

PROFESSOR DR.-ING. B. MAIDL ORDINARIUS AM INSTITUT FÜR KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU

Lehrstuhl für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb Ruhr-Universität Bochum

BERICHT ÜBER DIE BAUVERFAHRENSTECHNISCHE ERPROBUNG DER

DELTA MS PT - FOLIE

DER EWALD DÖRKEN AG, HERDECKE

IN VERBINDUNG MIT SPRITZBETON

BEARBEITER: DIPL.-ING. R. HAHLHEGE
 DIPL.-ING. D. HANDKE

BEARBEITUNGS-NR.: 02/SPB/85

BOCHUM, 07. FEBRUAR 1985

INHALT

		Seite
1.	Allgemeiner Überblick und Ziel der Untersuchung	2
2.	Technische Beschreibung der DELTA MS PT-Folie	4
3.	Versuchsbeschreibung	6
3.1	Maschinen und Geräte	6
3.2	Ausgangsmischung	10
3.3	Versuchsablauf	12
3.3.1	Herstellung der Ausgangsmischung	12
3.3.2	Spritzversuch	13
4.	Festbetonuntersuchungen	29
5.	Gesamtbeurteilung	30
6.	Literatur	33

Ziel der Untersuchung ist die Beantwortung dieser zwei Fragen. Die durchgeführten Versuche sind dabei hinsichtlich der aufgeführten Kriterien als Tastversuche auf diesem Gebiet durchgeführt worden und sollen somit auch als solche verstanden werden.

2. TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER DELTA MS PT-FOLIE

Die DELTA MS PT-Folie ist eine braungefärbte Kunststoffbahn, aus deren Ebene einseitig Noppen (trichterförmige Vertiefungen) von ca. 8 mm Höhe mit einem gegenseitigen Noppenabstand von ca. 30 x 30 mm ausgeprägt sind.

Zur Herstellung der Folie wird als Rohstoff Polyäthylen hoher Dichte (hd pe) benutzt. Die Folie ist mit einem Kunststoffgewebe belegt, welches ebenfalls aus hd pe besteht und auf thermischem Weg befestigt wurde. Die Gewebefäden überspannen dabei die trichterförmigen Vertiefungen der Noppen. Das Flächengewicht beträgt 530 g/m^2 .

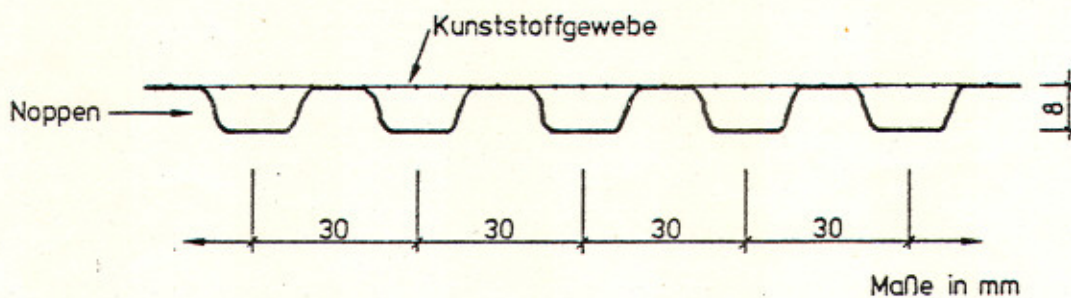


Bild 1. Querschnitt DELTA MS PT-Folie

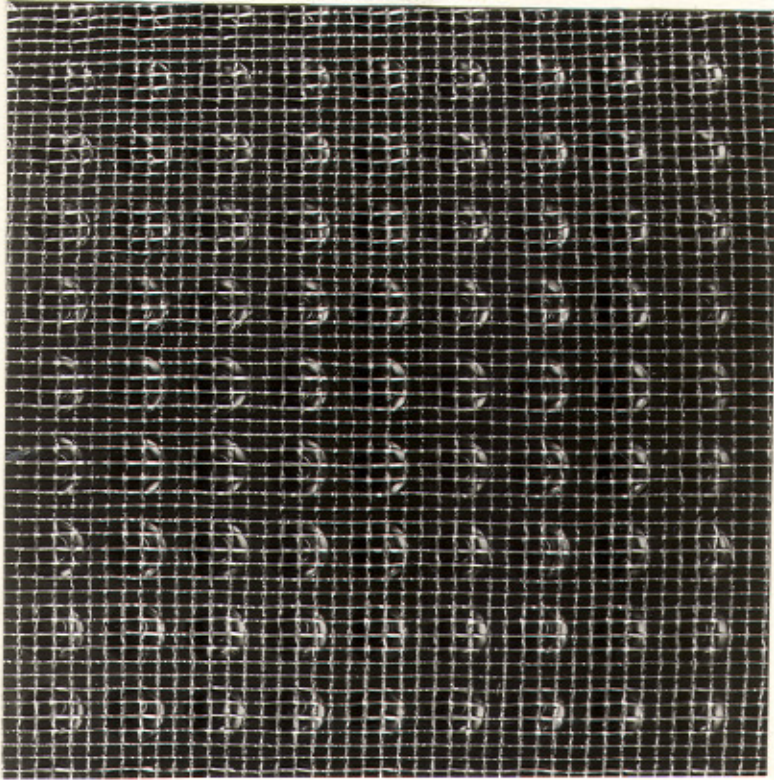


Bild 2. DELTA MS PT-Folie

3. VERSUCHSBESCHREIBUNG

3.1 Maschinen und Geräte

Die Durchführung der Versuchsreihe wurde auf dem Spritzbetonversuchsstand des Lehrstuhls für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb an der Ruhr-Universität Bochum vorgenommen (vgl. Bild 3).

Druckluftanlage

Die Druckluftanlage besteht aus einem Schraubenkompressor der Firma Sullair (maximale Leistung: $15 \text{ Nm}^3/\text{min}$) und einem nachgeschalteten Windkessel zur Druckausgleichung sowie einem Druckluftleitungssystem mit entsprechenden Druckluftüberwachungs- und Druckluftinstrumenten.

Wasserversorgung

Das zur Versuchsdurchführung benötigte Wasser wurde über eine Druckerhöhungspumpe einem 750 l fassenden Vorratsbehälter entnommen und erlaubt damit eine von eventuellen Druckschwankungen des örtlichen Leitungsnetzes bedingte unabhängige Wasserversorgung.

Mischanlage

Zur einwandfreien Durchmischung der Ausgangsmischung wurde ein Zyklus-Zwangsmischer mit einem Fassungsvermögen von 250 l eingesetzt.

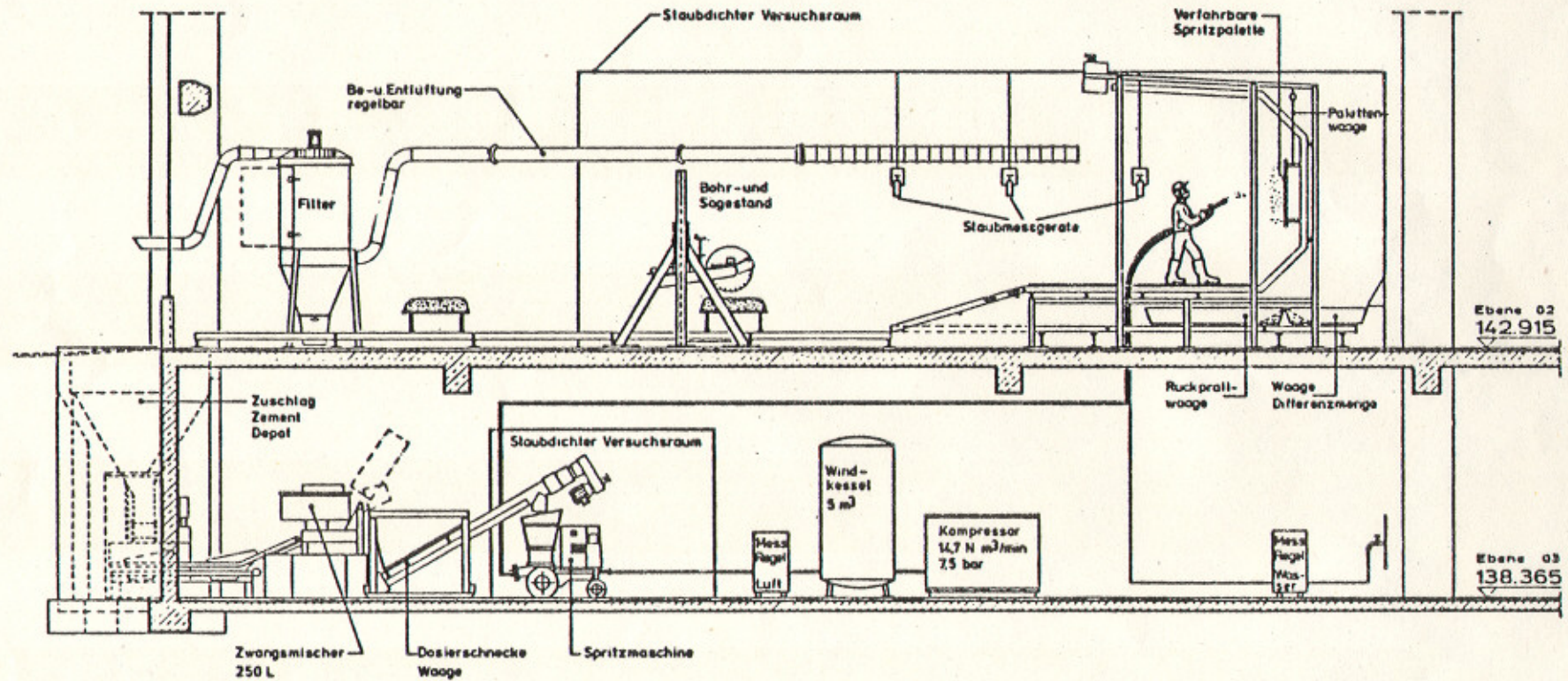


Bild 3. Spritzbeton-Versuchsstand des Lehrstuhls für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum

Spritzbetonanlage

Die eigentliche Spritzbetonanlage bestand aus einem Vorratssilo zur Aufnahme des Trockenmaterials, einer Dosierschnecke zur Beschickung der Spritzbetonmaschine sowie einer Spritzbetonmaschine vom Typ Aliva - 260. Die Maschine arbeitet nach dem Prinzip der Trommelrotor-Zuteilung. Die Kammern werden nacheinander geladen, bis zur Austrittsöffnung transportiert und dort entleert. Das Befüllen der Kammern erfolgt dabei ohne Druck und nur aufgrund der Schwerkraft der im Einfülltrichter stehenden Materialsäule. Die gefüllte Kammer wird durch Drehen der Trommel unter die Luftzugabe und über die Austrittsöffnung weitergedreht. Die beaufschlagte Druckluft drückt dann das Gemisch an der Trommelkammer in die Förderleitung.

Die Beschickung der Spritzbetonanlage erfolgte über die vorgeschaltete Mischanlage in das Vorratssilo. Oberhalb des Vorratssilos ist zusätzlich eine Dosierdoppelschnecke der Firma K-Tron-Soder angebracht, die die Zugabe eines Erstarrungsbeschleunigers zeitkonstant gewährleistet. Der Erstarrungsbeschleuniger wurde der Ausgangsmischung innerhalb der Materialschnecken-Zuführung zugemischt.

Förderleitung

Bei der 40 m langen Förderleitung handelte es sich um eine Schlauchleitung mit einem Innendurchmesser von 50 mm. Schlauchlänge und Schlauchauslegung wurden bei allen Versuchen konstant gehalten. Als Spritzdüse wurde eine Halbnaß-Spritzeinrichtung der Fa. Aliva benutzt.

Spritzstand

Der witterungsunabhängige Spritzstand ermöglicht aufgrund seiner Konzeption die Simulation von unterschiedlichen Spritzrichtungen und Spritzwinkeln. Unter Einhaltung eines konstanten Düsenabstandes und rechtwinkligen Auftreffens des Spritzstrahles auf den Untergrund bestrich der Düsenführer eine 2,20 x 1,10 m große vorgefertigte Holzpalette. Zur gewichtsmäßigen Kontrolle des Rückprallgutes und der Auftragsmenge wurden diese über Wägeanlagen während der Versuchsdurchführung laufend überwacht und alle 5 sec datenmäßig erfaßt.

Bohrgeräte und Bohrkronen

Zur Gewinnung der Probekörper für die Festbetonuntersuchungen steht eine Bohrmaschine der Firma Atlas Copco mit diamantbesetzten Bohrkronen zur Verfügung.

Steintrennsäge

Das Schneiden der zuvor gebohrten Prüfkörper erfolgte mit einer Steintrennsäge der Firma Avola. Das dabei verwendete Sägeblatt besaß einen Diamantbesatz.

Erstarrungsbeschleuniger

Als Betonzusatzmittel wurde der Erstarrungsbeschleuniger MC-Spritzhilfe der Fa. MC-Bauchemie, Bottrop, zugegeben. Der Beschleuniger wurde in Gew. % des Zementanteils der Ausgangsmischung in die Förderschnecke eindosiert.

3.3 Versuchsablauf

3.3.1 Herstellung der Ausgangsmischung

Die Zuschlagstoffe wurden bis zu ihrer Verwendung in Vorratssilos gelagert. Es standen jeweils getrennte Vorratssilos für die Lagerung der Kornfraktion 0,25 - 1 mm, 1 - 4 mm und 4 - 8 mm zur Verfügung. Über Transportbänder erfolgte ein gewichtsmäßiger Abzug der einzelnen Kornfraktionen in einen Vorratsbehälter. Dieser Mischung wurden jeweils die Zement- und Silicith-Anteile zugegeben.

Nach Entleerung in die Zwangsmischer-Trommel erfolgte ein Vormischen von ca. 30 sec. Durch ein Kontroll- und Zugabefenster wurde das Zugabewasser zur Erzielung der 3 %-igen Eigenfeuchte der Ausgangsmischung zugegeben und bis zu einer Gesamtmischdauer von ca. 2 min. durchgemischt (einschl. Vormischzeit). Nach dem Mischvorgang wurde die fertige Charge in das Zwischensilo gefüllt. Die Beschickung der Spritzmaschine aus dem Zwischensilo erfolgte nach Beendigung des chargenweisen Mischens.

3.3.2 Spritzversuch

3.3.2.1 Übersicht

Die verfahrensbedingten Ausgangsparameter sind der folgenden Tabelle zu entnehmen

Tabelle 2. Ausgangsparameter der Versuchsreihe

Versuch Nr.	1	2	3	4	5	6
Datum	27.11.	27.11.	28.11.	29.11.	29.11.	20.12.
Förderleitung (m)	40	40	40	40	40	40
Luftmenge (Nm ³ /min)	12,0	12,0	9,0	12,0	12,0	12,0
Wassermenge (l/min)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Zement	PZ 35F	PZ 35F	PZ 35F	PZ 35 F	PZ 35F	PZ 35F
W/Z-Wert	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
BE-Mittel (% v. Zementgehalt)	3	3	6	6	6	6
Palettenstellung	1	2	1, 2	2	3	2

Als Palettenstellungen wurden unterschieden:

- Palettenstellung 1: senkrecht hängend
- Palettenstellung 2: unter 45° nach oben
- Palettenstellung 3: horizontal (Überkopfspritzen)

Bei allen Versuchen wurde eine Spritzmaschine der Firma Aliva mit der Typenbezeichnung Aliva 260 mit Schlauchrotor und als Düse eine Halbnaß-Spritz-einrichtung der Fa. Aliva benutzt.

Die Förderungslänge betrug 40,0 m bei einem Förderleitungsdurchmesser von 50 mm. Die Luftmenge wurde zu $12 \text{ Nm}^3/\text{min}$, die Wassermenge zu 8 l/min eingestellt. Die Luftzufuhrhähne an der Spritzmaschine wurden auf 100 % Oberluftöffnung und 50 % Unterluftöffnung zu Versuchsbeginn eingestellt. Die Förderschnecke lieferte eine konstante Materialmenge von 145 kg/min .

3.3.2.2 Spritzversuch 1

Luftmenge	12 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	3 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	2 Mischungen, Gesamtgewicht ca. 600 kg
Palettenstellung	1 (senkrecht)
Befestigung der Folie	Nägeln, Ratser ca. 30 x 30 cm
aufgetragene Stärke	15 - 20 cm

Die Holzpalette des Versuchsfeldes ist mit der DELTA MS PT-Folie bespannt und in einem Raster von ca. 30 x 30 cm mit Nägeln auf dem Untergrund befestigt. Die Palette hängt in der senkrechten Lage (Palettenstellung 1).

Bei der Beobachtung des Spritzablaufes zeigt sich augenscheinlich ein von der Größenordnung her etwa gleichgroßer Rückprallanteil im Vergleich zu Spritzversuchen, die ohne Verwendung der Folie durchgeführt wurden. Das Auftreffen der groben Zuschlagstoffe ist mit einer erhöhten Geräuschentwicklung verbunden. Die trichterförmigen Vertiefungen werden mit Feinanteilen ausgefüllt. Die Struktur des Kunststoffgewebes bleibt auch im Bereich der Noppen weitgehend erhalten, nur an einer Stelle wird diese durchschlagen. Die Gewebefäden sind in den Spritzmörtel eingebettet. Die Folie wird

durch die hohe Auftreffenergie der Zuschlagstoffe an keiner Stelle beschädigt. Beim Auftreffen des Spritzstrahles auf den Spritzuntergrund wird ein geringes Einbeulen und beim Entfernen des Spritzstrahles von der betreffenden Auftragsstelle ein Zurückbeulen der Folie beobachtet. Der aufgetragene Beton zeigt keinerlei Ablöseerscheinungen.

Bewertung

Die trichterförmigen Vertiefungen der Folie wurden augenscheinlich mit Zementmörtel ausgefüllt. Die Folie wurde beim Auftreffen des Spritzstrahles nicht beschädigt; die Gewebestruktur blieb weitgehend erhalten. Beim Auftreffen des Spritzstrahles trat ein Einbeulen bzw. beim Entfernen ein Zurückbeulen auf. Abplatzungen traten nicht auf. Die Haftung wird offensichtlich durch die Einbettung der Gewebefäden in den Spritzmörtel begünstigt.

Das anfängliche Auftreffen der groben Zuschlagstoffe war mit einer erhöhten Geräuschentwicklung verbunden.

3.3.2.3 Spritzversuch 2

Luftmenge	12 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	3 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	2 Mischungen, Gesamtgewicht ca. 600 kg
Palettenstellung	2 (45°-Stellung)
Befestigung der Folie	Nägeln, Raster ca. 30 x 30 cm
aufgetragene Stärke	15 - 20 cm

Die Holzpalette des Versuchsfeldes ist mit der DELTA MS PT-Folie bespannt und in einem Raster von ca. 30 x 30 cm mit Nägeln auf dem Untergrund befestigt. Die Palette hängt in der 45°-Stellung (Palettenstellung 2).

Bei der Beobachtung des Spritzablaufes zeigt sich augenscheinlich ein annähernd gleich großer Rückprallanteil als bei vergleichbaren Versuchen ohne Folienbespannung der Spritzpalette. Das Auftreffen der groben Zuschlagstoffe ist mit einer erhöhten Geräuscentwicklung verbunden. Folie und Kunststoffgewebe zeigen keinerlei sichtbare Beschädigungen. Die trichterförmigen Vertiefungen werden mit Spritzmörtel ausgefüllt. Dadurch wird der Aufbau der Spritzbetonschicht begünstigt. Beim Auftreffen des Spritzstrahles auf den Spritzuntergrund tritt ein verstärktes Beulen der Folie ein, beim Entfernen findet ein umgekehrtes Beulverhalten statt.

Nach Erreichung einer bestimmten Auftragungsschichtdicke kommt es zu flächenhaften Betonablösungen. Der Spritzuntergrund zeigt offensichtlich eine vollständige Ausfüllung der Noppen und Einbettung des Kunststoffgewebes in die Spritzmörtelschicht. Zum Schluß dieses Versuches fällt soviel Material von der Folie ab, daß sich eine weitere Auswertung nicht mehr lohnt.

Bewertung

Die trichterförmigen Vertiefungen wurden auch bei der 45°-Palettenstellung ausgefüllt. Es traten keinerlei sichtbare Beschädigungen der Folie bzw. des Kunststoffgewebes auf. Das Beulverhalten der Folie wird durch das unzureichende Befestigungsraaster erklärt. Begünstigt wird dieses durch den Schwerkrafteinfluß.

Um das Beulverhalten zu untersuchen, soll in dem nächsten Versuch das Befestigungsraaster variiert werden. Gleichzeitig dient die geplante Versuchreihe als Vorspritzen für eine spätere.

3.3.2.4 Spritzversuch 3 („Vorspritzen“)

Luftmenge	9 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	6 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	1 Mischung mit ca. 300 kg
Palettenstellung	1 (senkrecht), 2 (45°-Stellung)
Befestigung der Folie	Nägel linke Palettenhälfte ca. 30 x 30 cm Raster; rechte Palettenhälfte ca. 50 x 50 cm Raster
aufgetragene Stärke	1 - 2 cm („Vorspritzen“)

Diese Versuchsreihe dient als Vorspritzen für Spritzversuch 5. Die Holzpalette des Versuchsfeldes ist mit der DELTA MS PT-Folie bespannt. Auf der linken Hälfte des Versuchsfeldes ist die Folie mit einem ca. 30 x 30 cm Nagelraster befestigt, auf der rechten mit einem ca. 50 x 50 cm Nagelraster. Es wird nacheinander die Palettenstellung 1 (senkrechte Lage) und die Palettenstellung 2 (45°-Stellung) mit Spritzbeton bestrichen (vgl. Bild 4).



Bild 4. DELTA MS PT-Folie
oben: Palettenstellung 2 (45°-Stellung)
unten: Palettenstellung 1 (senkrechte Lage)

Das Auftreffen der Zuschlagstoffe ist mit einer erhöhten Geräusentwicklung verbunden. Der Spritzbeton dringt in die Noppen ein. Das Auftragen des Spritzbetons auf die senkrechte Palettenstellung führt zu keinerlei Betonablösungen. Das 50 x 50 cm Nagelraster zeigt jedoch ein stärker ausgeprägtes Beulverhalten als das 30 x 30 cm Nagelraster.

Das Spritzbetonauftragen auf die 45^o-Stellung (Palettenstellung 2) führt zu flächenhaften Ablösungen des Betons, und zwar zuerst bei der im Raster von 50 x 50 cm befestigten Folie (vgl. Bild 5).



Bild 5. Spritzbetonfläche
oben: Palettenstellung 2 (45^o-Stellung)
unten: Palettenstellung 1 (senkrechte Lage)

Bewertung

Die Variation des Parameters Befestigungsraster, 30 x 30 cm gegenüber 50 x 50 cm, ließ eindeutig die direkte Abhängigkeit zum Beulverhalten erkennen. Die größeren Beulflächen bedingen ein zeitlich früheres Ablösen von flächenhaften Betonstücken.

Inwieweit sich die Erhöhung der Beschleunigerzugabe von 3 auf 6 Gew. % (bezogen auf den Zementanteil der Ausgangsmischung) auf das Beulen der Folie auswirkt, kann durch diesen Versuch nicht ausgesagt werden.

Um das Beulverhalten zu minimieren, soll im nächsten Versuch zusätzlich eine Bewehrungsmatte aufgelegt werden.

3.3.2.5 Spritzversuch 4

Luftmenge	12 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	6 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	2 Mischungen, Gesamtgewicht ca. 600 kg
Palettenstellung	2 (45°-Stellung)
Befestigung der Folie	Nägeln, Raster ca. 30 x 30 cm Bewehrungsmatte, Krampen im Raster ca. 30 x 30 cm
aufgetragene Stärke	15 - 20 cm

Die Holzpalette des Versuchsfeldes ist mit der DELTA MS PT-Folie bespannt und in einem Raster von ca. 30 x 30 cm mit Nägeln auf dem Untergrund befestigt. Auf die Folie wird eine Bewehrungsmatte, wie üblicherweise beim Estricheinbau verwendet, aufgelegt und mit Krampen, die im Mittelpunkt des Nagelrasters eingeschlagen werden, befestigt. Die Bewehrungsmatte besteht aus einem verzinkten Drahtgitter mit einem gegenseitigen Maschenabstand von 5 x 5 cm und einer Maschenstärke von ca. 2 mm Durchmesser.

Das Auftreffen der groben Zuschlagstoffe ist mit einer erhöhten Geräuscentwicklung verbunden.

Der Spritzbeton zeigt keinerlei Ablöseerscheinungen (vgl. Bild 6). Das Beulen der Folie wird durch das Auflegen der Bewehrungsmatte praktisch ausgeschlossen.



Bild 6. Spritzbetonfläche mit DELTA MS PT
Folienuntergrund und aufgelegter
Bewehrungsmatte

Bewertung

Durch Auflegung einer Bewehrungsmatte (Maschenabstand 5 x 5 cm) und entsprechendem Befestigungsraster, ließ sich der Spritzbeton ohne Ablöseerscheinungen in einer Stärke von 15 - 20 cm auftragen. Das Beulen der Folie ist damit direkt vom Befestigungsraster bzw. der Art der Befestigung abhängig.

3.3.2.6 Spritzversuch 5

Luftmenge	12 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	6 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	2 Mischungen, Gesamtgewicht ca. 600 kg
Palettenstellung	3 (waagerechte Stellung)
Befestigung der Folie	resultiert aus Spritzversuch 3 ("Vorspritzen")
aufgetragene Stärke	15 - 20 cm

Die Palette stammt aus dem Spritzversuch 3, der als „Vorspritzen“ der Fläche gedacht war. Zum Einsatz kommt die in der Palettenstellung 1 (senkrechte Lage) vorgespritzte Palette. Die DELTA MS PT-Folie war in einem Befestigungsrastrer von ca. 30 x 30 cm auf die linke Palettenhälfte und in einem ca. 50 x 50 cm Raster auf die rechte Hälfte aufgelegt worden.

Die Palette hängt für diesen Versuch in der Palettenstellung 3, also waagrecht unter der Decke. Die gesamte Spritzbetonmenge wird ohne Ablösungen des Beton aufgetragen. Kurz nach Beendigung des Versuches fällt der größte Teil des aufgetragenen Spritzbetons ab. Die Untersuchung der Abreißfläche deutet auf ein Ablösen infolge Beulverhaltens der Folie hin. Eine Daumendruckprobe auf die zementleimbeschichtete Folie und das Erscheinungsbild der Abreißfläche bestätigen die Vermutung.

Der heruntergefallene Beton hat Teile der vorgespitzten Fläche von der Folie abgelöst.

Bewertung

Die Folie, auf dem Untergrund mit einem 30 x 30 cm Raster befestigt, wurde in einem ersten Arbeitsgang, im Spritzversuch 3, mit einer 1 - 2 cm starken Spritzbetonschicht vorgespitzt. Nach 24 Stunden wurde in einem zweiten Arbeitsgang die vorgesehene Spritzstärke aufgebracht. Das Ablösen des Spritzbetons zeigt, daß ein Vorspritzen von 1 - 2 cm Spritzstärke nicht geeignet ist, das Beulverhalten des Untergrundes auszuschließen.

3.3.2.7 Spritzversuch 6

Luftmenge	12 Nm ³ /min
Wassermenge	8 l/min
Zement	PZ 35 F
W/Z-Wert	0,5
BE-Mittel	6 % vom Zementgehalt
Ausgangsmischung	1 Mischung mit ca. 300 kg
Palettenstellung	2 (45°-Stellung)
Befestigung der Folie	Bewehrungsmatte, Raster ca. 30 x 30 cm
aufgetragene Stärke	ca. 10 cm

Bei diesem Versuch wird die DELTA MS PT-Folie auf eine vorbereitete Spritzbetonschicht aufgebracht. Dieser Spritzbeton wurde am 12.12.1984, also 8 Tage vorher hergestellt und in einer Stärke von rund 10 cm auf die Holzpalette aufgetragen.

Auf diesen Spritzbetonuntergrund wird die Folie zusammen mit einem verzinkten Maschengitter aufgelegt. Die Befestigung erfolgt durch Anschließen von Bolzen mit einem Hilti-Schußgerät im Raster von ca. 30 x 30 cm.

Das Auftreffen der groben Zuschlagstoffe ist mit einer erhöhten Geräusentwicklung verbunden. Der Spritzbeton zeigt keinerlei Ablöseerscheinungen. Das Beulen der Folie wird durch das Auflegen der Bewehrungsmatte praktisch ausgeschlossen.

Bewertung

Als Untergrund zur Befestigung der Folie diente eine Spritzbetonfläche, welche 8 Tage zuvor hergestellt wurde. Durch Auflegung einer Bewehrungsmatte (Maschenabstand 5 x 5 cm) und entsprechendem Befestigungsraster ließ sich der Beton ohne Ablöseerscheinungen auftragen. Das Befestigungsraster ist in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur der unregelmäßig gestalteten Spritzbetonfläche so zu wählen, daß ausreichender Kontaktschluß mit dem Untergrund gegeben ist und ein späteres Beulen ausgeschlossen wird.

4. FESTBETONUNTERSUCHUNGEN

Für die abschließende Festbetonuntersuchung wurden Bohrkern mit Hilfe einer Bohrmaschine mit diamantbesetzten Bohrkronen (\emptyset 100 mm) aus dem Spritzbeton herausgebohrt. Durch den Bohrvorgang wurde bei einigen Probekörpern die Haftung zwischen Spritzbeton und Folie aufgehoben.

Deutlich war die „Noppenstruktur“ auf der Probekörperoberfläche zu erkennen. Noppengeometrie der Folie und Noppenstruktur des Bohrkernes ließen eine ca. 85 % ige Ausfüllung der einzelnen Noppen mit Zementstein erkennen.

Die Folie wies keinerlei sichtbare Zerstörung auf. Die Einbettung der Gewebefäden in den Zementstein war an der Struktur der Bohrkernoberfläche gut zu erkennen. Beim Abziehen der Folie blieben die Gewebefäden entweder an der Festbetonprobe oder auf der Folie hängen.

5. GESAMTBEURTEILUNG

Das Auftreffen der groben Zuschlagstoffe auf die Folie, zu Beginn der Versuche, führte zu einer erhöhten Geräuschentwicklung. Als Vergleichsmaßstab wurde das Spritzbetonauftragen auf den bei bisherigen Versuchsreihen vorgegebenen Holzpaletten-Untergrund herangezogen. Nach Ausbildung einer Zementleimschicht, also mit größer werdender Spritzbetonschicht, klingt die erhöhte Geräuschentwicklung ab.

Folie und Kunststoffgewebe wurden durch die hohe Auftreffenergie ($12 \text{ Nm}^3/\text{min}$ Luftmengendurchsatz) der Zuschlagstoffe nicht beschädigt.

Augenscheinlich stellte sich auch zu Beginn der Versuche kein höheres Rückprallverhalten im Vergleich zu Spritzbetonversuchen, die ohne Einsatz der Folie durchgeführt wurden, ein. Dieses wurde durch die Auswertung der Rückprallmengen bestätigt.

Der Spritzbeton dringt einwandfrei in die Noppen und die Gewebestruktur der DELTA MS PT-Folie ein. Die Festbetonproben zeigten auf ihrer Oberfläche deutlich die ausgebildete „Noppenstruktur“. Der augenscheinliche Vergleich Noppengeometrie und Noppenstruktur der Bohrkerne ließ eine ca. 85 %-ige und höhere Ausfüllung der Noppen mit Zementstein erkennen.

Bei unzureichendem Befestigungs raster und Befestigungsart neigt die Folie zwischen den Befestigungspunkten zum Ausbeulen. Das Beulen der Folie kann zu flächenhaften Betonablösungen von der aufgetragenen Spritzfläche führen. Das Beulverhalten ist direkt abhängig von der Größe des Befestigungs rasters der Folie und der jeweiligen Palettenstellung. Der Schwerkrafteinfluß unterstützt das flächenhafte Betonablösen. Das Ablösen von Betonteilen erfolgte an der Grenzschicht zur Folienebene.

Die Haftung wird offensichtlich durch die Einbettung der Gewebefäden in den Spritzmörtel begünstigt. Durch Auflegung einer Bewehrungsmatte (Maschenabstand 5 x 5 cm, Maschenstärke ca. 2 mm Durchmesser) und entsprechendem Befestigungsraster ließ sich der Spritzbeton ohne Ablöseerscheinungen auftragen. Das Befestigungsraster ist in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur des Untergrundes so zu wählen, daß ein ausreichender Kontaktschluß mit dem Untergrund gegeben ist und ein späteres Beulen ausgeschlossen wird.

Inwieweit sich die Erhöhung der Beschleunigerzugabe von 3 auf 6 Gew. % (bezogen auf den Zementanteil der Ausgangsmischung) auf das Beulen der Folie auswirkt, kann durch diese Versuchsreihe nicht eindeutig ausgesagt werden.

Ziel der Untersuchung war es, festzustellen, ob der Haftverbund zwischen Spritzbeton und Folie groß genug ist, ein Herabfallen des Spritzbetons zu verhindern.

Bei entsprechender Befestigungsart und entsprechendem Befestigungsraster der Folie auf dem Untergrund, ließ sich eine Spritzbetonschicht von 15 - 20 cm Stärke bei einer bis zu 45° geneigten Fläche aufbringen, ohne daß Ablöseerscheinungen auftraten. Eine allgemeingültige Aussage kann erst nach Durchführung von weiteren Versuchen gefunden werden. Das Befestigungsraster ist so zu wählen, daß in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur des Untergrundes ein ausreichender Kontaktschluß mit dem Untergrund gegeben ist und ein späteres Beulen der Folie ausgeschlossen wird. Positiv auf den Haftverbund zwischen Spritzbeton und Folie wirkt sich das aufgelegte Kunststoffgewebe aus.

Zusätzlich sollte die Frage geklärt werden, ob ein ausreichendes Ausfüllen der Noppen mit Spritzbeton stattfindet, um eine Kraftübertragung zwischen Spritzbeton und Untergrund zu erreichen und so die Dränwirkung der Folie erhalten bleibt.

Die Beobachtung der Spritzversuche und der augenscheinliche Vergleich Folienstruktur - Noppenstruktur auf den Festbetonproben, ließen eine ausreichende Ausfüllung der einzelnen Noppen erkennen. Eine ausreichende Noppenausfüllung mit Spritzbeton ist Voraussetzung für eine Kraftübertragung zwischen Spritzbeton und Untergrund. Resultierend aus der visuellen Untersuchung schließen wir auf eine ausreichende Kraftübertragung. Die Größe und Ausbildung der Noppenstruktur auf den Festbetonproben läßt weiterhin auf eine ausreichende Dränwirkung schließen.

Die im vorliegenden Bericht dokumentierte Versuchsreihe war als „Pilot-Projekt“ für die Untersuchung der DELTA MS PT-Folie in Verbindung mit Spritzbeton vorgesehen. Die dargestellten Beobachtungen können als Grundlage für umfangreichere Versuchsreihen benutzt werden, die für eine endgültige Abschätzung der Anwendbarkeit der Folie in Verbindung mit Spritzbeton unerlässlich sind.

Es ist jedoch unzulässig, aus diesen Spritzversuchen allgemeingültige Aussagen über Ausfüllung der Noppen, Beulverhalten, Befestigungsart bzw. Befestigungsraaster der Folien und über die Kraftübertragung zwischen Spritzbeton und Untergrund abzuleiten, da die Anzahl der durchgeführten Versuche nicht ausreichte, statistisch gesicherte Aussagen zu gewinnen.

Die Schlußfolgerungen beziehen sich daher nur auf die speziellen Versuchsbedingungen.

6. LITERATUR

MAIDL, B.;

Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus

Band I: Konstruktionen und Verfahren

Verlag Glückauf in Essen, 1984, S. 239 ff