

Entwicklung von Verfahren zur
Prüfung von Bahnenverbindungen
bei Kunststoff-Dichtungsbahnen

T 1252

T 1252

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

PRÜFAMT FÜR BITUMINÖSE BAUSTOFFE
UND KUNSTSTOFFE
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

B E R I C H T
über das
Forschungsvorhaben
Nr. IV/1-5-138/77

ENTWICKLUNG VON VERFAHREN ZUR PRÜFUNG VON
BAHNENVERBINDUNGEN BEI KUNSTSTOFF-DICHTUNGSBAHNEN

PRÜFAMT FÜR BITUMINÖSE BAUSTOFFE
UND KUNSTSTOFFE
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

B E R I C H T
über das
Forschungsvorhaben
Nr. IV/1-5-138/77

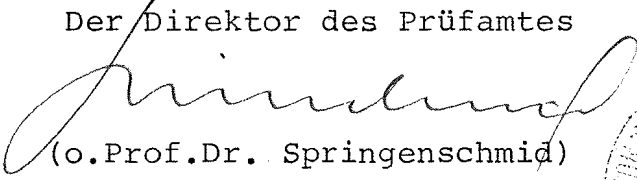
ENTWICKLUNG VON VERFAHREN ZUR PRÜFUNG VON
BAHNENVERBINDUNGEN BEI KUNSTSTOFF-DICHTUNGSBAHNEN

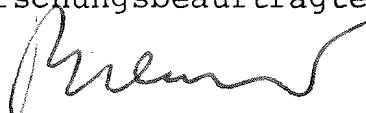
Auftraggeber: Institut für Bautechnik
 -Anstalt des öffentlichen Rechts-
 Reichpietschufer 72 - 76
 1000 Berlin 30

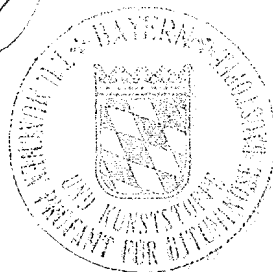
PRÜFAMT FÜR BITUMINÖSE BAUSTOFFE
UND KUNSTSTOFFE

Der Direktor des Prüfamtes

Der Forschungsbeauftragte


(o. Prof. Dr. Springenschmid)


(Dipl.-Ing. Breuer)



Der Bericht umfaßt:

Stand: September 1981

111 Seiten (insgesamt)
41 Anlagen
16 Tabellen (im Text)
9 Bilder (im Text)

Fassung: Februar 1984

Ausfertigung

INHALTSVERZEICHNIS
=====

	Blatt-Nr.
1. Einleitung	4
2. Begründung des Forschungsvorhabens	6
3. Ziel und Arbeitsplan	8
4. Allgemeines zur Fügetechnik	13
5. Stand der Fügetechnik in Normen, Vorschriften Richtlinien und Arbeitsanweisungen	17
6. Herstellung der Nahtverbindungen am Versuchsmaterial	23
6.1 Lieferung der Bahnen	23
6.2 Schweißen der Bahnen	24
6.2.1 Quellschweißen	25
6.2.2 Warmgasschweißen von Hand	28
7. Prüfungen	33
7.1 Bahnen ohne Nahtverbindungen	33
7.2 Prüfung von Nähten über Scherversuche	37
7.2.1 Herstellung der Probekörper	37
7.2.2 Durchführung des Versuches	37
7.2.3 Ribbilder von Scherversuchs-Streifen	38
7.3 Prüfung von Nähten über Schälversuche	39
7.3.1 Herstellung der Probekörper	39
7.3.2 Durchführung des Versuches	40
7.3.3 Schälkraftermittlung	40
7.4 Prüfung der Wasserdichtigkeit von Nähten	41
8. Auswertung und Diskussion der Fügenaht-Prüfungen	43
8.1 Scherversuche	43
8.1.1 Allgemeines	43
8.1.2 Einfluß der Schweißnahtbreite	44
8.1.3 Einfluß des Anpreßdruckes	45
8.1.4 Einfluß von hoher Luftfeuchtigkeit (Klima 23/95)	47
8.1.5 Einfluß von kühler Witterung (Klima 5/100)	48
8.1.6 Einfluß der Geschwindigkeit beim Warmgasschweißen	49
8.1.7 Einfluß der Verschmutzung beim Warmgasschweißen	50
8.1.8 Einfluß der Lagerungsdauer	50
8.1.9 Einfluß der Dicke der Bahn	50
8.1.10 Einfluß der Werkstoffart der Bahn	51
8.1.11 Einfluß der Streifenlänge der Probekörper	52
8.2 Schälversuche	54
8.2.1 Allgemeines	54
8.2.2 Einfluß feuchter Bahnen	54
8.2.3 Einfluß von Nässe und Schmutz	55
8.2.4 Einfluß von kühler Witterung	55

	Blatt-Nr.	
8.2.5	Einfluß des Schweißverfahrens	56
8.2.6	Einfluß der Lagerungsdauer	56
8.2.7	Einfluß der Werkstoffart der Bahn	57
8.2.8	Einfluß der Biegung des Probekörpers in der Kälte	58
8.3	Wasserdichtigkeitsprüfung - Auswertung und Diskussion	60
9.	Folgerungen aus den Prüfergebnissen	60
9.1	Vergleich der 3 Prüfverfahren auf Aussagekraft	60
9.2	Empfohlene Prüfverfahren	62
10.	Zusammenfassung	66
	Literaturverzeichnis	70

ANLAGEN-VERZEICHNIS

- Zusammenstellung der Prüfergebnisse von
- Anlage 1 Reißfestigkeit und -Dehnung der Proben A und B
Anlage 2 Reißfestigkeit und -Dehnung der Proben C und D
Anlage 3 Reißfestigkeit und -Dehnung der Proben E und F
Anlage 4 Rißbilder von Zugscherversuchen
- Scherversuche an
- Anlage 5 50 mm breiten quellverschweißten Proben A und B
Anlage 6 50 mm breiten quellverschweißten Proben C und D
Anlage 7 50 mm breiten quellverschweißten Proben E und F
Anlage 8 30 mm breiten quellverschweißten Proben B und F
Anlage 9 30 mm breiten mit "geringem Anpreßdruck" quellverschw. Proben B und F
Anlage 10 15 mm breiten quellverschweißten Proben B und F
Anlage 11 30 mm breiten bei Kl. 23/95 quellverschweißten Proben B, D, F
Anlage 12 30 mm breiten bei Kl. 5/100 quellverschweißten Proben B, D, F
Anlage 13 quellverschweißten Proben B, D, F - Einfluß der Probekörperlänge
Anlage 14 warmgasverschweißter Probe B - Einfluß der Probekörperlänge
Anlage 15 Diagramme zum Einfluß der Probekörperlänge bei Scherversuchen
- Scherversuche an
- Anlage 16 50 mm breiten warmgasverschweißten Proben A und B
Anlage 17 50 mm breiten warmgasverschweißten Proben C und D
Anlage 18 50 mm breiten mit "hoher Geschwindigkeit" warmgasverschw. Proben A und B
Anlage 19 50 mm breiten mit "hoher Geschwindigkeit" warmgasverschw. Proben C und D
Anlage 20 30 mm breiter mit "geringem Anpreßdruck" warmgasverschw. Probe B
Anlage 21 30 mm breiter "verschmutzter" warmgasverschweißter Probe B sowie an
15 mm breiter warmgasverschweißter Probe B
Anlage 22 30 mm breiten bei Kl. 23/95 warmgasverschweißten Proben B und D
Anlage 23 30 mm breiten bei Kl. 5/100 warmgasverschweißten Proben B und D
- Schälkraftermittlung an
- Anlage 24 quellverschweißten Nähten der Proben B und F
Anlage 25 Nähten der Proben A, C, E - Quellschweißung nach 40 h Wasserlagerung
(Versuch Nr. 22)
- Anlage 26 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe B (Versuch Nr. 23)
Anlage 27 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe C (Versuch Nr. 22)
Anlage 28 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe E (Versuch Nr. 22)
- Anlage 29 Schälkraftermittlung an Nähten der Proben B, D, F -
Quellschweißung bei Kl. 5/100 (Versuch Nr. 23)
- Anlage 30 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe B (Versuch Nr. 23)
Anlage 31 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe D (Versuch Nr. 23)
- Anlage 32 Schälkraftermittlung an warmgasverschweißten Nähten der Probe B
Anlage 33 Schälkraftermittlung an warmgasverschweißten Nähten der Proben A und C
(Versuch Nr. 25) sowie an
warmgasverschweißter Probe B ohne und mit "Verschmutzung"
- Anlage 34 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe A (Versuch Nr. 25)
Anlage 35 Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe C (Versuch Nr. 25)
- Anlage 36 Schälkraftermittlung an Nähten der Proben B und D, Warmgasschweißung
bei Kl. 5/100
- Anlage 37 Zusammenstellung aller Prüfergebnisse von Scherversuchen mit Reißkraft
und Fügefaktor
Anlage 38 Ergebnisse der Scherversuche der quellverschw. Bahnen mit Fügefaktor
Anlage 39 Ergebnisse der Scherversuche der warmgasverschw. Bahnen mit Fügefaktor
Anlage 40 Zusammenstellung der Ergebnisse der Schälversuche bei Angabe des
maximalen Schälwiderstandes
Anlage 41 Zusammenstellung der Ergebnisse des mittleren Schälwiderstandes

1. Einleitung

Seit etwa 25 Jahren werden in steigenden Mengen für Abdichtungen im Bausektor neben den bituminösen Abdichtungsbahnen Hochpolymerbahnen verwendet. Nach der chemischen Grundlage der Hochpolymere (DIN 7724) werden diese Hochpolymerbahnen zwei Werkstoff-Gattungen zugeordnet. Es handelt sich hierbei um

Abdichtungsbahnen auf Kunststoff-(Thermoplast)-Basis und
Abdichtungsbahnen auf Kautschuk-(Elastomer)-Basis

Grundsätzlich unterscheiden sich die Bahnen der zwei Werkstoff-Gattungen durch unterschiedliche Materialeigenschaften bei Erhitzung und somit hinsichtlich der Verarbeitungstechnik.

- Kunststoff (Thermoplast)-Bahnen sind durch Erhitzung verformbar und meist auch anlösbar, d.h. sie sind bei ihren Bahnenverbindungen durch Erhitzungsverfahren (z.B. Warmgasschweißung) und bei Lösungsmittelanwendung durch Quellschweißen zu fügen.
- Kautschuk (Elastomer)-Bahnen sind dagegen im vernetzten Zustand in ihrer Struktur durch Erhitzung und durch Lösungsmittel nicht mehr veränderbar, d.h. nicht schweißbar. Nahtverbindungen erfolgen meist durch Verklebung mit Klebstoffen und durch die technisch bessere Vulkanisation. Hier sei aber bereits erwähnt, daß einige Bahnengruppen in einem vorübergehend unvernetzten Zustand thermoplastisches Verhalten zeigen und deshalb schweißbar sind.

Die Anwendungsgebiete dieser Polymerbahnen umfassen die Bereiche

- Tiefbau und Ingenieurbau (u.a. Abdichtungen von Tunnels, Brücken, Kraftwerken, Tiefgaragen)
- Hochbau (u.a. Dachabdichtungen, Dampfsperren, Bauwerksabdichtungen, Beckenauskleidungen)
- Erd- und Wasserbau (u.a. Abdichtung von Böschungen, Wasserspeicherbecken, Deponien)

Die Beanspruchungen der Abdichtungen reichen von einfacher Wasserdampfeinwirkung über Bodenfeuchtigkeit, nichtdrückendes Oberflächenwasser und Sickerwasser bis zum drückenden Wasser.

Die Polymerbahnen werden im allgemeinen im Gegensatz zu den bituminösen Abdichtungsbahnen einlagig eingesetzt. Die Verarbeitung erfolgt außerdem meist nur in punkt- oder streifenweiser Verbindung zum Untergrund und nicht in vollflächiger Verklebung, wie es bei bituminösen Bauwerksabdichtungen gewünscht bzw. gefordert wird.

Für Bauwerksabdichtungen werden Bahnen von mind. 1,2 bzw. 1,5 mm Dicke /1/ und für Dach- und sonstige Abdichtungen Bahnen von nur 0,8 bis 2 mm (max. 3 mm) Dicke eingesetzt.

Da Materialfehler wie Fehlmischungen, Dickenabweichungen, Fremdkörper-einschlüsse und dergl. bei den relativ dünnen Polymerbahnen direkt zu einem Versagen der Abdichtung und dann meist zu größeren Unterläufigkeiten führen können, müssen im Herstellerwerk durch kontinuierlich durchgeführte, vielgestaltige und aufwendige Produktionskontrollen Fehler vermieden und ggf. Fehlproduktionen verworfen werden. Das Gelingen einer Abdichtung hängt aber neben einwandfreier Materialbeschaffenheit in gleichem Maße von einer sorgfältigen fachgerechten Verarbeitung ab. Voraussetzung hierzu sind einwandfrei herzustellende Bahnverbindungen. Im Gegensatz zu den vollflächig miteinander verklebten mehrlagigen und mit versetzten Nähten ausgeführten bituminösen Bahnenabdichtungen wird die kleinste Fehlstelle an der Naht einer Polymerbahn zu einem Versagen der Abdichtung führen.

Die Güte der Nahtfüugung einer Polymerbahn, über die stofflichen Fragen hinausgesehen, hängt einerseits von dem durch den Bahnenhersteller empfohlenen und vom Verleger ausgewählten Fügesystem ab und zum anderen von der unter Berücksichtigung der äußeren Umstände sachgerecht durchgeführten Verarbeitung durch den Verleger. Bei Polymerbahnen ist deshalb zur Gütesicherung eine Prüfung der Nahtfüugung an Materialproben für die Ausarbeitung und Beurteilung von Fügesystemen in den Laboratorien des Bahnenherstellers und der Prüfstellen erforderlich. Außerdem ist an der fertigen Abdichtung eine sorgfältige Kontrolle aller auf der Baustelle oder im Werk ausgeführten Nahtfüugungen als Abnahmeprüfung des Bauteiles Abdichtung notwendig.

Die auf der Baustelle auszuführenden Prüfungen an hergestellten Naht- und Stoßverbindungen sind für das Gebiet der Bauwerksabdichtungen in DIN 18195 Teil 3 (Entwurf 3/81) enthalten. Die 5 zur Wahl gestellten Prüfverfahren sind auch bei anderen Einsatzgebieten von Kunststoffbahnen anwendbar, das Druckluftverfahren allerdings nur an einer ausgeführten Doppelnaht. Die Grundlagen zu diesen Prüfverfahren wurden über die Forschungsarbeit "Untersuchung der Möglichkeiten zur Nahtprüfung bei einlagigen Kunststoffabdichtungen im Tunnelbau" der STUVA /2/ erarbeitet.

2. Begründung des Forschungsvorhabens

Die Qualität der Naht ist bei Kunststoff- und Kautschuk- bzw. Elastomerbahnen wesentlich mitbestimmend für den Einsatz der Bahnen bei den verschiedensten Abdichtungen. Z.Zt. liegen nur für einzelne Werkstoffgruppen der Kunststoffbahnen sog. Stoffnormen vor, die Angaben über die Prüfungen und die Mindestanforderungen an fabrikneue Bahnen stellen. Erst in den neueren Ausgaben der Stoffnormen (siehe Kapitel 5) sind nähere Angaben über Art der Fügesysteme, Prüfung und Anforderungen gemacht worden. Diese Angaben werden aber nicht nur als uneinheitlich und wenig aussagefähig, sondern auch bezüglich der Praxisbeanspruchungen der Nähte als unzureichend angesehen. In den Normen werden nur Nahtfestigkeits- und Nahtdichtigkeitsprüfungen aufgeführt. Die Nahtfestigkeit wird über das Verhalten der Naht beim Scherversuch beurteilt. Hierbei wird gefordert, daß an den beim Zugversuch geprüften Probenstreifen der Abriß außerhalb der Schweißnaht erfolgt. Die Nahtdichtigkeit wird dagegen über die allgemeine Prüfung der "Schweißbarkeit" der Bahn bestimmt. Hierzu wird z.Zt. als Probe ein Bahnenbeutel gefügt. Er wird 24 Stunden nach der Herstellung zur Prüfung 45 cm hoch mit Wasser gefüllt. Innerhalb weiterer 24 Stunden darf bei dieser relativ geringen Beanspruchung kein Wasseraustritt sichtbar werden. Die beiden Prüfungen lassen zwar die Beurteilung der Bahn auf ihre generelle Schweißbarkeit zu, führen aber zu keinen zahlenwertmäßig differenzierenden Aussagen über die Güte der Naht. Sie können u.a. keine quantitativen Aussagen machen über die mechanische Festigkeit (Reißfestigkeit) der Naht und insbesondere keine Aussagen zu den Einflüssen aus:

- Fügesystem im allgemeinen (z.B. Quellschweißen, Warmgas-, Heizkeilschweißung, Kontaktklebstoffart und -Menge),
- Werkstoffgruppe und der speziellen Zusammensetzung des Werkstoffes,
- Bahndicke,
- klimatische Bedingungen (Kälte, Wärme, Luftfeuchtigkeit)
- Verschmutzung und Feuchtigkeitsgehalt der Bahn,
- Quellschweißmittelart, -Menge, -Einwirkungszeit,
- Warmgastemperatur, Fügegeschwindigkeit, Anpreßgröße und -Dauer

und u.a. keine Aussagen über die Beeinflussung der Naht durch:

- Biegebeanspruchungen bei Kälte, Lagerung in Medien (z.B. Kalkmilch, Salzlösungen...), natürliche oder künstliche Bewitterung, längere Wärme- und Kältelagerung sowie Dauerzugbelastungen.

Über die beiden in den Stoffnormen vorliegenden Nahtprüfverfahren ist außerdem nicht feststellbar, welche Sicherheit bei der praxisgerechten Nahtfügung vorliegt und wo die Grenzen für die Anwendung der einzelnen Fügesysteme liegen.

Um diese Fragen zu beantworten und die einzelnen Einflußgrößen für das Gelingen einer Nahtfügung in ihrer Bedeutung werten zu können. Nahtfügungen verbessern und Prüfverfahren optimieren zu können, wurden von den Herstellern und den Prüfstellen bereits eigene Prüfmethoden entwickelt bzw. bestehende entsprechend abgewandelt. Hier wäre die Trennkraftermittlung an Nähten, auf Scheren und Schälern an "Stehnähten" zu erwähnen, die in Anlehnung an DIN 53357 erfolgen kann. Aus dem im Kraft-Weg-Diagramm aufgezeichneten Trennvorgang des Nahtbereiches wird bei der Auswertung die Trennkraft errechnet. Über sie kann erfahrungsgemäß differenziert die Güte einer Naht beurteilt werden. Die Prüfung selbst wird allerdings noch recht unterschiedlich durchgeführt und ausgewertet.

Außerdem erscheint es notwendig, ein neues Prüfverfahren zu entwickeln, mit dem es möglich wird, unter höheren Beanspruchungen in Anlehnung an den Beuteltest der bestehenden Stoffnormen die Wasserdichtigkeit von Nähten zu bestimmen. Unter höherem Druck sollte zum Beispiel in einer geschlossenen Blase der Nahtbereich in stärkerem Maße 2-dimensional beansprucht werden /3/.

Zusammengefaßt erscheint es dringend erforderlich, die bereits in den Stoffnormen beschriebenen und die verschiedentlich neu entwickelten Prüfverfahren kritisch zu untersuchen, gegebenenfalls zu optimieren bzw. neue zu erarbeiten. Es ist zu fordern, daß die Fügung einer allgemein einsetzbaren Polymerbahn unter den Baustellenbedingungen gleichmäßig, wasserdicht und kraftschlüssig ausführbar sein muß. Außerdem darf das angewandte Fügesystem die Bahnenabdichtung nur in unbedeutendem Maße in ihren Eigenschaften (z.B. in Bezug auf Wetter-, Wärme-, Kälte- und chemischer Beständigkeit) beeinträchtigen.

3. Ziel und Arbeitsplan

Das Ziel der Forschungsarbeit war es, die bereits in den Normen beschriebenen sowie andere bekannte Prüfverfahren für die Beurteilung von Nähten zu erproben und zu optimieren. Dabei sollte möglichst die Qualität der Naht zahlenwertmäßig erfaßbar sein. Die Prüfverfahren sollten außerdem bei einem vertretbaren Prüfaufwand einheitlich bei möglichst allen Fügesystemen (Schweiß- und Klebverfahren) bei Thermoplast- und Elastomerbahnen anwendbar sein. Die Prüfungsergebnisse sollten zwischen guten und schlechten Verbindungen weit gespreizt sein. Hierdurch sollte es möglich sein, Fügesysteme zu optimieren und Grenzen für die Anwendung bestimmter Fügesysteme bei der Verarbeitung einzelner Bahnen (z.B. bezüglich der Witterung oder der Bahndicke) festlegen zu können.

Im Rahmen des bewilligten Forschungsauftrages konnte für die im Laboratorium durchzuführenden Versuche nur eine begrenzte Anzahl an Bahnen und Fügeseystemen berücksichtigt werden. Es wurden nur normengerechte Kunststoffbahnen von 3 Werkstoffgruppen in jeweils 2 vergleichbaren Bahndicken zur Prüfung vorgesehen. Bei den 6 Bahnen, die mit den Kennzeichen A - F versehen wurden, handelt es sich um folgende Produkte:

Tabelle 1: Zur Prüfung eingesetzte Bahnen

Kennzeichen	Werkstoffgruppe	Kurzbezeichnung	Dicke	Bahn nach DIN
A	Polyvinylchlorid weich nicht bitumenbeständig, trägerlos	PVC-weich	0,85 mm	16938
B	Polyvinylchlorid weich nicht bitumenbeständig, trägerlos	PVC-weich	2,0 mm	16938
C	Polyvinylchlorid weich bitumenbeständig, für Bautenabdichtungen	PVC-weich bitumen- beständig	0,80 mm	16937
D	Polyvinylchlorid weich bitumenbeständig, für Bautenabdichtungen	PVC-weich bitumen- beständig	2,0 mm	16937
E	Polyisobutylene für Bautenabdichtungen	PIB	1,5 mm	16935
F	Polyisobutylene für Bautenabdichtungen	PIB	2,0 mm	16935

Von den zur Prüfung vorgesehenen 6 Bahnen sollten zu allgemeinen Kennzeichnung des Materials als Ergänzung der Nahtprüfungen ermittelt werden:

- Allgemeine Beschaffenheit mit Bahndicke
- Flächengewicht
- Reißfestigkeit und -Dehnung in Längs- und Querrichtung
- Verhalten beim Falzen in der Kälte
- Feuchtigkeitsaufnahme bei Wasserlagerung und bei Feuchtraumlagerung

Derzeit kommen in der Praxis als Fügesysteme für die in Tabelle 1 aufgeführten Kunststoff-(Thermoplast)-Bahnen, abgesehen von mechanischen Systemen nur Schweißverfahren in Betracht. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden für die 4 PVC weich-Bahnen die jeweils mit Hand ausgeführte Quellschweißung und die Warmgasschweißung gewählt und für die 2 PIB-Bahnen nur das Quellschweißverfahren. Die Warmgasschweißung ist für PIB-Bahnen auch nach den Stoffnormen nicht vorgesehen.

Mit diesen 2 Schweißverfahren sollten zur Prüfung Nahtverbindungen sowohl für den Zugversuch als auch für die Trennkraftermittlung an Nähten auf Schalen hergestellt werden. Außerdem waren Dichtigkeitsversuche an den Bahnen über eine modifizierte Beutel-Prüfung vorgesehen.

Bei den Scherversuchen sollten die Nähte im Quellschweiß- und auch Warmgasschweißverfahren in variiertem Weise hergestellt und auch nach unterschiedlicher Zeitdauer geprüft werden. Über diese Varianten sollten folgende Einflußfaktoren auf die Scherfestigkeit der Nähte ermittelt werden:

- Nahtbreite
- Größe des Anpreßdruckes auf die frischgefügte Naht
- Umgebungseinflüsse aus Temperatur und Luftfeuchtigkeit
- Geschwindigkeit bei Warmgasschweißung (indirekter Temperatureinfluß. - Der direkte Einfluß der Schweißtemperatur bei der Warmgasschweißung wurde dagegen nicht näher ermittelt)
- Oberflächenbeschaffenheit der Bahn (Verschmutzung und Feuchtigkeitsgehalt)
- Probekörperlänge
- Lagerungsdauer der gefügten Naht

Die Varianten konnten jedoch wegen des hohen Prüfaufwandes nicht an allen Bahnen und nicht an allen in beiden Schweißverfahren hergestellten Nähten vorgenommen werden. Um einen besseren Überblick für die Auswertung und das Studium des Berichtes zu erreichen, wurden die

einzelnen Varianten als "ausgeführte Versuche" im Bericht durchlaufend nummeriert. Die Scherversuche besitzen die Versuchs-Nr. 2 bis Nr. 9 und Nr. 11 bis Nr. 18.

Tabelle 2: Arbeitsplan I für die Ausführung der Scherversuche
(die angekreuzten Versuche wurden durchgeführt)

Schweiß- verfahren	Probe		PVC		PVC bitb.		PIB		
			0,85	2,0	0,80	2,0	1,5	2,0	
	Nr.	Versuch	Dicke mm	A	B	C	D	E	F
Quellschweißung	2	50 mm Nahtbreite Klima 23/50		X	X	X	X	X	X
	3	30 mm Nahtbreite Klima 23/50			X				X
	4	30 mm Nahtbreite Kl. 23/50 "geringer Druck"			X				X
	5	15 mm Nahtbreite Klima 23/50			X				X
	6	30 mm Nahtbreite Klima 23/95			X		X		X
	7	30 mm Nahtbreite Klima 5/100			X		X		X
	8	90 mm Einspannlänge 150 mm Einspannlänge 180 mm Einspannlänge			X X X		X X X		X X X
	9	90 mm Einspannlänge 150 mm Einspannlänge 180 mm Einspannlänge			X X X				
Wärmgasschweißung	11	50 mm Nahtbreite Klima 23/50		X	X	X	X		
	12	50 mm Nahtbreite Kl. 23/50 "hohe Geschwindigkeit"		X	X	X	X		
	13	30 mm Nahtbreite Klima 23/50			X				
	14	30 mm Nahtbreite Kl. 23/50 "geringer Druck"			X				
	15	30 mm Nahtbreite Kl. 23/50 "verschmutzt"			X				
	16	15 mm Nahtbreite Klima 23/50			X				
	17	30 mm Nahtbreite Klima 23/95			X				
	18	30 mm Nahtbreite Klima 5/100			X				

Bei praktisch allen ausgeführten, im Arbeitsplan I angekreuzten Versuchen wurde die Nahtprüfung im Scherversuch bereits 48 Stunden nach Herstellung der Naht sowie zusätzlich nach 4 Monaten Lagerungsdauer bei Normalklima DIN 50014-23/50-2 durchgeführt.

Die Trennkraftermittlung beim Schälen von Nähten, die im Quellschweiß- und im Warmgasschweißverfahren hergestellt wurden, erfolgte ebenfalls meist 48 Stunden sowie 4 Monate nach Herstellung der Nähte. Die hier zur Ermittlung der Einflußfaktoren geprüften Varianten sind dem nachfolgenden Arbeitsplan II zu entnehmen. Die ausgeführten und angekreuzten Versuche sind im Bericht unter der Versuchs-Nr. 21 bis Nr. 26 geführt.

Tabelle 3: Arbeitsplan II für die Ausführung der Schälprüfungen

Schweißverfahren	Probe Dicke mm		PVC		PVC bitb.		PIB	
			0,85 A	2,0 B	0,80 C	2,0 D	1,5 E	2,0 F
Nr.	Versuch							
Quellschweißung	21	Fügen im Klima 23/50		×				×
	22	Fügen nach 40 h Wasserlagerung	×		×		×	
	23	Fügen im Klima 5/100		×		×		×
Warmgasschweißung	24	Fügen im Klima 23/50		×			X	
	25	Fügen nach 40 h Wasserlagerung	×	×	×			
		u. nach Verschmutzung		×				
	26	Fügen im Klima 5/100		×		×		

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, nach Wertung der Prüfergebnisse und der Einflußfaktoren für die Nahtprüfung Prüfverfahren zur Anwendung zu empfehlen. Diese textlich zu fassenden Prüfverfahren

sollen die bisherige uneinheitliche Handhabung von Nahtprüfungen ersetzen. Nach diesen könnten in den Herstellerwerken bei der Entwicklung von Bahnen und/oder von neuen Quellschweißmitteln bzw. Klebstoffen, d.h. bei der Erprobung neuer Fügesysteme (einschließlich der Geräte) Eignungsprüfungen vorgenommen werden sowie Güte- und Kontrollprüfungen beim Hersteller und in den Prüfstellen. Vor der generellen Einführung sollten die Verfahren aber in anderen Prüfstellen erprobt und die Prüfgenauigkeit, d.h. die Reproduzierbarkeit statistisch festgestellt werden.

Die Auswahl der Bahnen und der Fügesysteme sowie der allgemeine Arbeitsplan für die Forschungsarbeit wurde vor Auftragserteilung und während der Durchführung bei mehreren Gesprächen mit den Mitgliedern der Betreuergruppe abgestimmt.

4. Allgemeines zur Fügetechnik

Für die Nahtverbindungen (Bahnenverbindungen) mit Polymerbahnen kommen in der Abdichtungstechnik das Schweißen sowie die Bahnenverbindung Klebstoff - Verklebung und die Vulkanisation zur Anwendung. Bei den in der vorliegenden Arbeit eingesetzten Kunststoff-(Thermoplast)-Bahnen erfolgt, wie erwähnt, die Nahtverbindung in der Praxis vorwiegend durch Schweißverfahren.

Für spezielle Kunststoff- und Kautschuk-Produkte gelten jedoch, z.B. für einzelne Arbeitsgänge, nicht in allen Punkten die in Normen und Richtlinien oder in der Literatur allgemein genannten Fügetechniken. Es sind deshalb im Einzelfall auch die Angaben der Verarbeitungsanleitungen des Bahnenherstellers maßgebend.

Die nachstehende Tabelle 4 gibt einen Überblick zu den üblichen Nahtverbindungs-Verfahren der einzelnen Werkstoffe.

Tabelle 4: Werkstoffe und ihre Nahtverbindungsverfahren

Fügeverfahren Werkstoffe der Polymerbahnen	Quellschweißen	Warmgasschweißen	Heizkeilschweißen	Hochfrequenz (HF) -Schweißen	Abdeckbänder	Schmelzklebebänder	Kontaktklebstoffe	Vulkanisation
	Thermoplastbahnen:							
ECB		X	X			X		
EVA	X	X	X	X				
PE		X	X					
PEC	X	X	X	X				
PIB	X				X		X	
PVC weich	X	X	X	X				
Elastomerbahnen:								
CR					X		X	X
CSM *)	X	X	X	X		X		
EPDM *)	X				X		X	X
IIR						X		X
NBR							X	

*) Zum Teil sind die Schweißverfahren im unvernetzten (Neu)-Zustand möglich.

Da sich die vorliegende Arbeit nur mit Schweißverfahren an Kunststoffbahnen befaßt, wird auf die Darstellung der Klebeverbindungen (mit Zusatzstoffen), der verschiedenen Abdeckbänder und der Vulkanisation verzichtet und auf die diesbezügliche Literatur verwiesen..

Quellschweißen erfolgt bei Bahnenverbindungen durch Anlösen der beiden Verbindungsflächen mit einem auf den speziellen Werkstoff abgestimmten Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch und nachfolgendes Andrücken der Flächen.

Eine Definition der Quellschweißung ist der nebenstehenden Fußnote der DIN 16730 (PVC weich-Dachbahnen) - Ausgabe 1976 - zu entnehmen. Eine gleichartige Fußnote ist in DIN 16731 (PIB-Dachbahnen) - Ausgabe 1976 - enthalten.

"Quellschweißen (solvent welding) ist eine allgemein gebräuchliche Technik, wobei sich durch das Anquellen bzw. Anlösen mit geeigneten Lösungsmitteln auf beiden miteinander zu verbindenden Bahn-Überlappungsflächen ein pastöses Gemisch aus Lösungsmittel und Bahnenmaterial bildet. Beide Seiten verbinden sich unter Druck z.B. beim Zusammendrücken mit einem Handballen zu einer homogenen Naht. Nach Verdunsten des Lösungsmittels besteht die Nahtverbindung aus verschweißtem PVC weich-Bahnenmaterial. Das Verdunsten des Lösungsmittels ist temperatur- und zeitabhängig, jedoch ist die Verbindung bereits nach Minuten wasserdicht. Ein Schnitt durch eine solche Naht läßt die Verbindungszone nicht mehr erkennen, wie dies bei einer Klebung der Fall ist."

Das Quellschweißmittel wird bei der Handschweißung entweder mit einem Flachpinsel mit jeweiligem Absetzen zum Füllen des Pinsels oder aber ohne Absetzen des Pinsels mit einer speziellen Schweißflasche aufgetragen. Der Pinsel ist mit der Flasche über ein Röhrchen kontinuierlich und regulierbar zu füllen.

Aus diesem, aus später erwähnten Gründen sehr empfehlenswerten Flaschengerät sind zur Arbeitserleichterung und Rationalisierung größere Arbeitsgeräte entwickelt worden. Über Druckschweißgeräte wird sogar das Auftragen des Quellschweißmittels an Überkopf-Nähten ermöglicht.

Warmgasschweißen (oder als Heißluftschweißen bekannt) wird mit elektrisch beheizten Heißgasschweißgeräten durchgeführt. Die als Schweißgas vorwiegend verwendete Luft wird erhitzt und unter Druck (0,1 bis 0,5 bar) über eine Düse in den Nahtbereich geblasen. Bei der dem jeweiligen Bahnenmaterial anzupassenden Heißlufttemperatur wird das Material der beiden Verbindungsflächen plastifiziert und sofort anschließend unter Druck (z.B. mit einer Andruckrolle bei der Handschweißung) verbunden.

Erfahrungsgemäß werden von den Bahnenherstellern beim Fügen folgende Heißgastemperaturen, die 5 mm vor der Schweißdüse zu messen sind, in Abhängigkeit vom verwendeten Kunststoff empfohlen:

		Temperatur im Material
PVC weich	ca. 300 - 350° C	(ca. 180° C)
ECB /4/	ca. 500 - 600° C	(ca. 200° C)
PEC	ca. 630° C	(ca. 190° C)

Die richtige Temperatur im Material ist dann erreicht, wenn das plastifizierte Material der Bahn beim Andrücken mit der Rolle als dünne Raupe an der Nahtkante austritt und der Rand der Bahn sich nicht verfärbt oder verformt. Daraus ergeben sich je nach Material, Untergrund und Witterung unterschiedliche Schweißgeschwindigkeiten.

Auf die praktische Ausführung der Handschweißung mit dem Quellschweiß- und dem Warmgasschweißverfahren bei der Herstellung der Bahnverbindungen für die vorliegenden Versuche wird in Abschnitt 6 eingegangen.

Bei der Heizkeilschweißung erfolgt die Plastifizierung im Nahtbereich mit einem elektrisch geheizten und bewegten Keil. Hinter dem Keil werden die Flächen unter Druck zusammengefügt.

Beim Hochfrequenz (HF)-Schweißen werden die Verbindungsflächen in einem elektrischen Hochfrequenzfeld plastifiziert und unter Druck verbunden.

Die Heizkeil-, insbesondere aber die HF-Schweißung, finden vorwiegend bei der Vorfertigung (Konfektionierung) von Planen im Werk oder bei großflächigen Bauvorhaben Anwendung.

Die Naht- und Stoßüberdeckungen der Bahnen werden in der Regel in einer Breite von 5 cm ausgeführt. Die tatsächlichen Schweißbreiten sind jedoch geringer, sollen aber je nach Schweißverfahren und zu verschweißendem Material 1,5 bis 4 cm betragen. Beim HF-Schweißen sind allerdings noch geringere Schweißbreiten üblich.

5. Stand der Fügetechnik in Normen, Vorschriften, Richtlinien und Arbeitsanweisungen

In diesem Abschnitt sollen nur bemerkenswerte Angaben aus einer Anzahl der wichtigsten Veröffentlichungen zitiert werden, um den heutigen Stand zur Prüfung und Ausführung von Nahtverbindungen zu dokumentieren. Aus den Angaben soll auch ersichtlich sein, wie notwendig es ist, die z.Zt. noch gültigen Normen neu zu bearbeiten, sie dem Stand der Technik anzupassen.

AIB der Deutschen Bundesbahn DS 853 (Anweisung für Abdichtungen von Ingenieurbauwerken)

Die als einziges Material aufgeführte PIB-Dichtungsbahn von 1,5 und 2,0 mm Dicke ist bei 5 cm Nahtüberdeckung mit Quellschweißung oder, was heute nicht mehr zulässig ist, mit Heißschweißung zu fügen! Hierbei soll ein Verbügeln der äußeren Kante der Überlappung unterbleiben, weil hierdurch die Kontrolle der Naht erschwert wird! Bitumen ist im Gegensatz zum Entwurf DIN 18195 zur Nahtfügung nicht zugelassen.

Die 2. Ausgabe 1953 gilt schon als historisches Werk, heute nur noch in einigen Abschnitten als vorbildlich, bei den thermoplastischen Kunststoffbahnen aber vom Stand der Technik als überholt.

DIN 1910 Teil 1 (12/74) "Schweißen, Begriffe - Einteilung der Schweißverfahren".
Das Quellschweißen wird nicht erwähnt!

DIN 1910 Teil 3 (9/77) "Schweißen, Schweißen von Kunststoffen - Verfahren".
Es werden die einzelnen Verfahren in den Gruppen des

Heizelementschweißens, Warmgasschweißens (früher Heißgas-),
Lichtstrahlschweißens, Ultraschallschweißens,
Reibschweißens, Hochfrequenzschweißens

in Skizzen dargestellt und kurz erläutert. Die Einteilung der Verfahren zum Fügen durch Schweißen von Kunststoffen wird mit Angabe von Ordnungsnummern graphisch dargestellt. Einige der Verfahren sind z.Zt. noch nicht beim Fügen von Abdichtungsbahnen üblich.

Das Quellschweißverfahren wird in dem Normblatt nicht erwähnt!

DIN 1912 Teil 1 (6/76) "Zeichnerische Darstellung Schweißen, Löten, Begriffe und Benennungen für Schweißstöße, -fugen, -nähte

DIN 16930 (5/64) "Schweißen von PVC hart (Polyvinylchlorid hart), Richtlinien".
Übersicht über die Ausführung der verschiedenen thermischen Schweißverfahren, Aufzählung der zugehörigen Stoffnormen DIN 8061 bis 8062 sowie DIN 16927 bis 16929 und DIN 19532.

DIN 16931 (8/63) "Schweißen von PVC weich (Polyvinylchlorid weich), Richtlinien".
Übersicht über die Ausführung der verschiedenen thermischen Schweißverfahren. Die Quellschweißung wird nicht erwähnt! Beim HF-Schweißen von Folien wird als Regel eine Nahtbreite angegeben, die der doppelten Dicke des Folienpaketes entspricht. Demnach wäre z.B. bei einer 2 mm-Bahn eine Fugebreite von 8 mm die Regel. Das dürfte bei Abdichtungen schon als Minimum bei der Doppelnaht (mit zwischenliegendem Kanal für die Nahtprüfung mit Druckluft oder -Wasser) für jede der beiden Nähte, auch bei dünneren Bahnen anzusehen sein.
Beim Warmgasschweißen (ohne Zusatzwerkstoff) wird als günstige Breite der Überlappung das dreifache der (einfachen) "Plattendicke", d.h. bei 2 mm-Bahn somit nur eine Breite von 6 mm, aufgeführt!

Die vorstehenden Normen sind hinsichtlich der Ausführung des Quellschweißens sowie der Überlappungsbreiten für die Anwendung in der Abdichtungstechnik nicht maßgebend bzw. müssen überarbeitet werden.

DIN 16960 Teil 1 (2/74) "Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Grundsätze".
Die allgemeine Richtlinie gibt eine Übersicht über die verschiedenen grundsätzlichen Schweißverfahren und deren Durchführung für thermoplastische Kunststoffe, wobei das Quellschweißen fehlt. Folgeblätter sollen Angaben über das Schweißen einzelner thermoplastischer Kunststoffe machen. Beim Warmgasschweißen ist als Regel die Überlappungsnahtheite als etwa 15-fache Bahndicke angegeben, z.B. bei 2 mm-Bahnen eine Breite von 30 mm, die für Bahnenabdichtungen jeder Dicke als realistisch anzusehen wäre. Bei den weiteren Verfahren fehlen für Abdichtungen spezielle Angaben.

DIN 18195 Teil 3 (Entwurf 3/81) "Bauwerksabdichtungen, Verarbeitung der Stoffe".
Für Kunststoff-Dichtungsbahnen gelten folgende Naht- und Stoßverbindungsverfahren und Mindestschweißbreiten in mm:

Tabelle 5:

Verfahren	PIB	PVC weich	ECB
Quellschweißen	30	30	30
Warmgasschweißen	-	20 (15)	30 (20)
Heizelementschweißen	-	20 (15)	30 (20)
Verkleben m. Bitumen	100	-	100

In Klammern sind Mindestschweißbreiten je Einzelnaht bei der Doppelnaht angegeben. Bei Werksvorfertigung darf PVC weich im HF-Schweißverfahren bei mind. 5 mm Schweißbreite gefügt werden. Bei Bahnen ab 1,5 mm Dicke sind im T-Stoßbereich die Kanten der unteren Bahn mechanisch oder thermisch anzuschragen. Es werden 5 Baustellenverfahren zur Prüfung der Dichtigkeit von ausgeführten Naht- und Stoßverbindungen aufgeführt.

DIN 18195 Teil 4 (Entwurf 11/77) "Bauwerksabdichtungen, Abdichtung gegen Bodenfeuchtigkeit - Ausführung und Bemessung". - Die genannten PVC weich-, PIB- und ECB-Bahnen müssen mit etwa 5 cm Nahtüberdeckung verlegt werden. PIB-Bahnen müssen quellverschweißt und ECB-Bahnen thermisch verschweißt werden; beide Bahnen dürfen an Nähten bei einer Überdeckungsbreite von mind. 10 cm auch mit Bitumen verklebt werden.

- DIN 18195 Teil 6 (Entwurf 11/77) "Bauwerksabdichtungen, Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser - Ausführung und Bewertung".
Für die PIB-Bahnen gelten die Angaben von Teil 4. Die PVC weich-Bahnen nach DIN 16937 müssen Nahtüberdeckungen von mind. 5 cm beim Quellschweißen mit THF besitzen, es genügt eine Breite von mind. 3 cm beim Warmgasschweißen. Da diese Bahnen zwischen nackten Bitumenbahnen eingeklebt werden, dürfen Nähte und Stöße wie bei PIB auch bei mind. 10 cm Überdeckung mit Bitumen verklebt werden.
- DIN 4122 (7/68) "Abdichtungen von Bauwerken gegen nichtdrückendes Oberflächenwasser und Sickerwasser mit bituminösen Stoffen, Metallbändern und Kunststoff-Folien - Richtlinien".
Die PIB und PVC weich-Bahnen (DIN 16937) sind bei 50 - 60 mm Überdeckung durch Quellschweißen zu fügen.
- DIN 7864 - Vornorm (6.1977) "Elastomer-Bahnen für Abdichtungen, Anforderungen - Prüfung".
Es werden keine Angaben zu Nahtverbindungen und -Prüfungen gemacht.
- DIN 16725 (Entwurf 5/76) "Kunststoff-Dachbahnen, Überwachung".
Die Schweißbarkeit der Bahn soll bei der Eigenüberwachung halbjährlich und bei der Fremdüberwachung mindestens jährlich gemäß den Angaben der Stoffnormen geprüft werden.
- DIN 16729 Teil 1 (Entwurf 6/76) "Kunststoff-Dichtungsbahnen - Dichtungsbahnen aus Ethylenpolymerisat - Bitumen (ECB) einseitig kaschiert, Anforderungen - Prüfung".
Teil 2 (Entwurf 6/76) wie vor, jedoch nicht kaschiert, - "Schweißbarkeitsprüfung", Bahnen müssen sich durch thermisches Schweißen fügen lassen; Beutel der Größe 300 x 500 mm muß bei 40 mm Schweißnahtbreite nach 24 h wasserdicht sein, Wasserstand 5 cm unter Beutelhöhe.
(Entwurf 6/80) "Kunststoff-Dach- und Dichtungsbahnen aus ECB" - sonst wie vor, jedoch mit und ohne Kaschierung.
Schweißbarkeitsprüfung wie vor, zusätzlich aber Verhalten der Naht beim Scherversuch - 5 cm breite Probestreifen mit mittig angeordneter Naht, 100 mm Einspannlänge dürfen im Zugversuch mit 200 mm/min Geschwindigkeit nur außerhalb der Schweißnaht reißen.
- DIN 16730 (5/76) "Dachbahnen aus PVC weich, nicht bitumenbeständig, trägerlos, Anforderungen - Prüfung".
Bahnen müssen sich durch Quellschweißen oder andere Schweißverfahren (DIN 16931) fügen lassen; Schweißbarkeit über Beuteltest wie DIN 16729, jedoch 50 mm Nahtbreite und Wasserstand nur 2/3 der Beutelhöhe.
- DIN 16731 (5/76) "Dachbahnen aus Polyisobutylene (PIB), trägerlos, Anforderungen - Prüfung".
Bahnen müssen durch Quellschweißen und/oder mit beidseitig selbstklebendem Dichtungsband zu fügen sein! Schweißbarkeit über Beuteltest wie DIN 16730.
- DIN 16732 Teil 1 und Teil 2 (5/76) "Kunststoff-Dachbahnen aus ECB", sonst wie DIN 16729 Teil 1 bzw. Teil 2 - Schweißbarkeit wie in diesen Normen mit Beuteltest, jedoch 50 mm Schweißnahtbreite und Wasserstand nur 2/3 der Beutelhöhe.

- DIN 16733 Teil 1 (Entwurf 12/76) "Dachbahnen aus chloriertem Polyethylen (CSM), bitumenbeständig, einseitig kaschiert, Anforderungen - Prüfung".
Teil 2 (Entwurf 12/76), wie vor, jedoch nicht kaschiert.
Die Bahnen müssen sich bis zu 6 Monate nach Bahnherstellung durch Warmgasschweißung und Quellschweißung fügen lassen; Schweißbarkeit über Beuteltest wie DIN 16729 (Entwurf 6/76).
- DIN 16734 (Entwurf 11/77) "Dachbahnen aus Polyvinylchlorid weich (PVC weich) mit Verstärkung aus Synthefäden, nicht bitumenverträglich, Anforderungen - Prüfung".
Schweißbarkeit und Beuteltest wie DIN 16730 (5/76), zusätzlich aber Schweißnahtfestigkeit bei Scherversuch in Bahnlängsrichtung, 50 mm Überlappung quellverschweißt; 5 Streifen 5 cm breit, 200 mm Einspannlänge, Zugversuch mit 50 mm/min Geschwindigkeit, Abriß darf nur außerhalb der Schweißnaht erfolgen.
- DIN 16935 (5/71) "Polyisobuthylen-Bahnen für Bautenabdichtungen, Anforderungen - Prüfung".
Die Bahn muß sich durch Quellschweißen homogen verbinden lassen.
- DIN 16937 (5/71) "PVC weich (Polyvinylchlorid weich)-Bahnen, bitumenbeständig, für Bautenabdichtungen, Anforderungen - Prüfung".
Die Bahn muß sich durch Quellschweißen homogen verbinden lassen.
- DIN 16938 (5/71) "PVC weich-Bahn wie DIN 16937, jedoch nicht bitumenbeständig".
Fügung wie DIN 16937.
- SIA 280 (CH) Ausgabe 1977, (SNV 564280) Norm des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins "Kunststoff-Dichtungsbahnen, Anforderungswerte und Materialprüfung".
Diese Norm gilt für alle Abdichtungs-, Anwendungsgebiete und Beanspruchungen im Bauwesen. Als Kunststoffbahnen werden alle Thermoplast- und Elastomerbahnen zusammengefaßt.
Es ist grundsätzlich eine Nahtfestigkeitsprüfung über Zugscherversuche vorgeschrieben. Je 3 Probekörper mit und ohne Naht von 25 mm Breite und 150 mm freier Einspannlänge werden (bei 50 mm Nahtbreite) bei Klima 23/50 und bei 50° C mit einer Abzugsgeschwindigkeit von 100 mm/min bis zum Bruch gezogen. Gefordert wird: für homogen verschweißte Verbindungen 80 % der Maximallast des Streifens ohne Naht - für verklebte Verbindungen 70 N pro 25 mm. "Bei der Prüfung bei 50° C dürfen die festgelegten Anforderungswerte auf höchstens 50 % absinken, d.h. auf eine Zugfestigkeit bei 50° C > 35 N pro 25 mm Prüfkörperbreite".
- (Ö/F/B) In Österreich, Frankreich und Belgien werden, da die Stoffnormen noch in Bearbeitung sind, die Nahtverbindungen an Hochpolymer-Bahnen nach der oben angeführten schweizerischen Norm SNV 564280 oder aber nach den Stoffnormen des entsprechenden Werkstoffes untersucht.
- UEAtc-Richtlinien (Union Européenne pour l'Agrément technique dans la Construction)
Es wird zur Zeit im Europäischen Richtlinienwesen die "Gemeinsame Richtlinie für die Erteilung von Agréments für Dachabdichtungssysteme unter Verwendung von nicht verstärkten, nicht bitumenverträglichen Dachbahnen aus PVC weich" erarbeitet.
Obwohl die Bearbeitung noch nicht abgeschlossen ist, kann erwähnt werden, daß in dem neuesten Entwurf vorgesehen wird, die Schweißbarkeit von Nahtverbindungen über einen Zugscherversuch und einen Schälversuch zu prüfen.

Beim Scherversuch gilt die im Agrément vorgesehene Verschweißbreite.
Bei 200 mm/min Prüfgeschwindigkeit soll der Bruch außerhalb der Fügenaht liegen.

Beim Schälen werden Streifen von 170 x 15 mm Größe im Zugversuch bei 200/min Prüfgeschwindigkeit auf Schälen beansprucht. Der Schälwiderstand soll mind. 1,6 N/mm Streifenbreite betragen. Bei den Prüfungen soll keine Delamination der Schichten untereinander bei doublierten Bahnen erfolgen.

Die Bahn soll bei der Quellschweißung eine Verschweißbreite von mindestens 30 mm betragen. Bei der Warmgasschweißung ist eine Verschweißbreite von mindestens 20 mm vorgesehen.

"SVA-Bauwerksabdichtungen".

Dieser Sachverständigenausschuß des Instituts für Bautechnik - Berlin erarbeitete für Zulassungsverfahren "Grundsätze für die Prüfung von Dichtungsbahnen aus PVC weich" für einlagig verlegte Bauwerksabdichtungen. An den Nahtverbindungen der Bahnen sind gemäß dieser Arbeit eine Reihe von Kurz- und Langzeitprüfungen vorgesehen wie:

- Zugscherversuche an 15 mm-Streifen bei 200 und 2 mm/min Prüfgeschwindigkeit mit Bruchbildangabe
- Schälversuche in Anlehnung an DIN 53354 bei Bedarf
- Beschaffenheit und Maßänderungen nach Lagerung bei 80° C
- Langzeit-Dehnverhalten unter Last bei Luft- und Wasserlagerung
- Verhalten nach Xenonbestrahlung und Freibewitterung
- Verhalten nach Einwirkung von 4 verschiedenen Prüfmitteln
- Verhalten gegenüber Mikroorganismen
- Bitumenverträglichkeit
- Wurzelfestigkeit

"SVA-gewässersichernde Gegenstände".

Der Sachverständigenausschuß des Instituts für Bauwesen - Berlin hat für Zulassungsverfahren "Bau- und Prüfgrundsätze für die Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten innerhalb von Gebäuden und im Freien aus Kunststoff- und Kautschukbahnen" erarbeitet. Nahtverbindungen sind gemäß diesen Prüfgrundsätzen im Scherversuch zu prüfen. Es wird ein Gütefaktor oder Fügefaktor (Reißfestigkeit der gefügten Probe, bezogen auf Wert des Grundmaterials) von $\geq 0,8$ gefordert. Die Prüfung erfolgt in Richtung der geringeren Zugfestigkeit der Bahn. " Der überlappte Bereich soll nicht mehr als 50 % der Meßlänge betragen, ggf. müssen bezüglich der Meßlänge die Probekörper gegenüber dem Normprobekörper entsprechend vergrößert werden. Bei so geänderten Probekörpern ist darauf zu achten, daß eine andere Wahl der Prüfgeschwindigkeit notwendig ist, so daß beim Zugversuch an den gefügten Proben die Dehngeschwindigkeit gegenüber ungefügten Proben möglichst nicht verändert ist."

Merkblätter und Arbeits (Verlege)-Anweisungen:

"Merkblatt Kunststoffdachbeläge" (1/71) des Zentralverbandes des Dachdeckerhandwerkes e.V., das als Anlage 1 in den "Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern" (1/73) enthalten ist, geht auf Nahtverbindungen nur kurz und allgemein ein.

"Merkblatt für Dachbahnen aus Ethylencopolymerisat-Bitumen (ECB) gemäß DIN 16732 zur Verwendung bei Dachabdichtungen" (11/77).

Aufgestellt vom:

- Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerkes e.V.
- Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik e.V.
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
- Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung
- Arbeitskreis der ECB-Dachbahnenhersteller.

Hervorzuheben sind bei den ausführlichen Angaben über Nahtverbindungen: Überdeckungsbreite 5 cm, Verschweißungsbreite mind. 4 cm, wobei Vlieskaschierung 1 cm in Verschweißung einbinden muß, sonst an Stößen Glasvlies mit Drahtbürste 4 cm breit entfernen; Heißluftgeräte mit 40 mm breiter Düse und Lufttemperatur bei Austritt aus Düse ca. 600° C. Bei Schweißautomaten muß die Fahrgeschwindigkeit von 0,5 mm/min ansteigend und/oder die Heiztemperatur stufenlos regelbar sein, Anpreßdruck auf Überlappung mind. 10 N/cm².

"Verlegerichtlinien für Dachbahnen aus PVC weich, nicht bitumenbeständig, trägerlos und Dachbahnen aus PVC weich, nicht bitumenbeständig mit Verstärkung aus Synthefäden" (1977).

Herausgegeben vom Industrieverband Kunststoffbahnen (IVK), Frankfurt, und dem Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerkes e.V., Köln.

"Quellschweißungen können unter Anwendung bestimmter Maßnahmen, siehe DIN 18338 "Dachdeckungs- und Dachdichtungsarbeiten", z.B. Vorwärmen der Dachbahn im Schweißbereich (z.B. mit einem Heißluftgerät), auch unter +5° C einwandfrei durchgeführt werden."

Über Warmgas- und Quellschweißen werden sonst nur knappe Angaben gemacht.

"Verlegehinweise über Kunststoff- und Kautschukbahnen für Dachabdichtungen" (5/81)

Sie wurden als Orientierungshilfe für Planung und Ausführung von der Technischen Arbeitsgruppe Kunststoff- und Kautschukbahnen für Dach- und Bauwerksabdichtungen e.V. (TAKK) Darmstadt herausgegeben. Bei Nahtverbindungen wird lediglich ein Überblick gegeben über die möglichen Fügeverfahren und die zusätzlichen Maßnahmen bei Baustellenfertigung und bei der Vorfertigung in Abhängigkeit vom Werkstoff der Bahnen.

"Verlegeanleitungen für Kunststoffbahnen der Bahnenhersteller (bzw. die auch als Arbeitsanleitungen benannten Unterlagen) wurden in den neuesten Fassungen miteinander verglichen. Hierbei sind nur Unterlagen einiger Bahnenhersteller berücksichtigt worden, insbesondere die Lieferanten der Kunststoffbahnen, die im Forschungsauftrag verwendet werden.

Im einzelnen handelt es sich um Unterlagen folgender Bahnenhersteller:

Alkor GmbH., München
Braas & Co. GmbH., Frankfurt
DLW Aktiengesellschaft, Bietigheim-Bissingen
Dynamit Nobel AG, Troisdorf
Sarna Kunststoff GmbH., Sarnen/Schweiz

In diesen Unterlagen ist deutlich beim Vergleich mit den älteren Ausgaben festzustellen, daß der Fügetechnik größere Bedeutung beigemessen wird. Das zeigt sich in einer ausführlicheren Behandlung, der notwendigen Illustrierung und insbesondere in der Beschreibung von möglichen Fehlern beim Fügen und deren Vermeidung. Im letztgenannten Punkt sollten allerdings alle Schwierigkeiten des einzelnen Fügeverfahrens noch deutlicher herausgestellt werden und nicht im Text untergehen. Hierzu werden Vorschläge im Abschnitt 6 gemacht. Auffallend ist bei den meisten Anleitungen, daß die Warmgashandschweißung im Gegensatz zur Quellschweißung noch recht dürftig beschrieben wird. Auch wenn aus dem Text z.B. hervorgeht, daß die Quellschweißung bei dem Material zu bevorzugen ist, sollte die Warmgashandschweißung ebenso vollständig beschrieben sein, da man auf keiner Baustelle in den schwierigen Anschlüssen auf die Mitanwendung der Warmgashandschweißung verzichten kann.

6. Herstellung der Nahtverbindungen am Versuchsmaterial

6.1 Lieferung der Bahnen

Die auf Blatt 9 in Tabelle 1 genannten 6 Kunststoffbahnen wurden im Juli 1978 von zwei Bahnenherstellern dem Prüfamt zur Verfügung gestellt. Sie stammen angabengemäß aus der Produktion Frühjahr 1978.

- 2 Bahnen aus PVC weich, bitumenbeständig, Dicke 0,8 und 2,0 mm lieferte die Firma Alkor GmbH., München.
- 2 Bahnen aus PVC weich, nicht bitumenbeständig, Dicke 0,85 und 2,0 mm sowie
- 2 Bahnen aus PIB-Material, Dicke 1,5 und 2,0 mm lieferte die Firma Braas & Co. GmbH., Frankfurt.

Eine PIB-Bahn von 1,0 mm Dicke, die mit den PVC weich-Bahnen besser vergleichbar wäre, war nicht lieferbar. Sie besitzt bei PIB-Material bei dieser Dicke nach Werksangaben auch ein sehr begrenztes Einsatzgebiet.

Alle 6 Bahnen wurden in einer Breite von 1,0 m und etwa 5 m Länge angeliefert. Im Abschnitt 7 sind Eigenschaften der Bahnen im Anlieferungszustand aufgeführt.

6.2 Schweißen der Bahnen

Nach längerem Studium der verschiedenen Arbeitsanleitungen der Herstellerwerke und der Versuchsschweißungen wurden im Beisein eines Lehrverlegers und Anwendungstechnikers der Firma Braas von einem Laboranten des Prüfamtes die Bahnen einwandfrei im Quellschweiß- und Warmgasverfahren gefügt. Da das Schweißen nach beiden Verfahren eine gewisse Geschicklichkeit und Kenntnisse über das Schweißverhalten des Materials voraussetzt, wurde allerdings ein großer Teil der Nähte von dem Firmen-Lehrverleger gefügt, um die für die Versuche notwendige Gleichmäßigkeit der Fügungen zu erreichen.

Vom Lehrverleger wurden die Nahtverbindungen für die Versuche Nr. 2 bis Nr. 5, Nr. 11 bis Nr. 14 und Nr. 16 sowie für die Versuche Nr. 21 und Nr. 24 (siehe Arbeitspläne Tabelle 2 und 3) hergestellt. Alle übrigen Fügungen erfolgten durch den geschulten Laboranten des Prüfamtes.

Soweit bei den einzelnen Versuchen nicht anderes angegeben wurde, erfolgten die Quellverschweißungen sowie auch die Warmgasschweißungen bei Normalklima DIN 50014-23/50-2. Bei gleichem Klima lagerten die Probe 48 h vor dem Fügen und danach bis zur Prüfung.

6.2.1 Quellschweißen

Als Quellschweißmittel wurde aus Original-Gebinden des Bahnenherstellers für die 4 PVC weich-Bahnen Tetrahydrofuran THF) verwendet, für die 2 PIB-Bahnen ein spezielles Testbenzin.

Mit dem hierzu üblichen vulkanisierten Flachpinsel (40 x 5 mm) wurde bei den PVC-Bahnen das Quellschweißmittel mit einer relativ großen Menge (im Überschuß) aufgetragen. Der eingetauchte und am Dosenrand nur leicht abgestreifte Pinsel wurde in der gewünschten Tiefe (50 bis 15 mm) zwischen die überlappten Bahnen gesteckt und kreisend bewegt. Hierbei wurde die obere Bahn mit leichtem Druck auf und hinter dem Pinsel niedergedrückt. Dadurch wurde auch die obere Bahn voll benetzt und Lufteinschlüsse in der Schweißnaht vermieden. Der Schweißvorgang mußte rasch und praktisch ansatzlos durchgeführt werden. Eine Pinselfüllung reichte allgemein nur für 30 bis 35 cm Nahtlänge. Eine kurzzeitige Beschwerung der Naht erfolgte, wie in den meisten Anleitungen aufgeführt, durch einen nachgezogenen, sandgefüllten PE-Schlauch von ca. 50 x 15 cm Größe. Überschüssiges Quellschweißmittel wurde mit Hand beim ersten Andrücken der Naht über einen Leinenlappen aufgenommen.

Eine gewichtsmäßige Erfassung der, wie vorstehend erwähnt, reichlich aufgetragenen Quellschweißmittelmenge wurde nach einigen Vorversuchen wegen der von der Praxis abweichenden Kürze der nur 100 cm langen Nahtstücke aufgegeben. Bei besonders knappem Auftrag des Quellschweißmittels war eine ungleichmäßige, weitgehend ungenügende Schweißung erhalten worden. Als Erfahrungswert der Industrie /5/ wird bei PVC weich-Bahnen ein THF-Verbrauch von allgemein 15 bis 20 g/m bzw. ca. 30 g/m angegeben, wobei allerdings schätzungsweise nur 10 bis 12 g/m zwischen den Nahtflächen zum Anlösen benötigt wird.

Bei den PIB-Bahnen reichte ein kurzes Überziehen mit leichtem Einreiben des lösungsmittelgetränkten Pinsels wie bei PVC weich-Material nicht aus. Hier mußte erheblich länger an den Nahtflächen gestrichen werden, bis ein gewisser Klebeeffekt festzustellen war. Erst danach wurde die Naht mit einer Silikongummirolle (Ø 30 mm und 45 mm Breite) angedrückt. Bei PIB-Material ist der Lösungsmittelverbrauch mit 30 bis 40 g/m etwa doppelt so hoch wie beim PVC weich.

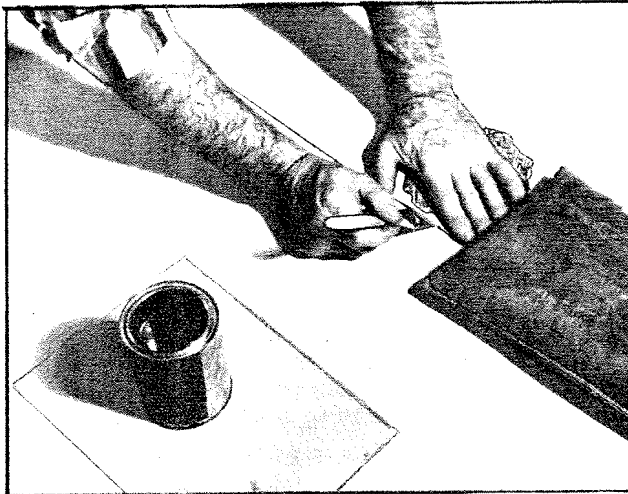


Bild 1

Quellschweißvorgang
(Pinsel, Lappen, Dose zum
Eintauchen und Sandsack)

(unten)
kontinuierliches Schweißen
mit Schweißflasche und Hand-
schweißgerät

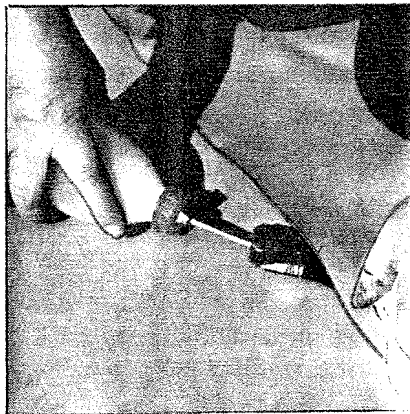


Bild 2

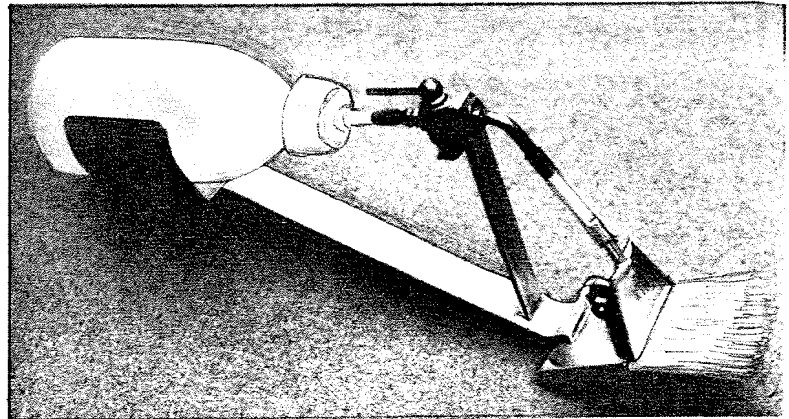


Bild 3 (HVA 1977 Dynamit Nobel)

Schweißgeschwindigkeit

Bei jeweils 2 Stücken von 1 m Länge wurde folgende mittlere
Quellschweiß-Geschwindigkeit (Auftrag und Andrücken) ermittelt:

Tabelle 6

Probe A (PVC 0,85):	16 sec/m	entspr. 3,7 m/min
Probe B (PVC 2,0):	22 sec/m	entspr. 2,7 m/min
Probe C (PVC bitb. 0,8):	15 sec/m	entspr. 4,0 m/min
Probe D (PVC bitb. 2,0):	24 sec/m	entspr. 2,5 m/min
Probe E (PIB 1,5):	94 sec/m	entspr. 0,65 m/min
Probe F (PIB 2,0):	105 sec/m	entspr. 0,55 m/min

Anpreßdruck

Der mittlere Anpreßdruck auf die Naht beim PVC weich-Material
(mit dem Lappen in der Hand) lag bei 40 - 50 N.

Beim PIB-Material wurde beim Zusammendrücken der Naht mit der Silikonrolle bei einem relativ langsamen 2-maligen Abrollen ein Druck von etwa 60 N ausgeübt.

Bei der Variante - Versuch Nr. 4 mit "geringem Anpreßdruck" wurde beim PVC weich-Material (Probe B) der sandgefüllte PE-Schlauch nicht verwendet und außerdem der Anpreßdruck mit Hand um etwa 50 % ermäßigt auf ca. 20 bis 25 N.

Beim PIB-Material (Probe F) wurde beim Versuch Nr. 4 der Anpreßdruck um ca. 50 % ermäßigt auf ca. 30 N (statt 60 N).

Aufgrund der Erfahrungen bei der Probenherstellung im Quellschweißverfahren und der verschiedenen Vorversuche mit geringem Quellschweißmittelauftrag, geringer Geschwindigkeit, längerer Ablüftzeit und dergleichen sowie der geführten Gespräche in der Praxis ist folgendes zu empfehlen:

Die Arbeitsanleitungen müssen u.a. eingehend auf folgende Punkte hinweisen:

- zügige Arbeitsweise, reichlichen Quellschweißmittelauftrag,
- Aufnehmen des überschüssigen Lösungsmittels, da es sonst Schaden an der Bahn und evtl. am darunterliegenden Wärmedämm-Material anrichten kann;
- auf Wärmedämmplatten deshalb größere Überlappungsbreite
- unzulässiger mehrfacher Lösungsmittelauftrag (nur bei PVC-Material), z.B. nach Aufreißen frischer Nähte und einem sofortigen Nacharbeiten (Arbeitsunterbrechungen); völliges Ablüften oder Warmgashandschweißen wäre zur Erzielung einer einwandfreien Nahtverbindung erforderlich.
- Vorteil der Quellschweißung mit Schweißflasche oder leichtem Gerät, das ein kontinuierliches Arbeiten erlaubt sowie Schweißfehler vermeiden hilft (durch Absetzen, Ermüdung des Personals, Gefahr von Verschüttung von Lösungsmittel und Tropfspuren).
- gute Verschweißung wird bei PIB angezeigt durch eine beim Andrücken an der Nahtkante ausgetretene Raupe plastifizierten Materials.

- bei PIB-Bahnen längeres Einreiben des Lösungsmittels bis zum Anlösen
- allgemeine Arbeitsgeschwindigkeit mit Hinweis auf Ruhepausen.

6.2.2 Warmgasschweißen von Hand

Hierzu wurden zwei Heißluftgeräte (vom Prüfamt und vom Bahnenhersteller), Type Leister "Ghibli" verwendet, die in der Funktionsweise aufeinander abgestimmt wurden. Die an den Geräten vor der Düse gemessene Heißlufttemperatur lag bei ca. 300° C (5 mm Abstand) bzw. 230° C (10 mm Abstand). Die überdeckende Bahn wurde zuerst punktweise mit Heißluft geheftet, dann wurde die Heißluft in die taschenartig gebildete Überlappung in 45°-Richtung zur Nahtkante eingeblasen. Die 40 mm breite Düse des Gerätes wurde in leichter Pendelbewegung im Materialabstand von etwa 5 mm bei geringem Touchieren der Bahnkante geführt. Die plastifizierten Nahtflächen wurden über die Silikongummirolle von der anderen Hand des Verarbeiters angerollt. Das gleichmäßige und schnell folgende schräge Anrollen erfordert Kraft und einige Geschicklichkeit des Verarbeiters. Bei den dünnen Bahnen (0,8 mm) war Vorsicht geboten, da das Material sehr rasch plastifiziert war und sich bei längerer Erhitzung schnell verformte und unter Rauchentwicklung verkokte.

Schweißgeschwindigkeit

Die nachfolgend beim Warmgasschweißen von Hand gemessenen mittleren Geschwindigkeiten sind vom Lehrverleger als normal bezeichnet worden.

Tabelle 7

Probe A (PVC 0,85):	68 sec/m	entspr. 0,9 m/min
Probe B (PVC 2,0):	87 sec/m	entspr. 0,7 m/min
Probe C (PVC bitb. 0,8):	59 sec/m	entspr. 1,0 m/min
Probe D (PVC bitb. 2,0):	117 sec/m	entspr. 0,5 m/min

Bei der Variante Schweißung mit "hoher Geschwindigkeit" - Versuch Nr. 12 wurde mit einer deutlich höheren gleichmäßigen Geschwindigkeit durch den Lehrverleger gefügt. Vorausgesetzt wurde, daß bei dieser an der oberen Grenze liegenden Geschwindigkeit die Fügung noch einwandfrei gelingen kann.

Es wurde i.M. mit folgender "hoher Geschwindigkeit" geschweißt:

Tabelle 8

Probe	Geschwind.	Geschwindigkeit in m/min		Geschwindigkeits- erhöhung um
	"schnell"	"schnell"	"normal"	
Probe A (PVC 0,85):	37 sec/m	1,6	0,9	84 %
Probe B (PVC 2,0):	60 sec/m	1,0	0,7	45 %
Probe C (PBV bitb. 0,8):	42 sec/m	1,4	1,0	40 %
Probe D (PVC bitb. 2,0):	48 sec/m	1,3	0,5	260 %

Der Werkstoff von Probe D ließ einen extrem weiten Spielraum für die Schweißgeschwindigkeit zu! Beim Warmgasschweißen in normaler und hoher Geschwindigkeit war bei allen 4 PVC weich-Bahnen an der Nahtkante kein plastifiziertes Material ausgetreten. Bei einzelnen PVC-Bahnen und z.B. bei ECB soll das eine gute Verschweißung anzeigen.

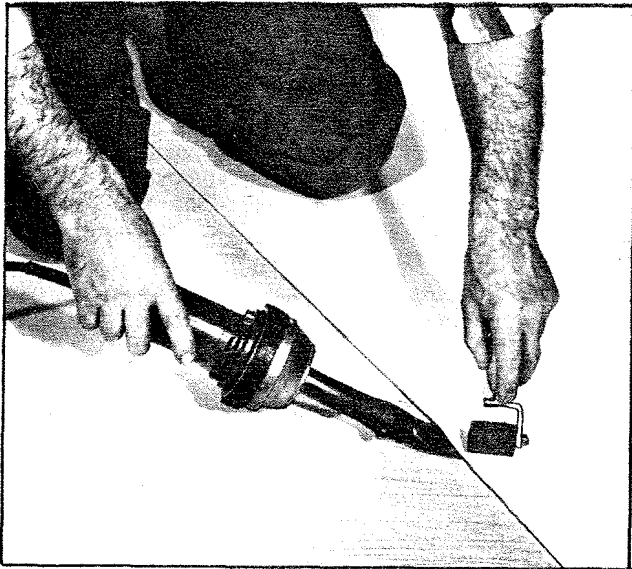


Bild 4

Warmgasschweißen mit dem Handgerät,
45 ° Neigung der Düse zur Nahtkante
und nachfolgend schräges Abwalzen
mit der Silikongummi-Rolle

Anpreßdruck

Der mittlere Anpreßdruck beim Warmgasschweißen wurde beim schnellen schrägen Anrollen mit der Silikongummirolle mit etwa 20 N bei den dünnen Bahnen und etwa 25 N bei den 2 mm-Bahnen festgestellt.

Bei der Variante - Versuch Nr. 14 mit "geringem Anpreßdruck" wurde bei der 2 mm dicken PVC weich-Bahn (Probe B) der Anpreßdruck um etwa 40 % auf ca. 15 N ermäßigt.

Verschmutzung

In allen Arbeitsanleitungen und im Entwurf DIN 18195 Teil 3 wird bei der Herstellung von Bahnenverbindungen gefordert, daß die Verbindungsflächen trocken und frei von Verunreinigungen sein müssen. Da besonders bei hellen Bahnen aber größere Staubmengen nicht bemerkt werden könnten, wurde zusätzlich der Schmutzeinfluß untersucht. Beim Quellschweißen werden feine Schmutzmengen sicher durch den reichlichen Quellschweißmittelauftrag weniger zu Beeinträchtigungen führen. Der Schmutzeinfluß wurde deshalb nur beim Warmgasschweißen ermittelt, da hier ein "angetrockneter" Schmutz als feste Beschichtung (Trennlage) wirken könnte.

Bei der Variante - Versuch Nr. 15 "Verschmutzung" wurden an den für die Scherversuche hergestellten Nähten, wie in Anlage 21 nochmals aufgeführt, die beiden Verbindungsflächen (Probe B) mit "feuchtem Schmutz" bestrichen. Er bestand aus aufgemahlenem Kalksteinmehl (ca. 95 % CaCO_3 -Anteil) der Körnung 0/0,09 mm. Die aufgetragene "Schmutzmenge" betrug im trockenen Zustand etwa 15 g/m². Weitere Angaben sind der Anlage 21 zu entnehmen.

Bei der Variante - Versuch Nr. 25 "Verschmutzung" wurde an den für die Schälprüfung hergestellten Nähten (Probe B) in gleicher Weise vorgegangen wie in den Anlage 21 und 33 beschrieben ist. Als Schmutz ist hier nicht Kalksteinmehl, sondern Gesteinsmehl aus Kiesbrechsand 0/0,09 mm verwendet worden.

Durch die Erfahrungen bei der Probenherstellung mit Warmgasschweißen von Hand (zahlreiche Vorversuche mit zu geringer oder zu hoher Heißlufttemperatur vor der Düse des Gerätes unterschiedlicher oder ungleichmäßiger Geschwindigkeiten bzw. Anpreßdrücken oder Vorbehandlungen) und Gesprächen mit Vertretern der Bahnenhersteller ist folgendes für die Praxisanwendung

zu empfehlen: Das Verlegepersonal sollte noch eingehender geschult werden und die Arbeitsunterlagen sind durch aussagekräftige Illustrationen und Beschreibungen zu erweitern. Hierbei ist beim Warmgasschweißen von Hand auf folgende, meist unerwähnte Regeln hinzuweisen:

- Neben der Beseitigung von allgemeiner Verschmutzung, wie z.B. auch von Bitumen- und Klebestoffresten, ist es bei einigen Bahnen erforderlich, auf der Bahnoberfläche verbliebene sogenannte Fertigungshilfsmittel der Bahnenherstellung (Gleitmittel, Pulver o.ä.) unmittelbar vor dem Schweißvorgang aus den Nahtflächen mit speziellen Reinigern zu entfernen. Angaben über die eventuell notwendige Anwendung und Ablüftungszeit der Reiniger sind zu machen. Wasser sollte ausdrücklich untersagt werden.
- Vorwärmzeit des Gerätes und eventuelle Angaben über die Düsenwahl und laufende Reinigung sind anzugeben.
- Es ist auf Stromspannungsschwankungen hinzuweisen. Sie machen häufig die Verwendung eigener Stromaggregate erforderlich.
- Schweißtemperaturen sind dem Material entsprechend zu wählen; es fehlen aber meist die Angaben vom Hersteller.
- Anzugeben ist, ob bei dünneren Bahnen (ab welcher Dicke) ein anderes Fügeverfahren erforderlich wird oder eine niedrigere Temperatur an der Düse bzw. schnellere Schweißung. Allgemeine Angaben genügen nicht. Das gleiche gilt für Fügungen bei extremen Klimaverhältnissen!
- Angaben über das leichte Schräghalten der Düse, die auch dadurch gebildete "Tasche", die ein nutzloses Durchblasen der Heißluft verhindert, sind möglichst durch Abbildungen darzustellen. Bei einigen Produkten wird neben dem punkweisen Anheften eine Taschenbildung über einen Heftvorgang vorgeschrieben.

- Anpreßweise, -Druck und Hilfsgerät (Rolle) müssen genannt werden. Bei PVC weich-Bahnen anderer Hersteller wird statt starkem Anpreßdruck nur leichter Druck gefordert.
- Bahnen, die einen höheren Anpreßdruck benötigen, sind u.U. nicht auf weichen Unterlagen (z.B. Schaumkunststoffe, Schutzlagen) zu verlegen.
- Das Austreten von plastifiziertem Material an der Nahtkante ist bei einigen PVC-Bahnen als Zeichen guter Nahtverbindung erwünscht, bei anderen wäre es wohl bereits ein Zeichen von zu starker Erhitzung. Es sind deshalb sichtbare Zeichen für eine gute Schweißung anzugeben, z.B. Rauchentwicklung während des Schweißvorgangs, Oberflächenglanz, Schweißbraupe (Angabe eines Herstellers /6/).
- Das zu bevorzugende Schweißverfahren bei der Auswahl der beiden Handschweißverfahren sollte benannt werden. Aus den verschiedenen Schwierigkeiten und der ermüdenden Warmgashandschweißung, die eine besondere Geschicklichkeit voraussetzt, läßt es ein Hersteller /7/ für sein PVC weich-Produkt geraten erscheinen, "eine Warmgashandschweißung auf Teilbereiche, wie z.B. Nacharbeiten von Quellschweißverbindungen, Einbau von Eckformstücken und Schweißungen mit gleichzeitiger Materialverformung, zu beschränken".
- Bei tiefen Temperaturen sollte das Material zur besseren Geschmeidigkeit (Handschweißgeräte oder besonderes Gerät) vorgewärmt werden. Auch beim Quellschweißen ist bei tiefer Verlegetemperatur und/oder an schwierigen Anschlüssen eine besonders sichere Nahtverbindung durch Vorbehandeln der Nahtflächen sehr empfehlenswert.
- Auf die auch bei eigenen Vorversuchen festgestellte besonders vorteilhafte Vorbehandlung der Nahtflächen durch Quellschweißmittel (Ablüftungszeit 0,5 bis 3 Minuten) und durch nachträgliches Warmgasschweißen wäre für spezielle Einsätze ebenfalls hinzuweisen.

7. Prüfungen

7.1 Bahnen ohne Nahtverbindungen

Allgemeine Beschaffenheit

Die zur Prüfung verwendeten 6 Kunststoff-Dichtungsbahnen waren bei der Anlieferung von homogener Beschaffenheit und frei von Blasen oder Rissen. Sie wurden als Rollen in 1 m Breite und ca. 5 m Länge angeliefert. Besonderheiten waren am Material nicht feststellbar.

Die PVC weich-Bahnen der Proben A und B besaßen eine mittelgraue Färbung und waren an der Oberseite matt, an der Unterseite leicht glänzend.

Die PVC weich-Bahnen der Proben C und D waren schwarz, wie es für bitumenbeständiges Material vorgeschrieben ist. An der Oberseite waren sie leicht, an der Unterseite stärker glänzend.

Die PIB-Bahnen waren wie üblich mattschwarz. Sie besaßen in der Rolle ein lose eingelegtes Seidenpapier als Trennlage.

Dicke und Flächengewicht

Die Dicke wurde bei den einzelnen Zugversuchen an über 800 Probestreifen und das Flächengewicht jeweils an einem 1 Quadratmeter-großen Stück bestimmt.

Tabelle 9: Bahnendicke und -Flächengewicht

Probe	Bahnendicke mm		Flächengewicht kg/m ²
	Einzelwerte	Mittelwerte	
A: PVC weich 0,85	0,82 bis 0,36	0,84	1,115
B. PVC weich 2,0	1,92 bis 2,13	2,02	2,585
C PVC weich bitb. 0,80	0,73 bis 0,78	0,76	1,000
D PVC weich bitb. 2,0	1,84 bis 1,98	1,92	2,500
E PIB 1,5	1,46 bis 1,57	1,52	2,370
F PIB 2,0	1,95 bis 2,12	2,03	3,250

Die Bahnen entsprechen hinsichtlich der Dicke den Anforderungen für Nenndicke 0,85/0,80/1,5/2,0 mm den Normen (DIN 16938, DIN 16937, DIN 16935).

Reißfestigkeit und Reißdehnung

Die Prüfungen wurden bei allen 6 Bahnen einheitlich nach DIN 53455 unter Verwendung des Prüfkörpers Normstab Nr. 5 (15 mm Breite und 120 mm freie Einspannlänge) durchgeführt. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 200 mm/min.

Bei Vorversuchen zeigte es sich, daß auch das PIB-Material (unter Verwendung von Beilagstreifen des gleichen Materials an den Einspannklemmen) mit diesem rechteckigen Probestreifen einwandfrei prüfbar ist. Es war deshalb nicht notwendig, den geschweiften Probekörper zu verwenden, der für PIB-Bahnen nach DIN 16935 vorgeschrieben ist. Die einheitliche Probekörperform hat die Durchführung der Zugscher- und Schälnahtprüfung erheblich vereinfacht.

Die Prüfungsergebnisse von Reißfestigkeit und Reißdehnung der 6 Bahnen ist den Anlagen 1 bis 3 zu entnehmen.

Tabelle 10: Vergleich der Sollwerte mit den ermittelten Grenzwerten der Bahnen (Probe A - F)

Probe	Reißfestigkeit in N/mm ² in beiden Richtungen	Reißdehnung in % in beiden Richtungen	Sollwerte für beide Richtungen
A und B PVC weich	15,5 - 17,8 (14,9 bei B quer)	250 - 290	DIN 16938 mind. 15 N/mm ² mind. 200 %
C und D PVC weich bitb.	18,8 - 21,8	290 - 315	DIN 16937 mind. 15 N/mm ² mind. 100 %
E und F PIB	3,2 - 3,6	595 - 690	DIN 16935 mind. 3 N/mm ² mind. 350 %

Die Bahnen entsprechen somit in dieser Hinsicht den Anforderungen der Normen, wenn man bei dem etwas geringen Reißfestigkeitswert der Probe in Querrichtung einen Prüffehler berücksichtigt sowie die Prüfung der PIB-Bahnen hier mit anderer Prüfkörpergröße unberücksichtigt läßt.

Um einen Einfluß des Feuchtigkeitsanteiles in den Proben im Vergleich zu den nach Wasserlagerung bzw. bei Feuchtklima gefertigten Proben auswerten zu können, wurden die 2 mm dicken Proben B, D und F zusätzlich in der Längsrichtung nach einer Lagerung von 7 Tagen bei Feuchtklima 23/95 auf Reißfestigkeit und Reißdehnung untersucht. Die im unteren Teil der Anlagen 1 bis 3 angeführten Prüfergebnisse zeigen hinsichtlich Probekörperdicke bei allen Proben eine geringe Quellung und sonst unbedeutende Änderungen der Ergebnisse. Eine Ausnahme macht mit einer größeren Abnahme der Dehnung (65 % absolut) das PIB-Material, das auch mit ca. 5 % eine erheblich größere Quellung zeigte.

Gewichtsänderung der Bahnen bei 40 °C Wasserlagerung

Die Prüfungen wurden in Anlehnung an DIN 53495 /A/ durchgeführt. Die Lagerung der Proben erfolgte in vollentsalztem Wasser bei 40 ± 2 °C. Die Gewichtsänderung der Probestücke wurde auf das Gewicht im Trockenzustand bezogen, das nach 24-stündiger Lagerung im Wärmeschrank bei 50 ± 2 °C bestimmt wurde. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde nur der zeitliche Verlauf (bis zu 3 Monaten) der Gewichtsänderung der Probestücke in g bzw. wie der Tabelle 11 zu entnehmen ist, in Gew.% ermittelt. Die Gewichtsänderung bei 40 °C-Wasserlagerung erfaßt die Wasseraufnahme und die an das Wasser abgegebenen Bestandteile der verschiedenen Probestücke. Die Wasserlagerung erfolgte für die 3 verschiedenen Kunststoff-Bahnen in getrennten Wasserbädern.

Tabelle 11: Gewichtsänderung der Bahnen bei 40 °C-Wasserlagerung durch Wasseraufnahme und an das Wasser abgegebene Bestandteile
(Mittelwerte aus je 2 Probestücken von 100 cm² Größe)

Probe Lagerungs- dauer	Gewichtsänderung in Gew. % (bezogen auf das Trockengewicht n. 24 h/50 °C)					
	A PVC w. 0,85	B PVC w. 2,0	C PVC w. bitb. 0,8	D PVC w. 2,0	E PIB 1,5	F PIB 2,0
8 d K1.23/50	0,03	0,04	0,11	0,12	0,02	0,02
Wasserlagerung bei 40 °C 24 h	0,29	0,37	0,82	0,51	0,04	0,01
48 h	0,46	0,53	0,91	0,53	0,05	0,02
3 d	0,51	0,62	0,93	0,55	0,08	0,04
5 d	0,53	0,82	0,95	0,57	0,19	0,14
7 d	0,76	1,02	0,71	0,50	0,26	0,18
11 d	0,93	1,40	0,34	0,40	0,37	0,26
18 d	0,88	1,58	0,03	0,06	0,23	0,22
25 d	0,94	1,81	-0,17	0,03	0,20	0,15
33 d	1,00	2,06	-0,44	-0,20	0,19	0,14
3 Monate	0,60	1,20	-3,53	-1,47	-0,02	0,05

7.2 Prüfung von Nähten über Scherversuche

7.2.1 Herstellung der Probekörper

Die Bahnenverbindungen wurden, wie im Schnitt 6.2 beschrieben, in den beiden Schweißverfahren so hergestellt, daß die Breite der Bahnenüberdeckung auch möglichst die Schweißbreite der Naht darstellt. Zur Prüfung wurden die Probekörper in der Größe des Normstabes Nr. 5 nach DIN 53455 (15 mm breit, 170 mm lang) mit einem Stanzgerät so aus den Nahtproben herausgestanzt, daß die Nahtüberdeckung jeweils in der Probekörpermitte lag. Es wurden für jede Prüfung aus dem allgemein 1 Meter langen Nahtstück, etwa gleichmäßig über die Breite verteilt, jeweils 5 bis 6 (in Ausnahmefällen nur 4) Probestreifen ausgestanzt. Dieses Ausstanzen erfolgte an den klimatisierten Nahtstücken etwa 48 Stunden nach dem Fügen kurz vor dem Zugversuch. Die bei den meisten Versuchen nochmals nach 4 Monaten geprüften Probestreifen wurden jeweils zwischen den für die 48-Stundenprüfung ausgestanzten Streifen entnommen. Dadurch sind die Mittelwerte der Probestreifenprüfung repräsentativ für die Gesamtnaht und die Ergebnisse vergleichbar.

7.2.2 Durchführung des Versuches

Die Prüfung der gefügten Streifen erfolgte gemäß den ungefügten Proben im Zugversuch nach DIN 53455 mit einer Prüfungsgeschwindigkeit von 200 mm/min. Für verschiedene Vergleiche, insbesondere zwischen den quellverschweißten und den warmgasverschweißten Streifen, wurde neben der Reißkraft ebenfalls die Reißdehnung festgestellt. Als Meßbereich wurde der Abstand zwischen den Klemmbacken gewählt.

Kurz vor der Scherprüfung wurde neben der Bahndicke auch die tatsächlich erreichte Schweißnahtbreite des Streifens gemessen. Die Werte sind in den Ergebnistabellen der Anlagen 5 bis 12 und

der Anlagen 16 bis 23 vermerkt. Bei den 50 mm breiten Nahtüberdeckungen waren trotz der besonderen Sorgfalt beim Quellschweißen Schweißnahtbreiten von minimal 31 bzw. 36 mm gefunden worden. Bei der Warmgasschweißung waren Fügebreiten von 50 mm eher einzuhalten als beim Quellschweißen. Die geringen Abweichungen von bis zu 4 mm zwischen den Schweißnahtbreiten und den Überdeckungsbreiten bei den 30 mm- und 15 mm-Nähten ist nicht auf Schweißfehler, sondern auf die in der Praxis unvermeidbare ungenaue Ausrichtung der Nähte beim Schweißen (Verschiebungen des Nahtrandes) zurückzuführen.

7.2.3 Rißbilder von Scherversuchs-Streifen

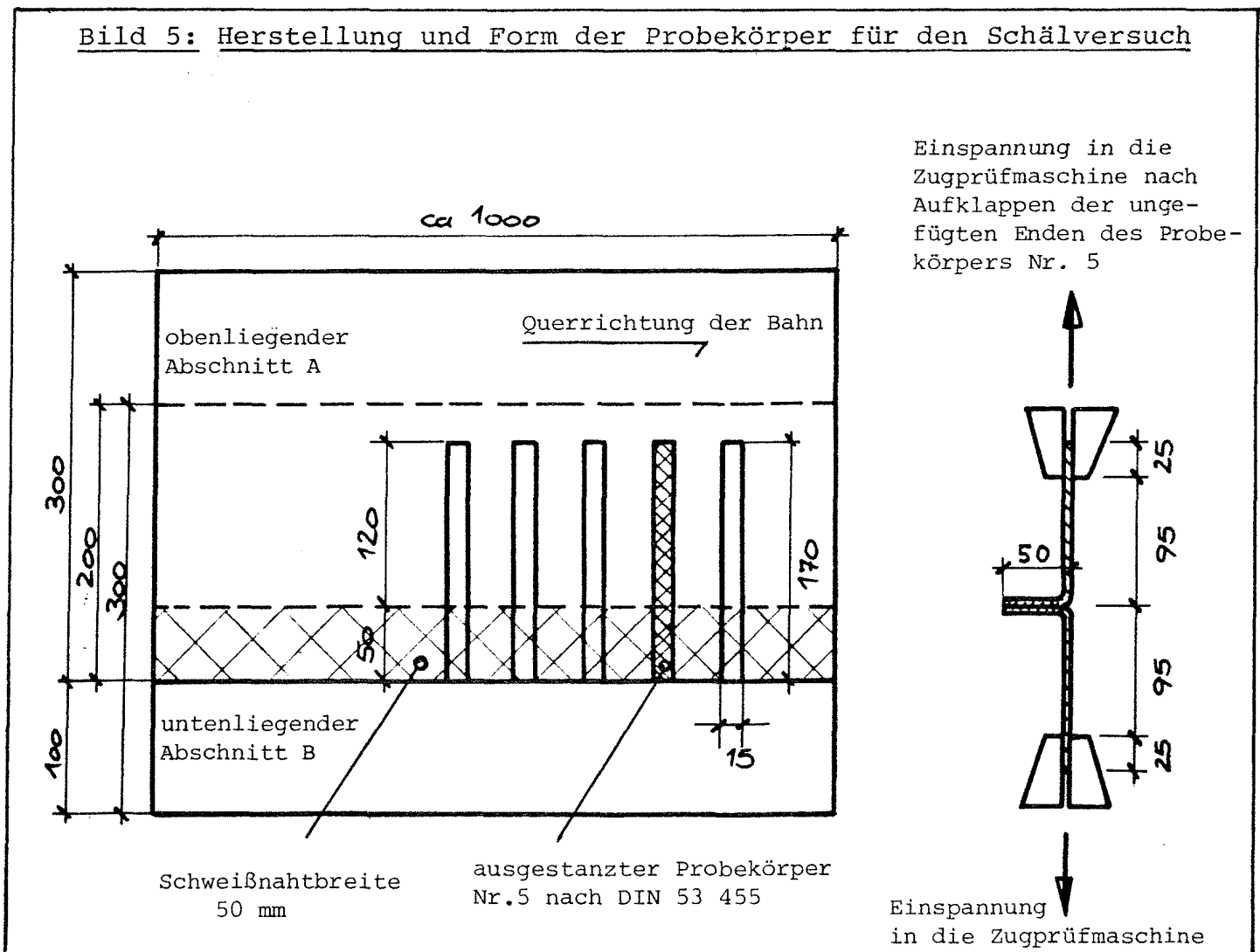
Als einen wichtigen Beurteilungsmaßstab für die Qualität der Nahtverbindung wurde die Lage des Risses (Bruchstelle) angesehen. Wie bereits erwähnt, wird bei allen bereits in Normen und Richtlinien eingeführten Scherversuchen gefordert, daß der Abriß außerhalb der Fügenaht liegt. Bei der hier behandelten Arbeit wurde die Rißlage nach jeder Streifenprüfung, auch durch Beobachtung schon während der Dehnung, differenziert festgehalten. Bei Vorversuchen war erkannt worden, daß sich das Bahnenende oder beide Kanten bei mangelhaften Schweißungen am gezogenen Streifen vor dem eigentlichen Bruch ablösen, d.h. aufgezo-gen werden. Dann tritt häufig der Bruch nach dem Ablösen innerhalb des Fügebereiches auf. Die möglichen Rißlagen wurden in 7 Fälle eingeteilt, die mit Kurzzeichen versehen, als Rißbilder von Zugscherversuchen in Anlage 4 abgebildet sind. In den Anlagen mit den Ergebnissen der Scherversuche ist jeweils unter Bemerkungen die Rißlage als Kurzzeichen und als Zahl die Stückzahl der entsprechend gerissenen Streifen aufgeführt.

7.3 Prüfung von Nähten über Schälversuche

7.3.1 Herstellung der Probekörper

Bei der Herstellung der Bahnenverbindung im Quellschweißen und Warmgasschweißen mit Hand wurden zum Schälversuch zwei in Längsrichtung geschnittene Bahnenabschnitte A und B von 300 mm Länge und etwa 1 m Breite verwendet. Die Streifen wurden, wie dem nachstehenden Bild 5 zu entnehmen ist, bei der Nahtüberdeckungsbreite von 200 mm so gefügt, daß eine mittlere Schweißnahtbreite von 50 mm bzw. für einige Vorversuche von 30 mm vorlag.

Bild 5: Herstellung und Form der Probekörper für den Schälversuch



Wie bei den Probekörpern für den Scherversuch wurden etwa 48 h nach dem Fügen für jeden Versuch 5 bis 6 Probekörpern Nr. 5 nach DIN 53455 gleichmäßig über die Nahtlänge verteilt ausgestanzt. Die Stanzvorrichtung des Gerätes wurde mit der Schmalseite an der Nahtkante angesetzt, wie auf Bild 5 ersichtlich ist.

7.3.2 Durchführung des Versuches

Die ungefügten Enden des gestanzten Probekörpers wurden aufgeklappt und in die Einspannklemmen der Prüfmaschine eingesetzt. Die dann in Mitte der Einspannlänge liegende Fügestelle wurde beim Zugversuch in Anlehnung an DIN 53455 mit 200 mm/min Prüfungsgeschwindigkeit auf Schalen beansprucht, d.h. die gefügten Flächen wurden bis zur vollständigen Trennung auseinandergezogen. Der Trennvorgang im Schälversuch wurde in einem Kraft-Weg-Diagramm registriert.

7.3.3 Schälkraftermittlung

Bei der Auswertung wurde die mittlere Trennkraft als Schälkraft der Probekörper aus dem Schälkraft-Weg-Diagramm festgestellt. Wegen der Dehnungseinflüsse des Probekörperstreifens zu Beginn der Beanspruchung, während des Schälens und der eventuellen Randeinflüsse am Anfang und Ende der Schälstrecke wurden nur etwa 60 %, vorwiegend in der 2. Hälfte des Schälweges, zur Ermittlung der mittleren Schälkraft des Probekörpers herangezogen. Nach der Schälkraftermittlung über verschiedene, meist sehr zeitaufwendige Methoden (u.a. in Anlehnung an DIN 53357 - 6/71 und Entwurf Dez. 1980) wurde die mittlere Schälkraft der Einzelkörper durch Anlegen und Auswerten von Mittellinien bestimmt. Zusätzlich wurden allerdings neben dem Mittelwert, teilweise je nach Kurvenverlauf, auch Höchstwerte und Tiefstwerte der Schälkraft registriert.

Diese einfache und im Rahmen des Forschungsauftrages u.E. genügend genaue Mittelwertbildung ist in den Anlagen 26/27/28/30/31/34 und 35 dargestellt. In diesen Anlagen sind wegen des besseren Überblickes nicht alle ausgewerteten Kurven aufgetragen worden.

Neben der mittleren Schälkraft der Probekörper in N wurde als mittlerer Schälwiderstand in N/mm der Quotient aus mittlerer Schälkraft und Probekörperbreite (15 mm) angegeben.

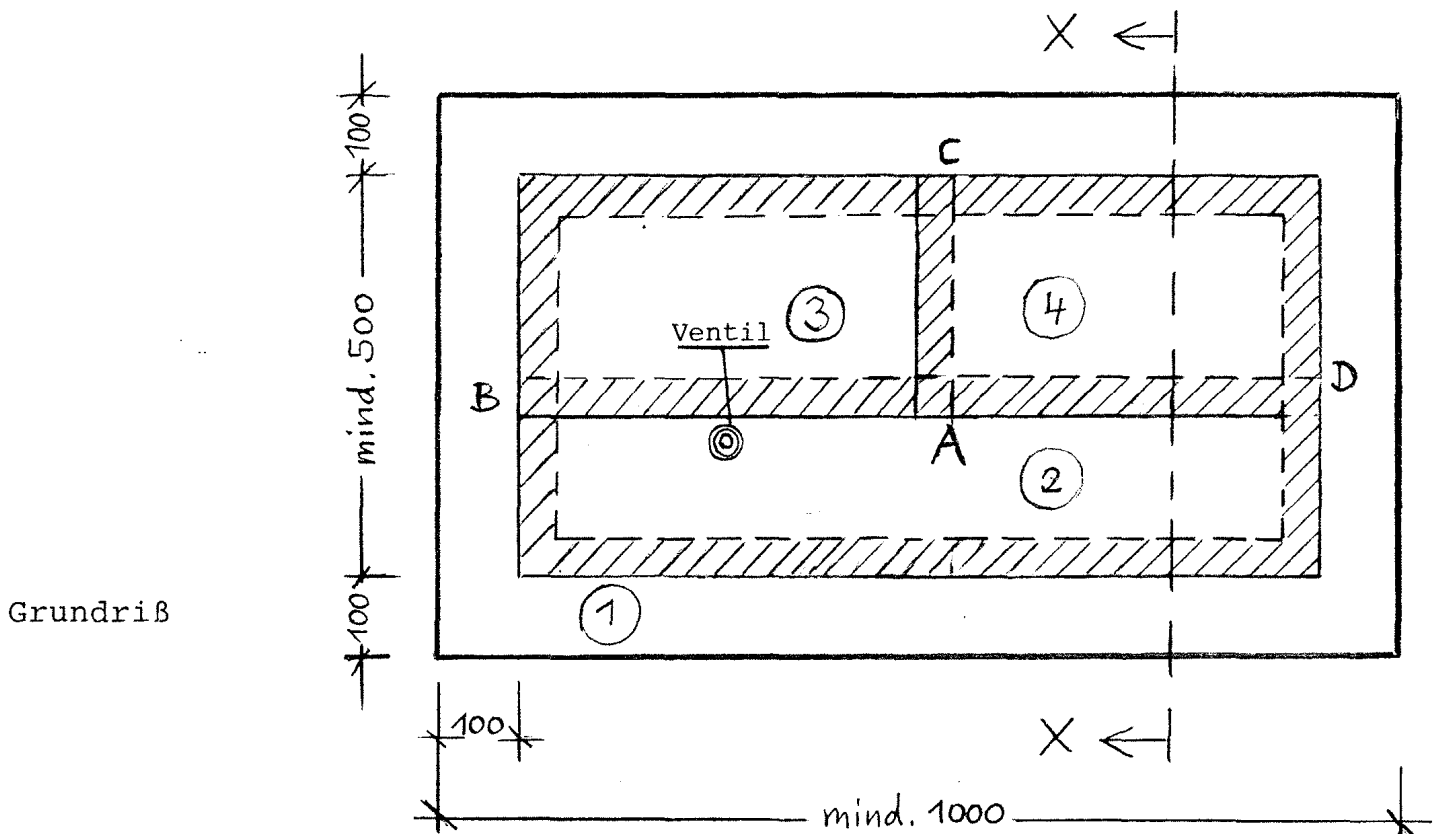
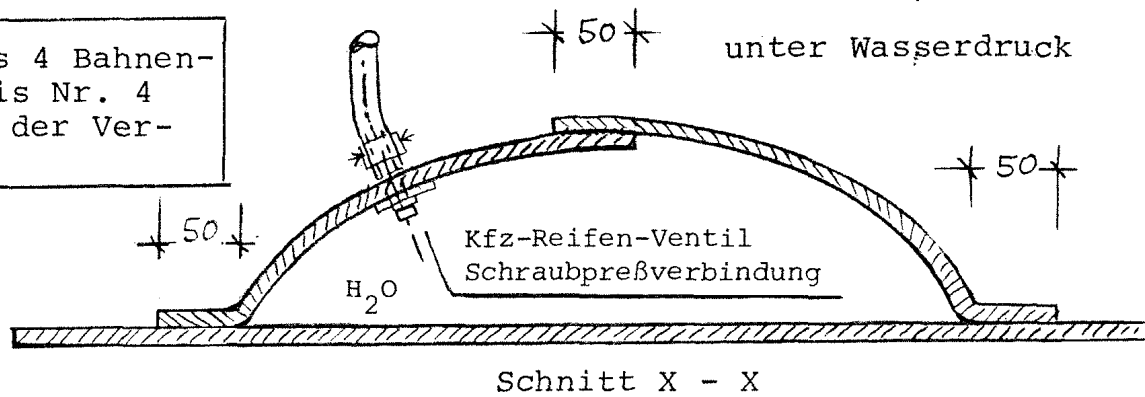
7.4 Prüfung der Wasserdichtigkeit von Nähten

Über Scherversuche oder über die Schälwiderstandprüfung an Fügenähten können keine Aussagen über die geforderte Wasserdichtigkeit von Nähten und Stößen bei Kunststoff-Dichtungsbahnen gemacht werden. Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde als Dichtigkeitsprüfung in Anlehnung an den in den Stoffnormen (s. Abschn. 5) beschriebenen "offenen Beuteltest" eine abgewandelte Prüfung mit einer "Bahnenblase" ("geschlossener Beutel") entworfen.

Die Bahnenblase wird über ein einschraubbares Kfz-Reifen-Ventil unter Wasserdruck gesetzt. Dadurch sind je nach Art, Dicke und Verwendungszweck der Bahn die Nahtverbindungen einer 3-dimensionalen Dauer-Beanspruchung mit unterschiedlicher Höhe des Wasserdruckes auszusetzen. Diese Beanspruchung der Kunststoff-Dichtungsbahnen liegt häufig im Erd- und Wasserbau vor /11/. In die Dichtigkeits- und Dehnungsprüfung der Nähte bei der Blasenverformung unter Wasserdruck werden am vorliegenden Probekörper auch vier T-Stöße einbezogen. Wie dem nachstehenden Bild 6 im Schnitt und Grundriß zu entnehmen ist, wird die Bahnenblase aus 4 Bahnenteilen unter den angegebenen Bedingungen gefügt.

Bild 6: Bahnenblase zur Prüfung der Bahnverbindungen
auf Wasserdichtigkeit

hergestellt aus 4 Bahnteilen Nr. 1 bis Nr. 4 in Reihenfolge der Verlegung



Ausbildung der 4 T-Stöße A bis D nach DIN 18195 Teil 3 und Arbeitsanweisung der Bahnenhersteller.

Überlappungsbreite 50 mm, Schweißnahtbreite je nach Schweißverfahren in der Mindestbreite nach DIN 18195 Teil 3.

Die Größe der als Prüfkörper empfohlenen Bahnenblase von mind. 800 x 300 mm auf einer Grundfläche von mind. 1000 x 500 mm soll die Herstellung von praxisnahen Fügungen in längeren Nähten auch durch andere, u.a. auch Automaten-Schweißverfahren mit der am Bau bei Anschlüssen notwendigen Kombination mit Handschweißverfahren gestatten. Die Maße der Bahnenblase sind außerdem so gewählt, daß nach der Dichtigkeitsprüfung aus dem Material Probekörper zur Bestimmung des Schälwiderstandes und/oder des Fügefaktors bei Scherversuchen in Längs- und Querrichtung der Bahn geschnitten werden können.

8. Auswertung und Diskussion der Fügenaht-Prüfungen

8.1 Scherversuche

8.1.1 Allgemeines

Die Prüfergebnisse aller Scherversuche, die ausnahmslos nur in Bahnenlängsrichtung durchgeführt wurden, sind in den Anlagen 37 und 39 gegenübergestellt eingetragen. Als Ergebnis wurden nicht die ebenfalls ermittelten Reißfestigkeitswerte in N/mm², sondern die Reißkraftwerte der Probekörper in N aufgeführt, da diese Werte anschaulicher erscheinen. Auch nach der Schweizer SIA 280-Norm /8/ werden zur Auswertung die mittleren Bruchlasten der gefügten Probekörper den Bruchlasten der unter gleichen Bedingungen geprüften ungefügten Probekörpern gegenübergestellt. Dieses Verhältnis, das auch Gütefaktor oder Fügefaktor genannt wird, wurde auch hier zur Auswertung gebildet:

$$\text{Fügefaktor} = F_{\text{ü}} = \frac{F_{\text{RN}}}{F_{\text{R}}} \cdot 100$$

wobei F_{RN} = mittlere Reißkraft mit Nahtfügung

F_{R} = mittlere Reißkraft ohne Nahtfügung

Der mit 100 multiplizierte Fügefaktor drückt in % die Bruchkraft der gefügten Probekörper in Bezug auf die der ungefügten Probekörper aus. In den Anlagen 37 bis 39 sind deshalb die Reißkraftwerte der ungefügten Probekörper (Versuch Nr. 1) mit dem Fügefaktor 100 versehen worden.

8.1.2 Einfluß der Schweißnahtbreite

Mit den 2 mm dicken Bahnen von PVC weich (Probe B) und der PIB-Bahn (Probe F) wurden beim Scherversuch vergleichbare Prüfungen mit 50 mm, 30 mm und 15 mm Überlappungsbreite (entspricht hier praktisch Schweißnahtbreite) durchgeführt. Wie aus den Ergebnistabellen der Anlagen 38 und 39 und dem nachfolgenden Auszug zu entnehmen ist, liegen die bei den 3 Breiten ermittelten Fügefaktoren (Versuch Nr. 2/3/5 bzw. Nr. 11/13/16) praktisch in gleicher Größenordnung, wenn auch bei 15 mm Breite eine leichte Erhöhung erkennbar wird.

Tabelle 12: Einfluß der Schweißnahtbreite (Fügebreite) auf den Fügefaktor

Fügebreite	Fügefaktor Fü %			Zeitpunkt der Prüfung und Fügeverfahren
	50 mm	30 mm	15 mm	
Probe B	67	66	67	48 h nach Quellschweißung
	72	72	79	4 Monate nach Quellschweißung
	72	73	75	48 h nach Warmgasschweißung
	71	71	-	4 Monate n. Warmgasschweißung
Probe F	74	74	78	48 h nach Quellschweißung
	67	71	75	4 Monate nach Quellschweißung
Reißdehnungswerte				
Probe B	212	216	247	48 h nach Quellschweißung
	191	199	221	4 Monate nach Quellschweißung
	185	187	190	48 h nach Warmgasschweißung
	185	196	-	4 Monate n. Warmgasschweißung
Probe F	329	425	469	48 h nach Quellschweißung
	343	435	472	4 Monate nach Quellschweißung

Wegen der gleichen Einspannlänge der Probekörper ist erwartungsgemäß mit abnehmender Fügebreite eine Zunahme der Reißdehnung ermittelt worden.

An der Probe B (PVC 2 mm) hat sich nach 4 Monaten am quellverschweißten Probekörper eine Erhöhung des Fügefaktors und damit verbunden eine Abnahme der Reißdehnung eingestellt. Das hängt mit einer Erhärtung des Fügebereiches (mit angrenzender Randzone) durch Verdunstung des als Lösungsmittel wirkenden Quellschweißmittels zusammen. Bei der Probe F (PIB 2 mm) zeigte sich allerdings nach 4 Monaten am quellverschweißten Probekörper die

umgekehrte Tendenz (Abnahme des Fügefaktors und Zunahme der Reißdehnung)! Das kann auf den anderen Werkstoff und/oder das andere Quellschweißmittel zurückzuführen sein.

Die bei Probe B durch Warmgasschweißung gefügten Probekörper zeigten eine ähnliche Tendenz wie das PIB-Material. Die Abnahme der Fügefaktoren nach 4 Monaten gegenüber dem 48 h-Wert und die Zunahme der Reißdehnung sind allerdings sehr gering und im Prüffehlerbereich des Verfahrens sowie der Toleranz aus der Reduzierbarkeit der Handschweißung. Die Reißdehnungswerte liegen deutlich unter denen der quellverschweißten Probekörper. Durch die Beanspruchung der Heizgasschweißung erfolgt offensichtlich eine gewisse Erhärtung des Materials, u.a. durch Verluste an Weichmachern bei der Erhitzung.

Der Scherversuch zeigte in Bezug auf die Nahtfestigkeit, d.h. auf den Fügefaktor bei Fugebreiten von 50 bis 15 mm sowohl bei quellverschweißten als auch bei den warmgasverschweißten Probekörpern der beiden 2 mm dicken Proben keine größeren Unterschiede (Fügefaktoren 67 bis 79 %).

8.1.3 Einfluß des Anpreßdruckes

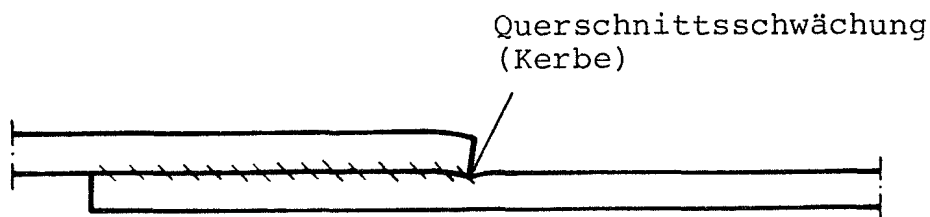
Wie vorstehend (Abschn. 8.1.2) wurde beim Scherversuch dieser Einfluß nur bei 2 mm dicken Bahnen der Probe B und der Probe F untersucht. Aus den Anlagen 38 und 39 (Versuche Nr. 3 und 4 bzw. Nr. 13 und 14) ist ersichtlich, daß sich die Fügefaktoren bei Probe B durch den erheblich geringeren Anpreßdruck praktisch nicht ändern (bei Quellschweißung Fü 65 statt 66, bei Warmgasschweißung Fü 75 statt 73).

Bei Probe F ist allerdings durch den geringeren Anpreßdruck ein erheblicher Anstieg der Reißkraft bzw. des Fügefaktors erfolgt (Fü 87 statt 74). Außerdem wurde beim PIB ein merklicher Anstieg der Reißdehnung (25 % absolut) durch den geringeren Anpreßdruck erhalten. Beim PVC-weich der Probe B war der Anstieg der Reißdehnung mit 3 % bzw. 4 % (absolut) deutlich geringer.

Als Erklärung dieser besonders beim PIB hervortretenden Veränderungen ist zu sagen, daß durch ein stärkeres Andrücken beim Schweißen die plastifizierte Masse eine dichtere "Verknäuelung" und eine gewisse Ausrichtung der Moleküle und somit eine Erhärtung erfährt. Außerdem erfolgt durch das stärkere Andrücken (Abrollen) unter der Kantenpressung in der plastifizierten Masse der unteren Lage eine Querschnittsschwächung (Kerbe). Sie erscheint uns bei dem gegenüber dem PVC-Material relativ "weichen" PIB bestimmend für die geringere Reißkraft und Reißdehnung der mit höherem Anpreßdruck gefügten Probekörper von Probe F.

Für die Praxis kann zusammenfassend gesagt werden, daß ein vorteilhaft weiter Spielraum für die Höhe des Anpreßdruckes (zwischen "normal" und "gering") besteht. Ein "zu hoher Anpreßdruck, der auf der Baustelle weniger zu befürchten ist, wirkt sich nachteilig aus. Dieser Nachteil ist aber bei zu großer Plastifizierung des Werkstoffes schon bei normalem Anpreßdruck zu erwarten, z.B. bei PIB-Bahnen mit zuviel Quellschweißmittelauftrag oder bei PVC weich-Bahnen mit zu großer Erhitzung der unteren Lage bei thermischen Fügeverfahren.

Bild 7: Querschnittsschwächung an der Nahtkante durch einen zu hohen Anpreßdruck beim Fügen, wenn die untere Lage eine "größere" Plastifizierung durch Quellschweißmittel oder durch zu starke Erhitzung bei Heiß-Fügeverfahren erhält



8.1.4 Einfluß von hoher Luftfeuchtigkeit (Klima 23/95)

Dieser Einfluß wurde bei allen 3 Bahnen mit 2 mm Dicke ermittelt (Versuch Nr. 6 und Nr. 17). Die Bahnen wurden im Klimaraum (bei Klima 23/95) 48 h vor dem Fügen und bis 24 h nach dem Fügen gelagert. Die Prüfergebnisse sind aus den Anlagen 38 und 39 in Tabelle 13 zusammengefaßt.

Tabelle 13: Einfluß von hoher Luftfeuchte auf den Fügefaktor

Probe	Fügefaktor Fü % bei Fügung im		Zeitpunkt der Prüfung und Fügeverfahren
	Klima 23/95	Klima 23/50 - Vergleich	
B PVC 2 mm	54	66	48 h nach Quellschweißung
	67	72 (4 Mon.)	65 d nach Quellschweißung
	57	73	48 h n. Warmgasschweißung
D PVC bb. 2 mm	53 (30 mm)	60 (50 mm)	48 h nach Quellschweißung
	57 (30 mm)	59 (50 mm)	48 h n. Warmgasschweißung
F PIB 2 mm	79	74	48 h nach Quellschweißung
	64	71 (4 Mon.)	65 d nach Quellschweißung

Die vorstehenden Werte zeigen bei den Proben B und D durch den Feuchtigkeitseinfluß eine deutliche Minderung der Fügefaktoren (Reißkräfte). Nach längerer Lagerung im Normalklima steigen die Reißkräfte aber an (Probe B). Eine Ausnahme zeigt allerdings hier wieder die PIB-Bahn (Probe F).

Im Reißbild waren zwischen den bei hoher Luftfeuchte gefügten und den bei Normalklima gefügten Probekörpern keine Unterschiede feststellbar. Bei 42 Prüfkörpern erfolgten 41 Abrisse neben der Fügenaht.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sich bei den PVC-Proben die Luftfeuchte beim Fügen nachteilig auf die Reißfestigkeit auswirkte. Bei der zusätzlich nach 65 Tagen geprüften Probe (B) war jedoch nach Lagerung im Klima 23/50 ein nachfolgender Anstieg des Fügefaktors feststellbar.

An der ungefügten Probe B (Versuch Nr. 13, Anlage 1) waren allerdings beim Vergleichsversuch keine wesentlichen Festigkeitsänderungen nach 7 Tagen Feuchtraumlagerung (Klima 23/95) erkennbar.

8.1.5 Einfluß von kühler Witterung (Klima 5/100)

Dieser Einfluß wurde wie unter Abschn. 8.1.4 bei allen 3 Bahnen mit 2 mm Dicke untersucht (Versuch Nr. 7 und Nr. 18). Die Bahnen wurden 48 h vor und bis 24 h nach dem im Klimaraum bei Klima 5/100 ausgeführten Fügen gelagert. Aus den Anlagen 38 und 39 sind die Ergebnisse in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14: Einfluß von "Kälte-Feuchte"-Klima auf den Fügefaktor Fü %

Probe	Fügefaktor Fü % bei Fügung im		Zeitpunkt der Prüfung und Fügeverfahren
	Klima 5/100	Klima 23/50 - Vergleich	
B PVC 2 mm	71	66	48 h nach Quellschweißung
	68	73	48 h n. Warmgasschweißung
D PVC bb. 2 mm	62 (30 mm)	60 (50 mm)	48 h nach Quellschweißung
	68 (30 mm)	59 (50 mm)	48 h n. Warmgasschweißung
F PIB 2 mm	78	74	48 h nach Quellschweißung

Beim "Kälte-Feucht"-Klima war an allen 3 quellgeschweißten Proben eine geringe Zunahme des Fügefaktors vorhanden. An den beiden warmgeschweißten PVC weich-Bahnen waren unterschiedliche Tendenzen zu erkennen. Unterschiede im Ribbild gegenüber den bei Klima 23/50 gefügten Proben waren nicht vorhanden. Abgesehen von einem Streifen sind an 26 Streifen die Abrisse direkt neben der Naht erfolgt.

8.1.6 Einfluß der Geschwindigkeit beim Warmgasschweißen

Die Prüfung wurde beim Scherversuch an allen 4 PVC weich-Bahnen (Versuch Nr. 12) durchgeführt. Die Schweißgeschwindigkeiten sind im einzelnen den Blättern 28/29 zu entnehmen. Aus der Anlage 39 sind die Ergebnisse in Tabelle 15 zusammengefaßt:

Tabelle 15: Einfluß der Fügegeschwindigkeit beim Warmgasschweißen von Hand

Probe	Fügefaktor % (Reißdehnung) bei Schweißgeschwindigkeit		Zeitpunkt der Prüfung n. Warmgasschweißung
	"hoch"	"normal"	
A 0,85 mm	88 (307)	87 (253)	48 h nach Fügen
	83 (284)	90 (247)	4 Monate nach Fügen
B 2,0 mm	74 (196)	72 (212)	48 h nach Fügen
	73 (206)	71 (191)	4 Monate nach Fügen
C 0,8 mm	77 (322)	74 (285)	48 h nach Fügen
	78 (324)	75 (281)	4 Monate nach Fügen
D 2,0 mm	59 (211)	62 (248)	48 h nach Fügen
	61 (224)	66 (236)	4 Monate nach Fügen

Aus den in Klammern angegebenen Reißdehnungswerten ist zu schließen, daß durch eine relativ starke Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit die Fügefaktoren und auch die Reißdehnungswerte erhöht werden. Eine Ausnahme macht offensichtlich die Probe D (PVC-weich bitb.). Die an den Proben A bis C gefundenen höheren Werte sind u.E. auf die geringere Erhärtung des Materials durch die kürzere Heißluftwirkung zurückzuführen.

Aus den Ribbildern der Proben A und B geht allerdings hervor, daß u.E. trotzdem die Nahtverbindungen bei normaler Schweißgeschwindigkeit besser gelungen sind. An den "schnell" gefügten Bahnen war nämlich der Riß bei 6 Streifen innerhalb der aufgezogenen Naht erfolgt (Ribbild Sa), während bei der "Normalschweißung" nur einer der jeweils 22 Streifen ein derartiges Ribbild zeigt.

8.1.7 Einfluß der Verschmutzung beim Warmgasschweißen

Die Prüfung wurde beim Scherversuch nur mit der 2 mm dicken Probe B (Versuch Nr. 15) durchgeführt. Wie aus Anlage 39 zu entnehmen ist, wurde bei den im "verschmutzten" Zustand gefügten Bahnen noch ein Fügefaktor von 67 (Vergleich 73 bei Normalfügung) ermittelt. Aber nur bei einem der Streifen war ein Abriß neben der Naht erfolgt. An den übrigen 4 Streifen hat sich vor einem Riß die im Warmgasschweißen gefügte Naht aufgetrennt. Der Schmutz hatte somit die Güte der Nahtverbindung stark beeinträchtigt.

8.1.8 Einfluß der Lagerungsdauer

Die Fügung der Probekörper erfolgte 48 ± 2 h vor der Scherprüfung. Sie wurde bei einer Reihe von Versuchen zusätzlich auf 65 Tage bzw. 4 Monate ausgedehnt. Bei den quellverschweißten PVC weichen Bahnen nimmt mit Erhöhung der Lagerungsdauer die Reißkraft allgemein zu und die Reißdehnung leicht ab. Das ist auf die langsame Verdunstung des plastifizierend wirkenden Quellschweißmittels zurückzuführen. Allerdings verhält sich die Fügung der PIB-Bahn (Probe F) in entgegengesetzter Richtung. Bei den warmgassgeschweißten Proben war praktisch kein Einfluß der Lagerungsdauer auf den Fügefaktor festzustellen.

8.1.9 Einfluß der Dicke der Bahn

Wie aus den Ergebnissen des Versuchs Nr. 2 (Anlage 38 und 39) festzustellen war, liegen sowohl bei der Quellschweißung als auch bei der Warmgasschweißung die Fügefaktoren der dünneren Bahnen deutlich über denen der dickeren Bahnen. Das dürfte mit der beim Fügen prozentual zur Gesamtdicke höheren Plastifizierungszone der dünnen Bahn zusammenhängen. Außerdem wird beim Zugscherversuch die Einschnürungszone an der Naht wegen der geringeren Steifigkeit der dünneren Bahn nicht so stark ausgebildet.

Die Reißdehnungswerte der dünneren gefügten Bahnen liegen ebenfalls höher. Diese Tendenz ist aber auch bei der Prüfung der ungefügten Proben zu erkennen. Die dünneren Proben besitzen im ungefügten Zustand auch eine deutlich höhere Reißfestigkeit (N/mm^2), wobei allerdings wiederum die PIB-Bahnen eine Ausnahme machen.

Beim Warmgasschweißen entstanden Schwierigkeiten an dem effektiv nur 0,73 bis 0,86 mm dünnen PVC-Material durch Faltenbildungen und schnelle Überhitzungsgefahr. Es wird deshalb bei einigen Bahnenherstellern gefordert bzw. empfohlen, dünnere Bahnen bestimmter Typen (bereits unter 2,0 mm) möglichst nur im Quellschweißverfahren zu fügen /9/.

8.1.10 Einfluß der Werkstoffart der Bahn

Wie im Abschnitt 6.2.1 beschrieben wurde, mußten die 2 PIB-Bahnen beim Quellschweißen deutlich länger plastifiziert werden als die 4 PVC weich-Bahnen. Unter den hier verwendeten 2 PVC weich-Bahmentypen waren beim Quell- und Warmgasschweißen keine bedeutenden Unterschiede im Plastifizierungsverhalten festzustellen.

Die Fügefaktoren lagen in beiden Fügearten (Versuche Nr. 2 und Nr. 12) beim PVC weich-Material der Proben A/B höher als beim PVC weich-Material der Proben C/D.

Es sind somit deutliche Unterschiede in der Nahtfestigkeit beim gleichartig durchgeführten Scherversuch zwischen den Bahnen einzelner Werkstoffgruppen vorhanden und auch zwischen den vergleichbaren Produkten verschiedener Hersteller denkbar.

8.1.11 Einfluß der Streifenlänge der Probekörper

Bei den durchgeführten Scherversuchen wurde die gleiche Größe der Probekörper und die gleiche Prüfgeschwindigkeit gewählt wie bei der Zugprüfung an den ungefügten Probekörpern. Durch die Wahl des gleichmäßig stanzbaren Prüfkörpers (Stab Nr. 5) wird eine wünschenswerte Vereinheitlichung erzielt. Es wurden jedoch zusätzlich die Versuche Nr. 8 und Nr. 9 durchgeführt, bei denen 3 quellverschweißte und eine warmgasverschweißte Bahn mit verschiedenen langen Streifen verwendet wurden, um den Einfluß der unterschiedlichen Verformungsgeschwindigkeit der Probekörper auf die Scherkräfte ermitteln zu können. Bei der Prüfung von Kunststoff- und Kautschukbahnen ist nämlich mit der Erhöhung der Verformungsgeschwindigkeit auch eine Erhöhung der Reißkraft verbunden /10/.

Die Prüfergebnisse der Anlagen 13 und 14 sind in Anlage 15 in Diagrammen dargestellt. Wie auch aus Tabelle 16 ersichtlich ist, verändern sich die Reißkraftwerte im Bereich zwischen 90 und 190 mm Einspannlänge des Probekörpers bei der Prüfgeschwindigkeit von 200 mm/min nur unwesentlich.

Tabelle 16: Reißkraftwerte in Abhängigkeit von der Einspannlänge des Probekörpers

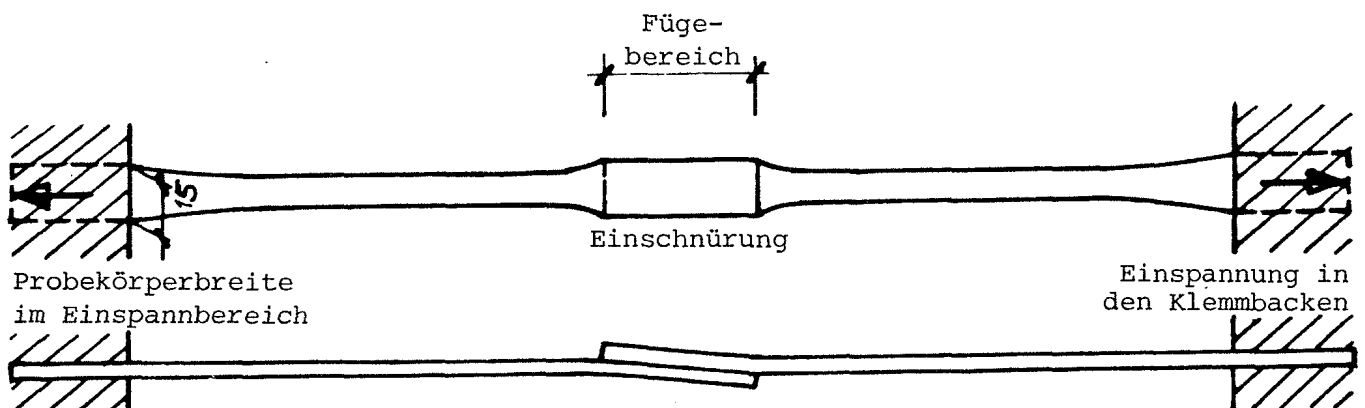
Einspannlänge mm	Länge ohne 30 mm Fügung mm	Reißkräfte in N				Verformung des Teiles ohne Fügestelle pro Minute um
		Quellschweißung		Warmgasschweißung		
		Probenbezeichnung und Fügebreite				
		B 30 mm	D 50 mm	F 30 mm	B 30 mm	
90	60	328	400	73	323	$\frac{200}{60} = 333 \%$
120*)	90	326	393	76	314	$\frac{200}{90} = 222 \%$
150	120	319	412	80	315	$\frac{200}{120} = 166 \%$
180	150	326	384	79	315	$\frac{200}{150} = 133 \%$

*) Prüfkörper Nr. 5

Aus den Verformungswerten geht hervor, daß sich der 120 mm lange Probekörper ohne Fügestelle beim Normstab Nr. 5 etwa mit gleicher Geschwindigkeit verformt wie der 150 mm lange gefügte Probekörper (166 % pro Minute).

Aus den mit 4 Bahnen durchgeführten Versuchen ist ersichtlich, daß bei der Ermittlung des Fügefaktors über den Scherversuch die relativ unterschiedliche Verformungsgeschwindigkeit bei der gleichen Probekörperlänge vernachlässigt werden kann. Auch die Werte der Fügefaktoren von Bahnen mit 50, 30 und 15 mm Fügebreite, die in Tabelle 12 zusammengestellt sind, bestätigen zahlenmäßig die Annahme. Für diese verschiedenen Fügebreiten sind annähernd gleiche Werte ermittelt worden. Vielmehr ist die besonders von der Bahndicke abhängige, beim Zugversuch erkennbare beidseitige Einschnürung an der Fügenaht des Probekörpers die für die Höhe des Fügefaktors bestimmende Größe (s. Bild 8). In der Fügestelle mit der doppelten Dicke besitzt der Bahnenstreifen etwa eine halb so große Querkontraktion wie der anschließende Probekörperteil. Im direkten Anschluß an die Fügestelle liegt somit ein unstetiger Übergang vor. Er bewirkt eine Einschnürung und Kerbwirkung in dem direkt anschließenden Bereich zur Fügenaht. Diese Kerbwirkung ist geringer, d.h. der Übergangsbereich ist stetiger, der Fügefaktor etwas höher als bei einer Nahtsicherung durch "Flüssigfolie" an der Nahtkante. Diese Sicherung durch das im Lösungsmittel (meist Quellschweißmittel) gelöste Bahnenmaterial in pastöser Konsistenz wurde in diesem Forschungsvorhaben nur in einer Kurzprüfung im Scherversuch mit Prüfkörpern der Probe B untersucht. Es erscheint die Wahl einer einheitlichen Prüfkörperlänge und damit auch Prüfgeschwindigkeit (z.B. 200 mm/min) beim Scherversuch gerechtfertigt.

Bild 8: Einschnürung (Unstetigkeit) an der Fügenaht des im Zugversuch gedehnten Probekörpers



Die Einschnürung neben der Fügenaht infolge Unstetigkeit im Querschnitt der Probekörper führt zu dessen Reißen hauptsächlich an diesen Stellen.

8.2 Schälversuche-Auswertung und Diskussion

8.2.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Schälversuche an den Fügenähten und die Auswertung einzelner Versuche sind den Anlagen 24 bis 36 zu entnehmen und in den Anlagen 40 und 41 zusammengefaßt. Hierbei wurden in Anlage 40 die maximalen Schälkräfte in N sowie die maximalen Schälwiderstandswerte in N/mm und in der Anlage 41 die mittleren Schälkräfte und Schälwiderstände dargestellt.

8.2.2 Einfluß feuchter Bahnen

Die Bahnenabschnitte wurden vor dem Fügen in vorentsalztem Wasser bei 40 °C 40 Stunden wassergelagert. Angaben über die Wasseraufnahme (Gewichtsänderung) der 6 Bahnen bei 40 °C-Wasserlagerung sind der Tabelle 11 (Blatt 36) zu entnehmen. Nach der Entnahme aus dem Wasser wurden die Bahnenabschnitte mit Saugpapier abgetrocknet und bis zum Fügen insgesamt 0,5 Stunden im Klima 23/50 gelagert. Das Ausstanzen der Probekörper Nr. 5 nach DIN 53455 erfolgte aus dem gefügten Bahnenstück nach 48±2 Stunden Lagerung bei Klima 23/50 kurz vor dem Schälversuch.

Die Probekörper der Quellschweißung wurden im Versuch Nr. 22 und die der Warmgasschweißung (nur bei PVC weich) im Versuch Nr. 25 geprüft. Die warmgasverschweißten Proben zeigten eine um 62 % (Probe A) bzw. um 27 % (Probe C) höhere "maximale Schälkraft" (73 % bzw. 20 % höhere "mittlere Schälkraft") als die ebenfalls im nassen Zustand quellverschweißten Proben.

Bei Probe B war ein direkter Vergleich der im Warmgasschweißverfahren "naß" und "trocken" gefügten Bahn möglich. Die wassergelagerte Bahn zeigte mit einem Schälwiderstand von 2,45 N/mm zu 9,17 N/mm einen um 73 % geringeren Wert. Vergleicht man die dünne "naß" gefügte Probe A mit der dickeren "trocken" gefügten Probe B, dann ist ebenfalls bei beiden Schweißverfahren eine starke Beeinträchtigung der Nahtfügung festzustellen.

Wie an den Trennflächen zu erkennen war, wurden die Nähte bei allen PVC-Bahnen im Schälversuch vollständig und gleichmäßig aufgezogen, bei der warmgasverschweißten Probe A mit leichtem Materialausriß. Im Gegensatz dazu haben sich die Streifen bei der PIB-Bahn C nur 0,5 bis 2 cm weit "geschält" und sind dann abgerissen. Die maximale Schälkraft ist deshalb als Reißkraft zu bezeichnen (s. Anlage 25).

Zusammenfassend ist zu sagen, daß beim Fügen der "nassen" Bahn (auch nach anschließend 2 Tagen Lagerung im Klima 23/50) die Schälkräfte erheblich unter denen von "lufttrocken" gefügten Bahnen liegen. Feuchtigkeit in der Bahn beim Fügen beeinträchtigt somit den Schälwiderstand einer Fügenaht.

8.2.3 Einfluß von Nässe und Schmutz

Die Probe B wurde nach der Wasserlagerung zusätzlich mit einer Schmutzschicht (s. Anlage 33) überzogen und dann im Warmgasschweißverfahren gefügt (Versuch Nr. 25). Beim Schälversuch hat sich die Naht ungleichmäßig aufgetrennt. Der mittlere Schälwiderstand liegt mit 0,68 N/mm bei 40 % der der naß gefügten Vergleichs-Probekörper (1,68 N/mm) sowie bei 7 % der bei Klima 23/50 gefügten Probekörper (9,17 N/mm). Durch einen auf der Bahn beim Warmgasschweißen liegenden Schmutzfilm wird somit die Bahnverbindung stark beeinträchtigt.

8.2.4 Einfluß von kühler Witterung

Bei den Versuchen Nr. 23 und Nr. 26 wurden die Nähte, wie auf den Anlagen 29 und 36 angegeben, bei Klima 5/100 geschweißt.

Im Gegensatz zum Scherversuch, bei dem gegenüber Klima 23/50 eher ein etwas höherer Fügefaktor beim Fügen im Klima 5/100 erhalten wurde, ist beim Schälversuch ein erheblich geringerer Schälwiderstand ermittelt worden. Bei Probe B wurde an der

quellverschweißten Fügung mit 1,56 N/mm ein um 58 % geringeren mittlerer Schälwiderstand gegenüber der bei Klima 23/50 verschweißten Probe gefunden (3,75 N/mm). An den warmgasverschweißten Probekörpern war der Unterschied mit einem um 77 % geringeren Wert noch größer (2,08 gegenüber 9,17 N/mm)

Bei der PIB-Bahn (Probe F) lag im Gegensatz zum Scherversuch ebenfalls ein niedrigerer Schälwiderstand nach dem Fügen im Klima 5/100 vor (39 % bei 1,75 gegenüber 2,85 N/mm). Bei diesem Versuch wurde auch beim PIB-Material wie an den PVC weich-Bahnen die Fügenaht im Schälversuch aufgetrennt.

8.2.5 Einfluß des Schweißverfahrens

An den PVC weich-Bahnen wurde über den Schälversuch eine deutlich bessere Fügung bei der Warmgasschweißung gegenüber der Quellschweißung ermittelt. Lediglich bei Probe D lagen die Werte der bei kühler Witterung gefügten Proben in gleicher Höhe. Bei Probe B wurde ein um 206 % höherer mittlerer Schälwiderstand von 7,36 N/mm (Warmgasschweißung) gegenüber 3,57 N/mm (Quellschweißung) gemessen. Während an den aufgetrennten Nahtflächen der Quellschweißung eine eher gleichmäßige, mehr oder weniger rauhe Fläche vorliegt, ist die warmgasverschweißte Trennfläche nach dem Schälversuch von schräglaufenden, ins Material reichenden feinen parallelen Rißspuren gekennzeichnet. Sie stammen von der schrägen Führung der Düse des Heißluftgerätes, das bei der Handschweißung nicht mit gleichmäßiger Geschwindigkeit geführt werden kann. Bei Verzögerung tritt eine höhere Plastifizierung und damit eine intensivere Verschweißung der beiden Bahnenteile ein.

8.2.6 Einfluß der Lagerungsdauer

Wie bei den Scherversuchen konnte beim Schälversuch an der PVC weich-Bahn B eine mit der Lagerungsdauer ansteigende "Nahtfestigkeit" ermittelt werden. Der mittlere Schälwiderstand erhöhte sich in 4 Monaten um 36 % (von 3,57 auf 4,87 N/mm).

Dieser Anstieg ist auf die relativ langsame Diffusion von Quellschweißmittel-Anteilen und den damit verbundenen Viskositätsanstieg des angelösten Materials in den Fügeflächen zurückzuführen.

Bei der warmgasverschweißten Probe B war allerdings in 4 Monaten ein Abfall (20 %) des ansonsten hohen Schälwiderstandes von 7,36 auf 5,91 N/mm vorhanden. Bei der quellverschweißten Probe F (PIB) war ebenfalls, wie bei Probe B (PVC weich), eine Zunahme des Schälwiderstandes (von 2,85 auf 3,21 N/mm) nach 4 Monaten Lagerungsdauer festgestellt worden. Beim Scherversuch waren eher gegenteilige Tendenzen erkennbar.

8.2.7 Einfluß der Werkstoffart der Bahn

Die unter vergleichbaren Bedingungen im Schälversuch untersuchten 3 Werkstoffarten zeigten deutliche Unterschiede hinsichtlich der Schälkraftgröße und auch der aufgetrennten Nahtflächenbeschaffenheit. Beim PVC weich-Material der vorliegenden Proben trennten sich beim Schälversuch die quellverschweißten Fügeflächen, ohne nennenswerte Unterschiede zu zeigen. Beim PIB-Material waren an beiden Bahnen, besonders aber bei der dünneren Bahn, Abrisse der Streifen nach mehr oder weniger langen Schälwegen eingetreten. Beim PIB-Material liegt somit die aufzuwendende Schälkraft in der Größenordnung der Reißfestigkeit der Bahn. Hier ist anzumerken, daß die Reißfestigkeit der PVC weich-Bahnen allgemein mehr als das 3-fache der PIB-Bahnen beträgt, d.h. die PIB-Bahnen besitzen eine weit niedrigere Reißfestigkeit.

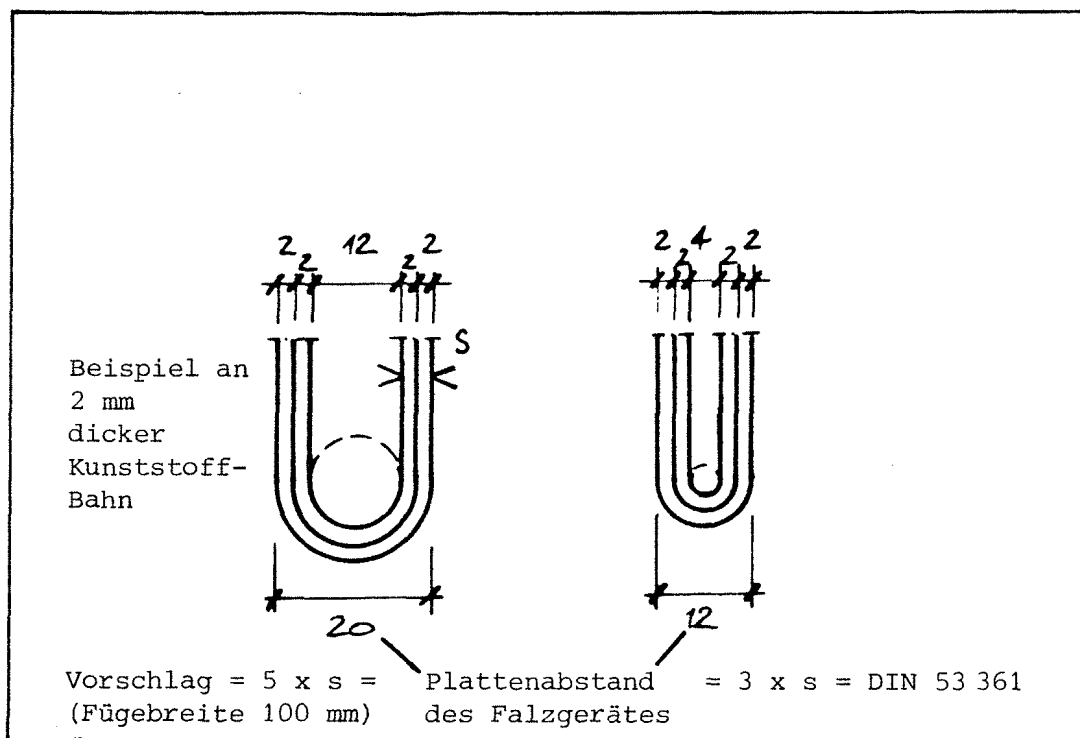
8.2.8 Einfluß der Biegung des Probekörpers in der Kälte

Die in beiden Schweißverfahren gefügten Probekörper wurden nach einer Biegebeanspruchung bei -20 °C nach Lagerung im Klima 23/50 auf ihren Schälwiderstand untersucht. Die Fügenähte müssen nämlich in der Praxis bei der Verlegung und Begehung in der kalten Jahreszeit auch Biegebeanspruchungen bei Kälte gewachsen sein. In den Stoffnormen der Kunststoff-Bahnen wird allgemein als Anforderung die Biegsamkeit der Bahn beim Falzen nach DIN 53361 bei einer Prüftemperatur von -20 °C gefordert. Hierbei soll der Biegeradius auf die Bahndicke über die Geräteeinstellung abgestimmt werden. Die Platten des Falzgerätes sollen bei Proben über 0,4 mm Dicke auf den Abstand der 3-fachen Dicke der Bahn eingestellt werden. Diese Prüfung ist in den Stoffnormen nur für ungefügte Bahnen vorgesehen.

Auf die Biegung von gefügten Proben übertragen, würde das z.B. bei 2 mm Bahndicke einen Plattenabstand von $3 \times 4\text{ mm} = 12\text{ mm}$ bedeuten. Die Prüfung würde somit der Biegung um einen Rundstab $\varnothing 4\text{ mm}$ entsprechen. Bei dieser Einstellung waren die im Forschungsvorhaben vorliegenden beiden 2 mm dicken gefügten PVC weich-Bahnen im Fügebereich bei -20 °C Prüftemperatur bereits so steif, daß sie garnicht oder nur durch kurzen Stoß bis zum Anschlag der Einstellschraube des Biegegerätes gemäß DIN 53361 gedrückt werden konnten. Dabei sind die gefügten Nahtstellen teilweise gebrochen, ohne daß die Fügenaht aufgespalten wurde. Die unvorschriftsmäßige Stoßprüfung mit so geringem Biegeradius erschien zu praxisfremd und wurde deshalb abgewandelt.

Mit einem Abstand der Platten des Falzgerätes gemäß der 5-fachen Dicke der Fügebereiche der Probekörper haben die hier vorliegenden 6 Bahnen bei -20 °C die Biegeprüfung ohne Bruch, Anrisse und ohne sichtbare Mängel überstanden. Dieser Abstand entspricht, wie in Bild 9 dargestellt, einer Biegung von zum Beispiel 2 mm dicken gefügten Proben (4 mm Fügedicke) um einen Rundstab $\varnothing 12\text{ mm}$ (bzw. 0,8 mm dicke Bahnen gefügt um Rundstab $\varnothing 4,8\text{ mm}$).

Bild 9: Empfohlene Erhöhung des Biegeradius (Plattenabstand des Falzgerätes) bei der Prüfung von Fügenähten beim Falzen in der Kälte nach DIN 53361 (-20 °C Prüftemperatur)



Nach einem derartigen Biegen bei -20 °C (Plattenabstand $5 \times s$) sind bei den durchgeführten Prüfungen jeweils 3 Probekörper aller 6 Bahnen im Schälversuch auf ihre mittlere Schälkraft bei Klima 23/50 untersucht worden. Die Fugebreite betrug jeweils 100 mm. Die Schälkräfte zeigten gegenüber den im Quell- bzw. Warmgasschweißverfahren gefügten 3 Vergleichsstreifen ohne Kältebiegung keine markanten Unterschiede.

8.3 Wasserdichtigkeitsprüfung - Auswertung und Diskussion

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden lediglich zwei derartige Bahnenblasen (geschlossene Beutel) unter Wasserdruck geprüft. Die aus den 2 mm dicken PVC weich- und PIB-Bahnen der Proben D und F hergestellten Blasen wurden einem Wasserdruck bis 2,0 m Druckhöhe ausgesetzt (Steigerung 0,5 m pro Stunde). Bei starker Verformung, besonders des PIB-Probekörpers, zeigten auch nach 8 Tagen Belastung alle Nähte keine Wasserdurchlässigkeit. Die Prüfungen wurden danach abgebrochen.

9. Folgerungen aus den Prüfergebnissen

9.1 Vergleich der 3 Prüfverfahren auf Aussagekraft

Aus den beschriebenen Einzelprüfungen in Scherversuchen, Schälversuchen und der Wasserdichtigkeitsprüfung an Fügenähten sollte u.a. festgestellt werden, mit welcher Empfindlichkeit die 3 Verfahren auf die verschiedenen Einflußparameter für Nahtfugungen reagieren und zu differenzieren im Stande sind. Im Rahmen des in den Mitteln stark begrenzten Forschungsvorhabens war es nur möglich, einzelne der nachfolgend aufgelisteten Einflußparameter vorwiegend mit den Scher- und Schälversuchen bei 2 Schweißverfahren stichprobenartig zu überprüfen. Es handelt sich um besonders wichtige Parameter, wobei nicht Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird:

1. Vorbehandlung der Nahtflächen
(Erwärmen, Vorquellen, Reinigen)
2. Schweißverfahren
3. Quellschweißmittelart und -Menge
4. Werkstoffart der Bahn
5. Schweißnahtbreite (Mindestbreite)
6. Dicke der Bahn
7. Anpreßdruck beim Fügen
8. Zeitpunkt der Anpressung beim Fügen
9. Gleichmäßigkeit der Fügung (Einfluß Stromschwankungen)

10. Gleichmäßigkeit (Einfluß Fügebreite)
11. Überhitzung beim Fügen (Erhärtung)
12. Geschwindigkeit beim Fügen - Warmgasschweißung (Erhärtung)
13. Hohe Luftfeuchte beim Fügen
14. Nasse Bahnen beim Fügen
15. Kühle Witterung beim Fügen
16. Heiße Witterung beim Fügen
17. Verschmutzung der Nahtflächen
18. Lagerungsdauer der Naht bei Quellschweißung und Warmgasschweißung
19. Fügen nach Medien-Lagerung
20. Wasserdichtigkeit
21. Verhalten nach Langzeitdehnung bei Luft- und Wasserlagerung
22. Fügen nach Freibewitterung

Aus den Ergebnissen der in den Anlagen 1 bis 41 dargestellten Untersuchungen und Auswertungen kann angenommen werden, daß die Schälwiderstandsprüfung an Probekörpern bei den meisten der Einflußparameter eine größere Aussagekraft beinhaltet als die Scherprüfung an gefügten Probekörpern. Beim Scherversuch sind die Reißkraftgröße im Vergleich zum ungefügten Probekörper, dem daraus errechneten Fügefaktor und die Bruchbildbetrachtung (evtl. Ablösen von Teilen oder völliges Auftrennen der Nahtfügung) Aussagefaktoren.

Bei der Schälnahtprüfung wird dagegen über die gesamte Fügefläche die Schälkraft bzw. der Schälwiderstand ermittelt. Hierbei wird über das Schälkraft-Weg-Diagramm die Gleichmäßigkeit der Fügung in ganzer Breite erfaßt. Außerdem können über die Bruchbild- bzw. die Schälflächenbetrachtung nach der Prüfung weitere Schlüsse auf die Fügequalität gezogen werden.

In den Anlagen 37 bis 41 sind die Ergebnisse aller durchgeführten Prüfungen gegenübergestellt. Es können die quellverschweißten und die mit Hand warmgasverschweißten Werte der

Scherversuche und Schälversuche verglichen werden. Aufgrund des nicht ausreichenden Prüfungsumfanges und der noch nicht genügend geklärten Reproduzierbarkeit der Fügeverfahren bei diesen Laborversuchen sollten aber die Ergebnisse an den 6 Bahnen der 3 Kunststoffe und Hersteller noch durch weitere vertiefende Untersuchungen auch mit Kunststoffbahnen anderer Werkstoffe und Hersteller überprüft und ergänzt werden.

9.2 Empfohlene Prüfverfahren

Für die Aufnahme in Stoffnormen, für die Anwendung bei Eignungs-, Güte und Kontrollprüfungen sollten Prüfverfahren u.a. praxisnah und aussagekräftig sein. Obwohl im Schälversuch an der "Stehnaht" im Gegensatz zum Scherversuch nicht die übliche Praxisbeanspruchung der Fügenähte vorliegt, kann aufgrund der erhaltenen Prüfergebnisse und auch der langjährigen Erfahrungen im In- und Ausland bei Prüfämtern und Bahnenherstellern unserer Meinung nach auf dieses Verfahren nicht verzichtet werden. Es sollten somit beide Prüfverfahren Anwendung finden. Über den Einsatz der Verfahren wäre von der Aufgabenstellung her jeweils zu entscheiden (Eignungsprüfungen bei Entwicklung von Bahnen, Fügeverfahren, Quellschweißmitteln und Klebmassen sowie Zulassungsprüfungen, Werksüberwachungen und Schadensfeststellungen).

Beide Versuche sind u.E. für die Prüfung von Nahtverbindungen an allen bisher eingesetzten Kunststoff- und Kautschuk-Bahnen geeignet, in abgewandelter Weise nicht nur bei Schweiß-, sondern auch bei Klebenähten und den meisten Füge-systemen.

Wegen der Gewebeeinlagen in den z.B. mit Synthefäden verstärkten Bahnen muß allerdings der vorteilhaft schmale Prüfkörper Stab Nr. 5 (15 mm breit) durch den breiteren und längeren Streifen 50 x 420 mm nach DIN 53354 /13/ ersetzt werden.

Textvorschlag für die Prüfung von Fügenähten im Scherversuch /14/:

	<u>unverstärkte Bahnen</u>	<u>gewebeverstärkte Bahnen</u>
Prüfverfahren:	in Anlehnung an DIN 53455 /12/	in Anlehnung an DIN 53354

Herstellung der
Probekörper:

Es werden jeweils 2 Bahnenabschnitte in Längs- und Querrichtung der Bahn entsprechend den Arbeitsanleitungen des Herstellers in dem vorgesehenen Schweißverfahren gefügt. Die Schweißnahtbreite soll der Mindestanforderung der DIN 18195 Teil 3 entsprechen. Aus diesen Probestücken werden Probekörper so herausgeschnitten bzw. gestanzt, daß die Füge-naht in der Mitte des Probekörpers und senkrecht zur Zugrichtung angeordnet ist.

Probekörpergröße:	Stab Nr. 5 (15 x 170 mm) DIN 53455 bei unverstärkten bzw. nur mit Vlies kaschierten oder verstärkten Bahnen	Streifen 50 x 420 mm DIN 53354 bei gewebe- bzw. fadenverstärkten Bahnen
-------------------	---	--

Anzahl der
Probekörper:

jeweils 5 in Längs- und Querrichtung

Vorbehandlung:

Die Probekörper werden mind. 48 h lang vor der Fügung im Normalklima DIN 50014-23/50 gelagert.

Die Fügestellen dürfen frühestens 48 h nach dem thermischen Schweißen bzw. 7 Tage nach dem Quellschweißen geprüft werden.

Prüfgeschwindigkeit
beim Zugversuch:

200 mm/min

100 mm/min

Prüfung und
Auswertung:

Zum Vergleich werden jeweils aus den gleichen Bahnen mindestens 5 Probekörper ohne Füge-naht unter den gleichen Bedingungen zur Ermittlung einer Bezugsgröße für den gefügten Körper entnommen. Bei der Prüfung wird die mittlere Reißkraft und Reißfestigkeit bestimmt.

Das Verhältnis der Reißkraft der gefügten Probe zu der der ungefügten Probe wird als "Fügefaktor" der Nahtverbindungen bezeichnet.

Bei einem Auftrennen der Fügenaht im Scherverversuch wird der maximale Scherwiderstand in N/mm angegeben.

Der Bruch soll außerhalb der Fügenaht liegen; Angabe des Reißbildes am Probekörper ist zu fordern; es darf nur ein Ablösen der Nahtkanten von maximal 5 mm erfolgen.

Für den Fügefaktor können u.E. noch keine Anforderungen gestellt werden. Bei ungünstigen Ergebnissen sollten weitere ergänzende Prüfungen, z.B. die Durchführung von Schälversuchen vorgesehen werden.

Textvorschlag für die Prüfung von Fügenähten im Schälversuch:

	unverstärkte Bahnen	mit Gewebe verstärkte Bahnen
Prüfverfahren:	in Anlehnung an DIN 53455	in Anlehnung an DIN 53354

Herstellung der
Probekörper:

Es werden jeweils 2 Bahnenabschnitte in Längs- und Querrichtung der Bahn entsprechend den Arbeitsanleitungen des Herstellers in einer Breite von mindestens 50 mm gefügt. Am Randstreifen des gefügten Bahnenabschnittes wird der Prüfkörper ausgeschnitten bzw. ausgestanzt. Nach dem Aufklappen der ungefügten Streifenenden entsteht der Probekörper, der beim Zugversuch auf Schälens zu beanspruchen ist.

Form und Anzahl der Probekörper, Vorbehandlung und Prüfungsschwindigkeit entspricht dem Textvorschlag für den Scherver-such.

Prüfung und
Auswertung:

Beim Schälversuch muß das Schälkraft-Weg-Diagramm registriert werden. Aus dem Diagramm wird in Anlehnung an DIN 53539 /15/ die mittlere Schälkraft in N und der mittlere Schälwiderstand in N/mm Probekörperbreite ermittelt. Bei einem Bruch der Probestreifen im ungefügten bzw. eventuell auch im gefügten Bereich ist ergänzend die Reißfestigkeit der Bahn in N/mm² anzugeben. Außerdem sind die beim Schälversuch festzustellenden Besonderheiten (z.B. Bruchlage, Ausriß von Material im Fugebereich, Delamination bei mehrschichtigen Bahnen) zu vermerken.

Ein eingehender Textvorschlag sowie Anforderungen für die Prüfung von Fügenähten im Schälversuch können erst nach weiteren Prüfungen gemacht werden. Im vorgegebenen Rahmen des Forschungsvorhabens war es nicht möglich, eine für diesen Zweck genügende Anzahl von Einflußfaktoren und Randbedingungen sowie andere Kunststoffbahnen im Schälversuch zu untersuchen.

Ein Textvorschlag für die empfohlene Wasserdichtigkeitsprüfung an der Bahnenblase unter Wasserdruck (s. Abschn. 7.4) sowie entsprechende Anforderungen können nicht ausgearbeitet werden, da hierzu wie vermerkt nur einzelne Probekörper untersucht wurden. Zur Fügung dieser Blase könnten vorzugsweise statt unbehandelte Bahnen Bahnenstücke nach z.B. 48 Stunden Wasserlagerung bei +40 °C in einem Klima 23/50 bzw. bei und nach Lagerung im kalten oder warmen Klima verwendet werden.

Die Fügung der Bahnenblasen oder allgemein Fügungen mit Schweißautomaten sollten im Beisein der Vertreter der mit der Fremdüberwachung beauftragten Prüfstelle und Vertretern der Herstellerfirma in der Prüfstelle ausgeführt werden. Nach der Prüfung sollten aus dem Probestück Probekörper für die folgenden Prüfungen entnommen werden:

Scherversuche und/oder Schälwiderstandsversuche

Weitere Fügenähte sollten möglichst auch bei hoher Temperatur, hoher Luftfeuchte und tiefer Temperatur geprüft werden, um Grenzen für die Anwendung der Fügeverfahren, Schweißmittel und Klebstoffe festlegen zu können.

Fügefaktoren und häufig auch Schälwiderstände können ebenfalls an Fügenähten von Ausbauproben aus verlegten Abdichtungen zur Kontrolle oder auch zur Beurteilung der Ausführungsqualität bei Schadensfällen bestimmt werden.

10. Zusammenfassung

In den deutschen Normen für die Anforderungen und Prüfung von Kunststoff-, Dach- und Dichtungsbahnen sind noch keine einheitlichen Verfahren zur Prüfung von Fügenähten enthalten. Die Fügung einer allgemein einsetzbaren Bahn muß unter den klimatischen Baustellenbedingungen genügend gleichmäßig, wasserdicht und kraftschlüssig ausführbar sein, da auch eine lose Verlegung vorgesehen wird.

Ziel der Forschungsarbeit war es, die bereits bekannten und evtl. neue Prüfverfahren zu erproben und zu verbessern, wobei möglichst die Qualität der Bahnenverbindung zahlenwertmäßig erfaßbar sein sollte. Die Prüfverfahren sollten bei einem vertretbaren Prüfaufwand außerdem einheitlich bei möglichst allen im Schweiß- und Klebeverfahren ausgeführten Fügungsarten anwendbar sein. Die Prüfungsergebnisse sollten zwischen guten und schlechten Verbindungen weit gespreizt sein, um hierdurch z.B. das Fügeverfahren optimieren und die Einsatzbedingungen bei der Verarbeitung der Bahnen begrenzen zu können.

Bei den im Laboratorium durchgeführten Versuchen konnte im Rahmen der Forschungsarbeit nur eine begrenzte Anzahl von Prüfungen durchgeführt werden. Es wurden normengerechte PVC weich-Bahnen und PIB-Bahnen eines Herstellerwerkes und bitumenbeständige PVC weich-Bahnen eines anderen Herstellers in jeweils 2 verschiedenen Dickenabmessungen verwendet. Als Schweißverfahren wurde beim PVC-Material die von Hand ausgeführte Quellschweißung (mit Tetrahydrofuran) und Heißgas-schweißung gewählt, da sie im Baustelleneinsatz noch dominieren und nicht völlig zu ersetzen sind. Allerdings wurden die PIB-Bahnen wie vorgeschrieben nur im Quellschweißverfahren (mit Testbenzin) gefügt.

Zur Kennzeichnung der verwendeten Bahnen wurden gemäß den Normen in Längs- und Querrichtung die Reißfestigkeit und -dehnung sowie die Gewichtsänderung der Bahnen bei Wasserlagerung bestimmt. Die Prüfung der gefügten Bahnen erfolgte hauptsächlich beim Scherver-such sowie über den Schälversuch. Die Ergebnisse zeigten, daß die Prüfungen auch beim PIB-Material an einem einheitlichen 15 mm breiten Prüfkörper (Normstab Nr. 5 DIN 534455) durchführbar sind.

Beim Scherversuch wurde als Quotient der Reißkraftwerte der gefügten Bahnen und denen der ungefügten Bahnen der Fügefaktor ermittelt. Außerdem wurde die Rißlage festgehalten, die sich im allgemeinen dicht neben der Fügestelle befand. Beim Scherversuch ist in ver-schiedenen Versuchsreihen der Einfluß der Probekörperlänge auf die

Prüfergebnisse untersucht worden. Zur Ermittlung des Fügefaktors erscheint es beim verwendeten Probekörper Nr. 5 nicht erforderlich, durch einen Korrekturfaktor die unterschiedliche Verformungsgeschwindigkeit in den Probestreifen auszugleichen bzw. beim Scherversuch eine unterschiedliche Prüfgeschwindigkeit zu wählen.

Als Ergebnis des Schälversuches wurden an 50 mm breit gefügten Streifen die mittlere Schälkraft und der mittlere Schälwiderstand angegeben, die über die Auswertung des Kurvenverlaufs von Schälkraft-Weg-Diagrammen erhalten wurden. Auch hier wurde bei der Prüfung die Beschaffenheit der aufgezogenen Fügeflächen bzw. die Rißlage und die Reißfestigkeit der nur bei den PIB-Bahnen häufig aufgetretenen Abrisse festgehalten.

Um die Wasserdichtigkeit der Fügung feststellen zu können, wurde ein drittes Verfahren in Anlehnung an den in den Normen beschriebenen offenen "Beuteltest" entworfen. Der "geschlossene Beutel" (Bahnenblase) kann über ein einschraubbares Kfz-Reifen-Ventil unter Wasserdruck gesetzt werden. An der aus 4 Teilen gefügten Blase kann auch die Dichtigkeit von 4 T-Stößen geprüft werden. Die Maße der Blase sind so gewählt worden, daß nach der Dichtigkeitsprüfung aus den Blasenstücken Probekörper für die Ermittlung des Fügefaktors und des Schälwiderstandes geschnitten werden können. Abgesehen von der Herstellung und Prüfung von zwei derartigen Blasen wurden im Zuge des Forschungsvorhabens keine weiteren Wasserdichtigkeitsprüfungen durchgeführt.

Bei den Scherversuchen und den Schälversuchen konnten im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht alle auf Blatt 11 angeführten Versuche mit den 6 verschiedenen Kunststoffbahnen ausgeführt werden. Trotzdem erlauben die erhaltenen Prüfergebnisse in Bezug auf die Qualität der mit Hand durchgeführten Quell- und Warmgasschweißung von Kunststoff-Dichtungsbahnen bereits erste Erkenntnisse zu folgenden Einflußfaktoren:

Stoffart der Kunststoffbahnen,
Dicke der Bahnen,
Nahtbreite der Fügung,
Geschwindigkeit bei der Heißgasschweißung,
Anpreßdruck beim Fügen,
Lagerungsdauer nach dem Fügen,
Klima beim Fügen - 23/50, 23/95 und 5/100,
Biegung der Fügenaht im Falzversuch bei -20 °C,
Feuchtigkeitsgehalt der Bahnen,
Verschmutzung der Bahn beim Fügen

Der Scherversuch und der Schälversuch wurden in Textvorschlägen beschrieben. Beide Prüfungen können mit dem einheitlichen Prüfkörper Nr. 5 bei den Kunststoffbahnen und vermutlich auch bei den Elastomerbahnen durchgeführt werden, sofern sie keine Gewebeverstärkungen besitzen. Bei den gewebeverstärkten Bahnen müßte mit dem größeren Prüfkörper gemäß DIN 53354 gearbeitet werden.

Die Prüfung des Schälwiderstandes, wie auch das Prüfverfahren zur Ermittlung der Wasserdichtigkeit an einer Bahnenblase, können allerdings noch nicht in den Randbedingungen optimal gefaßt werden. Hier müßten noch u.a. verschiedene Prüfgeschwindigkeiten und Auswertungsmöglichkeiten untersucht werden. Auch sollten, für alle 3 Prüfverfahren, bevor Anforderungen genannt werden können, die Reproduzierbarkeit der Fügenahtherstellung und -Prüfung in Ringanalysen ermittelt und nach statistischen Kenngrößen gesichert werden. Diese Untersuchungen werden für den Schälversuch am Prüfamt in einem nachfolgenden Forschungsauftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau durchgeführt.

* * *

LITERATURVERZEICHNIS

=====

1. AIB der Deutschen Bundesbahn, DS 853
DIN 1910 Teil 1 und Teil 3, DIN 1912 Teil 1, DIN 16931,
DIN 16960 Teil 1, DIN 18190 Teil 3, 4, 5, und 6, DIN 4122,
DIN 7864, DIN 96725, DIN 16729, DIN 16730, DIN 16731,
DIN 16732, DIN 16733 Teil 1, DIN 16734, DIN 16935, DIN 16937,
DIN 16938, S A 280 (CH), UEATc-Richtlinien (siehe Blatt 17-20)
DIN 53495 Bestimmung der Wasseraufnahme nach Lagerung in
kaltem Wasser
2. Untersuchung der Möglichkeiten zur Nahtprüfung bei einlagigen
Kunststoff-Abdichtungen im Tunnelbau, STUVA-Nachrichten 41/77
3. Zitscher, F.-F.: Empfehlungen für die Anwendung von Kunst-
stoffen im Erd- und Wasserbau, Die Bautechnik 4/79, S.112-119
4. Merkblatt für Dachbahnen aus Ethylencopolymerisat-Bitumen (ECB)
gemäß Verwendung bei Dachabdichtungen, Fassung 1977, von u.a.
Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerkes
5. Verlegeanleitung für Alkorplan-Dachbahnen aus PVC weich,
Alkor GmbH., München
6. Verlegeanweisung der Fa. Sarna Kunststoff GmbH.
7. siehe 5.
8. SIA 280 (SNV 564 280) Norm des Schweizerischen Ingenieur-
und Architekten-Vereins, siehe Blatt 20
9. Verlegeanleitung (1973) RAR-System für Straßen und Brücken-
bauwerke mit Walzasphalt-Oberbelägen, Fa. Dynamit Nobel
10. Becker, W. und Jagfeld: Untersuchung über den Einfluß von Ver-
formungsgeschwindigkeit und niedrigen Temperaturen auf das
Spannungs-Dehnungsverhalten von Dach- und Dichtungsbahnen
aus Kunststoff, FA F 518 der FMPA, Otto-Graf-Institut,
Stuttgart, Dez. 1977
11. Steffen, H.: Anforderungen an flexible Dichtungsbahnen bei
Erdbauwerken im Bereich des Umweltschutzes, Beitrag zum I.C.P.
International Symposium "Plastic Waterproofing in Civil
Engineering", Liege/Belgien, 1977
12. DIN 53455 Zugversuch, Prüfung von Kunststoffen, April 1968
13. DIN 53354 Zugversuch, Prüfung von Kunstleder, Febr. 1981
14. in Anlehnung an unveröffentlichte Textvorschläge der BAM/
Krüger, 18.3.1981
15. DIN 53539 Auswertung von Weiterreiß-, Trenn- und Schälver-
suchen, Sept. 1979

1. Reißfestigkeit und -Dehnung der Kunststoffbahnen im
Anlieferungszustand nach DIN 53 455

Normstab Nr. 5 (15 mm Breite/120 mm Einspannlänge) bei
Normklima 23/50 (2 DIN 50 014) $v = 200 \text{ mm/min}$

1.A Probe A PVC 0,85 mm

Prüf- richtung	Dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen
längs	0,84	223	/	283	Standard- abweichung s = 4,2 N s = 9,3 %
	0,83	229		287	
	0,86	231		283	
	0,85	220		264	
	0,86	224		271	
	0,83	228		286	
Mittel	0,845	225,8	17,81	279	
quer	0,83	202	/	292	s = 2,5 N s = 3,4 %
	0,83	206		294	
	0,83	207		294	
	0,83	208		289	
	0,84	203		288	
	0,83	203		297	
Mittel	0,832	204,8	16,41	292	

1.B Probe B PVC 2,0 mm

längs	1,99	463	/	247	s = 3,0 N s = 2,6 %
	1,99	461		252	
	1,98	460		245	
	1,98	457		249	
	1,99	458		251	
	1,98	465		250	
Mittel	1,985	460,7	15,47	249	
quer	1,99	438	/	267	s = 4,2 N s = 3,0 %
	1,98	450		263	
	1,99	443		262	
	1,99	440		266	
	1,98	442		268	
	1,98	440		270	
Mittel	1,985	442,2	14,85	266	

1.B*) Probe B wie 1.B,
jedoch bis Prüfung Lagerung 7 Tage bei Klima 23/95

längs	2,00	460	/	263	s = 5,1 N s = 4,4 %
	2,00	467		274	
	2,00	462		271	
	1,99	473		269	
	1,99	464		273	
	Mittel	1,996		465,2	

* bezogen auf den Ausgangsquerschnitt mit Dicke 1,985 mm

1.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

Prüf- richtung	Dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen
längs	0,77	255	/	286	Standard- abweichung s = 5,4 N s = 7,0 %
	0,77	242		291	
	0,77	247		289	
	0,76	250		293	
	0,77	253		307	
	0,76	246		291	
	0,76	257		287	
Mittel	0,766	250,0	21,78	292	
quer	0,78	223	/	308	s = 5,0 N s = 5,8 %
	0,78	221		307	
	0,77	225		314	
	0,76	225		320	
	0,76	234		318	
Mittel	0,770	225,6	19,53	313	

1.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

längs	1,92	612	/	293	s = 9,8 N s = 3,6 %
	1,92	617		291	
	1,92	589		292	
	1,92	608		294	
	1,92	600		298	
	1,92	604		300	
Mittel	1,920	605,0	21,01	295	
quer	1,92	531	/	308	s = 6,6 N s = 2,0 %
	1,93	543		312	
	1,92	542		308	
	1,93	548		311	
	1,92	543		307	
	1,94	550		310	
Mittel	1,927	542,8	18,78	309	

1.D*) Probe D wie 1.D,
jedoch bis Prüfung Lagerung 7 Tage bei Klima 23/95

längs	1,95	601	/	321	s = 12,6 N s = 11,7 %
	1,95	583		294	
	1,95	607		317	
	1,95	607		319	
	1,95	617		322	
Mittel	1,950	603,0	20,62 (20,94*)	315	

* bezogen auf den Ausgangsquerschnitt mit Dicke 1,920 mm

(wie vor, auch bei PIB-Bahnen als
Prüfkörper Stab Nr.5 - DIN 53455)

1.E Probe E PIB 1,5 mm

Prüf- richtung	Dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	
längs	1,55	73	/	608	Standard- abweichung s = 2,6 N s = 13,4 %
	1,56	74		603	
	1,57	75		613	
	1,57	80		619	
	1,55	74		588	
	1,56	73		586	
Mittel	1,56	74,8	3,20	603	
quer	1,53	71	/	666	s = 1,6 N s = 19,4 %
	1,46	74		694	
	1,49	75		680	
	1,46	75		716	
	1,49	74		702	
Mittel	1,486	73,8	3,36	692	

1.F Probe F PIB 2,0 mm

längs	2,02	109	/	624	s = 2,7 N s = 21,4 %
	1,96	104		569	
	1,98	110		586	
	1,98	105		597	
	2,03	109		611	
Mittel	1,994	107,4	3,59	597	
quer	1,98	103	/	699	s = 3,4 N s = 8,6 %
	1,97	109		694	
	2,00	100		677	
	1,97	103		685	
	1,94	106		692	
Mittel	1,972	104,2	3,52	689	

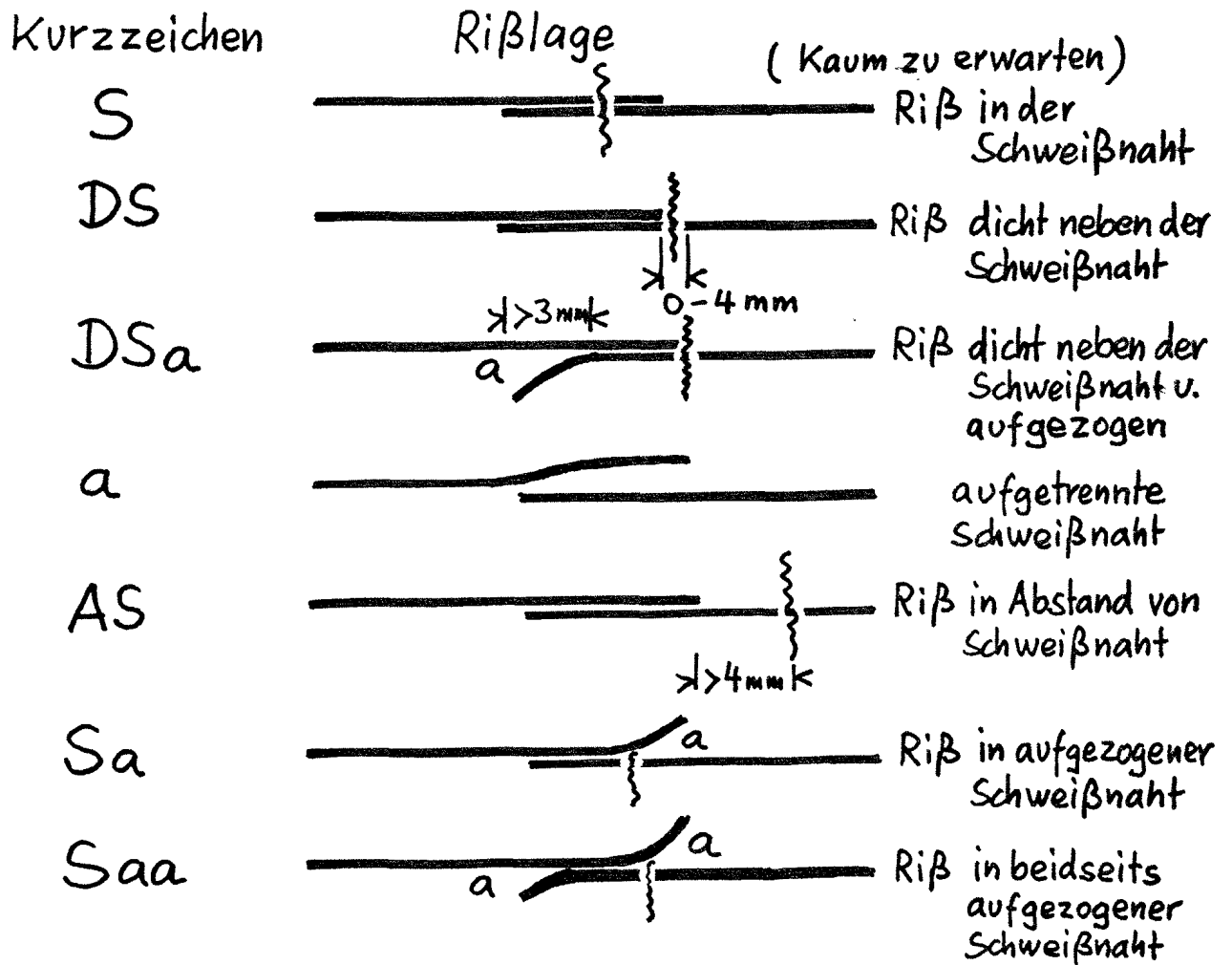
1.F*) Probe F wie 1.F, jedoch bis Prüfung 7 Tage bei Klima 23/95

längs	2,10	112	/	540	s = 3,2 N s = 6,0 %
	2,05	109		525	
	2,15	115		532	
	2,09	117		536	
	2,14	111		528	
Mittel	2,106	112,8	3,57 (3,77*)	532	

* bezogen auf den Ausgangsquerschnitt mit Dicke 1,994 mm

Rißbilder von Zugscherversuchen

Die Rißbilder wurden bei allen Versuchen festgehalten. Sie sind in den Ergebnistabellen der Prüfungen Nr. 2 bis Nr. 7 und Nr. 11 bis Nr. 18 mit Kurzzeichen und Anzahl der Probestreifen vermerkt.



2. Scherversuche an quellverschweißten Kunststoffbahnen

(gemäß DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 50 mm Überlappung gefügt (bei allen Zugversuchen wurde die Reißdehnung zwischen den Einspannklemmen ab Einspannlänge 120 mm gemessen)

2.A Probe A PVC 0,85 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 3,3 N s = 8,5 % 1 DSa 5 DS
längs	44	0,83	184	/	238	
	50	0,83	186		247	
	47	0,84	184		258	
	36	0,83	177		260	
	50	0,83	180		255	
	50	0,83	183		258	
Mittel	-	0,832	182,3	14,61	253	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 3,2 N s = 7,0 % 5 DS
längs	51	0,83	197	/	254	
	51	0,84	191		237	
	51	0,84	193		243	
	50	0,84	198		250	
	51	0,84	198		252	
Mittel	-	0,838	195,4	15,54	247	

2.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 11,3 N s = 8,2 % 4 DS 1 DSa 1 Sa
längs	41	1,98	303	/	205	
	36	1,97	306		214	
	50	2,05	327		200	
	31	1,93	294		222	
	46	1,98	315		210	
	43	2,04	312		218	
Mittel	-	1,992	309,5	10,36	212	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 20,9 N s = 12,1 % 4 DS 1 DSa
längs	46	2,07	352	/	188	
	37	2,00	320		183	
	49	2,08	357		203	
	41	2,01	330		203	
	45	2,05	308		176	
Mittel	-	2,042	333,4	10,88	191	

Fortsetzung Quellverschweißung mit 50 mm Überlappung

2.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen - Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 15,1 N s = 13,7 % 4 DS 2 DSa
längs	51	0,73	132	/	265	
	51	0,75	161		298	
	51	0,73	152		283	
	52	0,74	168		298	
	52	0,74	171		295	
	51	0,74	143		275	
Mittel	-	0,738	154,5	13,94	286	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 11,4 N s = 20,7 % 4 DS 1 DSa
längs	50	0,76	194	/	276	
	50	0,76	199		278	
	50	0,76	173		250	
	49	0,76	200		297	
	50	0,75	199		303	
Mittel	-	0,758	193,0	16,97	281	

2.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 15,3 N s = 8,6 % 5 DS 1 Sa
längs	50	1,89	351	/	240	
	50	1,90	363		248	
	49	1,89	384		255	
	49	1,88	340		236	
	51	1,87	368		258	
	52	1,90	353		252	
Mittel	-	1,888	359,8	12,70	248	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 13,6 N s = 15,0 % 5 DS
längs	51	1,92	387	/	239	
	51	1,91	396		242	
	51	1,92	364		210	
	50	1,91	393		245	
	50	1,92	397		246	
Mittel	-	1,916	387,4	13,48	236	

Fortsetzung Quellverschweißung mit 50 mm Überlappung

2.E Probe E PIB 1,5 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 6,7 N s = 9,7 % 6 DS
längs	49	1,48	70	/	389	
	49	1,50	69		384	
	48	1,52	56		375	
	49	1,53	71		380	
	50	1,46	57		370	
	50	1,54	67		397	
Mittel	-	1,505	65,0	2,88	383	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 3,9 N s = 28,0 % 5 DS
längs	49	1,50	65	/	385	
	49	1,48	59		378	
	49	1,53	61		379	
	48	1,51	62		400	
	48	1,53	69		445	
Mittel	-	1,510	63,2	2,79	397	

2.F Probe F PIB 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 5,1 N s = 10,4 % 5 DS 1 DSa
längs	53	2,13	81	/	318	
	52	2,03	84		347	
	53	2,08	84		331	
	52	2,03	76		320	
	50	2,01	78		330	
	49	1,95	71		326	
Mittel	-	2,038	79,0	2,58	329	
Prüfung 2 Monate nach dem Fügen:						s = 4,8 N s = 15,6 % 3 DS 1 DSa 1 Sa
	50	2,02	79	/	338	
	52	2,07	72		368	
	52	2,08	66		325	
	51	2,04	69		343	
	51	2,02	72		342	
Mittel	-	2,046	71,6	2,33	343	

3. Scherversuche an quellverschweißten Bahnen

(gemäß DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 30 mm Überlappung gefügt

3.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung
längs	30	2,01	320	/	220	s = 14,7 N s = 15,1 % 4 DS
	33	2,00	285		198	
	32	1,99	302		234	
	31	1,99	309		212	
Mittel	-	1,998	304,0	10,15	216	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						
längs	28	2,07	296	/	185	s = 34,1 N s = 22,8 % 5 DS
	31	2,03	372		228	
	31	2,03	367		218	
	29	2,07	312		177	
	31	2,03	320		185	
Mittel	-	2,046	333,4	10,86	199	

3.F Probe F PIB 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 6,2 N s = 14,0 %
längs	30	1,98	74	/	425	3 DS 1 Sa
	30	2,04	86		440	
	31	2,01	74		406	
	30	1,92	83		427	
Mittel	-	1,988	79,3	2,66	425	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						
längs	30	2,04	86	/	446	s = 7,7 N s = 15,3 % 3 DS 2 Sa
	30	2,08	72		430	
	30	2,06	66		410	
	31	2,10	74		440	
	31	2,06	80		447	
Mittel	-	2,068	75,6	2,44	435	

4. Scherversuche an quellverschweißten Bahnen
(gemäß DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 30 mm Überlappung gefügt, jedoch mit "geringem Anpreßdruck" (siehe Bl.27), Prüfung 48 h nach dem Fügen

4.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
längs	30	2,05	290	/	206	s = 16,8 N s = 18,8 % 1 DSa 3 DS
	30	2,05	313		232	
	30	2,08	316		238	
	30	2,03	282		200	
Mittel	-	2,053	300,3	9,75	219	
Vergleichswerte bei "normalem Anpreßdruck" (Anlage 8)			304,0	10,15	216	

4.F Probe F PIB 2,0 mm

längs	32	2,01	92	/	438	s = 1,5 N s = 9,7 % 4 DS
	33	2,09	94		456	
	33	2,07	92		460	
	32	2,06	95		448	
Mittel	-	2,058	93,3	3,02	451	
Vergleichswerte bei "normalem Anpreßdruck" (Anlage 8)			79,3	2,66	425	

5. Scherversuche an quellverschweißten Bahnen gemäß
DIN 53 455 (Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 15 mm Überlappung gefügt

5.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 9,7 N s = 9,8 % 4 DS
längs	13	1,95	315	/	244	
	14	1,93	321		246	
	13	1,96	314		238	
	13	1,97	335		261	
Mittel	-	1,953	321,3	10,97	247	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen						s = 8,4 N s = 7,5 % 4 DS 1 DSa
längs	12	2,00	361	/	223	
	12	2,00	364		222	
	12	2,01	349		208	
	11	2,00	365		223	
	11	1,99	372		228	
Mittel	-	2,000	362,2	12,07	221	

5.F Probe F PIB 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 5,7 N s = 20,2 % 4 DS
längs	16	2,03	75	/	442	
	16	1,96	88		472	
	17	2,06	85		491	
	16	2,08	85		470	
Mittel	-	2,023	83,3	2,75	469	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen						s = 3,6 N s = 5,6 % 5 DS
längs	17	2,09	74	/	477	
	16	2,08	79		468	
	16	2,04	81		465	
	15	2,07	80		477	
	16	2,04	84		475	
Mittel	-	2,064	79,6	2,57	472	

6. Scherversuche an quellverschweißten Bahnen
(nach DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Feuchte-Klima 23/95 mit 30 mm Überlappung gefügt

Die Bahnen wurden 48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 23/50 gelagert, anschließend 24 h bis Prüfung bei Klima 23/50.

6.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
längs	28	2,09	248	/	183	s = 14,1 N s = 15,5 %
	30	2,09	275		224	
	30	2,07	239		192	2 DS
	29	2,11	243		201	2 DSa
	30	2,10	252		194	1 Sa
Mittel	-	2,092	251,4	8,01	199	

6.B*) Bahn bis 24 h nach dem Fügen Klima 23/95,
anschließend 65 Tage bis Prüfung Klima 23/50

längs	30	2,06	327	/	228	s = 19,2 N s = 21,9 %
	30	2,04	337		224	
	29	2,05	298		185	2 DSa 4 DS
	30	2,04	296		183	
	30	2,04	308		193	
	29	2,04	288		178	
Mittel	-	2,045	309,0	10,07	199	

6.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm (Lagerung wie 6.B)

längs	31	1,97	329	/	204	s = 5,4 N s = 4,4 %
	31	1,96	321		203	
	32	1,97	322		201	5 DS
	30	1,98	314		193	
	33	1,97	323		198	
Mittel	-	1,970	321,8	10,89	200	

6.F Probe F PIB 2,0 mm (Lagerung wie 6.B)

längs	33	2,11	83	/	438	s = 6,5 N s = 16,1 %
	33	2,04	78		464	
	34	2,10	81		428	4 DS
	33	2,05	93		454	
Mittel	-	2,075	83,8	2,69	446	

6.F*) Bahn bis 24 h nach dem Fügen Klima 23/95
anschließend 65 Tage bis Prüfung Klima 23/50

längs	33	1,99	67	/	453	s = 2,9 N s = 20,4 %
	33	1,95	72		488	
	34	1,95	70		477	5 DS
	33	2,06	65		436	
	34	2,02	71		468	
Mittel	-	1,994	69,0	2,31	464	

7. Scherversuche an quellverschweißten Bahnen
(DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Feuchte-Klima 5/100 mit 30 mm Überlappung gefügt

Die Bahnen wurden 48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 5/100 gelagert, anschließend 24 h bis Prüfung bei Klima 23/50.

7.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
längs	33	2,05	319	/	225	s = 18,1 N s = 16,9 % 1 DSa 1 Sa 4 DS
	33	2,05	332		233	
	34	2,06	307		201	
	35	2,07	352		250	
	34	2,09	340		232	
	34	2,05	308		214	
Mittel	-	2,062	326,3	10,55	226	
Vergleichswerte:						
Klima 23/95 (Anl.11)			251	8,01	199	
Klima 23/50 (Anl. 8)			304	10,15	216	

7.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

längs	31	1,98	397	/	248	s = 28,7 N s = 23,0 % 4 DS 1 DSa
	25	1,98	352		205	
	28	1,98	411		248	
	26	1,97	387		231	
	30	1,97	345		200	
Mittel	-	1,973	378,4	12,74	226	
Vergleichswerte:						
Klima 23/95 (Anl.11)			322	10,89	200	
Klima 23/50 (-)			-	-	-	

7.F Probe F PIB 2,0 mm

längs	34	2,09	88	/	509	s = 10,3 N s = 58,1 % 6 DS
	34	2,06	71		400	
	34	2,09	75		458	
	34	2,12	97		559	
	34	2,09	90		502	
	34	2,10	76		430	
Mittel	-	2,092	82,8	2,64	476	
Vergleichswerte:						
Klima 23/95 (Anl.11)			84	2,69	446	
Klima 23/50 (Anl. 8)			76	2,44	435	

8. Einfluß der Probekörperlänge bei Scherversuchen an quellverschweißten Bahnen, 16 Monate nach der Fügung

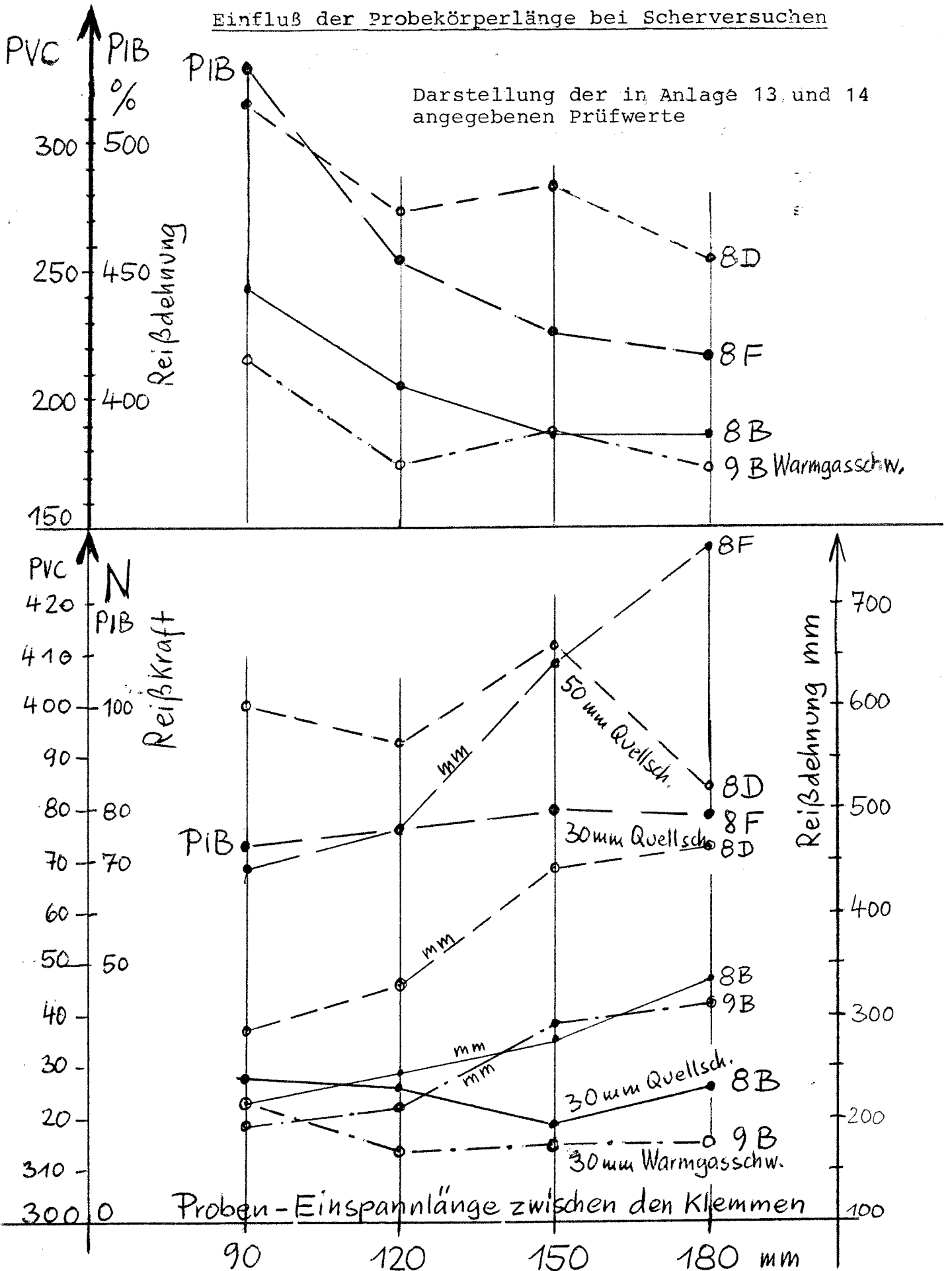
Proben- Einspann- länge zwischen Klemmen	<u>B PVC 2 mm</u>			<u>D PVC bitb.2 mm</u>			<u>F PIB 2 mm</u>		
	30 mm Überlappung			50 mm Überlappung			30 mm Überlappung		
	Fügung und Lagerung bei Klima 23/95			Fügung und Lagerung bei Klima 23/50			Fügung und Lagerung bei Klima 23/95		
	Reißkraft	Reißdehnung		Reißkraft	Reißdehnung		Reißkraft	Reißdehnung	
N	Δl mm	%	N	Δl mm	%	N	Δl mm	%	
90 mm	322 334 336 324 324 $s = 6,5$	/	4,2 242 242 247 245 236	414 392 414 384 396 $s = 13,5$	/	338 306 330 297 314 $s = 4,0$	69 76 78 70 71 $s = 4,0$	/	488 540 577 518 525 $s = 4,0$
Mittel	328	218	242	400	285	317	73	445	530
120 mm (Norm)	336 320 328 318 330 $s = 7,4$	/	210 201 208 196 208 $s = 5,9$	400 384 372 406 404 $s = 14,7$	/	278 264 249 288 279 $s = 15,3$	71 77 77 80 $s = 3,8$	/	436 466 436 477 $s = 21,0$
Mittel	326	245	205	393	326	272	76	477	454
150 mm	314 (404) 330 318 312 $s = 8,1$	/	178 (266) 198 177 178 $s = 10,2$	414 424 436 396 390 $s = 19,1$	/	298 270 304 270 262 $s = 18,9$	80 83 84 74 $s = 4,5$	/	426 444 428 411 $s = 13,5$
Mittel	319	274	183	412	421	281	80	641	427
180 mm	320 318 346 328 318 $s = 12,9$	/	167 179 198 193 183 $s = 12,2$	402 418 356 380 364 $s = 25,9$	/	257 271 226 264 250 $s = 17,3$	80 81 75 81 $s = 2,9$	/	418 416 418 418 $s = 1,0$
Mittel	326	331	184	384	457	254	79	752	418

9. Einfluß der Probekörperlänge bei Scherversuchen an
warmgasverschweißten Bahnen, 16 Monate nach der Fügung

9.B Probe B PVC 2,0 mm 30 mm Überlappung
Fügung und Lagerung bis zur Prüfung im Klima 23/95

Proben- Einspannlänge zwischen Klemmen	Reißkraft N	Reißdehnung	
		mm	%
90 mm	314 310 320 336 334 s = 11,7	/	207 219 203 232 221 s = 11,6
	Mittel		323
120 mm	324 306 308 314 316 s = 7,1	/	181 170 165 174 177 s = 6,2
	Mittel		314
150 mm	312 328 342 290 304 s = 20,3	/	181 205 211 176 173 s = 17,5
	Mittel		315
180 mm	314 322 322 306 312 s = 6,9	/	172 164 183 173 170 s = 6,9
	Mittel		315

Einfluß der Probekörperlänge bei Scherversuchen



11. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen
(gemäß DIN 53 455, Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 50 mm Überlappung gefügt

11.A Probe A PVC 0,85 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 12,6 N s = 8,7 % 5 DSA 1 Sa
längs	52	0,84	221	/	290	
	51	0,83	187		280	
	48	0,84	193		270	
	40	0,82	198		275	
	45	0,83	188		265	
	45	0,82	192		273	
Mittel	-	0,830	196,5	15,78	276	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 8,1 N s = 10,4 % 3 DSA 2 Sa
längs	50	0,84	210	/	300	
	50	0,84	204		297	
	49	0,84	213		302	
	48	0,84	196		280	
	48	0,84	195		282	
Mittel	-	0,840	203,6	16,16	292	

11.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 17,1 N s = 12,9 % 5 DS 1 DSA
längs	49	2,06	332	/	180	
	49	2,01	335		185	
	48	1,98	345		189	
	48	2,11	321		179	
	49	1,99	306		170	
	47	2,02	354		208	
Mittel	-	2,028	332,2	10,92	185	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 5,4 N s = 8,1 % 5 DS
längs	47	2,13	333	/	199	
	49	2,01	319		181	
	49	2,05	322		182	
	48	2,03	326		181	
	48	2,10	328		180	
Mittel	-	2,064	325,6	10,52	185	

Fortsetzung Warmgasverschweißung mit 50 mm Überlappung

11.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 6,0 N s = 10,1 % 5 DSa 1 DS
längs	50	0,76	191	/	290	
	50	0,76	183		281	
	51	0,75	179		264	
	51	0,74	191		287	
	52	0,74	180		277	
	50	0,74	192		290	
Mittel	-	0,748	186,0	16,58	282	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 4,2 N s = 11,7 % 5 DS
längs	51	0,77	189	/	288	
	50	0,77	185		274	
	50	0,78	186		273	
	51	0,77	185		268	
	50	0,77	195		296	
	Mittel	-	0,772		188,0	

11.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 4,4 N s = 5,9 % 5 DS 1 DSa
längs	50	1,85	372	/	235	
	51	1,85	383		241	
	51	1,85	380		239	
	51	1,86	378		230	
	50	1,85	374		234	
	50	1,85	373		225	
Mittel	-	1,852	376,7	13,56	234	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 10,9 N s = 8,2 % 5 DS
längs	49	1,89	390	/	245	
	49	1,88	401		254	
	49	1,88	407		260	
	49	1,88	408		259	
	49	1,89	383		242	
	Mittel	-	1,884		397,8	

12. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen
(gemäß DIN 53 455 Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 50 mm Überlappung gefügt,
jedoch mit "hoher Geschwindigkeit" (siehe Bl.29)

12.A Probe A PVC 0,85 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 12,1 N s = 16,2 % 4 DSa 2 Sa
längs	48	0,83	203	/	319	
	47	0,83	181		279	
	50	0,83	196		305	
	47	0,82	212		322	
	45	0,82	194		298	
	45	0,83	213		316	
Mittel	-	0,827	199,8	16,11	307	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 9,0 N s = 28,2 % 3 DSa 2 Sa
längs	51	0,84	177	/	275	
	50	0,83	186		277	
	51	0,83	186		250	
	50	0,83	202		327	
	51	0,83	186		290	
Mittel	-	0,832	187,4	15,02	284	

12.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 35,3 N s = 19,0 % 2 DS 2 DSa 2 Sa
längs	49	2,04	346	/	198	
	47	1,97	342		195	
	49	2,08	372		218	
	47	2,03	344		200	
	49	1,97	271		161	
	41	1,91	360		205	
Mittel	-	2,000	339,2	11,31	196	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 7,4 N s = 25,1 % 3 DS 2 DSa
	47	2,07	341	/	200	
	49	2,04	333		189	
	46	1,99	347		230	
	48	2,10	340		178	
	48	1,99	328		235	
Mittel	-	2,038	337,8	11,05	206	

Fortsetzung Warmgasverschweißung mit 50 mm Überlappung,
jedoch mit "hoher Geschwindigkeit" (siehe Bl.29)

12.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 19,1 N s = 47,0 % 6 DS
längs	49	0,74	175	/	281	
	41	0,74	182		285	
	45	0,74	203		361	
	44	0,73	217		370	
	52	0,73	206		364	
	36	0,73	170		273	
Mittel	-	0,735	192,2	17,43	322	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 13,6 N s = 34,6 % 4 DS 1 DSa
längs	51	0,76	179	/	280	
	52	0,76	191		304	
	53	0,75	213		355	
	52	0,75	192		317	
	52	0,76	207		362	
Mittel	-	0,756	196,4	17,32	324	

12.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 13,0 N s = 11,6 % 4 DS 1 Dsa
längs	50	1,85	352	/	204	
	49	1,86	379		230	
	48	1,85	345		200	
	48	1,85	355		212	
	49	1,84	352		209	
	49	(1,85)	(423!)		(268!)	
Mittel	-	1,850	356,6	12,85	211	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 13,1 N s = 13,0 % 5 DS
längs	49	1,88	360	/	214	
	49	1,88	380		235	
	49	1,87	356		214	
	49	1,87	384		241	
	49	1,88	359		216	
Mittel	-	1,876	367,8	13,07	224	

13. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen

(gemäß DIN 53455, Stab-Nr. 5)
bei Normalklima 23/50 mit 30 mm Überlappung gefügt.

13.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen RiBlage
Prüfung 48 h nach dem Fügen:						Standard- abweichung s = 9,7 N s = 9,6 % 5 DS 1 DSa
längs	31	2,01	321	/	204	
	32	2,06	348		178	
	31	2,03	342		184	
	32	2,03	341		188	
	32	2,02	343		180	
	32	2,06	332		193	
Mittel	-	2,035	337,8	11,07	188	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						s = 3,7 N s = 3,7 % 4 DS
	31	2,04	326	/	200	
	31	2,04	326		192	
	30	2,04	322		194	
	31	2,04	331		198	
	31	2,04	(381)		(163)	
Mittel	-	2,040	326,3	10,66	196	

14. Scherversuch an warmgasverschweißten Bahnen bei Normalklima 23/50 mit 30 mm Überlappung gefügt, jedoch mit "geringem Anpreßdruck" (siehe Bl.29)

14.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüfung 48 h nach dem Fügen:						s = 16,6 N s = 13,6 % 3 DS 3 DSa
längs	32	2,07	327	/	202	
	31	2,09	366		170	
	32	2,06	353		189	
	30	2,02	324		209	
	32	2,04	355		185	
	30	2,03	342		191	
Mittel	-	2,050	344,5	11,20	191	

15. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen

(DIN 53 455, Stab Nr. 5)

bei Normalklima 23/50 mit 30 mm Überlappung gefügt, jedoch vorher beidseits Fügestelle der Bahn bestrichen mit "feuchtem Schmutz" (Kalksteinmehl $\text{CaCO}_3 \approx 95\%$, Trockengew. ca. 15 g/m^2).

Die "verschmutzte" Bahn erschien bei diesem Schmutzauftrag schon stark verfärbt. Es ist anzunehmen, daß bereits bei einer um mehr als 30 % geringeren Verschmutzung der Verarbeiter vor der Warmgasschweißung die Fügestelle durch Abwischen säubern wird.

Beim Fügen der Probe war der feuchte Schmutz bereits angetrocknet.

15.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
längs	30	1,94	332	/	218	Standard- abweichung s = 39,1 N s = 21,1 % 1 DS 3 a!
	30	1,92	341		222	
	31	1,99	305		212	
	31	2,00	254		176	
Mittel	-	1,963	308	10,46	207	

16. Scherversuch an warmgasverschweißten Bahnen

bei Normalklima 23/50 mit 15 mm Überlappung gefügt

16.B Probe B PVC 2,0 mm

längs	16	1,95	360	/	183	s = 14,0 N s = 6,6 %
	17	1,96	334		196	
	16	1,95	354		189	
	17	1,96	357		187	
	17	1,97	357		185	
	16	1,97	327		200	6 DS
Mittel	-	1,960	348,2	11,84	190	

17. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen
(DIN 53 455, Stab-Nr. 5)

bei Feuchte-Klima 23/95 mit 30 mm Überlappung gefügt

Die Bahnen wurden 48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 23/95 gelagert, anschließend Prüfung bei Klima 23/50

17.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen Rißlage
längs	29	2,07	266	/	198	Standardabw. s = 22,8 N s = 19,1 % 2 DSa 3 DS
	28	2,05	280			
	30	2,02	267			
	28	1,99	222			
	29	2,12	273			
Mittel	-	2,050	261,6	8,51	212	

17.B*) Bahn bis 24 h nach dem Fügen Klima 23/95,
anschließend 65 Tage bis Prüfung Klima 23/50

längs	30	2,08	361	/	244	s = 15,0 N s = 21,4 % 2 DSa 4 DS
	29	2,09	322			
	28	2,08	319			
	29	2,02	314			
	29	2,02	309			
	29	2,02	284			
Mittel	-	2,052	318,2	10,34	204	

17.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm (Lagerung wie 17.B)

längs	29	(1,95)	(410)	/	(272)	s = 6,0 N s = 4,5 % 4 DS
	28	1,98	344			
	30	1,95	350			
	29	1,96	351			
	29	1,95	338			
Mittel	-	1,960	345,8	11,76	213	

18. Scherversuche an warmgasverschweißten Bahnen

(DIN 53 455, Stab Nr. 5)

bei Kälte-Feuchte-Klima 5/100 mit 30 mm Überlappung gefügt

Die Bahnen wurden 48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 5/100 gelagert, anschließend 24 h bis Prüfung bei Klima 23/50.

18.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüf- richtung	Schweißnaht- breite gemessen mm	Bahn- dicke mm	Reißkraft N	Reißfestigkeit N/mm ²	Reißdehnung %	Bemerkungen RiBlage
längs	30	2,03	295	/	225	Standardabw. s = 14,4 N s = 11,9 % 1 DSA 5 DS
	30	2,04	301		229	
	30	2,03	285		239	
	30	2,03	295		248	
	29	2,05	298		245	
	29	2,05	262		218	
Mittel	-	2,038	289,3	9,46	234	
Vergleichswerte:						
Klima 23/95 (17.1)			262	8,51	212	
Klima 23/50 (13.1)			338	11,07	187	
ohne Fügung Klima 23/50 (1.1)			461	15,47	249	

18.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

längs	31	1,96	393	/	233	s = 20,7 N s = 14,4 % 6 DS
	28	1,96	424		258	
	28	1,97	430		264	
	28	1,96	413		250	
	31	1,98	378		229	
	30	1,96	425		258	
Mittel	-	1,962	410,5	13,95	249	
Vergleichswerte:						
Klima 23/95 (17.1)			346	11,76	213	
Klima 23/50 (--)			-	-	-	
ohne Fügung Klima 23/50 (1.2)			605	21,01	295	

21. Schälkraftermittlung an quellverschweißten Nähten
50 mm breit

(Prüfungen jeweils in Längsrichtung, Stab Nr. 5,

v = 200 mm/min, Probekörperbreite 15 mm)

Fügen und Lagern bei Normalklima 23/50 (2 DIN 50 014)

21.B Probe B PVC 2,0 mm

Prüfung nach 48 h

Prüfung nach 4 Monaten

Schweißnaht- breite gemessen mm	mittlere Schälkraft	
	N	N/mm
66	48	s = 3,3
54	54	
75	58	
67	52	
77	55	
86	54	
Mittel	53,5	3,57

mittlere Schälkraft	
N	N/mm
75	s = 1,6
73	
72	
71	
74	
73,0	4,87

Naht wird bei allen Streifen gleichmäßig aufgezogen,
mittlere Schälkraft entspricht etwa maximaler Schälkraft.

21.F Probe F PIB 2,0 mm

Prüfung wie 21.B nach 48 h

nach 4 Monaten

58	42	s = 3,6
60	39	
56	39	
57	47*)	
58	47*)	
61	43	
Mittel	42,8	

51*)	s = 2,8
49	
50*)	
44	
47	
48,2	3,21

Naht wird unter Ausriß von Material aufgezogen,

*) bei jeweils 2 Streifen Reißen nach ~ 50 % Trennweg.

Die Reißkraft der gefügten Probekörper liegt somit bei 47,0
bzw. 50,5 N, die der ungefügten Probekörper bei 107,4 N
(s. Anlage 3/1 F).

$$\text{Fügefaktor} = \frac{47,0}{107,0} = 0,44 \quad \text{entspr. 44 \%}$$

$$\text{bzw. Fü} = \frac{50,5}{107,4} = 0,55 \quad \text{entspr. 50 \%}$$

Schälkraftermittlung an Nähten

Quellschweißung mit 50 mm Nahtbreite (tats. 60 - 70 mm)

(Stab-Nr. 5 - Probekörperbreite 15 mm v = 200 mm/min)

Quellschweißung nach 40 h Wasserlagerung bei 40° C
Fügen und bis Prüfung Lagerung 2 Tage bei Klima 23/50

22.A Probe A PVC 0,85 mm

Schälkraft aus Kraft-Weg-Diagrammen					
Höchstwert		Tiefstwert		Mittelwert	
N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
43	/	26	/	35	/
42		21		34	
38		21		31	
38		22		31	
39		21		31	
40,0	2,67	22,2	1,48	32,4	2,16

Naht wird
gleichmäßig
aufgezogen.

22.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

32	/	20	/	26	/
32		22		27	
30		21		25	
32		20		25	
33		20		26	
31,8	2,12	20,6	1,37	25,8	1,72

Naht wird
gleichmäßig
aufgezogen.

22.E Probe E PIB 1,5 mm

30	/	25	/	27	/
27		25		26	
27		24		26	
28		25		27	
25		24		24	
27,4	1,83	24,6	1,64	26,0	1,73

Nach kurzem
Trennweg reißen
die Streifen.

Die Reißkraft der gefügten Probekörper liegt
somit bei 27,4 N,

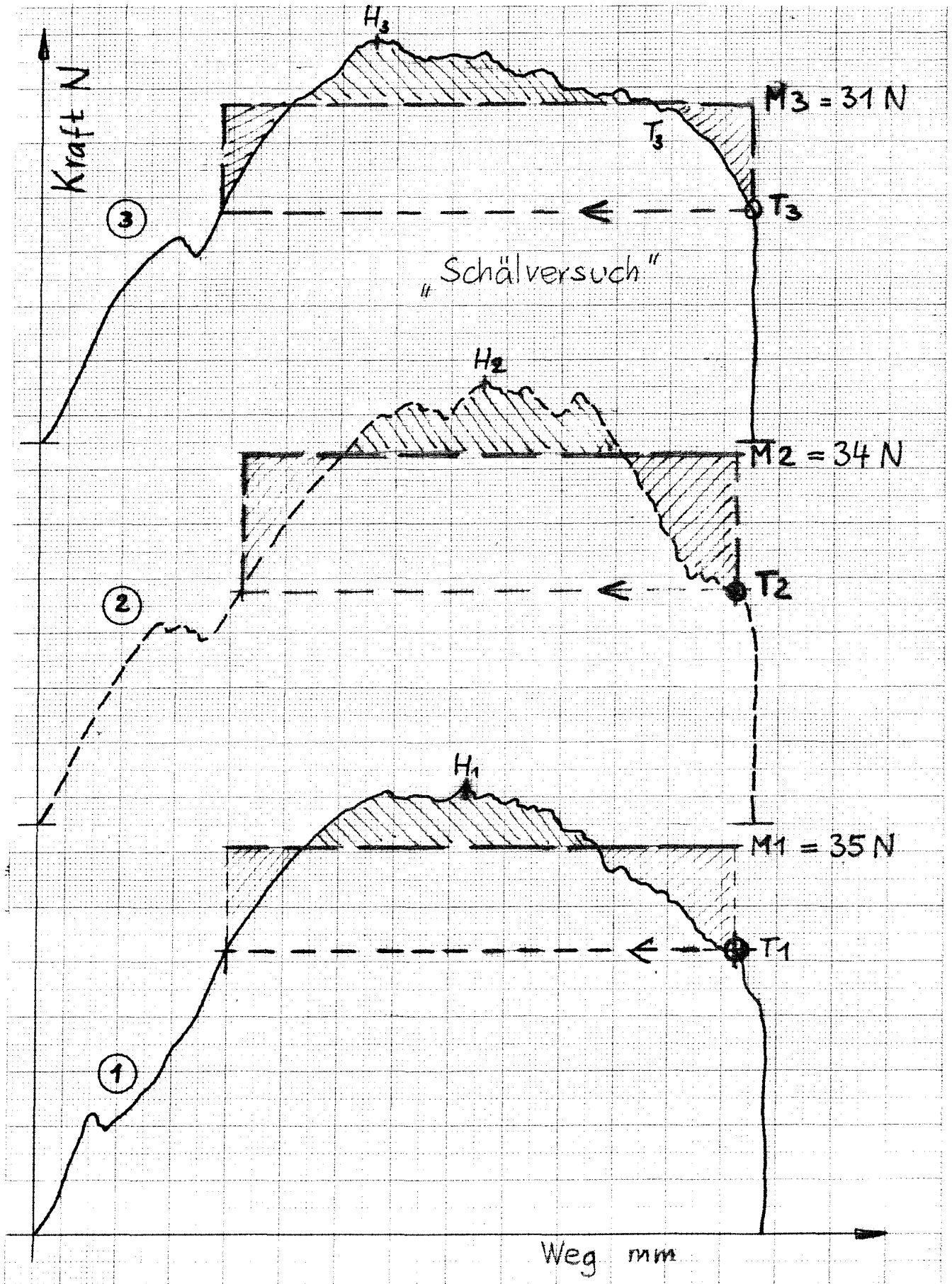
die der ungefügten Probekörper bei 74,8 N (s. Anlage 3/1 E)

$$\text{Fügefaktor} = \frac{27,4}{74,8} = 0,37 \quad \text{entspr. } 37 \%$$

Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe 22.A

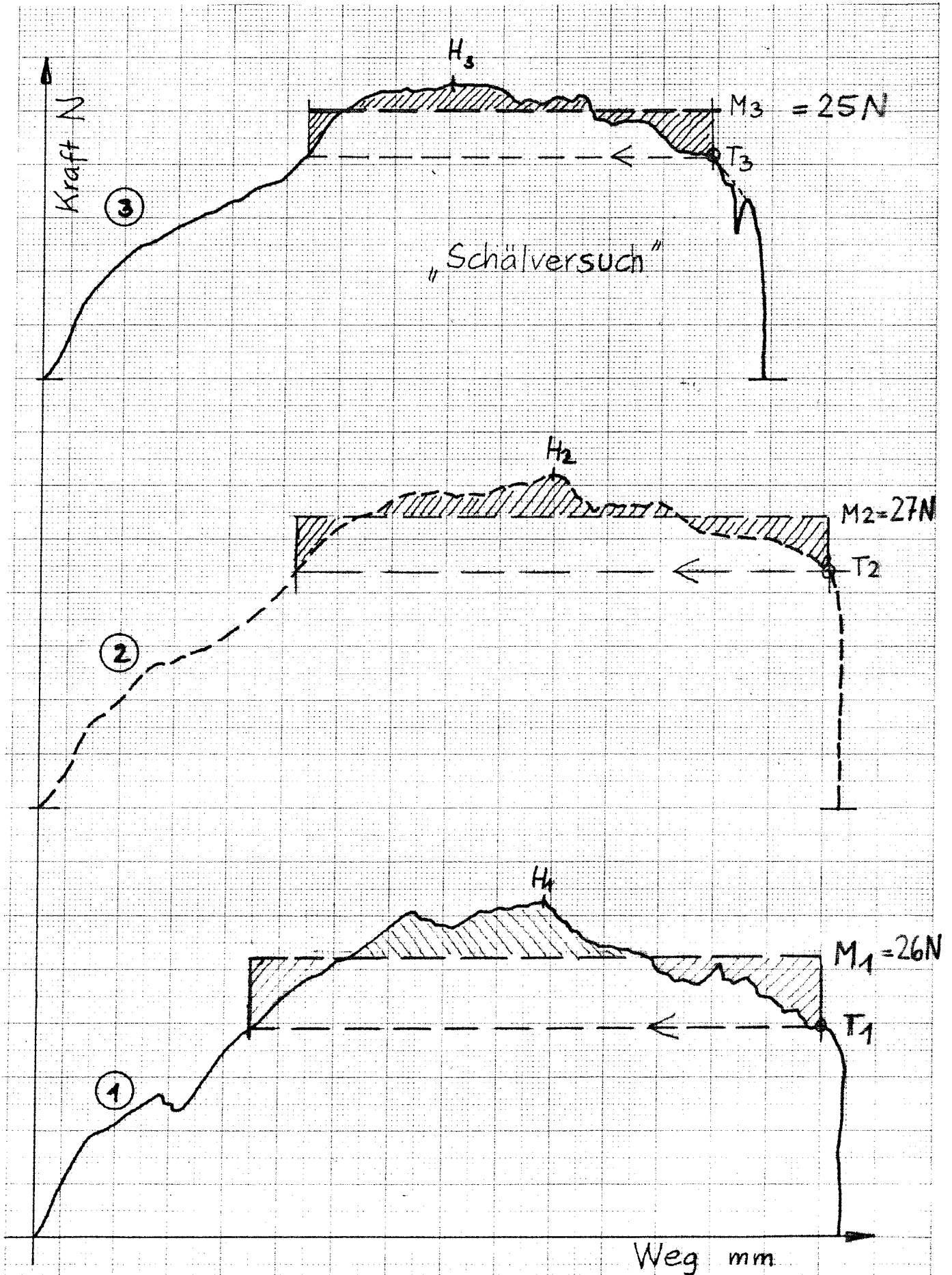
(PVC 0,85 mm)

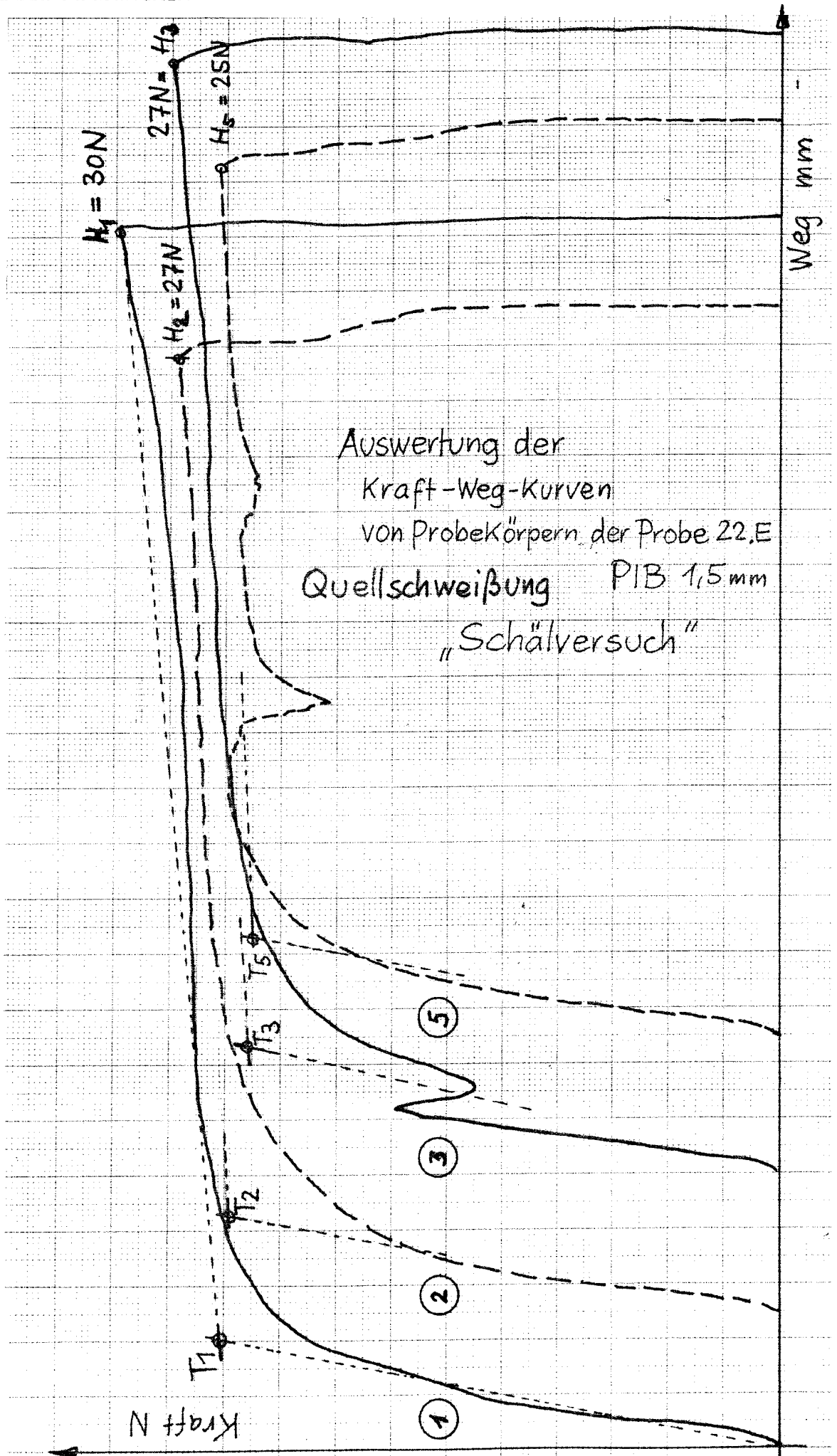
Quellschweißung



Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe 22.C
(PVC bitumenbeständig 0,80 mm)

Quellschweißung





Schälkraftermittlung an Nähten
Quellschweißung mit 50 mm Nahtbreite

(Stab-Nr. 5 - Probekörperbreite 15 mm v = 200 mm/min)

Die Bahnen wurden 48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 5/100 gelagert, anschließend 24 h bis Prüfung bei Klima 23/50.

23.B Probe B PVC 2,0 mm

Schälkraft aus Kraft-Weg-Diagramm					
H Höchstwert		T Tiefstwert		M Mittelwert	
N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
29	/	26	/	27	/
19		16		17	
25		21		23	
28		21		24	
28		22		24	
29		23		25	
26,3	1,76	21,5	1,43	23,3	1,56

Naht wird gleichmäßig aufgezogen.

23.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

38	/	26	/	32	/
46		27		38	
36		26		32	
37		24		30	
37		28		33	
37		23		32	
38,5	2,57	25,7	1,71	32,8	2,19

Naht wird gleichmäßig aufgezogen.

23.F Probe F PIB 2,0 mm

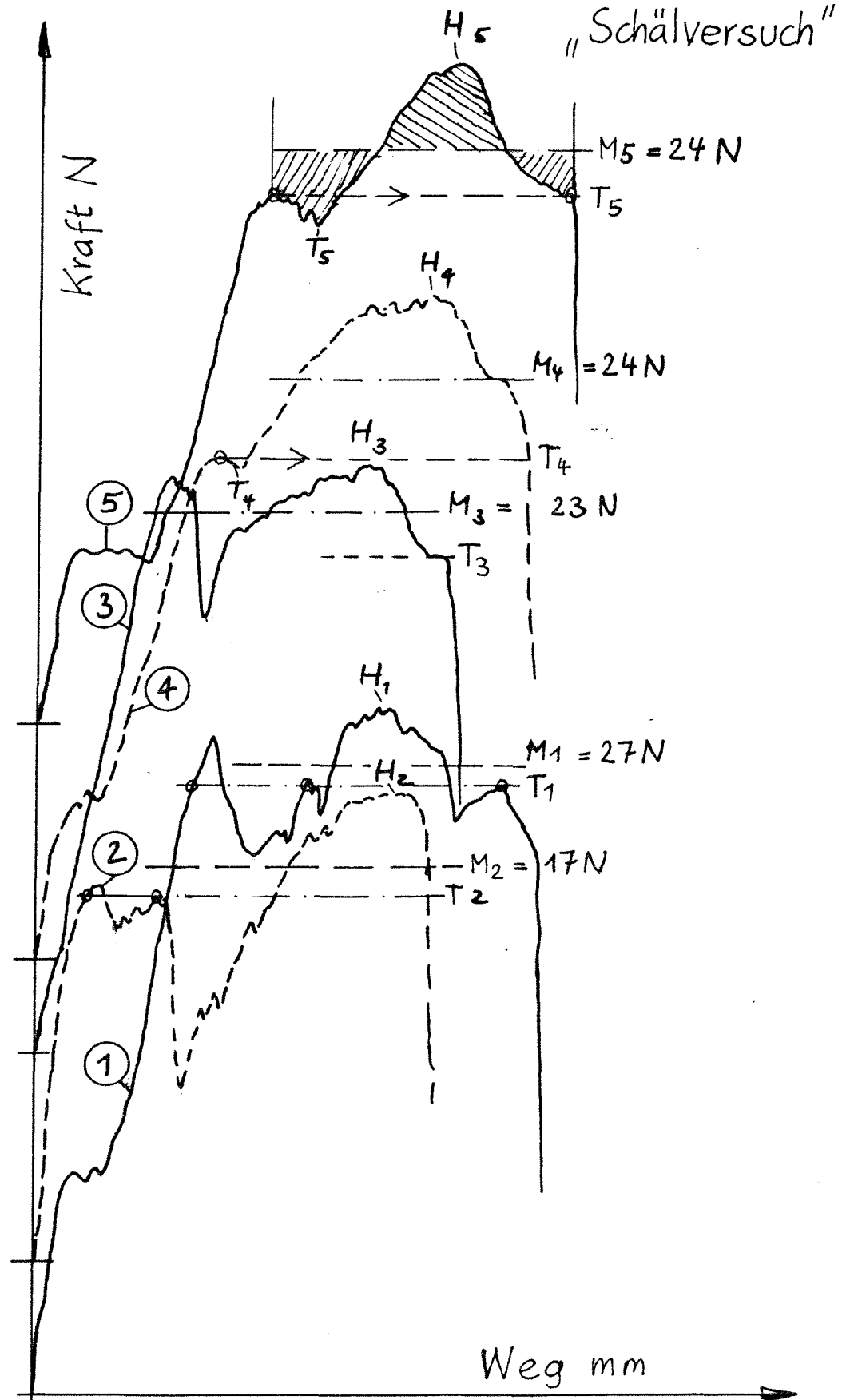
32	/	21	/	28	/
29		26		27	
27		25		26	
28		24		26	
28		21		24	
28,8		1,92		23,4	

Naht wird unter Ausreißen von Material aufgezogen, 1 Streifen reißt nach 80 % Trennung.

Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe 23.B

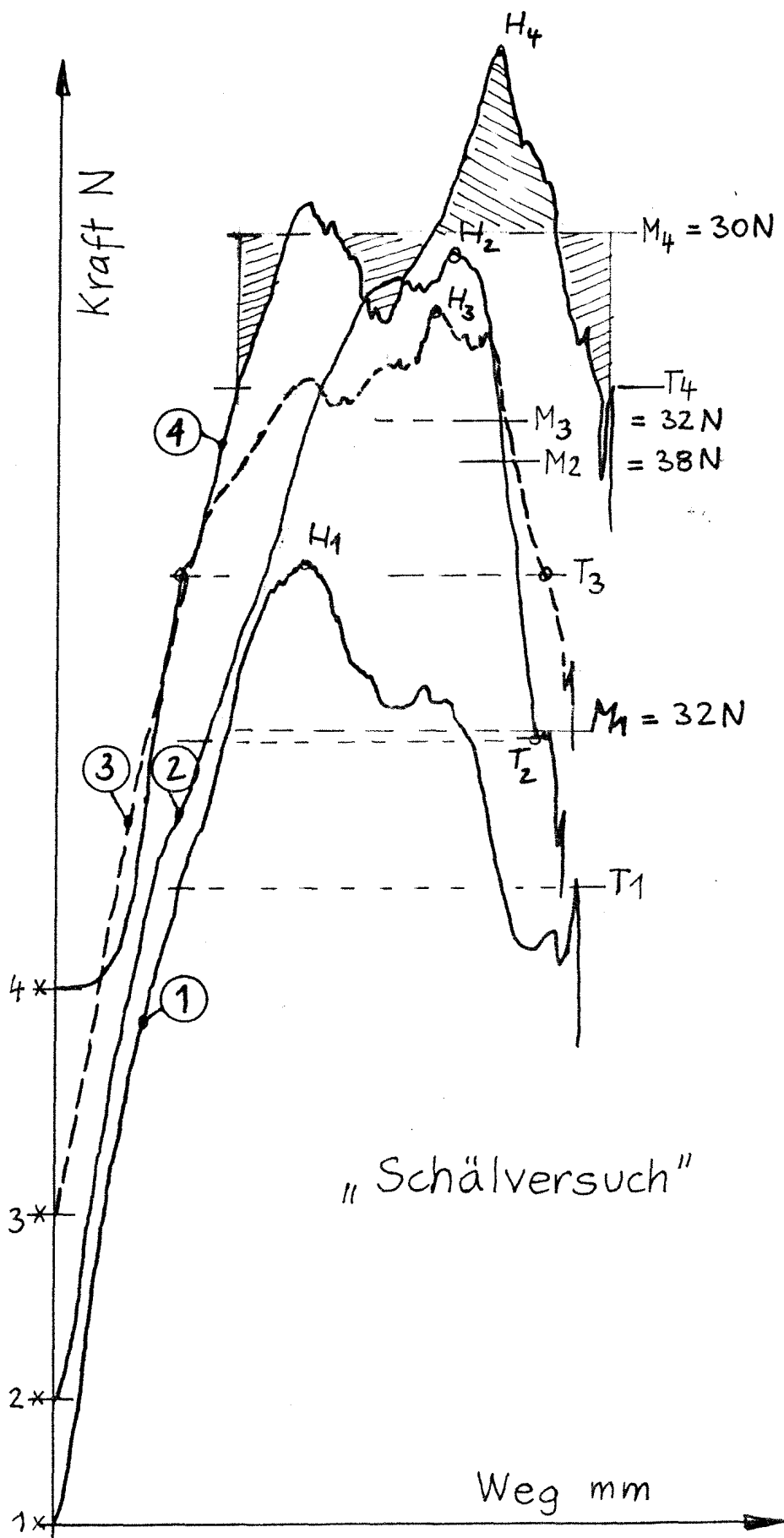
(PVC 2,0 mm)

Quellschweißung



Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe 23.D

(PVC bitumenbest. 2,0 mm) Quellschweißung



24. Schälkraftermittlung an Nähten

Warmgasschweißung mit 50 mm Nahtbreite (tats. 41 - 55 mm)
(Stab Nr. 5 - Probekörperbreite 15 mm, v = 200 mm/min)

Fügung und Lagerung bei Normalklima 23/50 (2 DIN 50 014)

24.B Probe B PVC 2,0 mm

H Höchstwert		T Tiefstwert		M Mittelwert		
N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm	
Prüfung 4 Monate nach dem Fügen:						
105		70		91		
132		81		102		
156		92		124		
151		87		116		
123		64		98		
158		81		131		
	s = 21,2		s = 10,5		s = 15,8	
Mittel	137,5	9,17	79,2	5,28	110,3	7,36
90		57		68		
112		69		91		
124		78		99		
113		72		87		
105		64		83		
130		81		104		
	s = 14,2		s = 8,9		s = 12,7	
Mittel	112,3	7,49	70,2	4,68	88,7	5,91

Bei allen 12 Streifen wird die Fügung unter schrägem streifenartigem Ausriß vom Material aufgezogen (gemäß der Schräglage der Düse beim Fügen). Alle Probekörper reißen jedoch im letzten 5 bis 20 mm Fügebereich schräg ab.

Schälkraftermittlung an Nähten

Warmgasschweißung mit 30 mm Nahtbreite (tats. 30-48 mm)

(Stab Nr. 5 - Probekörperbreite 15 mm v = 200 mm/min)

Fügen nach 40 h Wasserlagerung bei 40 ° C und
bis Prüfung Lagerung 2 Tage bei Klima 23/50

25.A Probe A PVC 0,85 mm

Schälkraft aus Kraft-Weg-Diagrammen					
H Höchstwert		T Tiefstwert		M Mittelwert	
N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
59	/	39	/	49	/
71		57		62	
59		46		49	
59		49		59	
75		53		61	
64,6	4,31	48,8	3,25	56,0	3,73

Naht wird unter leichtem Materialausriß aufgezogen.

25.C Probe C PVC bitumenbeständig 0,80 mm

35	/	21	/	26	/
42		29		36	
43		25		33	
38		23		31	
42		24		31	
42		18		28	
40,3	2,69	23,3	1,56	30,8	2,06

Naht wird gleichmäßig aufgezogen.

25.B Probe B PVC 2,0 mm

35	/	18	/	23	/
34		22		27	
39		18		29	
40		20		24	
36		17		23	
36,8		2,45		19,0	

Naht wird gleichmäßig aufgezogen.

25.B Probe B PVC 2,0 mm "verschmutzt"

16	/	4	/	10	/
19		3		9	
19		6		13	
20		3		10	
17		2		9	
18,2		1,21		3,6	

Naht wird ungleichmäßig aufgezogen.

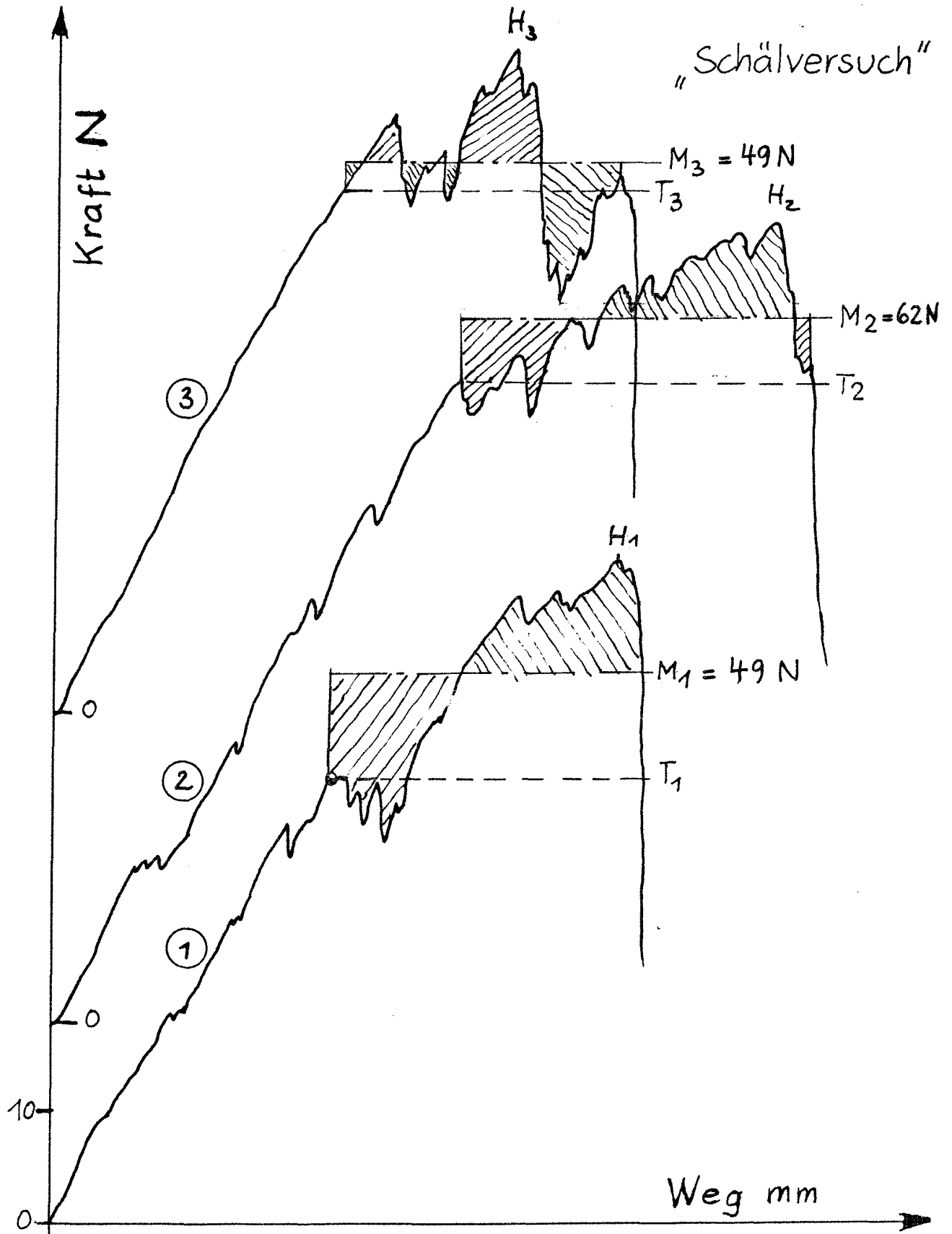
Wie unter Abschn.15 beschrieben, wurde die Verschmutzung (mit ca.15 g/m²) feucht aufgebracht. Statt Kalksteinmehl wurde Gesteinsmehl aus Münchener Kiesbrechsand (Korn < 0,09 mm) aufgebracht (je 40% Kalk, Quarz u. sonst.).

Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern der Probe 25, A

(PVC 0,85 mm)

Warmgasschweißung

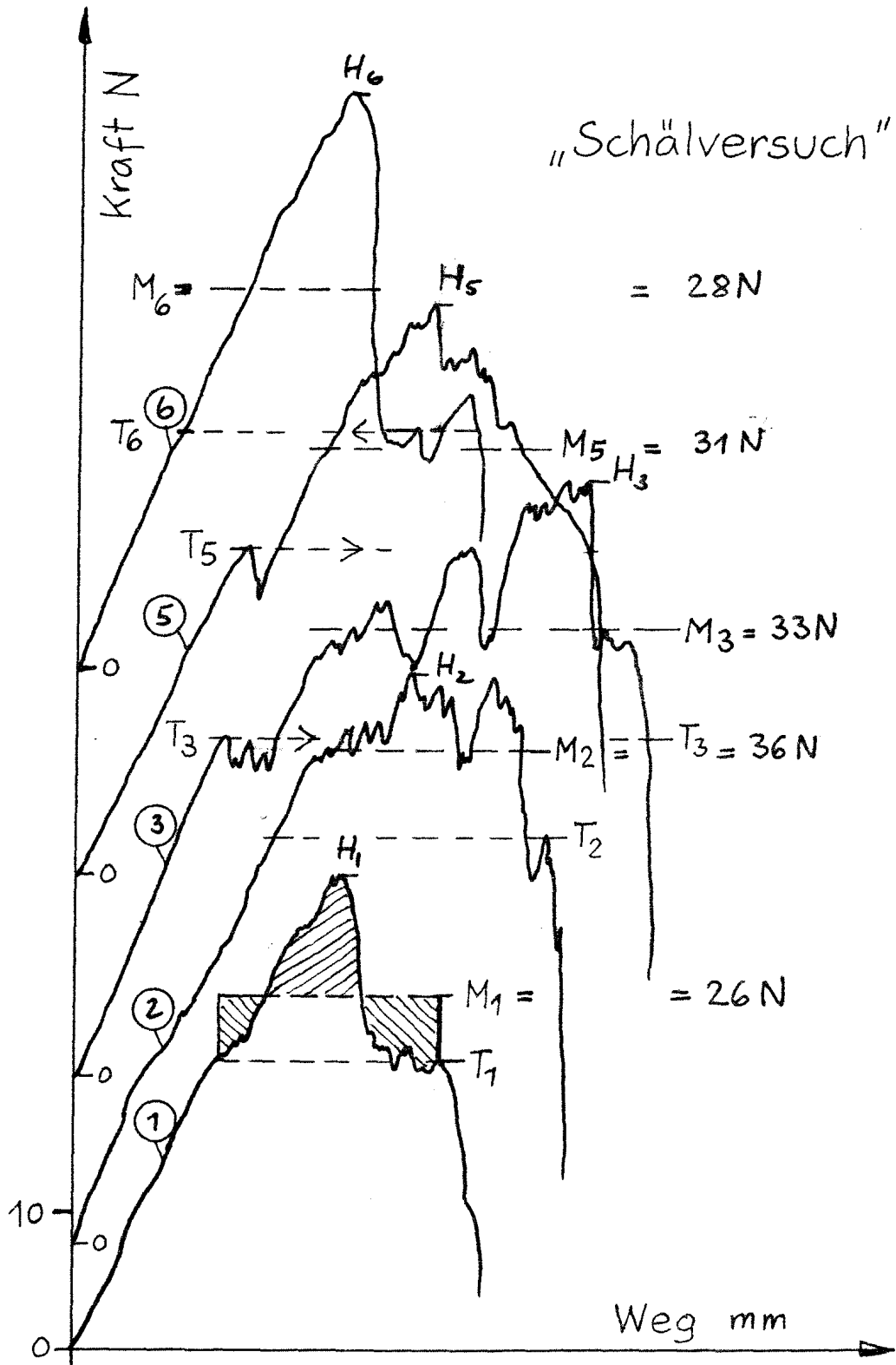
"Schälversuch"



Auswertung der Kraft-Weg-Kurven von Probekörpern
der Probe 25.C (PVC bitumenbest. 0,80 mm)

Warmgasschweißung

„Schälversuch“



Schälkraftermittlung an Nähten

Warmgasschweißung mit 50 mm Nahtbreite (tats. 42-48 mm)

(Stab Nr. ~5 - Probekörperbreite 15 mm V = 200 mm/min)

Fügung bei Kälte-Feuchte-Klima 5/100

48 h vor und 24 h nach dem Fügen im Klima 5/100 gelagert,
anschließend 24 h bis Prüfung bei Klima 23/50.

26.B Probe B PVC 2,0 mm

Schälkraft aus Kraft-Weg-Diagrammen					
H Höchstwert		T Tiefstwert		M Mittelwert	
N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
33	/	13	/	25	/
38		29		32	
36		21		28	
52		36		42	
50		21		29	
41,8	2,79	24,0	1,60	31,2	2,08

Naht wird unter leichtem Materialausriß
aufgezogen.

26.D Probe D PVC bitumenbeständig 2,0 mm

43	/	29	/	35	/
39		20		27	
37		23		29	
30		16		22	
44		28		26	
38,6	2,57	23,2	1,55	27,8	1,85

Naht wird unter leichtem Materialausriß
aufgezogen.

Zusammenstellung der Prüfergebnisse von Scherversuchen
(Bahnenlängsrichtung)

Reißkräfte in N (links)

Ergebnisse 48 h

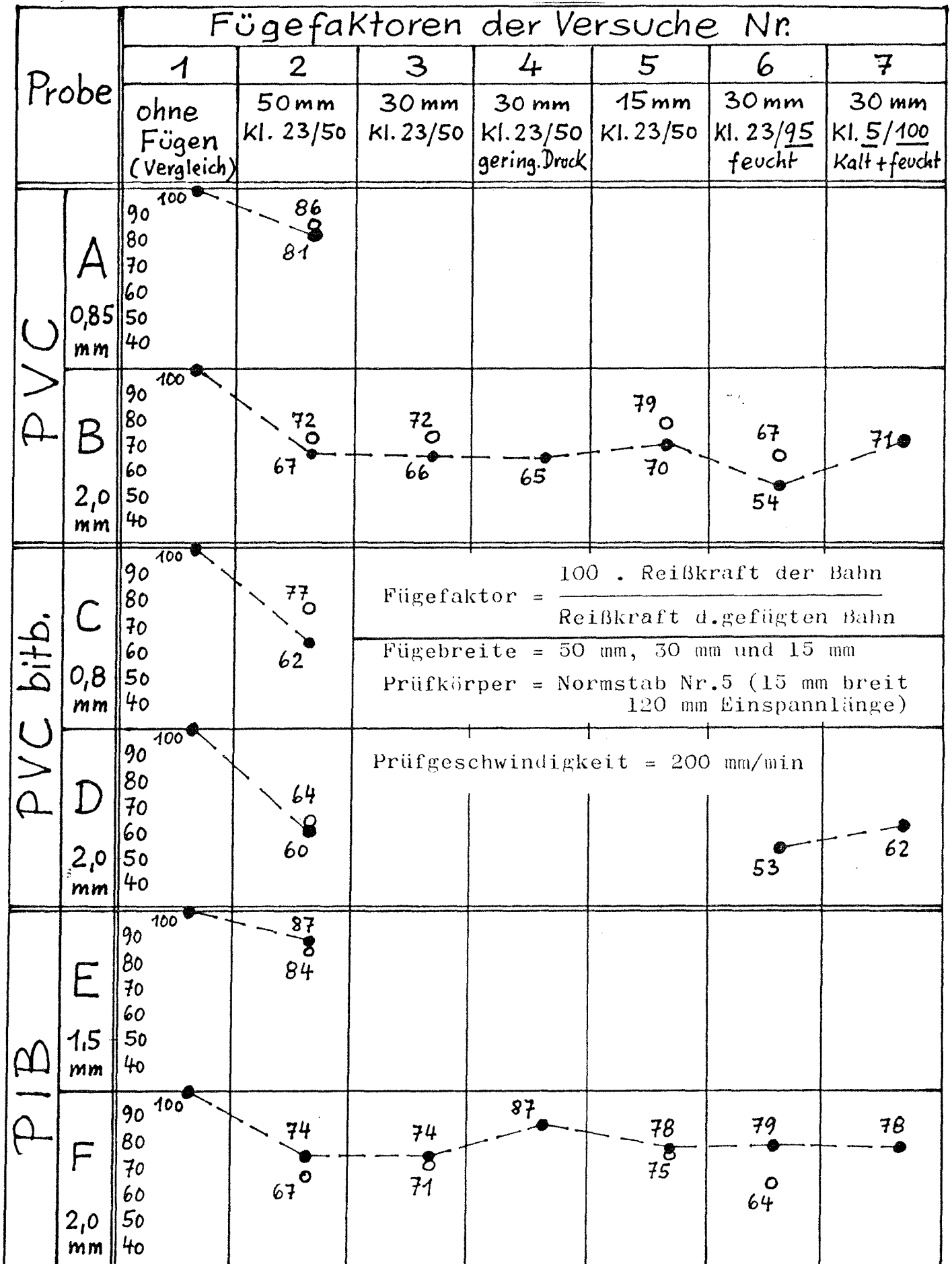
"Fügefaktor" in % (rechts)

(4 Monate) nach Fügen

Schweiß- verfahren	Probe		PVC		PVC bitb.		PIB	
			Dicke mm		0,80	2,0	1,5	2,0
	Nr.	Versuch	0,85 A	2,0 B	C	D	E	F
ohne	1	ohne Fügen Zugversuch	226 $\hat{=}$ 100	461 $\hat{=}$ 100	250 $\hat{=}$ 100	605 $\hat{=}$ 100	75 $\hat{=}$ 100	107 $\hat{=}$ 100
Quellschweißung	2	50 mm Klima 23/50	182 81 (195 (86)	310 67 (333) (72)	155 62 (193) (77)	360 60 (387) (64)	65 87 (63) (84)	79 74 (72) (67)
	3	30 mm Klima 23/50		304 66 (333) (72)				79 74 (76) (71)
	4	30 mm "geringer Druck"		300 65				93 87
	5	15 mm Klima 23/50		321 70 (362) (79)				83 78 (80) (75)
	6	30 mm Klima 23/95 (65 d 23/50)		251 54 (309) (67)		322 53		84 79 (69) (64)
	7	30 mm Klima 5/100		326 71		377 62		83 78
	Wärmgasschweißung	11	50 mm Klima 23/50	197 87 (204) (90)	332 72 (326) (71)	186 74 (188) (75)	377 62 (398) (66)	
12		50 mm "hohe Geschw."	200 88 (187) (83)	339 74 (338) (73)	192 77 (196) (78)	357 59 (368) (61)		
13		30 mm Klima 23/50		338 73 (326) (71)				
14		30 mm "geringer Druck"		345 75				
15		30 mm "verschmutzt"		308 67				
16		15 mm Klima 23/50		348 75				
17		30 mm Klima 23/95 (65 d 23/50)		262 57 (318) (69)		346 57		
18		30 mm Klima 5/100		289 63		411 68		

● 48^h nach Fügen
○ 4 Monate n. Fügen

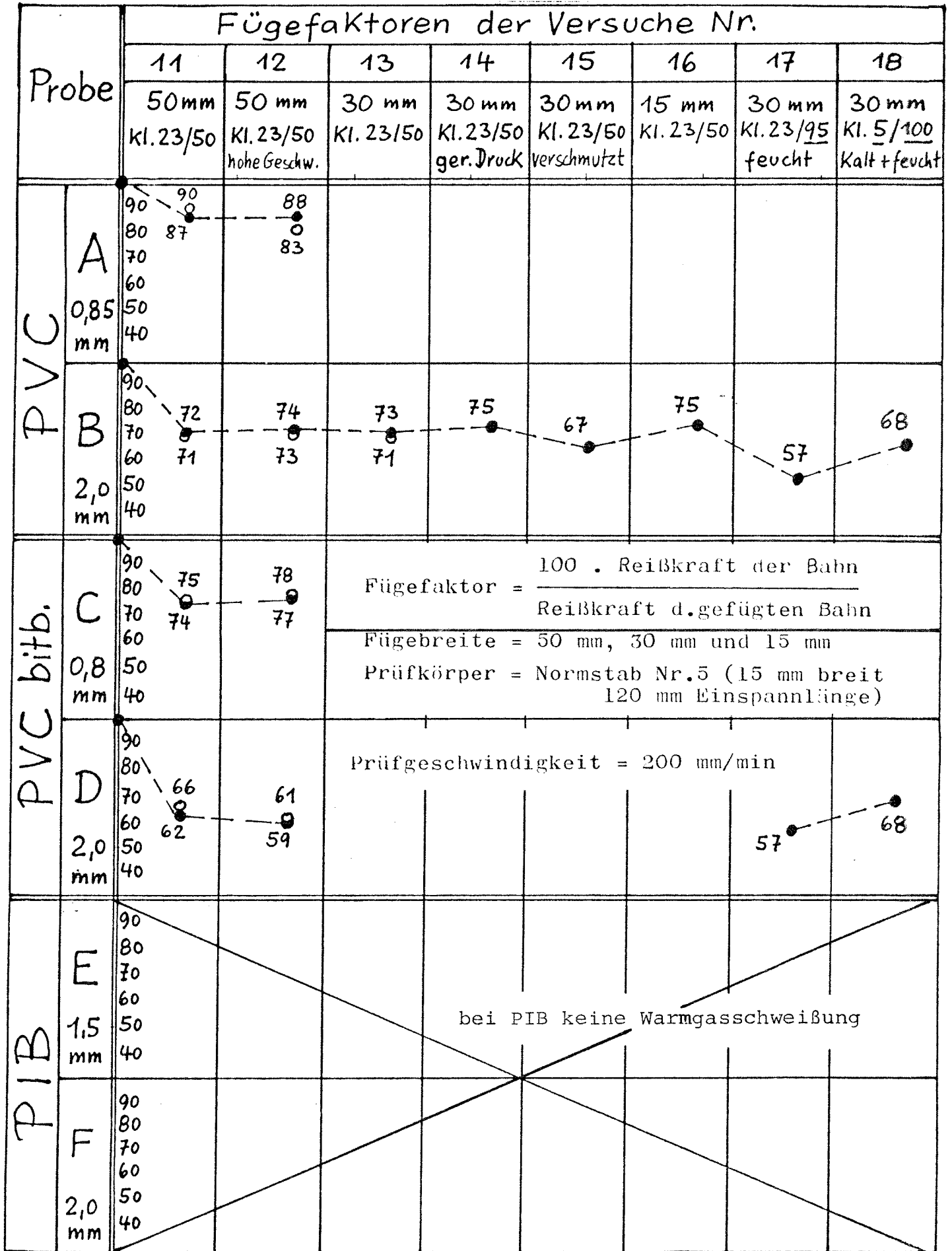
Ergebnisse der Scherversuche
an quellverschweißten Bahnen (Bahnlängsrichtung)



Ergebnisse der Scherversuche

an warmgasverschweißten Bahnen (Längsrichtung)

- 48^h nach Fügen
- 4 Monate n. Fügen



Zusammenstellung der Ergebnisse der Schälversuche

Maximale Schälkraft in N (links) bzw.
maximaler Schälwiderstand in N/mm (rechts)

eingekreist \square %-Angabe zum Vergleichswert der Bahn

Ergebnisse 48 h (4 Monate) nach dem Fügen

Schweiß- verfahren	Probe		PVC		PVC bitb.		PIB	
	Nr. Versuch	Dicke mm	0,85	2,0	0,80	2,0	1,5	2,0
			A	B	C	D	C	D
Quellschweißung	21	Fügen bei Klima 23/50 48 h (4 Monate)		53,5 $\hat{=}$ \square 100 3,57 (73,0) \square 136 (4,87)				42,8 $\hat{=}$ \square 100 2,85 (48,2) \square 113 (3,21)
	22	Fügen nach 40 h H ₂ O	40,0 $\hat{=}$ \square 100 2,67		31,8 $\hat{=}$ \square 100 2,12		27,4 $\hat{=}$ \square 100 1,83 Reißkraft	
	23	Fügen bei Klima 5/100		26,3 \square 49 1,76		38,5 $\hat{=}$ \square 100 2,57		28,8 \square 67 1,92
Wärmgasschweißung	24	Fügen bei Klima 23/50 48 h (4 Monate)		137,5 \square 257 9,17 (112,3) \square 210 (7,49)			X	
	25	Fügen nach 40 h H ₂ O	64,6 \square 162 4,31	36,8 \square 69 2,45	40,3 \square 127 2,69			
		zusätzl. ("verschmutzt")		(18,2) \square 34 (1,21)				
	26	Fügen bei Klima 5/100		41,8 \square 78 2,79		38,6 \square 100 2,57		

Darstellung des mittleren Schälwiderstandes
bei den einzelnen Versuchen

- 48^h nach Fügen
- 4 Monate n.Fügen

Probe		quellverschweißte Bahn			warmgasverschweißte Bahn			
		mittlerer Schälwiderstand N/mm (Schälkraft N)						
		Vers.Nr.21	22	23	24	25	25*	26
PVC	A	50 mm KI. 23/50	50 mm 40 ^h H ₂ O naß	50 mm KI. 5/100 Kalt + feucht	50 mm KI. 23/50	~ 50 mm 40 ^h H ₂ O naß	~ 50 mm 40 ^h H ₂ O naß + Schmutz	50 mm KI. 5/100 Kalt + feucht
	B	0,85 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
PVC bitb.	C	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm
	D	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
PIB	E	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm
	F	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm

10							
8							
6							
4		(32)			(56)		
2		2,16 ●			3,73 ●		
10							
8							
6	(73)				(110)		
4	4,87 ○				7,36 ●		
2	3,57 ●				5,91 ○		
10							
8							
6							
4							
2	(54)				(89)		
10							
8							
6							
4							
2							
10							
8							
6							
4							
2							
10							
8							
6							
4							
2							
10							
8							
6							
4							
2							
10							
8							
6							
4							
2							
10							
8							
6							
4							
2							

Fügebreite = 50 mm	
Prüfkörper = Normstab Nr. 5	
15 mm breit	
Bei PIB entfällt Warmgasschweißung	
Prüfgeschwindigkeit = 200 mm/min	