreichen einer makroporenfreien Abdichtungsschicht zu überprüfen. Die Einhaltung vorgegebener Werte von Dichte und Wassergehalt ist allein nicht ausreichend. Bei Verwendung von zwangsgemischtem gemischtkörnigem Abdichtungsmaterial ist zu überprüfen, ob das erreichte homogene Gemisch bei Transport, Einbau und Verdichtung erhalten bleibt.

Bei Einmischdichtungen in den anstehenden oder aus dem angelieferten Boden sind zusätzlich die Menge und die gleichmäßige Verteilung des aufgebrauchten Zusatzstoffes in einem Raster zu überprüfen. Der Abstand wird in Einzelversuchen in Abhängigkeit vom eingesetzten Streugerät bestimmt. Bei Einmischdichtungen sind die Frästiefen und die Homogenität der Durchmischung zu überprüfen. Die Frästiefe soll ausreichend tief (mind. 3 cm) in die oberste Zone der darunter liegenden Lage einbinden. Zu Beginn der Baumaßnahme ist anhand des Versuchsfeldes nach E 3-5 eine Relation zwischen verdichteter Lagendicke und Frästiefe herzustellen. Bei unterschiedlichen Wassergehalten ist dieses Maß auf die Schwankungsbreite der Wassergehalte abzustimmen. Die Einhaltung des geforderten Wassergehaltes und die ggf. hierfür zu treffenden Maßnahmen sind zu überprüfen (siehe auch Qualitätslenkung nach E 5-8).

Jede aufgebrauchte Abdichtungslage ist ordnungsgemäß zu verdichten. Beim Verdichten sind die Anzahl der Walzübergänge entsprechend den Vorgaben aus dem Versuchsfeld sowie die Gleichmäßigkeit der Verdichtung zu überprüfen. Zur Bestimmung des Verdichtungsgrades ist die Verdichtung anhand von Proben bzw. zerstörungsfreien Messungen zu überprüfen. Die Verdichtungsprüfung muss bei sämtlichen Lagen der Abdichtungsschicht vorgenommen werden und die gesamte Schichtdicke erfassen. Außerdem soll sie eine qualitative Aussage über die Kontaktfläche zwischen den einzelnen Lagen ermöglichen. Die Bestimmung des Verdichtungsgrades erfolgt für eine Abdichtungsschicht, deren Material feinkörnig (nach DIN 18 196) ist, durch Proben der Klasse 1. Für gemischtkörnige Böden wird eine Ersatzmethode angewendet. Soll eine Isotopsonde eingesetzt werden, deren Messergebnisse durch die Mineralart beeinflusst werden, sind die Werte durch eine ausreichende Anzahl von Vergleichsuntersuchungen von Dichtebestimmungen je nach Bodenart durch Ersatzmethode oder durch Proben der Klasse 1 zu kalibrieren.

Die Werte des Wassergehaltes sind während der Herstellung zu kontrollieren. Der Wassergehalt wird durch Ofentrocknung, unter Umständen auch mit Mikrowellengerät, bestimmt. Bei regelmäßiger Kalibrierung kann auch mit der Isotopsonde gearbeitet werden.

Der Nachweis zur Bestimmung der Korngrößenverteilung hat durch eine kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse nach DIN 18 123 zu erfolgen.

Die Bestimmung der Durchlässigkeit im Labor erfolgt entsprechend E 3-1, Abschnitt 5. Die Durchlässigkeitsprüfungen werden bei feinkörnigem Boden an ungestörten Proben der Klasse I durchgeführt. Bei gemischtkörnigem Boden ist sicherzustellen, dass bei der Probenherstellung aus gestörtem Material für die Durchlässigkeitsprüfung der Wassergehalt und die Dichte den Werten der Feldüberprüfung entsprechen. Es ist ein Modus zu finden, der verhindert, dass durch die Dauer der Durchlässigkeitsprüfungen der Baubetrieb unzulässig aufgehalten wird. Ein Anhaltspunkt für die Vertragsgestaltung kann die Regelung in einigen Bundesländern sein, in denen die Vorlage der Durchlässigkeitsprüfung vor der Abnahme dann nicht verlangt wird, wenn die übrigen Prüfergebnisse der Qualitätssicherung, insbesondere Kornverteilung, Wassergehalt und Trockendichte, mit den Werten der Eignungsprüfung (E 3-1) und den Untersuchungen im Versuchsfeld (E 3-5) übereinstimmen. Die Versuchsergebnisse aus den Durchlässigkeitsversuchen haben dann nur Bedeutung im Hinblick auf eine Dokumentation der Ausführung.

Werden im Raster der Messpunkte Schwachstellen festgestellt, so werden zusätzliche Messpunkte festgelegt, um die Zonen minderer Qualität abzugrenzen und nachzubessern.

4 Feinkörnige Böden

4.1 Sonderprobenentnahme und Feld-Checkliste [1]

Die Prüfung der Material-Homogenität der bindigen Matrix sowie deren Makroporenfreiheit und Rissfreiheit, insbesondere Freiheit von Trockenrissen, muss bereits bei der Probenahme nach Bild 5-2.1 im Feld erfolgen und ist in Checklisten (s. Tabelle 5-2.1) zu erfassen.

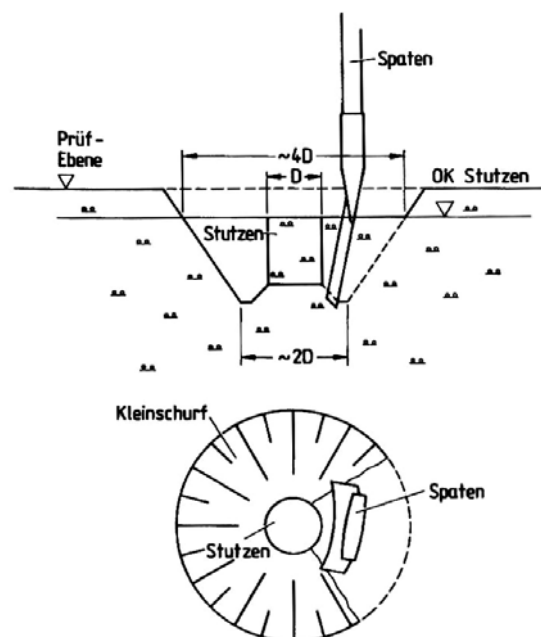


Bild 5-2.1: Entnahme von Sonderproben aus feinkörnigen Abdichtungsschichten

Feld-Checkliste	Objekt-Kennwort:.....	Az.Nr.:.....
	Probe-Datum:.....	Anl. Nr.:.....
Teilnehmer/Datum/Uhrzeit		
– Eigenprüfer/Fremdprüfer:.....		
– Auftraggeber/Beteiligte		
– Witterung		
Prüfungs-Bauteil		
– Abschnitt/Feld		
– Abdichtungslage		
– Station		
Prüfung	Ungestörte Probe Nr.	U/
	Zusatz-Proben	U/
Oberflächen-Prüfung:		
– Ebenheit		
– Gleichmäßige Kornverteilung		
– Fremdmaterial		
Prüfung bei der Entnahme der Sonderprobe		
– Beim Eintreiben des Stutzens		
– Nach evtl. Umsetzen des Stutzens		
– Beim Freigraben des Stutzens		
○ Struktur bindige Matrix		
○ Einbettung Grobkorn < 32 mm		
○ Grobkorn-Nester		
○ Grobkorn > 32 mm		
○ Fremdmaterial		
○ Schrumpfrißfreiheit		
– Basis des seitlich abgedrückten Stutzens		
○ Struktur bindige Matrix		
○ Makroporen		
○ Einbettung Grobkorn < 32 mm		
○ Grobkorn > 32 mm		
○ Fremdmaterial		
○ Schrumpfrißfreiheit		
– Besonderheiten		
Boden-Benennung DIN 4022, Teil 1		
U/		
U/		
U/		
Beurteilung		
.....		
Prüfer/Unterschrift		
.....		

Tabelle 5.2-1: Checkliste für Probenahme im Feld

Zur Homogenitätsprüfung ist eine detaillierte Boden-Benennung nach DIN 4022, Teil 1, erforderlich. Dabei werden nicht nur die Hauptbodenart Schluff oder Ton sowie die sandig-kiesigen Beimengungen, sondern auch die plastischen Eigenschaften und weitere charakteristische Unterscheidungsmerkmale, z. B. Kalkgehalt und/oder organische Bestandteile, qualitativ geprüft und in der Checkliste gem. Tabelle 5-2.1 eingetragen.

Dazu ist rund um den eingetriebenen Entnahmezylinder (Stutzen) der ungestörten Probe der Klasse I eine Kleinschürfung gemäß Bild 5-2.1 mittels Spaten und Spachtel mit nur scheibenweiser Vergrößerung des Schurfdurchmessers vorsichtig ohne Störung der Stutzenlage auszuführen. Die entnommenen Bodenscheiben sind aufzubrechen, deren Struktur, d. h. Homogenität, Makroporenfreiheit und Rissfreiheit, nach der Checkliste gemäß Tabelle 5-2.1, Ziff. 3.2, zu beurteilen und eine Teilprobe, zum Vergleich bei der Laboruntersuchung der Sonderprobe, luftdicht abzupacken.^v

Abweichend von der in DIN 4021, Ziff. 4.2, Bild 4, dargestellten Entnahme von Sonderproben aus Schürfungen sollen gemäß Bild 5-2.1 die Endabmessungen der kegelstumpfförmigen Kleinschürfung in OK Stutzen etwa das 4fache und in UK-Stutzen das 2-fache des Stutzen-Durchmessers erreichen. Die Schürfsohle ist dabei nur 2 bis 3 cm tiefer herzustellen. Außerdem ist die Kleinschürfung um die Sonderprobe herum gemäß Bild 5-2.1 nur bis 3/4 des Umfanges herzustellen.

Anschließend wird mit dem Spaten das stehen gebliebene 1/4 der Kleinschürfung gemäß Bild 5-2.1 bis ca. 3 cm unter UK-Stutzen durchstoßen und mit einer seitlichen Kippbewegung des Spatens die Probenbasis abgebrochen, so dass sowohl an dem 2 bis 3 cm über die UK-Stutzen überstehenden Stück der Sonderprobe als auch in der Schürf-Sohle die Probenstruktur einwandfrei beurteilt, diese auch mit den Proben der Kleinschürfung verglichen und entsprechend Checkliste protokolliert werden kann. Erst dann ist das aus dem Stutzen herausragende Probenstück abzuschneiden.

Unter Berücksichtigung der Versuchsfeldergebnisse aus der Eignungsprüfung nach E 3-5 ist der erfahrene Bodenprüfer dann in der Lage, eine erste Beurteilung der ausreichenden Abdichtungs-Qualität abzugeben. Beanstandungen der Homogenität, Konsistenz, Porenstruktur und Rissfreiheit sind dann zwecks sofortiger Behebung an die Bauausführung weiterzugeben, da im weitergehenden Laborversuch keine Aussicht auf ein positives Ergebnis besteht und mit dem Abwarten auf Laborversuchsergebnisse nur eine unproduktive Verzögerung des Baubetriebes verbunden wäre.

Bei Grobkorn-Beimengungen ist außerdem nur durch diese eingehende örtliche Prüfung festzustellen, ob die Grobkörner einzeln und gleichmäßig dicht in die feinkörnige Matrix eingebettet sind und somit keine Abminderung der Abdichtungsqualität gegeben ist. Ist die Einbettung nicht ausreichend, so sind weitergehende Laborversuche nicht sinnvoll, sondern die ggf. nötigen Veranlassungen zur verbesserten Einbettung des Grobkorns oder dessen Entfernung vor dem Einbau

können sofort an den Baubetrieb weitergegeben werden.

Mit der Feld-Checkliste gemäß Tabelle 5-2.1, deren Umfang im Einzelfall den Versuchsfeldergebnissen der Eignungsprüfung nach E 3-5 anzupassen ist, wird die Probenahme nachvollziehbar protokolliert. Somit kann durch Dritte in benachbarten Kleinschürfungen das Ergebnis unabhängig geprüft und dann ggf. auch in vertraglicher Hinsicht genutzt werden. Schließlich kann im Labor beim Ausdrücken der Sonderprobe aus dem Entnahmezylinder nochmals ein Vergleich mit der Feld-Protokollierung erfolgen und so eine umfassende Bewertung aller Prüfergebnisse ermöglicht werden.

4.2 Kennwerttabelle zur Qualitätslenkung und -Sicherung [1]

Aufgrund korrelativer Beziehungen, die ggf. bei der Versuchsfeld-Auswertung nach E 3-5 hinsichtlich der Streubreite der Kennwerte näher darzustellen sind, besteht die Möglichkeit zur gezielten Qualitätslenkung mit Hilfe tonmineralogisch orientierter Indexversuche, z. B. dem Wasseraufnahmeversuch nach DIN 18 132 oder dem Versuch zur Bestimmung der Ausrollgrenze nach DIN 18 122.

Zur einheitlichen Darstellung und Auswertung der Versuchsergebnisse kann die Kennwert-Tabelle 5-2.2 verwendet werden. In diese sind in der Kopfleiste die allgemeinen Angaben, in Spalte 1 und 2 die Angaben zur Prüfstelle enthalten. In Spalte 3 ist die Benennung und Beschreibung der Probe nach DIN 4022, Teil, I, nach DIN 18 196 und zur festgestellten Makroporenstruktur anzugeben.

In Spalte 4 bis 8 sind die Kennwerte zu den stofflichen Eigenschaften, d. h. zur Bodenart, einzutragen. In Spalte 8 und in der oberen Zeile der Spalte 9 sind die Werte zum Bodenzustand anzugeben. Die Bewertung in Spalte 9, untere Zeile, bezieht sich dabei auf das Einhalten der vorgegebenen Richtwerte bezüglich Bodenart und Bodenzustand bzw. Konsistenz.

In Spalte 10 und 11 sind die *Proctor*-Vergleichswerte zu *Proctor*-Dichte und *Proctor*-Wassergehalt (feuchte Seite der *Proctor*kurve) entsprechend dem Ergebnis der Eignungsprüfung nach E 3-1 und E 3-5 einzutragen.

Die Differenz zwischen dem Einbau-Wassergehalt (Spalte 8) und den *Proctor*-Grenzwassergehalten (*Proctor*-Vergleichswerte Spalte 11) zeigt in Spalte 12 als Differenz ΔW zwischen Spalte 11 und 8, ob der Einbauwassergehalt bei positiver Differenz innerhalb oder bei negativer Differenz außerhalb der Grenzwerte liegt. Aus Spalte 13 ergibt sich im Vergleich mit Spalte 10 die erreichte *Proctordichte* in Spalte 14. Zusammen mit dem ermittelten *k*-Wert in Spalte 14 erfolgt in Spalte 15 die Beurteilung und ggf. Freigabe im Einzelfall.

Aufgrund der korrelativen Zusammenhänge kann bei der Versuchsfeldauswertung nach E 3-5 unter Berücksichtigung der festgestellten Streubreite ggf. nachgewiesen werden, dass beim Einhalten der tonmineralogisch orientierten Richtwerte eines feinkörnigen Bodens, d. h. des Wasseraufnahmevermögens $\geq 55\%$ (nach 4 Minuten) oder/und der Plastizitätszahl $\geq 12\%$ sowie beim Einhalten der geforderten Proctordichte, mit Sicherheit der Durchlässigkeitswert $k = 5 \cdot 10^{-10}$ m/s unterschritten wird. Für geringere k-Werte sind die tonmineralogisch orientierten Richtwerte aufgrund der Eignungsprüfung entsprechend zu erhöhen.

Tabelle 5.2-2: Kennwerttabelle für die Qualitätslenkung

Prüflabor / Objekt : Basis / Oberfläche : – Geotechnische Prüfung mineralischer Abdichtungsschichten										Az. Nr.:										
Prüfer :										Anl. Nr.:										
Material-Eignungsprüfung vom : Herkunft : Konditionierung :										Baufeld :										
Prüfstelle :										Prüf-Planum :										
Prüfung Material-Identität und Kennwerte										Proctor-Vergleichsw.		Prüf-Ergebnisse								
Datum – Prüfstelle / Probenart und Kennziffer	Entnahmetiefe (m) UK-Probe unter Prüfplanum	Boden- Benennung und -Beschreibung DIN 4022, Teil 1	Bodenart						Zustand		D_{Pr}^{100} (t/m ³)	D_{Pr}^{95} (t/m ³)	W_{Pr}^{100} (%)	W_{Pr}^{95} (%)	$\Delta W^{100(8)} - (11)$ (%)	$\Delta W^{95(11)} - (8)$ (%)	Feucht-Dichte (t/m ³)	Trocken-Dichte (t/m ³)	Proctor- Dichte D_{Pr} (%)	Beur- teilung
			W_a Wasseraufnahme (%)	W_p Ausrollgrenze (%)	W_L Fließgrenze (%)	I_p Plastizitätszahl (%)	V_{Ca} Kalkgehalt (%)	V_{gl} Glühverlust (%)	T Ton (%)	U Schluff (%)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						

Danach empfiehlt es sich, zur Qualitätsüberwachung und -lenkung in größerer Stichprobenzahl das Wasseraufnahmevermögen nebst Wassergehalt und Einbau-Dichte festzustellen und die längere Bearbeitungszeit erfordernden Versuche wie Fließgrenze, Kornverteilung und Durchlässigkeit nur im geforderten Mindestumfang auszuführen (siehe E 5-8).

Beim Überschreiten der Richtwerte der Bodenart kann entsprechend der hiermit verbundenen Verbesserung der plastischen Eigenschaften im Rahmen der festgestellten Bandbreite sowohl der hierdurch bodenphysikalisch bedingt erhöhte Einbauwassergehalt als auch die entsprechend niedrigere Proctordichte ohne Gefährdung der Abdichtungswirkung akzeptiert werden. Bei diesen Grenzwert-Überschreitungen muss jedoch als weitere Randbedingung beachtet werden, dass der eingebaute Boden mit seiner Konsistenz im steifen Bereich verbleibt und somit weder zu weich noch zu hart ist, sondern bei der Konsistenzprüfung zu Spalte 3 der Tabelle 5-2.1 gemäß DIN 4022, Teil 1, Abschnitt 8.13, im „schwer knetbaren“ Zustand liegt, d. h. einwandfrei steif ist.

Mit dem Unterschreiten der tonmineralogisch orientierten Richtwerte der Bodenart ist dagegen eine Abminderung der plastischen Eigenschaften und damit der Abdichtungsqualität insbesondere hinsichtlich Verformbarkeit und Schadstoffrückhaltevermögen verbunden, die nicht durch das Einhalten der Grenzwerte von Proctordichte, k-Wert und ggf. Tongehalt $< 0,002$ mm ausgeglichen wird.

Aufgrund getroffener vertraglicher Regelungen kann hier die Abnahme entsprechend einer negativen Beurteilung in Spalte 9 (untere Zeile) verweigert sowie eine ausreichende Verbesserung der plastischen Eigenschaften oder ein Bodenaustausch verlangt werden, ohne dass hiermit ein zeitraubender Versuchsaufwand und entsprechende Bauverzögerung verbunden sind.

Andererseits kann im Vorfeld der Einbau- und Verdichtungsarbeiten das Einhalten der Richtwerte zu Bodenart und Bodenzustand durch eine größere Stichprobenzahl der relativ einfachen Indexversuche (Spalte 4 und 8) im Sinne einer Qualitätslenkung gesteuert und dadurch die Qualität der Arbeiten zuverlässig sichergestellt sowie gleichzeitig die Einbau- und Verdichtungsarbeit optimiert werden (siehe E 2-8).

Literatur zu E 5-2:

- [1] NEFF, H. K. WALTER, H., MUNTER, A. H.: Demonstration des nachträglichen Grundwasserschutzes einer Großdeponie durch seitliche Abdichtung und durch Oberflächenabdeckung bei der Abfalldeponie Dreieich-Buchschlag. Forschungs-Schlußbericht Gesamtprojekt 1994, FKZ 143 0260 1. Eigenverlag ETN Erdbaulaboratorium Tropp-Neff und Partner, Hungen 1995.