

Geotextilien, Versuch Gisikon

Schlussbericht zum Forschungsauftrag Nr. 2/84 des
Bundesamtes für Strassenbau, Bern

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

H. Heer, Ing. ETH

Tiefbauamt Kanton Luzern
Bahnhofstrasse 15

6002 Luzern

ab 1. Januar 1985

Schweizerischer Baumeisterverband
Weinbergstrasse 49

8035 Zürich

Dr. J. Studer

GSS
Glauser, Studer, Stüssi
Ingenieure SIA/ASIC AG
Witikonstrasse 15

8032 Zürich

September 1985

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
1. Einleitung	3
2. Versuch	4
2.1 Zielsetzung	4
2.2 Versuchsanordnung	4
2.3 Einbauvorgang	10
3. Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen	17
3.1 Beobachtungen	17
3.2 Messungen	17
3.3 Festigkeit ausgegrabener Vliese	19
3.4 Schlussfolgerungen	20

Zusammenfassung

Für den Bau der N 14 Sedel - Gisikon war im Bereich wenig tragfähiger wasser-gesättigter Siltschichten als Bauhilfsmassnahme der Einsatz von Geotextilien vorgesehen. Dabei bot sich die Möglichkeit, durch gezielte Messungen und Beobachtungen die Wirkungsweise der Vliese zu überprüfen. Während Schichtaufbau und Schüttmaterialien durch das Projekt festgelegt waren, konnte das Messprogramm weitgehend frei gewählt werden. Im Bericht sind die Messresultate zusammengefasst.

Der Versuch zeigte folgende Resultate:

- 1) Die Verwendung von Vliesen ist hauptsächlich als Bauhilfsmassnahme zu betrachten. Der Einbau der Dammschüttung wird bei wenig tragfähigem Untergrund wesentlich erleichtert wenn nicht gar erst ermöglicht. Die geschütteten Schichten lassen sich bei Verwendung eines Geotextils besser verdichten, was sich an einer tendenziellen Zunahme der ME-Werte und einer Abnahme der Deflektionen ablesen lässt.
- 2) Die Spurrillentiefe zeigte keine Abhängigkeit vom Geotextil. Bei der vorliegenden Mächtigkeit der Schüttung von 0,7 bis 1,3 m ist die Spurrillentiefe nicht vom Geotextil beeinflusst.
- 3) Die ausgegrabenen Geotextilien zeigten keine eigentliche Beschädigung durch Einbau, Verdichtung und Verkehrsbelastung. Die mechanischen Festigkeitseigenschaften der ausgegrabenen Proben lagen etwa 2 bis 15 % unterhalb denjenigen der Urmuster, wobei die Streuung bei den Urmustern von ähnlicher Grössenordnung war. Daraus darf geschlossen werden, dass die mechanischen Eigenschaften durch den Gebrauch nicht wesentlich verändert wurden.

Récapitulation

Pour la construction du tronçon de la N 14 Sedel - Gisikon, l'utilisation de géotextiles a été prévue comme moyen de construction auxiliaire dans les zones de faible portance où la teneur en eau des couches en craie lacustre atteignait la saturation. A cette occasion, il a été possible de contrôler l'utilité des géotextiles au moyen de mesures adéquates et d'observations précises. La structure des couches, ainsi que leur épaisseur, et les matériaux de remblayage étant définis par le projet, le programme d'essais et de mesures pouvait être déterminé de manière assez libre. Les conclusions suivantes résument les résultats des mesures.

L'essai a donné les résultats suivants:

- 1) L'emploi de géotextiles doit être considéré comme un moyen de construction auxiliaire. La mise en place des remblais est grandement facilitée dans les zones où la portance du sous-sol est faible; cette dernière peut être même rendue impossible sans présence d'un géotextile. Les couches de remblais se laissent mieux compacter en utilisant un géotextile, ce qui est vérifié par les mesures faisant apparaître un accroissement des valeurs ME et une diminution des déflexions.
- 2) Il n'y a pas de relation entre la profondeur des ornières et la présence d'un géotextile. Dans le cas étudié, épaisseur des remblais variant de 0,7 à 1,3 m, la profondeur des ornières n'a pas été influencée par la mise en place de géotextiles.
- 3) Les géotextiles, remis à jour plus tard, n'ont présenté aucun dommage causé par la mise en place des remblais, le compactage et les surcharges dues au trafic. Les caractéristiques de résistance mécanique des échantillons prélevés étaient environ 2 à 15 pour cent en dessous des valeurs initiales, la dispersion des mesures étant du même ordre de grandeur que chez les échantillons de comparaison. On peut donc conclure, qu'à l'usage, les caractéristiques mécaniques des géotextiles ne sont pas modifiées dans des proportions représentatives.

1. Einleitung

Geotextilien sind im Strassenbau ein heute nicht mehr wegzudenkender Baustoff. Sie haben dabei folgende Aufgaben zu übernehmen: "Trennen", "Armieren", "Filtern", "Drainieren" und "Schützen". Je nach Problemstellung wird eine der obigen Aufgaben die Hauptaufgabe und die andern werden Nebenaufgaben sein. Trennen von Schichten mit unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften ist im Strassenbau die einem Geotextil am häufigsten zugewiesene Aufgabe. Ueber die Wirkungsweise und die Möglichkeiten des Geotextils bei dieser Aufgabe herrschen in der Praxis weitgehend ungenaue Vorstellungen. Bei der Aufgabe "Trennen" wird das Geotextil einerseits als Bauhilfe eingesetzt, um bei schlechten Untergrundverhältnissen den Strassenkörper überhaupt einbauen zu können. Dabei geht es darum, die erste Schicht des Strassenkörpers vor Kopf zu schütten und zu verdichten. Dank der Trennfunktion des Geotextils und einer, wenn auch kleinen, lokalen Armierungswirkung kann im allgemeinen der Untergrund auch bei kleinen Schichtdicken besser befahren und besser verdichtet werden.

Andererseits sollen durch die lokale Armierungswirkung und die bessere Verdichtung die Deformationen im Strassenkörper reduziert werden, was sich unter anderem auf kleinere Spurrillen auswirken soll. Dies ist eine Verbesserung der Eigenschaften des Strassenkörpers unter Betriebsbedingungen.

Beide Effekte sind sowohl durch theoretische Untersuchungen wie auch durch Feldbeobachtungen erkannt und in der Literatur mehrmals beschrieben worden. Allerdings weichen die Interpretationen der verschiedenen Autoren je nach den Randbedingungen der Versuche und den Eigenschaften der eingesetzten Geotextilien voneinander ab. Es existiert zur Zeit keine einheitliche Beurteilung über die Wirkungsweise der Geotextilien bei dieser Aufgabenstellung. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, die Wirkungsweise von Geotextilien im Felde näher zu untersuchen.

Der vorliegende Versuch diene der Grundlagenbeschaffung für die Formulierung von Minimalanforderungen an Geotextilien. Obwohl Geotextilien oft gebraucht werden, herrscht über die zu fordernden Minimalanforderungen für spezifische Bauanwendungen noch weitgehend Unklarheit. Im allgemeinen ist man heute bei der Wahl des geeigneten Geotextils auf Angaben von Produzenten angewiesen. Im Forschungsprojekt 24/82 der VSS "Geotextilien, Minimalanforderungen" sollen solche Qualitätsvorschriften formuliert werden. Dazu sind einerseits Literaturauswertungen und experimentelle Untersuchungen durchzuführen, andererseits einzelne Aspekte in Feldversuchen zu überprüfen. Der vorliegende Versuch ist eine Ergänzung zum obenerwähnten Forschungsprojekt.

Im Zuge des Baues der N 14 Sedel - Gisikon kamen auf Antrag des Geotechnikers im Raume Gisikon Geotextilien zum Einsatz. Es bot sich hier die Gelegenheit, in einem Feldversuch die Wirkung verschieden starker Geotextilien direkt miteinander zu vergleichen.

Vom Ablauf des Forschungsprojektes 24/82 aus gesehen wäre wünschenswert gewesen, Feldversuche erst nach Abschluss der theoretischen und der Laboruntersuchungen durchzuführen. Da aber nicht feststand, welche Möglichkeiten im dannzumaligen Zeitpunkt überhaupt vorhanden sind, wurde beschlossen, diese Gelegenheit zur Versuchsdurchführung zu ergreifen. Dabei mussten allerdings verschiedene Randbedingungen in Kauf genommen werden. So war namentlich der Zeitpunkt der Versuche, der geometrische Aufbau des Strassenkörpers und die eingebauten Materialien zu übernehmen. Wählbar war nur noch das Messprogramm. Demgegenüber standen die sehr günstigen Kosten dank den Eigenleistungen des interessierten Bauherrn und des Geotextilfabrikanten. Beiden Stellen sei für die sehr gute Zusammenarbeit gedankt.

2. Versuch

2.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Feldversuches war es, die Wirkung des Geotextils unter Feldbedingungen sowohl als Bauhilfsmassnahme wie auch seinen Einfluss auf den Strassenkörper unter Verkehrsbelastung zu untersuchen.

Dabei sollte abgeklärt werden, ob und inwieweit die Qualität sowie die Verlegeart des Geotextils einen spürbaren Einfluss auf den Bauvorgang zeigen. Nach Fertigstellung der Baupiste war zu überprüfen, ob das Geotextil die Tragfähigkeit der Piste beeinflusst und ob die Spurrillentiefe infolge Fahrbetrieb beeinflusst wird.

Wie bereits erwähnt, waren sowohl Geometrie als auch Materialien des Strassenkörpers anderweitig vorgegeben worden.

Die Ueberprüfung der Wirksamkeit sollte durch normale Baustellenuntersuchungen und einfache Beobachtungen durchgeführt werden. Dadurch konnten sämtliche Untersuchungen durch das Labor des Bauherrn selbst durchgeführt werden, und es traten keine Verzögerungen im Bauprogramm ein. Es wurden CBR-Versuche, Plattendruckmessungen und Deflektionsmessungen durchgeführt.

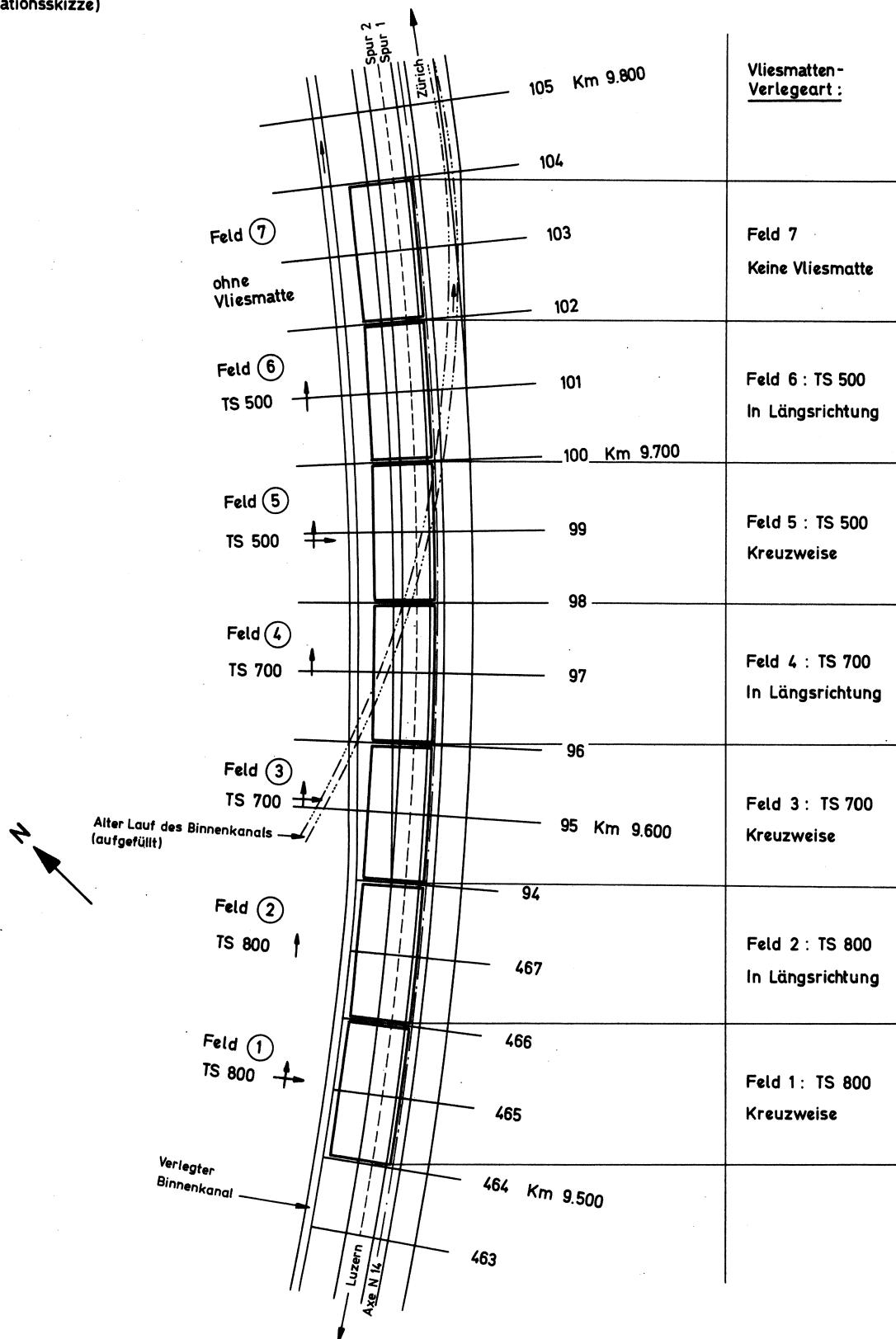
2.2 Versuchsanordnung

2.2.1 Allgemeines

Ein Teilstück der Autobahn N 14 Zürich - Luzern verläuft über schlecht tragfähigen Untergrund. Da dieser jedoch relativ dicht gelagert ist, waren durch den Bau des Strassenkörpers nur kleine Setzungen zu erwarten. Die schlecht tragfähige Deckschicht von allerdings geringer Mächtigkeit liess jedoch Schwierigkeiten beim Bau erwarten. Es zeigte sich im folgenden auch, dass die Tragfähigkeit während des Bauzustandes äusserst

Anordnung der Versuchsfelder

(Situationsskizze)



2. Anordnung der Vliesmattenversuchsfelder

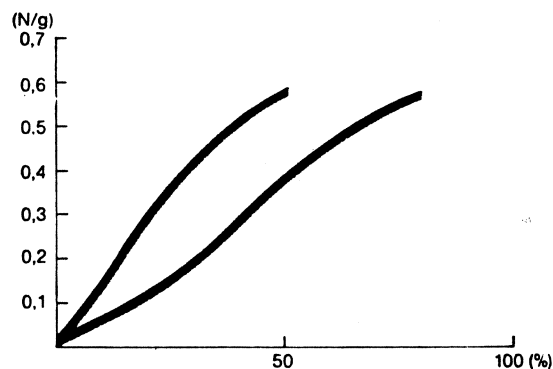
Technische Daten entspr. SN 640550

Normen-Ziffer		Dimension	TS 500			TS 700		TS 800
5	Konstruktionsdaten		Vlies aus Polypropylen-Endlofasern (11 dtex) mechanisch verfestigt					
7	Masse (SN 198 431)	g/m ²	140			280		400
8	Dicke unter Belastung (SN 198 421)	2 kN m ⁻²	1,6			2,6		3,3
		20 kN m ⁻²	1,2			1,9		2,4
		200 kN m ⁻²	0,6			1,2		1,5
9	Reißkraft (SN 198 461)	längs	kN/m	8,0		16,0		22,0
		quer	kN/m	8,0		16,0		22,0
	Reißdehnung (SN 198 461)	längs	%	80		80		80
		quer	%	50		50		50
	Reißkraft mit Breithalter	längs	kN/m	9,0		18,0		25,0
		diagonal	kN/m	9,0		18,0		25,0
		quer	kN/m	9,0		18,0		25,0
	Reißdehnung mit Breithalter	längs	%	75		80		80
		diagonal	%	45		50		50
		quer	%	30		35		35
10	Weiterreißkraft (ASTM D 1117)	längs	kN	0,23		0,45		0,60
		quer	kN	0,23		0,45		0,60
11	Stempeldurchdrückkraft (DIN 54307)	N	1450			2600		3300
12	Durchschlagfestigkeit – Lochdurchmesser	mm	29			18		12
13	Kriechen – Dehnung nach 1/24/500 Std.	%	6/8/9			6/8/9		6/8/9
14	Beständigkeit – Reißkraftverlust nach Behandlung entspr. EMPA	bakteriell chemisch ultraviolett	% % %	keine statistisch gesicherte Abnahme keine statistisch gesicherte Abnahme keine statistisch gesicherte Abnahme				
16	Wasserdurchlässigkeit senkrecht zur Geotextilebene (Permittivität) unter Belastung von	20 kN m ⁻²	s ⁻¹	2,0		1,2		0,7
		200 kN m ⁻²	s ⁻¹	1,0		0,5		0,4
17	Wasserdurchlässigkeit in der Geotextilebene (Transmissivität) unter Belastung von	20 kN m ⁻²	m ² · s ⁻¹	4 · 10 ⁻⁶		6 · 10 ⁻⁶		7 · 10 ⁻⁶
		200 kN m ⁻²	m ² · s ⁻¹	6 · 10 ⁻⁷		1 · 10 ⁻⁶		1 · 10 ⁻⁶
18	Wirksame Porenöffnung O _w	mm	0,12			0,09		0,07

Variationskoeffizient 10%

Streifenzugfestigkeit (SN 198 461) je Masse

Kraft-Dehnungs-Diagramm als Umhüllende der Meßkurve für Polyfelt TS 500–800



3. Mechanische Eigenschaften der eingesetzten Geotextilien

2.2.3 Geotechnische Situation

Das Trasse der N 14 verläuft im Bereiche der Versuchsfelder maximal 150 m von der Reuss entfernt in dessen Talebene auf kleineren Dämmen von maximal 2 Metern Höhe. Der Fels der oberen Süsswassermolasse steht erst in grösserer Tiefe an. Bei einer benachbarten Sondierbohrung wurde er in 48 m Tiefe angebohrt. Ueber dem Fels folgen von unten nach oben die Moräne, Seesedimente, Flussschotter und die Ueberschwemmungssedimente. Die letzteren bestehen hauptsächlich aus tonigem Silt und siltigem Feinsand und sind zum Teil organisch verunreinigt. Wie die Rammsondierungen zeigten, sind sie sehr weich und haben einen hohen natürlichen Wassergehalt. Die Schichtstärke beträgt rund 1,50 m bis 2,50 m. Ihre Bodenkennziffern variieren entsprechend der ungleichmässigen Beschaffenheit in weiten Grenzen. Sie liegen in folgenden Bereichen:

- . Raumgewicht: $\gamma_s = 1,8 - 1,9 \text{ t/m}^3$
- . ME-Werte: $1'000 - 3'000 \text{ kN.m}^{-2}$
- . Winkel der innern Reibung: durchschnittlich $25 - 30^\circ$

Die Flussschotter reichen z.T. bis auf 34 m Tiefe, sie bestehen aus leicht siltigem bis fast sauberem gerundetem Kies mit Sand und Steinen. Teilweise sind kleinere Zwischenschichten aus Sand vorhanden. Die Rammwiderstände deuten auf eine mittelharte bis harte Lagerung hin. Anhaltspunkte über die wichtigeren Bodenkennziffern erhielt man nebst der visuellen Klassifikation der Bodenmaterialien auch aus den Widerständen der Rammsondierungen und Standard-Penetration-Tests. Mittlere Bodenkennziffern wurden wie folgt geschätzt:

- . Raumgewicht: $\gamma_s = 2,0 - 2,2 \text{ t/m}^3$
- . ME-Werte: $35'000 - 80'000 \text{ kN.m}^{-2}$
- . Winkel der innern Reibung: durchschnittlich $33 - 35^\circ$

Die tieferliegenden Schichten der Flussschotter und die weichen Seesedimente werden vom Autobahnbau nicht beeinflusst, so dass auf eine eingehende Beschreibung verzichtet wird.

2.2.4 Versuchsfelder mit Geotextilien

Derselbe Vliesmattentyp wurde im einen Feld nur in Längsrichtung, im folgenden Feld jedoch doppelt, d.h. kreuzweise verlegt. Drei verschiedene Stärken desselben Produktes wurden in dieser Art verlegt. Vergleichsweise wurde ein Null-Feld (Nr. 7) ohne Vliesmatten angelegt.

In Abbildung 2 ist die Anordnung der Vliesmatten-Versuchsfelder dargestellt, Abbildung 3 zeigt die mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Geotextilien.

2.2.5 Lastwagenverkehr

Auf der 20 cm starken, aus Kies-Sand 1 bestehenden Planumsverbesserung wurde die Spur 1 wie folgt befahren:

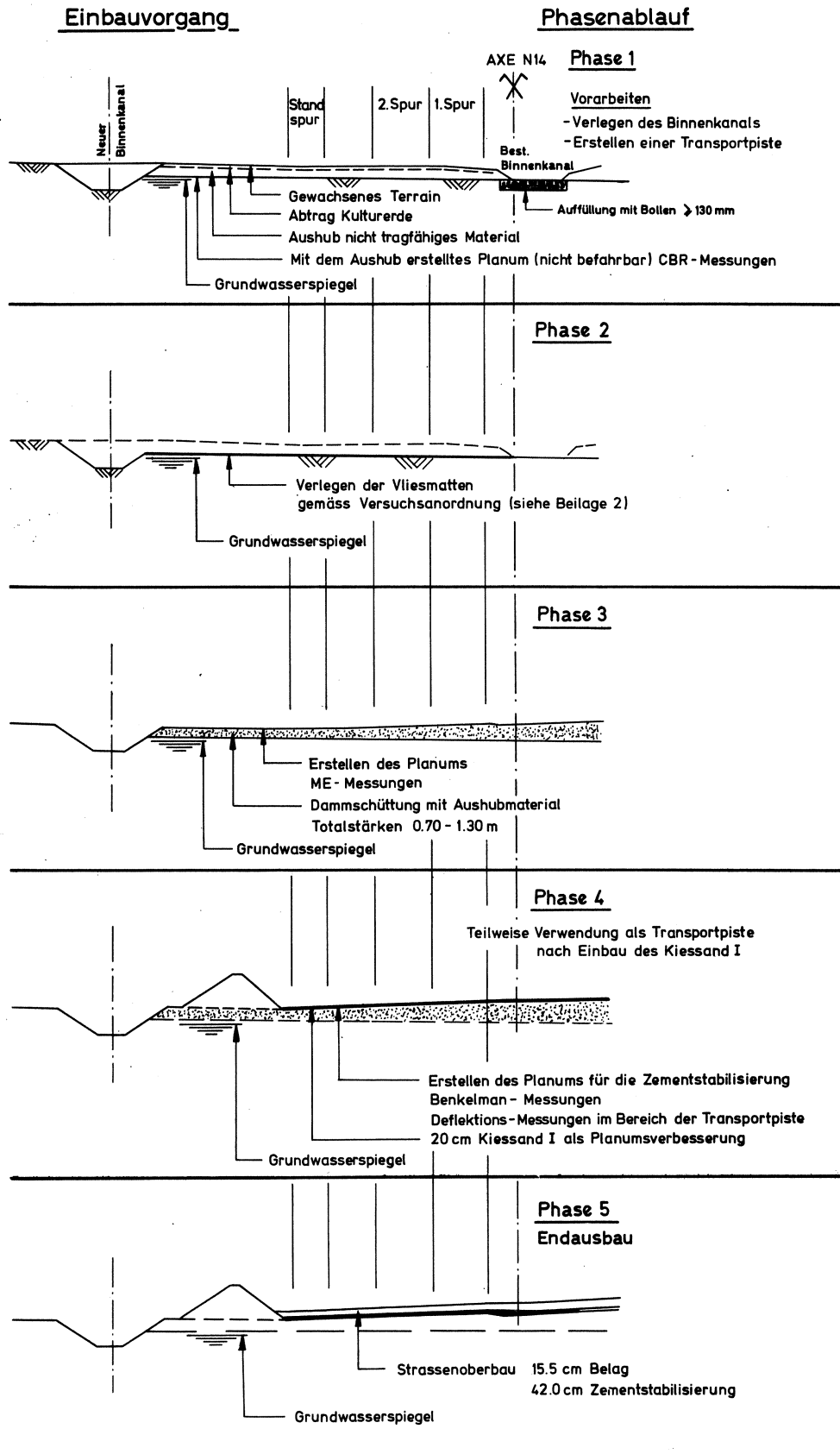
vom 24. - 27.4.1984 mit 164 beladenen 3-Achs-Lastwagen und

vom 15.8.1984 - 31.10.1984 mit 350 beladenen 3-Achs-Lastwagen

Kleinere Baustellentransporte sind nicht berücksichtigt. Den Typ der eingesetzten Baustellenfahrzeuge zeigt Abbildung 4. Die Achslast beim beladenen Fahrzeug beträgt 12 Tonnen.



4. Baustellenfahrzeuge auf der Planumsverbesserung
(20 cm Kies-Sand I)



5. Phasenablauf und Einbauvorgang

2.3.1 Beschreibung des Einbauvorganges (Abbildung 5)

Vorgängig der eigentlichen Bauarbeiten musste ein bestehender Binnenkanal aus dem Trassebereich verlegt und eine Transportpiste angelegt werden. Nach dem nun erfolgten Abtrag der Kulturerde wurde mit leichten Geräten - Raupenbagger auf Matrazenunterlage - die oberste Schicht der Ueberschwemmungssedimente bis auf ein beliebiges Planum abgetragen (Abbildung 6).

Dieses Planum konnte wegen ungenügender Tragfähigkeit nicht befahren und deshalb auch nicht verdichtet werden. Es wurde lediglich mit einer Planieschauffel abgezogen. Auf diesem Planum wurden die CBR-Werte gemessen und anschliessend die Vliesmatten gemäss Abbildung 2 verlegt. Der Strassenunterbau wurde sodann mit Dammschüttmaterial (70 bis 130 cm stark) aus dem angrenzenden Autobahnabschnitt ergänzt (Abbildung 7). Das nun neu erstellte zweite Planum lag rund 60 cm unter der projektierten Strassenkote.

An denselben Stellen, wo vorher die CBR-Werte gemessen wurden, wurden jetzt die ME-Werte aufgenommen. Um die notwendige Tragfähigkeit des Unterbaus für die Aufnahme der Zementstabilisierung zu erreichen, wurde auf dem erstellten Planum eine Planumsverbesserung mit 20 cm Kies-Sand I vorgenommen. Auf diesem so entstandenen Planum für die Zementstabilisierung wurde einerseits der Baustellenverkehr abgewickelt (als Belastungsversuch) andererseits wurden darauf die Benkelmann-Messungen ausgeführt sowie die Deflektionen nach den jeweiligen Belastungen gemäss 2.2.5 gemessen. Die gemessenen Werte sind in den Abbildungen 8 und 9 zusammengestellt.



6. Planum im anstehenden Boden, unverdichtet



7. Ergänzung des Strassenunterbaus 70 bis 130 cm stark

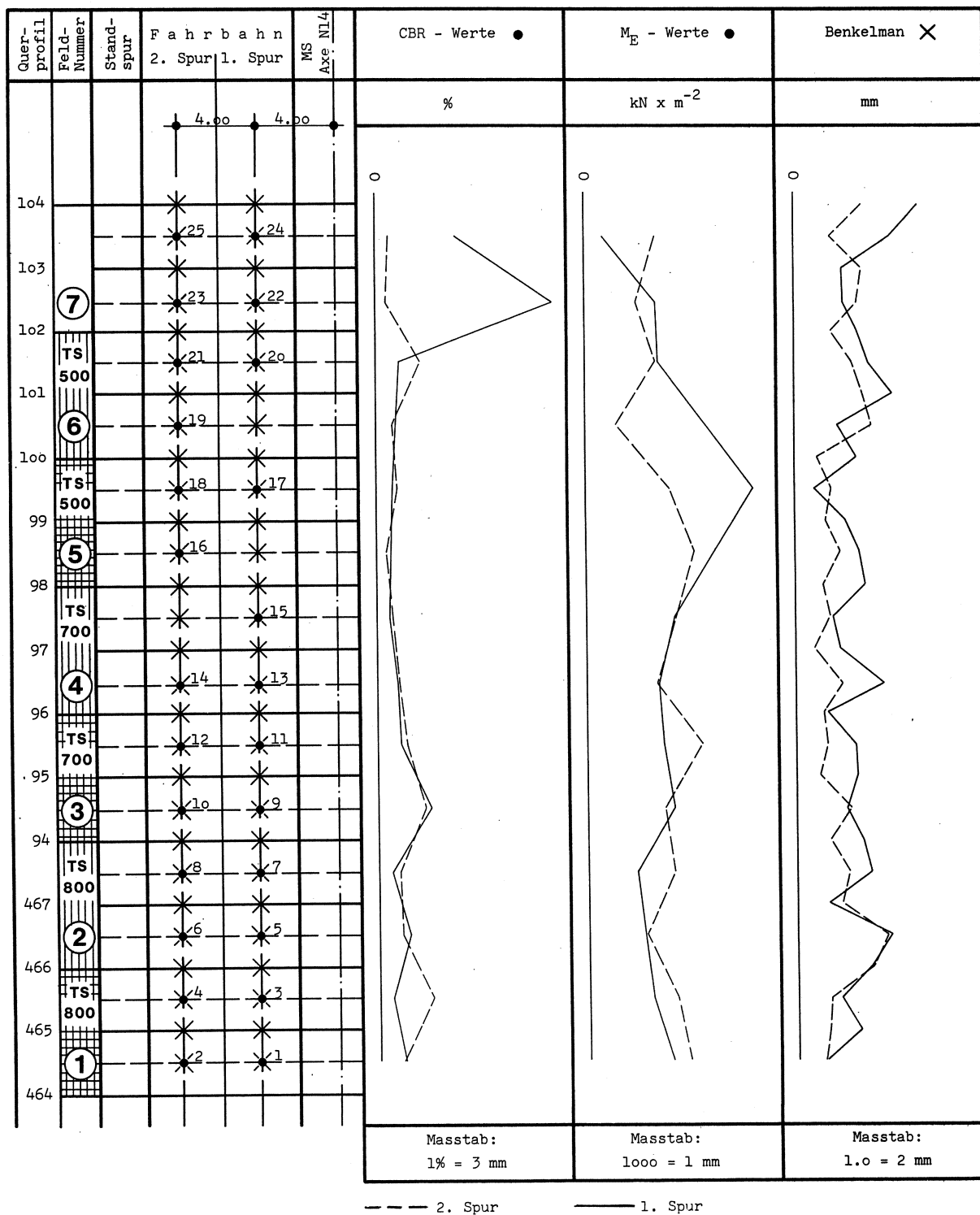
Zusammenstellung der Messergebnisse

CBR - Werte, M_E - Messungen, Benkelman - Messungen

Quer- profil	Feld-Nr.	Stand- spur	F a h r b a h n		MS Axe N14	MS	CBR - Werte •		M_E - Werte •		Benkelman X	
			2. Spur	1. Spur			2. Spur	1. Spur	2. Spur	1. Spur	2. Spur	1. Spur
							%	%	kN x m ⁻²	kN x m ⁻²	mm	mm
			4.00 m	4.00 m								
104			*	*							6.92	12.54
			*25	*24			0.90	5.40	14'300	3'700	3.66	9.60
103	⑦		*	*							6.82	4.84
			*23	*22			0.70	11.90	10'400	14'400	6.30	4.96
102			*	*							3.66	6.34
			*21	*20			3.00	1.60	14'300	14'600	5.86	7.40
101	⑥		*	*							6.88	9.90
			*19	*			1.10		6'300		7.74	4.32
100			*	*							2.32	6.24
			*18	*17			1.40	1.10	17'000	33'700	3.72	2.00
99	⑤		*	*							3.10	5.12
			*16	*			0.70		21'900		4.50	6.46
98			*	*							2.78	7.10
			*	*15				0.90		17'900	3.58	3.78
97	④		*	*							1.98	4.52
			*14	*13			1.50	1.40	14'300	14'600	4.74	8.96
96			*	*							2.84	3.28
			*12	*11			2.00	1.60	23'300	15'500	3.18	5.98
95	③		*	*							2.54	6.16
			*10	*9			3.20	3.60	15'800	17'700	5.50	5.08
94			*	*							3.44	6.72
			*8	*7			1.40	0.90	17'500	10'100	5.26	7.52
467	②		*	*							4.62	3.20
			*6	*5			1.60	2.10	11'800	11'500	9.12	9.54
466			*	*							7.64	7.36
			*4	*3			3.60	0.90	17'800	13'000	3.36	4.38
465	①		*	*							3.16	6.30
			*2	*1			1.60	1.70	20'300	17'000	2.72	2.80
464												

Zusammenstellung der Messergebnisse

CBR - Werte, M_E - Messungen, Benkelman - Messungen



Die folgende Abbildung 10 verdeutlicht die in Abbildung 11 dargestellten gemessenen Deflektionen



10. Deflektion auf dem Planum

Deflektionsmessungen

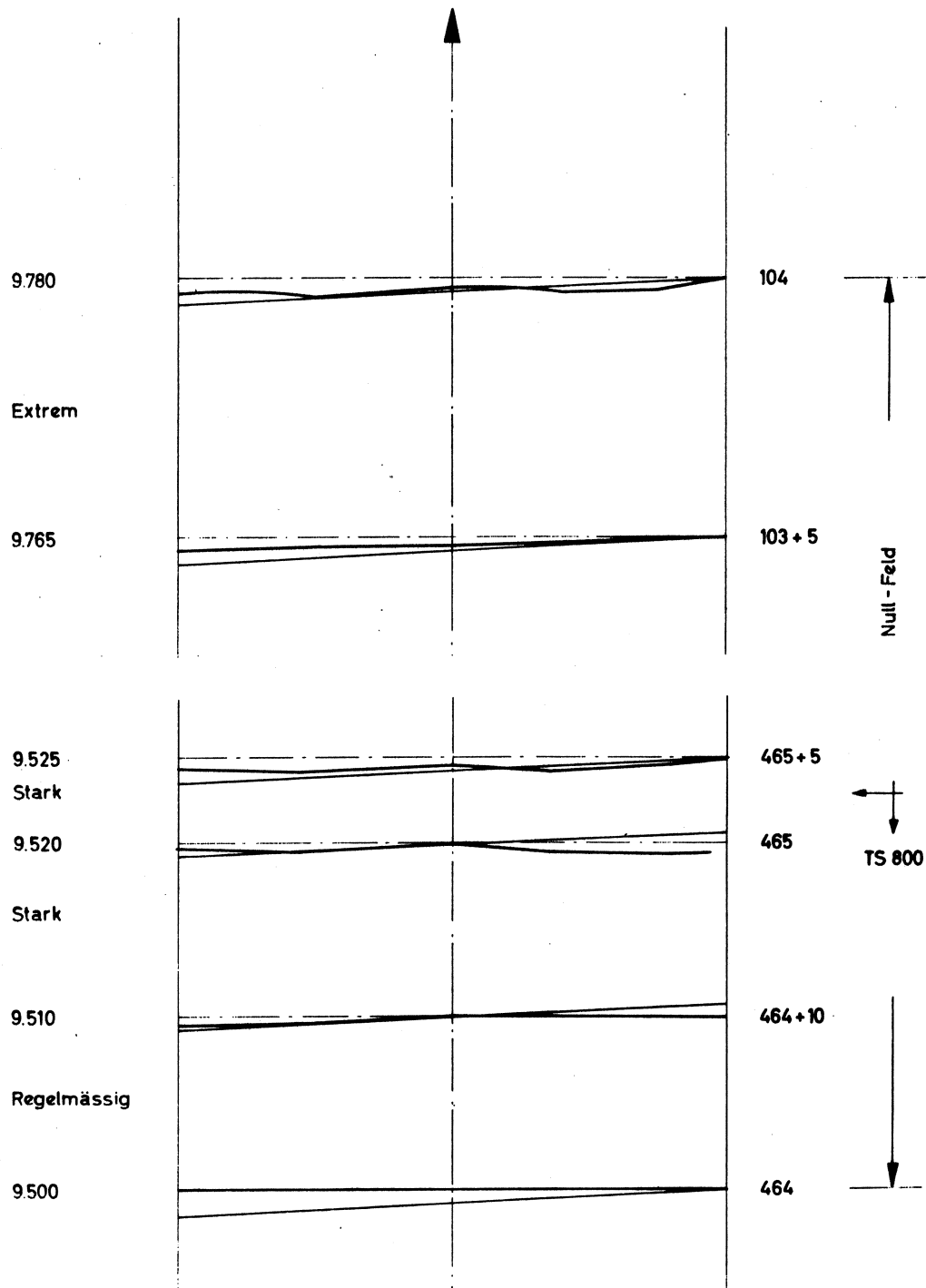
(Spur 1 am 18.5.84)

Masstab:

Längen: 0.00 5.00m 10.00m

Deflektionen 0.00 0.50m 1.00m

Richtung Gisikon



11. Darstellung einiger Deflektionen gemessen auf dem Planum

2.3.2 Besondere Probleme

Das in diesem Bericht beschriebene Trasse der Autobahn N 14 war im ursprünglichen, unverbesserten Zustand weder mit Baumaschinen noch mit Lastwagen oder anderen Transportgeräten befahrbar. Nach Absprache mit dem Geologen wurde deshalb primär für den Bauzustand eine Tragfähigkeitsverbesserung angestrebt. Man entschloss sich zum teilweisen Ersatz der siltigen Ueberschwemmungssedimente durch gutes Dammbaumaterial. Ein Teil dieser siltigen Schicht wurde ganz bewusst im Untergrund belassen. Sie sollte als Grundwasserbremse nach oben wirken. Der ganze Bauablauf, vom Humusabtrag bis zum Einbringen der Planumsverbesserung, bedingte ein äusserst sorgfältiges Arbeiten, um einerseits den Wasserabfluss jederzeit zu gewährleisten und andererseits den Boden nicht unnötig zu stören. Das Verlegen des unregelmässig im Trasse verlaufenden Binnenkanals und dessen Auffüllung mit Bollensteinen, 130 mm erleichterte diese Arbeit nicht.

3. Versuchsergebnisse und Schlussfolgerung

3.1 Beobachtungen

Beim vorliegenden Versuch mit Vliesmatten auf der Baustelle N 14 wurden die anderenorts gemachten Erfahrungen bestätigt: Vliesmatten erleichtern das Verdichten von Dammschüttungen auf wasserempfindlichen Böden. Ihre Funktion als Schichttrennung kam hier besonders zum Tragen. Die Bauzeit konnte durch den Einsatz von Vliesmatten wesentlich verkürzt werden, indem das vollständige Abtrocknen der Unterlage nicht unbedingt abgewartet werden musste, um die Dammschüttungen vornehmen zu können. Verlegeart und Stärke der Vliesmatten spielten nur eine zweitrangige Bedeutung. Wichtig war, dass bei den beschriebenen Verhältnissen überhaupt eine Vliesmatte verwendet wurde und zwar ein Vlies mit guter Trennwirkung. Beim Feld Null (ohne Vliesmatte) traten keine Schwierigkeiten auf, weil gerade hier sehr gute Witterungsverhältnisse über eine längere Zeitdauer zu guten Baubedingungen beitrugen.

3.2 Messungen

Die Zusammenstellung der Messresultate zeigen Abbildungen 8 und 9. Dargestellt sind die einzelnen Versuchsfelder, die Messorte sowie die Resultate der CBR-, ME- und Benkelmann-Messungen. Die CBR-Werte streuen sehr stark und liegen mehrheitlich unterhalb einem CBR-Wert von 3, was zeigt, dass der Untergrund wenig tragfähig ist. Die ME-Werte streuen ebenfalls sehr stark. In der Tendenz liegen sie jedoch im Feld 7 (kein Geotextil) und im Feld 6 (TS 500 einlagig) unter denjenigen Werten wie sie in den übrigen Feldern gemessen worden sind. Ein ähnliches Bild zeigen die Benkelmannversuche. Wiederum ist eine starke Streuung der Messwerte zu beobachten. Feld 7 (kein Geotextil) und Feld 6 (TS 500 einlagig) zeigen eindeutig höhere Deflektionswerte als die übrigen Felder.

Abbildung 12 Uebersicht der Streifenzug- und Stempeldruckmessergebnisse

GEOTEXTIL / Entnahmeort	U r m u s t e r			P r o j e k t N 14		
	Streifenzug DIN 53857 (1)		Stempeldruck DIN 54307 (1)	Streifenzug DIN 53857 (1)		Stempeldruck DIN 54307 (2)
	Reisskraft N/5 cm	Reissdehnung %	N	Reisskraft N/5 cm	Reissdehnung % längs quer	N
TS 800, Profil 467 + 13, einlagig						
TS 800, Profil 465 + 5, kreuzweise obere Lage	$\bar{x} = 993$ $V_L = 9.5$ $V_q = 6.5$	längs: $\bar{x} = 77$ $V = 5.7$ quer: $\bar{x} = 50$ $V = 5.5$	$\bar{x} = 3299$ $V = 5.2$	$\bar{x} = 967$ $V_L = 2.6$ $V_q = 3.3$ $\bar{x} = 986$ $V_L = 3.7$ $V_q = 4$	76 47 69 55	3650 3800
TS 800, Profil 465 + 5, kreuzweise untere Lage				$\bar{x} = 968$ $V_L = 7.5$ $V_q = 3.1$	76 53	3648
TS 700, Profil 98 + 8, einlagig				$\bar{x} = 712$ $V_L = 4.8$ $V_q = 7.7$	71 42	2865
TS 700, Profil 98 + 8, einlagig - Felsstück	$\bar{x} = 820$ $V_L = 8.6$ $V_q = 5.2$	längs: $\bar{x} = 84$ $V = 6$ quer: $\bar{x} = 47$ $V = 7$	$\bar{x} = 2900$ $V = 7.4$	$\bar{x} = 745$ $V_L = 10.1$ $V_q = 5.5$	74 45	2873
TS 500, Profil 101 + 10, einlagig				$\bar{x} = 376$ $V_L = 8.6$ $V_q = 12.5$	66 42	1672
TS 500, Profil 99 + 5, kreuzweise obere Lage	$\bar{x} = 428$ $V_L = 12.6$ $V_q = 10.8$	längs: $\bar{x} = 78$ $V = 10.5$ quer: $\bar{x} = 37$ $V = 13.1$	$\bar{x} = 1485$ $V = 10.7$	$\bar{x} = 359$ $V_L = 9.3$ $V_q = 11.5$	60 47	1569
TS 500, Profil 99 + 5, kreuzweise untere Lage				$\bar{x} = 352$ $V_L =$ $V_q = 4.2$	69 43	1451

(1) Mittelwerte aus 10 Versuchen

(2) Mittelwerte aus 2 bzw. 3 Versuchen

 $\bar{x}$ = Mittelwert aus Längs- und Querversuchen $\bar{x}$ = Mittelwert

V = Variationskoeffizient (%)

 V_L = Variationskoeffizient in Längsricht. V_q = Variationskoeffizient in Querricht.

ME-Werte und die Benkelmannversuche zeigen eine gemeinsame Tendenz. Die Tragfähigkeit liegt unter Berücksichtigung der CBR-Ausgangswerte des Untergrundes in den Feldern mit Geotextilien etwas höher als im Versuchsfeld ohne Geotextil oder mit einem Geotextil TS 500. Diese Aussage ist in der Tendenz eindeutig, kann aber der grossen Streuung der Messresultate wegen nicht näher quantifiziert werden. Die Erhöhung der Tragfähigkeit ist vermutlich hauptsächlich auf die besseren Einbauverhältnisse und der daraus resultierenden besseren Verdichtung der Foundationsschicht zurück zu führen.

Die Spurrillenbildung nach zwei Befahrungsperioden sind auszugsweise in Abbildung 11 dargestellt. Eine Zuordnung der Spurrillentiefe zu den einzelnen Versuchsfeldern ist nicht erkennbar. Ob die Vliesmatten - und zwar unterschiedlichen Gewichtes und Festigkeit - einlagig oder kreuzweise doppelagig verlegt sind, wirkt sich auf die Spurrillenbildung kaum aus. Spurrillen sind in jedem Versuchsfeld in sehr unterschiedlicher Grössenordnung aufgetreten. Es scheint so, dass die Spurrillenbildung nur von den Eigenschaften der obersten Schüttschichten abhängt. Die Mächtigkeit der Dammschüttung von 0,7 bis 1,3 m ist bei diesem Versuch zu gross, als dass das Geotextil noch einen Einfluss auf die Spurrillenbildung hätte.

3.3 Festigkeit ausgegrabener Vliese

Um festzustellen, ob infolge der Beanspruchung beim Einbau, der einjährigen Liegezeit oder der Einwirkungen des Baustellen-Verkehrs Alterungseffekte aufgetreten sind, wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Vor dem Einbau (Urmuster) und an ausgegrabenen Vliesen wurden Streifenzugversuche gemäss DIN 53857 und Stempeldruckversuche gemäss DIN 54307 durchgeführt. Abbildung 12 zeigt die Zusammenfassung dieser Resultate. Vergleicht man sie, so stellt man folgendes fest:

Streifenzugversuch: Die Mittelwerte der ausgegrabenen Proben liegen alle unter denjenigen der Urmuster. Bei TS 800 um 2 %, bei TS 700 um 11 % und bei TS 500 bei 15 %. Beim Urmuster betrug die Streuung der zehn Versuchsergebnisse beim TS 900 10 %, beim TS 700 9 % und beim TS 500 13 %.

Stempeldruckversuch: Die Mittelwerte der ausgegrabenen Proben liegen beim TS 800 12 % über, bei TS 700 1 % unter und bei TS 500 5 % über dem Mittelwert des Urmusters. Allerdings stammen die Mittelwerte an den ausgegrabenen Proben von 3 bzw. 2 Versuchen. Beim Urmuster betrug die Streuung der 10 Versuchsergebnisse beim TS 800 5 %, beim TS 700 7 % und beim TS 500 10 %.

Diese Resultate können wie folgt interpretiert werden. Die Festigkeit, durch den Streifenzugversuch gemessen, liegt beim ausgegrabenen TS 700 und TS 500 eindeutig unter demjenigen des Urmusters. Der Abfall beträgt etwas mehr als der Variationskoeffizient beim Urmuster. Die Festigkeit, durch den Stempeldruckversuch bestimmt, liegt bei allen drei Vliesen unterhalb der Streubreite des Urmusters. Auf Grund dieser Tatsachen darf geschlossen werden, dass die Festigkeit des Geotextils durch die Beanspruchung beim Einbau und unter Verkehr nicht oder nur unwesentlich reduziert worden ist.

Die visuelle Beurteilung der Vliese beim Ausgraben zeigte keine Kolmatierungszonen oder Beschädigungen der Vliese. Eine Ausnahme bildete eine Stelle, bei der ein grosser scharfkantiger Stein von etwa 0,5 x 0,3 x 1,5 m das Geotextil beim Einbau beschädigt hat.

3.4 Schlussfolgerungen

Der Versuch Gisikon bestätigt die in der Literatur zitierten Erfahrungen.

1. Das Geotextil ist in erster Linie als Bauhilfsmittel zu betrachten. Dank dem Geotextil können Arbeiten bei schlechten Untergrundbedingungen durchgeführt werden, die sonst kaum möglich sind. Das Geotextil bewirkt durch seine Trennfunktion und der Fähigkeit einer beschränkten lokalen Armierung des Bodens eine bessere Verdichtbarkeit der geschütteten Schichten. Dies wirkt sich auf eine tendenziell höhere Tragfähigkeit mit höheren ME-Werten und kleineren Deflektionen aus.
2. Die Spurrillentiefe wird durch ein Vlies bei der vorliegenden Schichtmächtigkeit von 0,7 bis 1,3 m nicht beeinflusst.
3. Die ausgegrabenen Geotextilien zeigten keine eigentliche Beschädigung durch den Einbau, die Verdichtung und die Verkehrsbelastung (Ausnahme: Beim Einbau wurde das Geotextil durch einen sehr grossen Stein (0,5 x 1,5 m) an einer Kante beschädigt. Aus dem Vergleich der Resultate der Streifenzug- und Stempeldruckversuche von ausgegrabenen Proben mit denjenigen der Urmuster darf geschlossen werden, dass sich die mechanischen Eigenschaften durch die Beanspruchungen beim Bau, der einjährigen Liegezeit und der Verkehrsbelastung nicht wesentlich verändert haben.

