

**H      Stand der Technik und Erfahrungen beim  
Einbau von Dichtungsbahnen aus PEHD  
für großflächige Abdichtungen im Be-  
reich des Grundwasserschutzes**

Dipl.-Ing. Stephanie Hein/Dipl.-Ing. Catrin Tarnowski  
(Vortragende), Dr.-Ing. Friedrich W. Knipschild

## 1 Vorbemerkungen

Im Auftrag des AK GWS wurden 26 großflächige Abdichtungsmaßnahmen mit Dichtungsbahnen aus PEHD im Bereich des Grundwasserschutzes mit einer Gesamtabdichtungsfläche von etwa 1.350.000 m<sup>2</sup> hinsichtlich Bauzeiten, Verlegeleistungen und Schweißnahtqualitäten ausgewertet und bewertet.

Dabei handelt es sich um Maßnahmen, die vornehmlich in den Jahren 1999 bis 2001 durchgeführt und von unserem Büro im Rahmen der Fremdprüfung begleitet wurden.

- Mit der Zusammenstellung und Auswertung der Bauzeiten und Verlegeleistungen werden den bauausführenden Firmen und Planern Hinweise für die Zeit- und Kostenkalkulation für den Einbau von Dichtungsbahnen gegeben.
- Mit den nachgewiesenen Schweißnahtqualitäten wird der Stand der Technik beim Schweißen von Dichtungsbahnen aus PEHD in diesem Anwendungsbereich beschrieben.

## 2 Projektauswahl

Die Abdichtungsflächen der einzelnen Projekte liegen zwischen 8.000 und 176.000 m<sup>2</sup>, die mittlere Projektgröße bei etwa 50.000 m<sup>2</sup>. Die Aufteilung der Projekte und Abdichtungsflächen nach Bundesländern sieht wie folgt aus:

Niedersachsen	13 Projekte	mit insgesamt rund	770.000 m <sup>2</sup>
Hamburg	6 Projekte	mit insgesamt rund	210.000 m <sup>2</sup>
Schleswig-Holstein	2 Projekte	mit insgesamt rund	200.000 m <sup>2</sup>
Nordrhein-Westfalen	2 Projekte	mit insgesamt rund	100.000 m <sup>2</sup>
Bremen	1 Projekt	mit insgesamt rund	45.000 m <sup>2</sup>
Baden-Württemberg	2 Projekte	mit insgesamt rund	25.000 m <sup>2</sup> .

Im Hinblick auf die Dicke der Dichtungsbahnen ergibt sich folgende Verteilung:

1,5 mm	1 Projekt	mit insgesamt rund	24.000 m <sup>2</sup>
2,0 mm	1 Projekt	mit insgesamt rund	18.000 m <sup>2</sup>
2,5 mm	23 Projekte	mit insgesamt rund	1.285.000 m <sup>2</sup>
3,0 mm	1 Projekt	mit insgesamt rund	22.000 m <sup>2</sup> .

Bei 15 Projekten mit einer Gesamtabdichtungsfläche von etwa 1.080.000 m<sup>2</sup> handelt es sich um Oberflächenabdichtungen, bei 11 Projekten mit einer Gesamtabdichtungsfläche von etwa 270.000 m<sup>2</sup> um Basis- und Zwischenabdichtungen.

Kombinationsabdichtungen wurden bei 7 Projekten mit einer Gesamtabdichtungsfläche von etwa 310.000 m<sup>2</sup>, einlagige Abdichtungen bei 19 Projekten mit einer Gesamtabdichtungsfläche von etwa 1.040.000 m<sup>2</sup> hergestellt.

### **3 Bauzeiten und Verlegeleistungen**

#### **3.1 Bauzeiten**

Nach den Vorgaben der "Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten" der BAM, Berlin [1999] (BAM-Richtlinie) sind für den Einbau der Dichtungsbahnen die Monate April bis Oktober vorgesehen.

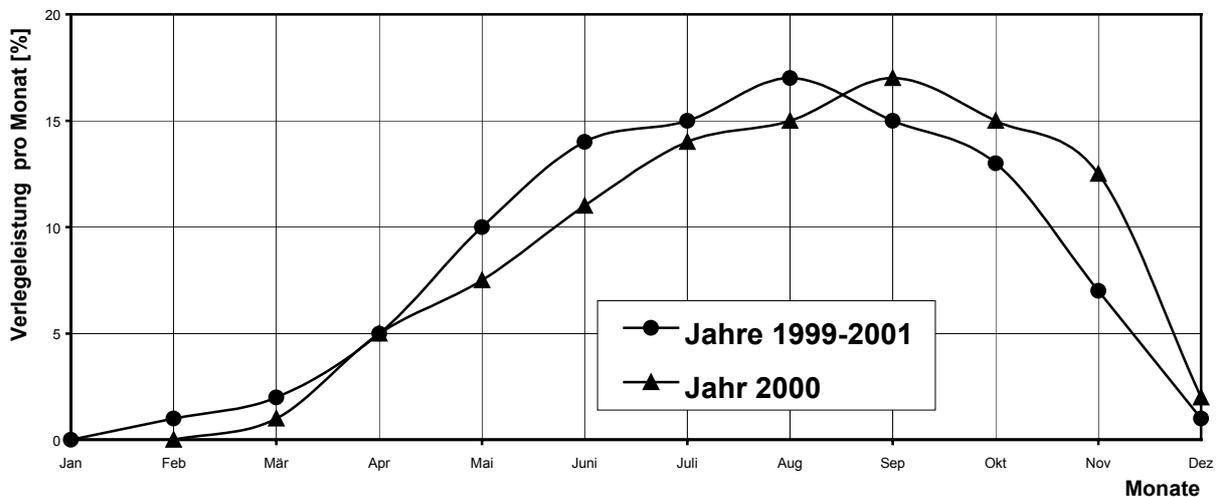
In dem Bild 1 sind die Bauzeiten der ausgewählten Projekte im Jahresverlauf dargestellt. Die Bauzeit ist wie folgt definiert: Sie beginnt mit dem Tag, an dem die ersten Dichtungsbahnen verlegt werden und endet mit dem Tag, an dem die letzten kunststofftechnischen Arbeiten im Zusammenhang mit dem Einbau der Dichtungsbahnen ausgeführt werden. Danach wurde in den meisten Fällen nicht vor April mit dem Einbau der Dichtungsbahnen begonnen. Allerdings wurden bei etwa der Hälfte der Projekte noch im November und bei 2 Projekten auch noch im Dezember Dichtungsbahnen eingebaut.

Projekt		Fläche m <sup>2</sup>	BAUZEITEN												Bauzeittage
Nr.	Art		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	
1	OA	176.000	1999												352
			2000												
			2001												
2	OA-K	153.000	1999											290	
			2000												
3	OA	94.000	2000											127	
			2001												
4	OA	90.000	1999											142	
			2000												
5	OA	89.000	1999											179	
			2000												
6	BA	84.500	1999											187	
			2000												
			2001												
7	OA-K	80.000	2000											122	
			2001												
8	OA	65.000	1999											90	
9	OA	65.000	2001											112	
10	OA	56.500	2000											103	
11	OA	49.000	2001											92	
12	BA	44.000	1998											110	
			1999												
13	OA	42.000	2000											31	
14	OA	40.500	2000											105	
			2001												
15	OA	36.000	2001											127	
16	BA-K	30.000	2000											74	
			2001												
17	OA*	24.000	2000											95	
			2001												
18	BA**	22.000	2000											156	
			2001												
19	ZA***	18.000	1999											82	
20	OA	18.000	1999											52	
21	BA-K	16.500	2000											23	
22	BA-K	15.000	2000											42	
23	BA	11.500	2000											55	
24	BA-K	9.000	2000											18	
25	BA	8.000	2000											35	
26	BA-K	8.000	2001											11	

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

Bild 1 Verteilung der Bauzeiten im Jahr

In Bild 2 ist die pro Monat verlegte Fläche in Prozent der Gesamtverlegefläche, einmal für alle Projekte, einmal für die Projekte im Jahr 2000 dargestellt.



**Bild 2** Verlegeleistung pro Monat bezogen auf die Gesamtverlegeleistung

Danach zeigt sich in beiden Fällen, dass weniger als 5 % der Gesamtabdichtungsfläche vor April aber deutlich mehr als 10 % noch nach Oktober hergestellt wurden. In den Monaten Mai bis Oktober wurden nahezu 85 % der Gesamtabdichtungsfläche eingebaut. Es wird also leider im Frühjahr oft zu spät mit den Abdichtungsarbeiten begonnen, und man kommt dadurch zwangsläufig in die Monate November und Dezember, in denen witterungsbedingt mit deutlich verminderten Verlegeleistungen und gegebenenfalls auch mit Qualitätsminderungen gerechnet werden muss.

### 3.2 Verlegeleistung

Die Verlegeleistung wird im Folgenden einmal auf die Verlegetage und einmal auf die Bauzeit/Bauzeittage bezogen.

Verlegetage sind Tage, an denen vor Ort kunststofftechnische Arbeiten im Zusammenhang mit dem Einbau der Dichtungsbahnen (Verlegen, Schweißen, Prüfen, Nachbessern) ausgeführt wurden, also Tage, an denen der Verleger vor Ort war.

Die Bauzeit beginnt mit dem ersten und endet mit dem letzten Verlegetag. Es werden pro Woche 5 Bauzeittage und damit auch solche Tage, an denen keine kunststofftechnischen

Arbeiten im Zusammenhang mit dem Einbau der Dichtungsbahnen ausgeführt wurden, berücksichtigt.

Das Verhältnis der Verlegetage zur Bauzeit wird als Effektivität bezeichnet. Die Effektivität zeigt, ob und in welchem Umfang der Einbau der Dichtungsbahnen unterbrochen wurde oder ob durchgehend verlegt werden konnte. Eine Effektivität von 1 würde bedeuten, dass an allen Bauzeittagen kunststofftechnische Arbeiten im Zusammenhang mit dem Einbau der Dichtungsbahnen durchgeführt wurden. Bei einer Effektivität von 0,5 wäre das nur an der Hälfte der Bauzeittage möglich gewesen.

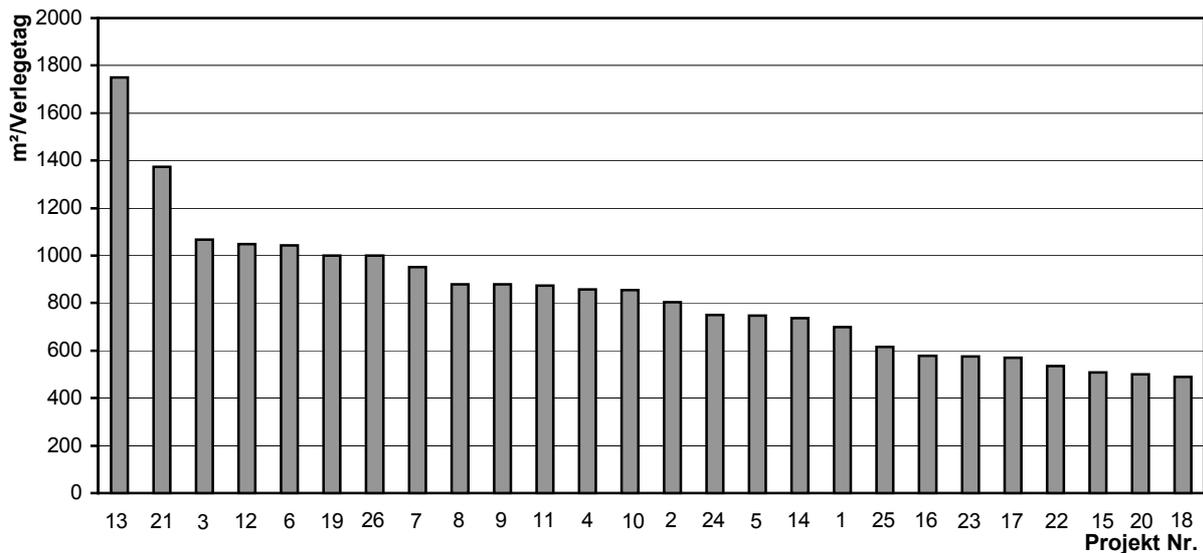
In der Tabelle 1 sind die Bau- und Verlegezeiten, die Verlegeleistungen und die erzielte Effektivität für alle Projekte zusammengestellt. Die Projekte sind nach der Größe der Abdichtungsfläche geordnet. Im Einzelnen lässt sich Folgendes feststellen:

- Die auf den Verlegetag bezogenen Verlegeleistungen liegen zwischen 489 und 1.750 m<sup>2</sup>, im Mittel bei rund 800 m<sup>2</sup>.
- Die auf die Bauzeit bezogenen Verlegeleistungen liegen zwischen 141 und 1.355 m<sup>2</sup>, im Mittel bei rund 480 m<sup>2</sup>.
- Die Effektivität liegt zwischen 0,22 und 0,82, im Mittel bei rund 0,60. Bei dem Projekt mit der Effektivität von 0,22 wurden also nur an etwa jedem 5 Bauzeittag, bei dem Projekt mit der Effektivität von 0,82 an 4 von 5 Bauzeittagen kunststofftechnische Arbeiten ausgeführt.

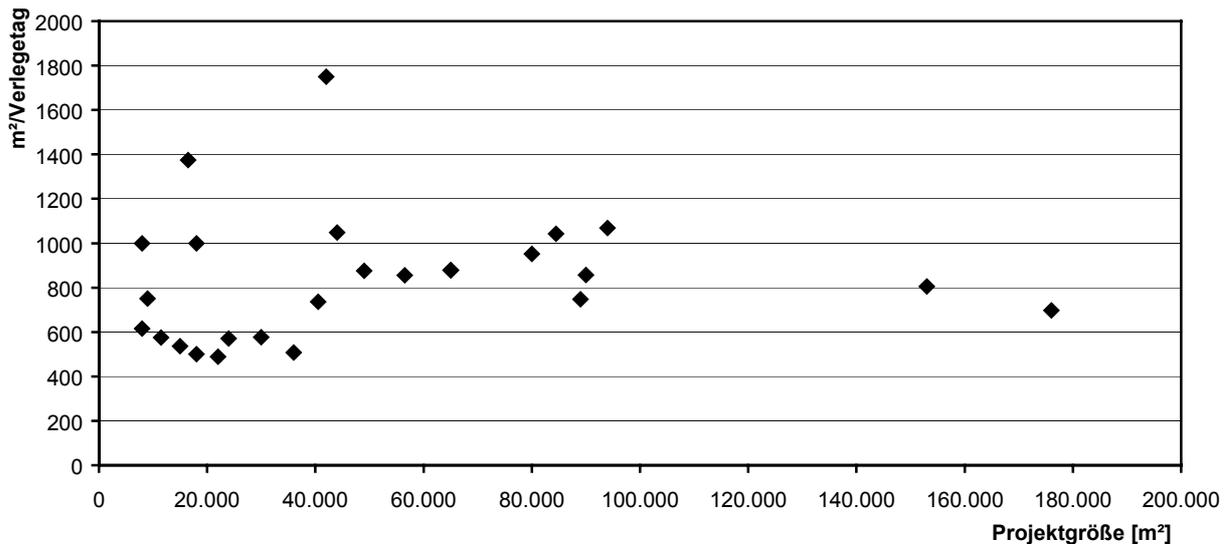
In Tabelle 2 sind nur die Projekte berücksichtigt, bei denen einlagige Abdichtungen eingebaut wurden. Tabelle 3 zeigt die Projekte mit Kombinationsabdichtungen. Danach ist festzustellen:

- Die mittleren, auf den Verlegetag bezogenen Verlegeleistungen sind bei beiden Dichtungssystemen nahezu gleich.
- Bei den Kombinationsabdichtungen sind die auf die Bauzeittage bezogenen Verlegeleistungen im Mittel und damit auch die Effektivität relativ um etwa 15 % höher als bei den einlagigen Abdichtungssystemen.

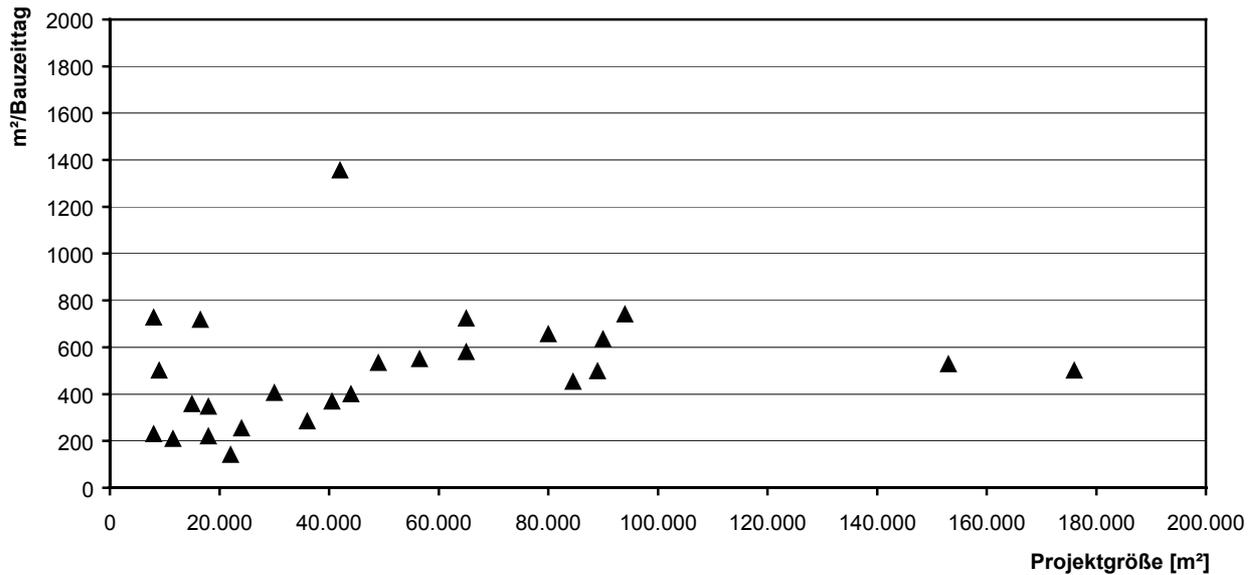
In Bild 3 sind die bei allen Projekten erzielten Verlegeleistungen pro Verlegetag größenmäßig geordnet in Form eines Balkendiagramms dargestellt. Nach den Bildern 4, 5 und 6 lässt sich letztlich kein Zusammenhang herstellen zwischen der Projektgröße und den Verlegeleistungen bzw. zwischen der Projektgröße und der Effektivität. Das bedeutet, dass die Verlegekosten nicht von der Projektgröße abhängig sind, sondern unabhängig von der Projektgröße jeweils sehr unterschiedlich sein können.



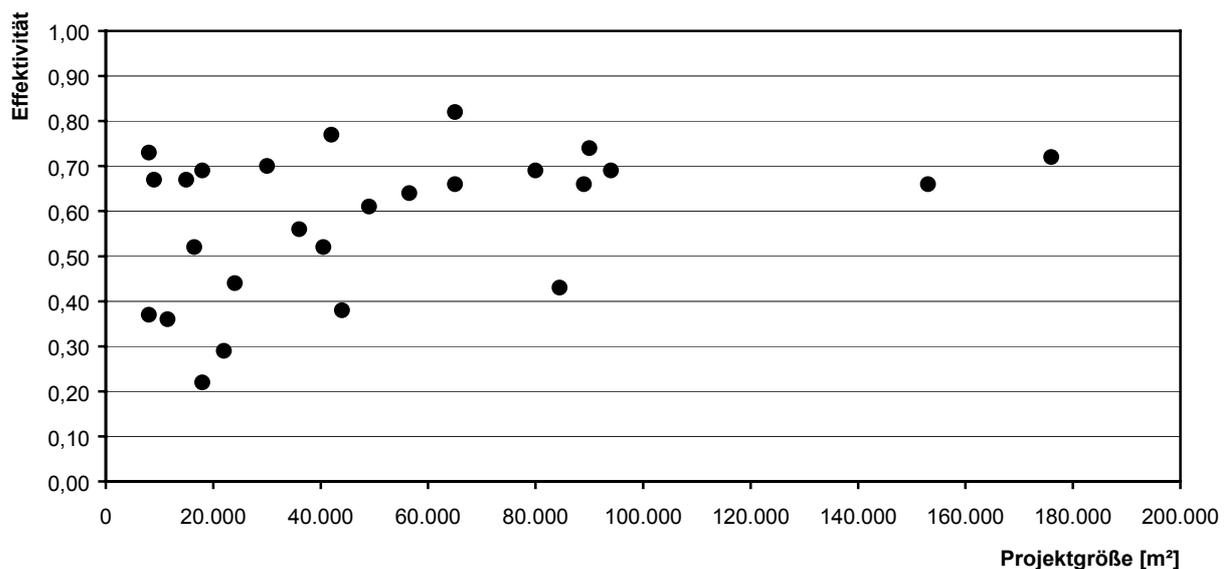
**Bild 3** Verlegeleistung pro Verlegetag geordnet nach Leistung



**Bild 4** Zusammenhang zwischen Verlegeleistung pro Verlegetag und Projektgröße



**Bild 5** Zusammenhang zwischen Verlegeleistung pro Bauzeittag und Projektgröße



**Bild 6** Effektivität in Abhängigkeit von der Projektgröße

### 3.3 Zusammenfassung

Zwar wird mit dem Verlegen der Dichtungsbahnen entsprechend den Vorgaben der BAM-Richtlinie nur selten vor April begonnen, sehr häufig werden aber abweichend von den Vorgaben der BAM-Richtlinie auch nach Oktober bis in den Dezember hinein Dichtungsbahnen eingebaut.

Etwa 75 % der jährlich eingebauten Dichtungsbahnen entfallen auf die Monate Juni bis Oktober, d. h. auf diese 5 Monate ist die gesamte Verlegekapazität auszurichten.

Die auf die Bauzeit bezogene Verlegeleistung lag etwa zwischen 150 und 1.350, im Mittel bei rund 500 m<sup>2</sup>/Tag. Die auf die Verlegezeit bezogene Verlegeleistung lag etwa zwischen 500 und 1.750, im Mittel bei rund 800 m<sup>2</sup>/Tag. Danach müssen auch die tatsächlichen Kosten für den Einbau der Dichtungsbahnen sehr unterschiedlich gewesen sein. Es ist aus wirtschaftlicher Sicht erforderlich, dass über die möglichen Verlegeleistungen mit dem Angebot entsprechende Vorgaben genannt werden.

Es hat sich bei fast allen Projekten gezeigt, dass die Verlegeleistung durch die vor- und nachlaufenden Gewerke bestimmt wurde.

## **4 Schweißnahtqualität**

### **4.1 Allgemeines**

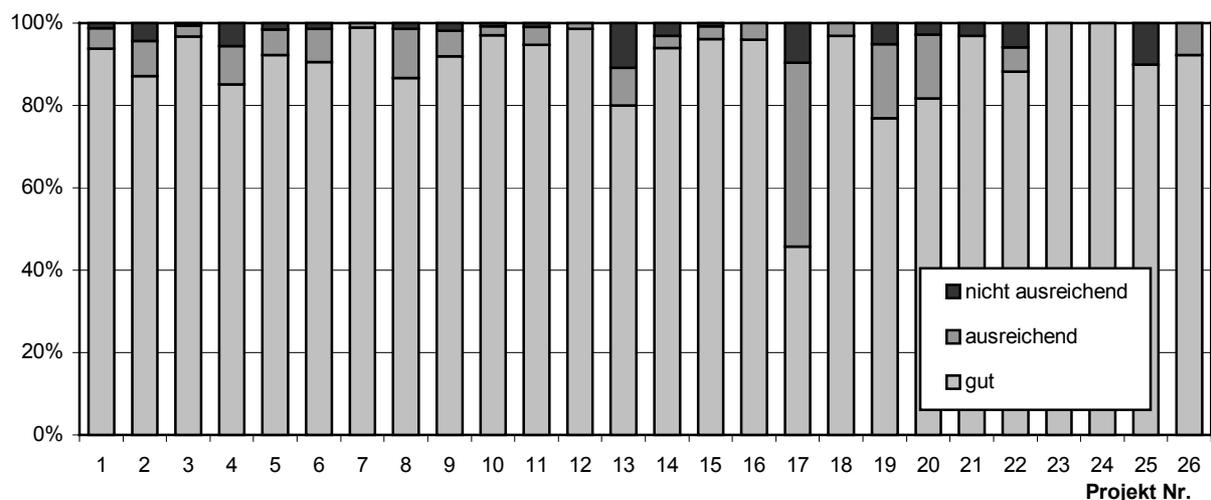
Setzt man bei den erfassten Projekten für die Dichtungsbahnen eine mittlere Fertigungsbreite von rund 6,0 m an, so wurden bei der Gesamtabdichtungsfläche von 1.350.000 m<sup>2</sup> mehr als 200.000 m Schweißnähte hergestellt. Davon sind etwa 90 % Überlappnähte mit Prüfkanal (Überlappnähte - ÜN), die mittels maschinellem Heizkeilschweißen hergestellt wurden und 10 % Auftragnähte, die mittels Warmgasextrusionsschweißen von Hand hergestellt wurden. Die dabei erzielte Schweißnahtqualität wurde im Rahmen dieser Projektauswertung im Einzelnen wie folgt ermittelt:

- Festigkeits- und Verformungsverhalten an Überlappnähten und an Auftragnähten labormäßig ermittelt an Proben aus Probeschweißungen und aus Schweißnähten im Kurzzeitschälversuch nach DVS 2226-3
- Fügewege an Überlappnähten, ermittelt an den Schweißnähten vor Ort über eine Dickenmessung mit Ultraschall
- Beschaffenheit und Nahtabmessungen an Auftragnähten labormäßig ermittelt an Proben aus Probeschweißungen und aus Schweißnähten auf der Grundlage der DVS 2225-4

#### 4.2 Fügefestigkeit und Verformungsverhalten der Schweißnähte

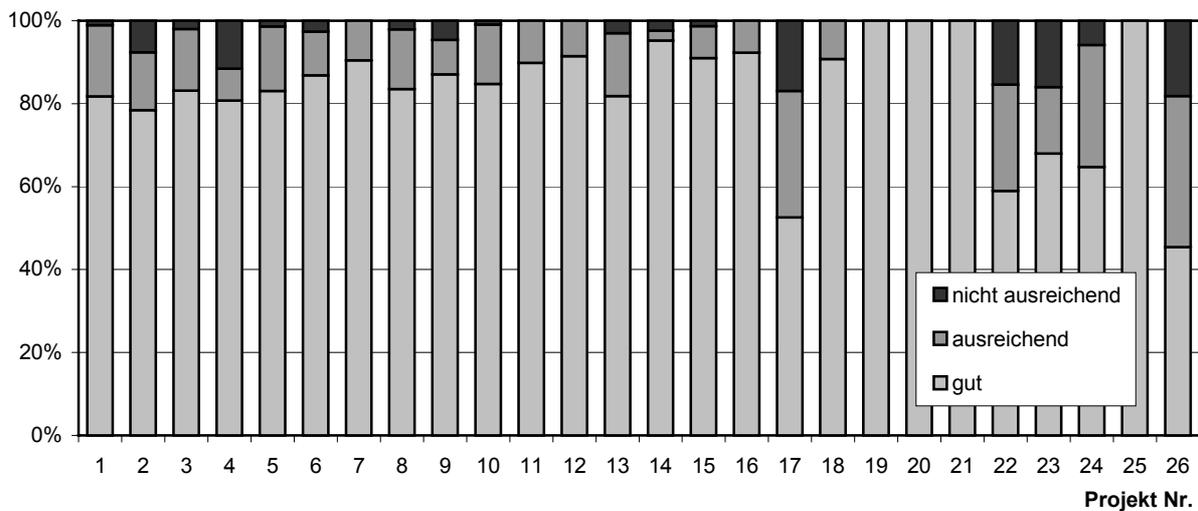
Die Ergebnisse aus den Kurzzeitschälversuchen sind in Tabelle 4 und den Bildern 7 und 8 zusammengestellt. Geht man davon aus, dass im Mittel etwa 3 Proben pro 1.000 m<sup>2</sup> Dichtungsfläche entnommen wurden, so liegen dieser Zusammenstellung über 4.000 Probenahmen zugrunde. Im Einzelnen lässt sich Folgendes feststellen:

- Der Anteil der Probenahmen für die Auftragnähte liegt etwa zwischen 20 und 50 %, im Mittel bei etwa 38 %, obwohl der längenmäßige Anteil an Auftragnähten nur bei nur rund 10 % liegt. Der Anteil der Probenahmen für die Auftragnähte hängt also nicht nur von der Schweißnahtlänge, sondern maßgeblich von der Geometrie der Abdichtungsfläche, vom Anteil der Anschlussnähte, von der Anzahl der Anschlüsse an Schächte und Bauteile, von den erforderlichen Nachbesserungen und von der handwerklichen Fertigkeit der Schweißer ab. Bei Dichtungsbahnen mit rauen und strukturierten Oberflächen ist erfahrungsgemäß der Anteil an Auftragnähten höher.
- Bei den Überlappnähten wurden bei 90,7 % der Proben gute, bei 7 % der Proben brauchbare und nur bei 2,3 % der Proben nicht ausreichende Schweißnahtqualitäten ermittelt. Der Anteil der Proben mit nicht ausreichender Schweißnahtqualität lag projektbezogen bei maximal 10,9 %. Bei mehreren Projekten wurden aber auch ausschließlich gute Schweißnahtqualitäten nachgewiesen. Bei dem Projekt mit den 1,5 mm dicken Dichtungsbahnen lag der Anteil der Proben mit guter Schweißnahtqualität nur bei 45,7 % und der Anteil der Proben mit nicht ausreichender Schweißnahtqualität bei 9,6 %.



**Bild 7** Schweißnahtqualität an Überlappnähten - Fügefestigkeit und Verformungsverhalten

- Bei den Auftragnähten wurden bei 82,7 % der Proben gute, bei 13,3 % der Proben brauchbare und an 4 % der Proben nicht ausreichende Schweißnahtqualitäten ermittelt. Auch hier wurden bei mehreren Projekten ausschließlich gute Schweißnahtqualitäten nachgewiesen. Allerdings zeigen sich bei den Auftragnähten größere projektbezogene Unterschiede als bei den Überlappnähten. Hier spiegelt sich auch das handwerkliche Geschick der Schweißer wieder. Bei dem Projekt mit den 1,5 mm dicken Dichtungsbahnen lag der Anteil der Proben mit guter Schweißnahtqualität nur bei 52,5 % und der Anteil der Proben mit nicht ausreichender Schweißnahtqualität bei 16,9 %.



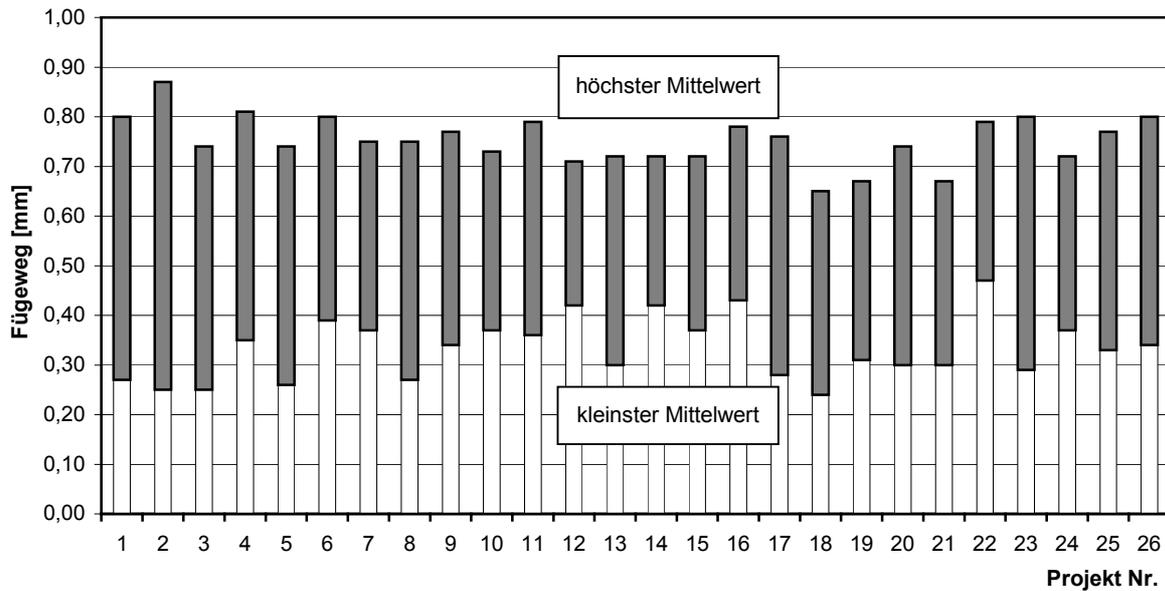
**Bild 8** Schweißnahtqualität an Auftragnähten - Fügefestigkeit und Verformungsverhalten

Insgesamt zeigte sich auch im Vergleich zu früheren Auswertungen für beide Schweißnahtformen, dass mit den heutigen Schweißmaschinen und Schweißgeräten unter Baustellenbedingungen - von einzelnen Ausnahmen abgesehen - ein anforderungsgerechtes Qualitätsniveau erzielt wurde und werden kann.

### 4.3 Fügewege von Überlappnähten

Die an den Überlappnähten über die Dickenmessung mit Ultraschall ermittelten Fügewege sind in Tabelle 5 und Bild 9 zusammengestellt. Die Ergebnisse repräsentieren eine Gesamtschweißnahtlänge von über 180.000 m. Im Einzelnen lässt sich Folgendes feststellen:

- Die mittleren Fügewege der einzelnen Nähte liegen zwischen 0,24 und 0,87 mm, die maximale Differenz zwischen den Fügewegen beider Teilnähte einer Schweißnaht bei 0,2 mm.



**Bild 9** Fügewege der Überlappnähte - Dickenmessung mit Ultraschall

- Der kleinste Einzelwert liegt bei -0,13 (negativer Fügeweg), der größte bei 1,66 mm. Negative Fügewege können sich ergeben, wenn die auf Schweißtemperatur erwärmten Dichtungsbahnen nahezu ohne Fügekraft wieder aufeinander gedrückt werden und nur eine scheinbare Schweißung vorliegt.

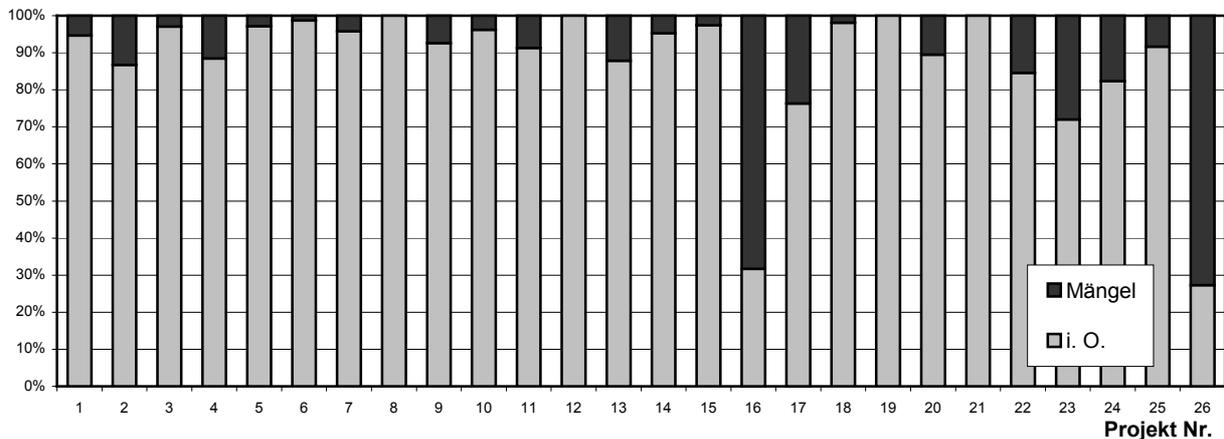
Bei der Beurteilung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass bei der Dickenmessung mit Ultraschall aufgrund der Schweißnahtgeometrie geringfügig größere Schweißnahtdicken ermittelt werden als bei der Messung mit einem mechanischen Messmittel. Der Fehler liegt nach unseren Vergleichsuntersuchungen bei maximal 0,1 mm. Dadurch werden über die Dickenmessung mit Ultraschall um einen entsprechenden Wert geringere Fügewege ermittelt. Unter dieser Voraussetzung wird die nach DVS 2225-4 vorgegebene untere Grenze von 0,2 mm durchweg eingehalten, die obere Grenze von 0,8 mm jedoch häufiger überschritten. Die mittleren Fügewege aus allen Messungen lagen zwischen 0,4 und 0,7 mm.

#### 4.4 Beschaffenheit und Nahtabmessungen von Auftragnähten

Die Ergebnisse der Prüfungen der Auftragnähte auf Beschaffenheit und Nahtabmessungen sind in Tabelle 6 und den Bildern 10 und 11 zusammengestellt. Es wird hier jeweils unterschieden in Schweißnahtproben mit und ohne Mängel. Zu den Mängeln bezüglich der Beschaffenheit gehören:

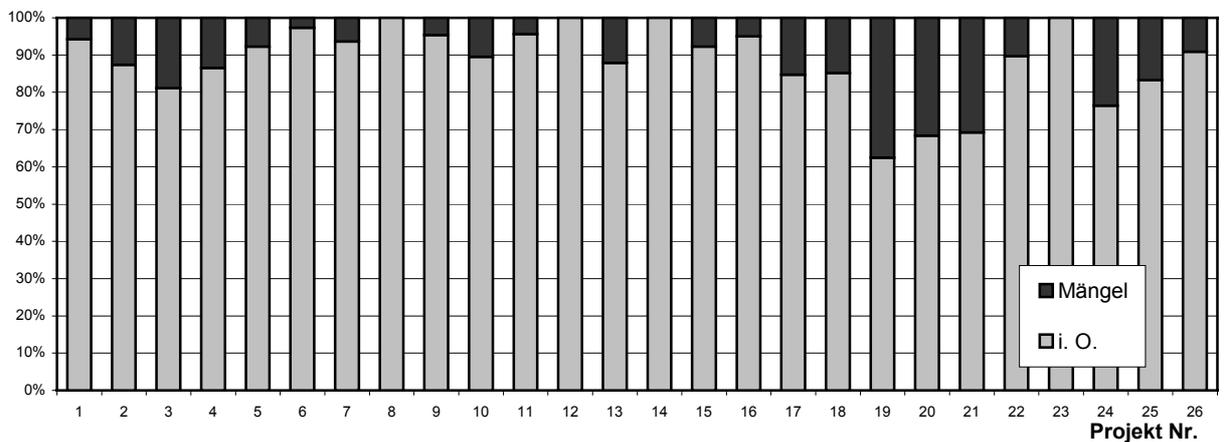
- Verunreinigungen in der Fügeebene
- Poren/Vakuolen im Schweißzusatz
- unzulässige Wulstbildung im Nahtrandbereich
- Riefen neben der Naht
- mangelhafte Nahtvorbereitung, z. B. kein Anfassen der oberen Dichtungsbahn
- Durchzeichnungen, z. B. durch zu hohe thermische Beanspruchung beim Schweißen
- ungleichmäßiger Nahtverlauf

Die Reihenfolge gibt qualitativ die Häufigkeit der festgestellten Mängel wieder.



**Bild 10** Beschaffenheit der Auftragnähte

Zu den Mängeln bezüglich der Nahtabmessungen gehören Abweichungen beim Nahtdickenfaktor und zu große Außermittigkeit.



**Bild 11** Nahtabmessungen der Auftragnähte

Sowohl bei der Beschaffenheit als auch bei den Nahtabmessungen betrug der Anteil der Schweißnahtproben mit Mängeln im Mittel etwas weniger als 10 %. Projektbezogen sind allerdings große Unterschiede festzustellen. Bei einigen Projekten entsprachen alle Schweißnahtproben den Vorgaben der Richtlinie DVS 2225-4. Bei einigen Projekten wiesen über 70 % der Proben Mängel auf. Auch in diesen Ergebnissen spiegelt sich u. a. das unterschiedliche handwerkliche Geschick der einzelnen Schweißer wieder.

#### **4.5 Zusammenfassung**

Der Auswertung liegen mehr als 200.000 m Schweißnahtlänge und mehr als 4.000 Probenahmen zugrunde.

Die erzielten Schweißnahtqualitäten liegen sowohl beim maschinellen Heizkeilschweißen als auch beim Warmgasextrusionsschweißen von Hand bei Dichtungsbahnen ab 2,0 mm Dicke durchweg auf einem anforderungsgerechten Niveau. Beim Warmgasextrusionsschweißen von Hand zeigen sich projekt- und verlegerbezogen größere Unterschiede bei der Nahtqualität als beim maschinellen Heizkeilschweißen. Beim Schweißen von 1,5 mm dicken Dichtungsbahnen kann allerdings nur unter sehr günstigen Voraussetzungen eine anforderungsgerechte Nahtqualität erzielt werden.

#### **Tabellenanhang**

Tabelle 1	Verlegeleistungen
Tabelle 2	Verlegeleistungen einlagige Abdichtungssysteme
Tabelle 3	Verlegeleistungen Kombinationsabdichtungen
Tabelle 4	Schweißnahtqualität Fügefestigkeit und Verformungsverhalten
Tabelle 5	Fügewege der Überlappnähte Dickenmessung mit Ultraschall
Tabelle 6	Beschaffenheit und Nahtabmessungen der Auftragnähte

Projekt		Fläche m <sup>2</sup>	Dicke der Dichtungsbahnen	Bauzeit Tage	Verlegezeit Tage	Effektivität	Verlegeleistung	
Nr.	Art						m <sup>2</sup> Bauzeittag	m <sup>2</sup> Verlegetag
1	OA	176.000	2,5	352	252	0,72	500	698
2	OA-K	153.000	2,5	290	190	0,66	528	805
3	OA	94.000	2,5	127	88	0,69	740	1068
4	OA	90.000	2,5	142	105	0,74	634	857
5	OA	89.000	2,5	179	119	0,66	497	748
6	BA	84.500	2,5	187	81	0,43	452	1043
7	OA-K	80.000	2,5	122	84	0,69	656	952
8	OA	65.000	2,5	90	74	0,82	722	878
9	OA	65.000	2,5	112	74	0,66	580	878
10	OA	56.500	2,5	103	66	0,64	549	856
11	OA	49.000	2,5	92	56	0,61	533	875
12	BA	44.000	2,5	110	42	0,38	400	1048
13	OA	42.000	2,5	31	24	0,77	1355	1750
14	OA	40.500	2,5	105	55	0,52	386	736
15	OA	36.000	2,5	127	71	0,56	283	507
16	BA-K	30.000	2,5	74	52	0,70	405	577
17	OA*	24.000	1,5	95	42	0,44	253	571
18	BA**	22.000	3,0	156	45	0,29	141	489
19	ZA***	18.000	2,0	82	18	0,22	220	1000
20	OA	18.000	2,5	52	36	0,69	346	500
21	BA-K	16.500	2,5	23	12	0,52	717	1375
22	BA-K	15.000	2,5	42	28	0,67	357	536
23	BA	11.500	2,5	55	20	0,36	209	575
24	BA-K	9.000	2,5	18	12	0,67	500	750
25	BA	8.000	2,5	35	13	0,37	229	615
26	BA-K	8.000	2,5	11	8	0,73	727	1000
		<b>Gesamt</b>		<b>Gesamt</b>	<b>Gesamt</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>
		<b>~1.350.000</b>		<b>2812</b>	<b>1667</b>	<b>0,59</b>	<b>478</b>	<b>807</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

Tabelle 1 Verlegeleistungen

Projekt		Fläche m <sup>2</sup>	Dicke der Dichtungsbahnen	Bauzeit Tage	Verlegezeit Tage	Effektivität	Verlegeleistung	
Nr.	Art						m <sup>2</sup> Bauzeittag	m <sup>2</sup> Verlegetag
1	OA	176.000	2,5	352	252	0,72	500	698
3	OA	94.000	2,5	127	88	0,69	740	1068
4	OA	90.000	2,5	142	105	0,74	634	857
5	OA	89.000	2,5	179	119	0,66	497	748
6	BA	84.500	2,5	187	81	0,43	452	1043
8	OA	65.000	2,5	90	74	0,82	722	878
9	OA	65.000	2,5	112	74	0,66	580	878
10	OA	56.500	2,5	103	66	0,64	549	856
11	OA	49.000	2,5	92	56	0,61	533	875
12	BA	44.000	2,5	110	42	0,38	400	1048
13	OA	42.000	2,5	31	24	0,77	1355	1750
14	OA	40.500	2,5	105	55	0,52	386	736
15	OA	36.000	2,5	127	71	0,56	283	507
17	OA*	24.000	1,5	95	42	0,44	253	571
18	BA**	22.000	3,0	156	45	0,29	141	489
19	ZA***	18.000	2,0	82	18	0,22	220	1000
20	OA	18.000	2,5	52	36	0,69	346	500
23	BA	11.500	2,5	55	20	0,36	209	575
25	BA	8.000	2,5	35	13	0,37	229	615
	<b>Gesamt</b>			<b>Gesamt</b>	<b>Gesamt</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>
	<b>~1.040.000</b>			<b>2232</b>	<b>1281</b>	<b>0,57</b>	<b>463</b>	<b>806</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

**Tabelle 2** Verlegeleistungen - einlagige Abdichtungssysteme

Projekt		Fläche m <sup>2</sup>	Dicke der Dichtungsbahnen	Bauzeit Tage	Verlegezeit Tage	Effektivität	Verlegeleistung	
Nr.	Art						m <sup>2</sup> Bauzeittag	m <sup>2</sup> Verlegetag
2	OA-K	153.000	2,5	290	190	0,66	528	805
7	OA-K	80.000	2,5	122	84	0,69	656	952
16	BA-K	30.000	2,5	74	52	0,70	405	577
21	BA-K	16.500	2,5	23	12	0,52	717	1375
22	BA-K	15.000	2,5	42	28	0,67	357	536
24	BA-K	9.000	2,5	18	12	0,67	500	750
26	BA-K	8.000	2,5	11	8	0,73	727	1000
		<b>Gesamt</b>		<b>Gesamt</b>	<b>Gesamt</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>	<b>im Mittel</b>
		<b>~310.000</b>		<b>580</b>	<b>386</b>	<b>0,67</b>	<b>537</b>	<b>807</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

**Tabelle 3** Verlegeleistungen – Kombinationsabdichtungen

			Schweißnahtproben gesamt = 100%		ÜN gesamt = 100%			AN gesamt = 100%		
			ÜN	AN	+	(+)	-	+	(+)	-
1	OA	176.000	66,8	33,2	93,8	5,0	1,2	81,7	17,2	1,1
2	OA-K	153.000	50,0	50,0	87,1	8,6	4,3	78,5	13,9	7,6
3	OA	94.000	64,3	35,7	96,7	2,7	0,5	83,2	14,9	2,0
4	OA	90.000	63,5	36,5	85,1	9,4	5,5	80,8	7,7	11,5
5	OA	89.000	63,5	36,5	92,3	6,1	1,6	83,1	15,5	1,4
6	BA	84.500	66,2	33,8	90,6	8,1	1,3	86,8	10,5	2,6
7	OA-K	80.000	65,4	34,6	98,9	1,1	0,0	90,4	9,6	0,0
8	OA	65.000	59,4	40,6	86,6	12,0	1,4	83,5	14,4	2,1
9	OA	65.000	59,9	40,1	91,9	6,2	1,9	87,0	8,3	4,6
10	OA	56.500	57,0	43,0	97,1	2,2	0,7	84,8	14,3	1,0
11	OA	49.000	62,3	37,7	94,7	4,4	0,9	89,9	10,1	0,0
12	BA	44.000	66,0	34,0	98,5	1,5	0,0	91,4	8,6	0,0
13	OA	42.000	62,5	37,5	80,0	9,1	10,9	81,8	15,2	3,0
14	OA	40.400	70,2	29,8	93,9	3,0	3,0	95,2	2,4	2,4
15	OA	35.650	62,5	37,5	96,2	3,1	0,8	91,0	7,7	1,3
16	BA-K	30.000	58,9	41,1	90,7	5,8	3,5	91,7	8,3	0,0
17	OA*	24.000	61,4	38,6	45,7	44,7	9,6	52,5	30,5	16,9
18	BA**	21.700	54,6	45,4	96,9	3,1	0,0	90,7	9,3	0,0
19	ZA***	18.000	70,9	29,1	76,9	17,9	5,1	100,0	0,0	0,0
20	OA	17.700	78,9	21,1	81,7	15,5	2,8	100,0	0,0	0,0
21	BA-K	16.500	71,7	28,3	97,0	0,0	3,0	100,0	0,0	0,0
22	BA-K	15.000	56,7	43,3	88,2	5,9	5,9	59,0	25,6	15,4
23	BA	11.500	47,9	52,1	100,0	0,0	0,0	68,0	16,0	16,0
24	BA-K	9.000	43,3	56,7	100,0	0,0	0,0	64,7	29,4	5,9
25	BA	8.100	62,5	37,5	90,0	0,0	10,0	100,0	0,0	0,0
26	BA-K	8.000	54,2	45,8	92,3	7,7	0,0	45,5	36,4	18,2
<b>Mittelwert</b>			<b>61,7</b>	<b>38,3</b>	<b>90,7</b>	<b>7,0</b>	<b>2,3</b>	<b>82,7</b>	<b>13,3</b>	<b>4,0</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

Tabelle 4 Schweißnahtqualität - Fügefestigkeit und Verformungsverhalten

			Mittelwerte pro Naht					Einzelwerte	
Projekt		Fläche	min.		max.		max. Differenz	min.	max.
Nr.	Art	m <sup>2</sup>	N1	N2	N1	N2	N1/N2		
1	OA	176.000	0,27	0,30	0,80	0,79	0,13	0,10	0,84
2	OA-K	153.000	0,25	0,26	0,87	0,85	0,11	-0,13	1,66
3	OA	94.000	0,25	0,26	0,70	0,74	0,10	0,22	0,80
4	OA	90.000	0,37	0,35	0,71	0,81	0,15	0,21	1,14
5	OA	89.000	0,26	0,32	0,74	0,74	0,12	0,17	0,80
6	BA	84.500	0,39	0,43	0,70	0,80	0,10	0,22	0,82
7	OA-K	80.000	0,37	0,40	0,75	0,71	0,11	0,24	0,84
8	OA	65.000	0,33	0,27	0,71	0,75	0,08	0,20	0,80
9	OA	65.000	0,38	0,34	0,77	0,75	0,15	0,27	0,81
10	OA	56.500	0,37	0,37	0,73	0,70	0,18	0,24	0,82
11	OA	49.000	0,39	0,36	0,77	0,79	0,14	0,22	1,04
12	BA	44.000	0,42	0,44	0,65	0,71	0,13	0,30	0,78
13	OA	42.000	0,32	0,30	0,72	0,70	0,15	0,20	0,97
14	OA	40.500	0,42	0,46	0,72	0,69	0,20	0,27	0,81
15	OA	36.000	0,37	0,41	0,71	0,72	0,07	0,26	0,79
16	BA-K	30.000	0,49	0,43	0,77	0,78	0,13	0,21	0,83
17	OA*	24.000	0,28	0,30	0,70	0,76	0,13	0,14	0,81
18	BA**	22.000	0,24	0,32	0,57	0,65	0,20	0,20	0,72
19	ZA***	18.000	0,31	0,34	0,66	0,67	0,20	0,19	0,74
20	OA	18.000	0,30	0,34	0,68	0,74	0,12	0,21	0,95
21	BA-K	16.500	0,33	0,30	0,67	0,62	0,08	0,11	1,10
22	BA-K	15.000	0,49	0,47	0,77	0,79	0,10	0,37	0,80
23	BA	11.500	0,29	0,41	0,71	0,80	0,12	0,24	0,86
24	BA-K	9.000	0,37	0,47	0,70	0,72	0,16	0,26	0,80
25	BA	8.000	0,33	0,47	0,73	0,77	0,18	0,23	0,80
26	BA-K	8.000	0,35	0,34	0,78	0,80	0,07	0,22	0,90
<b>min.-/ max.-Werte</b>			<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>0,20</b>	<b>-0,13</b>	<b>1,66</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* = 1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

**Tabelle 5** Fügewege der Überlappnähte - Dickenmessung mit Ultraschall

		Beschaffenheit			Nahtabmessungen	
Projekt		Fläche	Schweißnahtproben AN gesamt =100%		Schweißnahtproben AN gesamt =100%	
Nr.	Art	m <sup>2</sup>	i.O.	Mängel	i. O.	Mängel
1	OA	176.000	94,6	5,4	94,3	5,7
2	OA-K	153.000	86,8	13,2	87,4	12,6
3	OA	94.000	97,0	3,0	81,2	18,8
4	OA	90.000	88,5	11,5	86,5	13,5
5	OA	89.000	97,2	2,8	92,3	7,7
6	BA	84.500	98,7	1,3	97,4	2,6
7	OA-K	80.000	95,7	4,3	93,6	6,4
8	OA	65.000	100,0	0,0	100,0	0,0
9	OA	65.000	92,6	7,4	95,4	4,6
10	OA	56.500	96,2	3,8	89,5	10,5
11	OA	49.000	91,3	8,7	95,7	4,3
12	BA	44.000	100,0	0,0	100,0	0,0
13	OA	42.000	87,9	12,1	87,9	12,1
14	OA	40.500	95,2	4,8	100,0	0,0
15	OA	36.000	97,4	2,6	92,3	7,7
16	BA-K	30.000	31,7	68,3	95,0	5,0
17	OA*	24.000	76,3	23,7	84,7	15,3
18	BA**	22.000	98,1	1,9	85,2	14,8
19	ZA***	18.000	100,0	0,0	62,5	37,5
20	OA	18.000	89,5	10,5	68,4	31,6
21	BA-K	16.500	100,0	0,0	69,2	30,8
22	BA-K	15.000	84,6	15,4	89,7	10,3
23	BA	11.500	72,0	28,0	100,0	0,0
24	BA-K	9.000	82,4	17,6	76,5	23,5
25	BA	8.000	91,7	8,3	83,3	16,7
26	BA-K	8.000	27,3	72,7	90,9	9,1
<b>Mittelwert</b>			<b>90,6</b>	<b>9,4</b>	<b>90,9</b>	<b>9,1</b>

Legende: OA - Oberflächenabdichtung, BA - Basisabdichtung, K - Kombinationsabdichtung, \* =1,5mm, \*\* = 3,0mm, \*\*\* = 2,0mm

**Tabelle 6** Beschaffenheit und Nahtabmessungen der Auftragnähte