

HBM-Informationsschrift

Deutsch

Hinweise zur Installation von Dehnungsmessstreifen (DMS)

von Karl Hoffmann



Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
Im Tiefen See 45
D-64239 Darmstadt
Tel. +49 6151 803-0
Fax +49 6151 803-9100
Email: info@hbm.com
Internet: www.hbm.com

Mat.: 7-2001.1540
DVS: S1540-3.0
06.2014

© Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.

Änderungen vorbehalten.
Alle Angaben beschreiben unsere Produkte in allgemeiner
Form. Sie stellen keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeits-
garantie im Sinne des §443 BGB dar.

1	Besonderer Hinweis	5
2	Einleitung	7
3	Die Installation von DMS	11
3.1	Aufgabe und Wirkungsweise der Befestigungsmittel	11
3.2	Befestigungsmittel-Arten	13
3.3	Charakteristika der verschiedenen DMS-Klebstoffe von HBM	19
3.4	Anwendung der Befestigungsmittel	21
3.4.1	Klebeflächenvorbereitung bei Metallen	22
3.4.2	Klebeflächenvorbereitung bei Nichtmetallen	32
3.4.3	Anwendung von DMS in der Medizin	38
3.4.4	Vorbereiten der DMS	40
3.4.5	Klebevorgang	49
3.4.6	Vorsichtsmaßnahmen	58
4	Anschließen der Kabel	60
4.1	Lötgerät, Lötmittel, Schaltmittel	61
4.1.1	LötKolben	61
4.1.2	Lötspitzen	61
4.1.3	Lote (Weichlote)	62
4.1.4	Flussmittel	64
4.1.5	Lötstützpunkte	65
4.1.6	Leitungsmaterial	66
4.2	Tipps aus der Praxis	73
4.2.1	Tipps zum Löten	73
4.2.2	Tipps zum Kabelanschluss	77
5	Zwischenprüfungen	79
5.1	Optische Inspektion	79
5.2	Durchgangswiderstand des DMS	79
5.3	Widerstand der Anschlusskabel	80

5.4	Isolationswiderstand des DMS	80
5.5	Isolationswiderstand des Anschlusskabels	81
6	Messstellenschutz	82
6.1	Hinweise für Anwendung und Aufbau von Schutzabdeckungen für DMS-Messstellen	84
6.2	Gebäuchliche Abdeckmittel	86
7	Literaturverzeichnis	92

1 Besonderer Hinweis

Die in dieser Broschüre genannten oder empfohlenen Verfahren und Stoffe sind nach Kenntnis und Erfahrung zuverlässig und geeignet für den beschriebenen Zweck und entsprechen dem Stand der Technik. Sie sind als Hilfe und Ratschläge für die Anwendung von Dehnungsmessstreifen zu verstehen. Bei der Vielfalt der Anwendungen und der Komplexität der Bedingungen kann eine Garantie jedoch weder seitens der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH noch seitens des Autors übernommen werden noch können Haftungsansprüche irgendwelcher Art daraus abgeleitet werden. Für kritische Fälle empfiehlt sich ein Vorversuch, der die bei Ihnen vorliegenden speziellen Bedingungen berücksichtigt.

Bitte beachten Sie insbesondere die Sicherheits- und Betriebsvorschriften, zu vielen der hier genannten Produkte sind beim Hersteller entsprechende Sicherheitsdatenblätter erhältlich.

Weder dem Herausgeber noch dem Autor sind Schutzrechte bekannt, welche durch die Empfehlungen berührt würden, doch kann dies nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.



Information

Zahlen in eckigen Klammern (z. B. [1]) verweisen auf weiterführende Literatur, siehe Abschnitt 7, Literaturverzeichnis, Seite 92.

Wir informieren Sie gern ausführlich über unser Programm. Zu den verwendeten Techniken und Verfahren sowie über die entsprechenden Geräte können Sie aus-

fürliche Informationsunterlagen erhalten. Unsere Vertriebsingenieure im Außendienst stehen Ihnen jederzeit zur eingehenden Beratung zur Verfügung. Sie erarbeiten Ihnen auch gerne unverbindlich Vorschläge für die Lösung Ihrer messtechnischen Probleme.

© 1979

5., überarbeitete Fassung 2014

Gedruckt in der Bundesrepublik Deutschland

Alle Rechte vorbehalten. Vollständige oder teilweise Vervielfältigung jeglicher Art sowie Übersetzungen bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Herausgebers. Das Fotokopieren von Auszügen für den persönlichen Bedarf ist erlaubt.

2 Einleitung

Dehnungsmessstreifen (DMS) sind dazu bestimmt, Dehnungen zu messen. Aus dem Ergebnis einer solchen Messung lassen sich Aussagen über die Werkstoffbeanspruchung des Messobjekts herleiten, über die Art und den Betrag von Kräfteinwirkungen auf das Messobjekt und anderes mehr. Ein DMS kann die ihm gestellte Aufgabe aber erst dann erfüllen, wenn die zu messende Dehnung einwandfrei und verlustlos auf ihn übertragen wird. Dazu bedarf es einer innigen Verbindung zwischen DMS und Messobjekt. Die geforderte innige, flächenhafte Verbindung zwischen Messobjekt und DMS wird nur durch spezielle Klebstoffe und Verfahren erfüllt. Einige Befestigungsmittel und -methoden sind auf Sondergebiete beschränkt, wie z.B. die keramischen Befestigungsmittel auf den Hochtemperaturbereich und das Punktschweißen auf Anwendungen im Stahlbau, beide benötigen jedoch Spezial-DMS.

Die Qualität der Installation hat einen nachhaltigen Einfluss auf die erreichbaren Messabweichungen und Messunsicherheiten. Man könnte sagen, dass ein DMS im Anlieferungszustand noch kein fertiges Messgerät ist und erst vom Anwender durch Installation in den gebrauchsfertigen Zustand versetzt wird.

DMS und Installation bilden eine Einheit. Welcher Teil der Kombination zu Fehlern beiträgt, und in welchem Umfang, lässt sich nur durch umfangreiche Vergleichsmessungen mit anderen Kombinationen ermitteln. Daher sollten Sie die empfohlenen Installationsmittel und -verfahren unbedingt anwenden, außer Sie verfügen über die in [\[1\]](#) beschriebenen Prüfeinrichtungen und können die sehr umfangreichen und kostspieligen Prüfungen selbst durchführen. Alle die „Messstelle“ formenden Teile, wie DMS, Befestigungsmittel, Abdeckmittel und

anderes Zubehör, sind vor ihrer Aufnahme in das Lieferprogramm eines Herstellers in umfangreichen Testreihen auf ihre Wirksamkeit, Verträglichkeit untereinander und Zuverlässigkeit geprüft worden; ihre Eigenschaften werden mit den Mitteln der Qualitätssicherung ständig überwacht. Ihre Zuverlässigkeit steht deshalb bei vorschriftsmäßiger Anwendung außer Frage. Hingegen kann eine Gewähr bei Kombination mit anderen, fremden Erzeugnissen oder bei einer Verarbeitung nach abweichenden Verfahren verständlicherweise nicht übernommen werden.

Nicht allein die Befestigungsmittel selbst, sondern ebenso ihre sorgsame und fachgerechte Anwendung tragen zu Erfolg oder Misserfolg bei. Die den Klebstoffen beigelegten Gebrauchsanweisungen enthalten alle notwendigen Informationen und Anweisungen und sollten genauestens befolgt werden.

Damit eine Messung optimal ablaufen kann, bedarf es sorgfältiger Vorbereitung, insbesondere bei größeren Vorhaben. Dazu gehören neben der sachlichen Versuchsplanung die personelle Disposition. Nur fachkundiges Personal gewährleistet den Erfolg. HBM bemüht sich seit Jahren, auch in Verbindung mit Institutionen der Ingenieur- und Technikerfortbildung, das benötigte Spezialwissen zu vermitteln. Zu den Sachinformationen, die dem Installateur zu geben sind, gehören alle Angaben über Art, Umfang und Anwendung der benötigten Messmittel. Hier muss der Versuchsleiter aufgrund seiner Kenntnis der Aufgabenstellung und der Versuchsbedingungen klare Angaben machen. Das Diagramm *Abb. 2.1* liefert hierzu einige Stichpunkte.

Der Installateur benötigt vor allem folgende Angaben:

- Installationsort und Messgitterrichtung am Objekt (Installationszeichnung, Messstellenplan)
- Schaltplan, Kabelplan

- zu verwendender DMS-Typ
- Das Befestigungsverfahren und -mittel (z.B. ein spezieller Klebstofftyp)
- Leitungsmaterial (Kabelart, Leiterquerschnitt, Isolation etc.)
- Schutzmaßnahmen gegen mechanische, chemische, elektrische, thermische oder andere Beeinträchtigungen der Messstelle oder der Leitungen

Entscheidungshilfen finden Sie in technischen Informationen, z.B. in [\[17\]](#) und [\[18\]](#), oder in der Fachliteratur. Die Frage nach geeigneten Schutzmaßnahmen ist bei komplexen Stör- und Einflussgrößen manchmal nur schwer oder nur nach eingehenden Vorversuchen unter Realbedingungen zu beantworten.

Vom Installateur wird ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit verlangt, gepaart mit Sachkenntnis, Geschick und Erfahrung, denn die Qualität der Installation ist Voraussetzung für zuverlässige Messergebnisse.

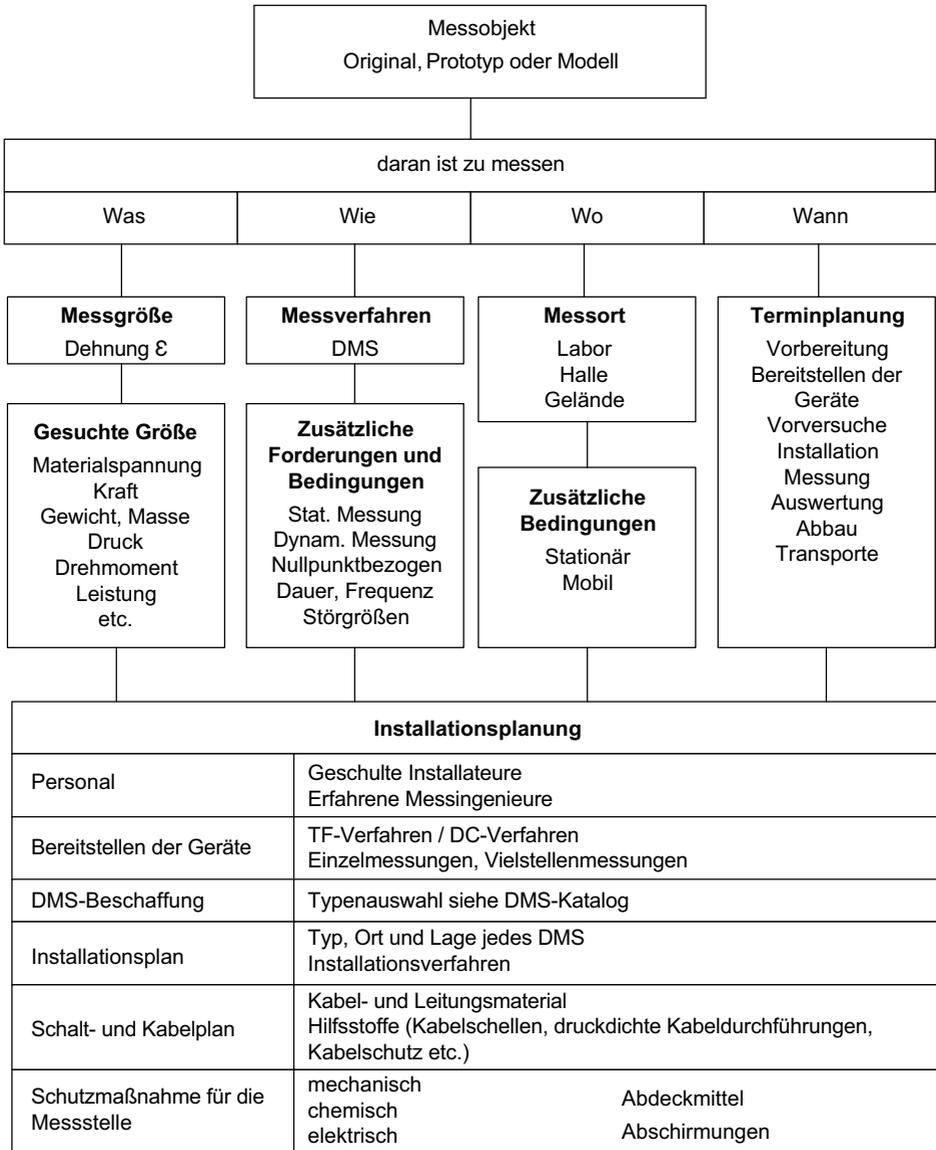


Abb. 2.1 Schema einer Installationsplanung

3 Die Installation von DMS

3.1 Aufgabe und Wirkungsweise der Befestigungsmittel

Die Befestigungsmittel haben die Aufgabe, den DMS fest mit der Oberfläche des Messobjekts zu verbinden und dessen Verformung verlustlos auf den DMS zu übertragen. Verschiedene Randbedingungen und Einflussgrößen sowie Rücksichten auf die Anwendungsmöglichkeit erfordern unterschiedliche Befestigungsmittel und Anwendungsverfahren. In seiner Bedeutung an erster Stelle steht das Kleben. Die besonderen Vorteile dieses Fügeverfahrens im Hinblick auf seine Verwendung zur DMS-Installation sind:

- Die Möglichkeit, verschiedene Werkstoffe, auch einander artfremde, zu verbinden. Je nach Art des Klebstoffs erfolgt die Verbindung bei Raumtemperatur oder bei erhöhter Temperatur.
- Keine Beeinflussung der zu verbindenden Werkstoffe (Einschränkungen sind bei Kunststoffen möglich).
- Chemisch härtende Klebstoffe (nur solche haben in der DMS-Technik noch Bedeutung) zeichnen sich durch geringe Feuchtigkeitsaufnahme aus.
- Steuerung der Arbeitsgeschwindigkeit durch Wahl verschiedener Klebstoffsorten oder Aushärtebedingungen (Heiß- oder Kalthärtung).
- Hoher spezifischer elektrischer Widerstand trägt zu hohem Isolationswiderstand zwischen DMS und Bauteil bei.

Die Haftung geklebter Bauteile aneinander beruht auf der Adhäsion zwischen dem Klebstoff und den vom Klebstoff

benetzten Flächen. Adhäsion entsteht vorwiegend durch Anziehungskräfte zwischen benachbarten Molekülen. Der Beitrag einer Verklammerung des Klebstoffs in den Poren der aufgerauten Fügeflächen oder durch Kapillarkapillare ist nur gering. Die zu beobachtende Steigerung der Bindefestigkeit bei mäßig rauen Fügeflächen beruht auf der durch das Aufrauen erzielten Vergrößerung der wirksamen Kontaktflächen, nicht aber auf der „mechanischen Adhäsion“.



Information

Die Ursachen für Adhäsion sind recht verwickelter Natur und nur teilweise geklärt [2], [3]. Einen wesentlichen Beitrag zu den Bindekräften liefert die Adsorption (man spricht auch von „Nebervalenzbindungen“), einen geringeren die chemische Bindung (Hauptvalenzbindung) und andere Energiequellen.

Unter dem Begriff „van der Waals'sche Kräfte“ sind verschiedenartige Bindungsmechanismen des Adsorptionsbereichs zusammengefasst, die im Wesentlichen in drei Arten gegenseitiger Orientierungseffekte unterschieden werden:

- *Das Dipolmoment (Keesom-Kräfte). Liegen in einem Molekül die positiven und negativen Ladungen asymmetrisch verteilt, so sind die Moleküle zwar insgesamt neutral, sie besitzen jedoch ein elektrisches Dipolmoment, sie sind polar. Benachbarte Moleküle suchen ihr Dipolmoment so auszurichten, dass der positiv geladene Seite des einen Moleküls die negativ geladene Seite des Nachbarmoleküls zugekehrt ist und umgekehrt. Die mittlere Reichweite der Keesom-Kräfte beträgt 0,4 bis 0,5nm (4-5Å).*
- *Der Induktionseffekt (Debye-Kräfte). Werden die Ladungsschwerpunkte des elektrischen Feldes eines Moleküls durch die induktive Wirkung*

eines äußeren Feldes (z.B. eines anderen Moleküls) verschoben, dann ergeben sich ebenfalls Wechselwirkungen. Im Unterschied zu den Keesom-Kräften besitzt bei den Debye-Kräften das eine Teilchen einen permanenten Dipol und das andere ein induziertes Dipolmoment. Die mittlere Reichweite der Debye-Kräfte beträgt 0,35 bis 0,45nm (3,5-4,5Å).

- Der Dispersionseffekt (London-Kräfte). Dieser Effekt wird durch wellenmechanische Überlegungen gedeutet, wonach aufgrund der ständig wechselnden Aufenthaltswahrscheinlichkeit der elektrischen Ladungen ein „in Phase“ schwingendes System zweier Teilchen entsteht, die sich dadurch gegenseitig ständig einen Dipol induzieren. Die mittlere Reichweite der London-Kräfte beträgt 0,35 bis 0,45nm (3,5-4,5Å).

Eine Sonderstellung innerhalb der van der Waals'schen Kräfte nimmt die sogenannte „Wasserstoff-Brückenbindung“ ein. Sie beruht ebenfalls auf der Wechselwirkung orientierter Dipole, hat aber die Besonderheit, dass der positive Pol mindestens eines Dipols von einem Wasserstoffatom dargestellt wird. Die Reichweite der Wasserstoffbrückenbindung beträgt 0,26 bis 0,3nm (2,6-3Å). Der Anteil der chemischen Bindungskräfte (Hauptvalenzbindungen) ist noch nicht vollständig geklärt. Es scheint aber, dass sie den geringeren Beitrag zu den adhäsiven Kräften liefern.

3.2 Befestigungsmittel-Arten

Sowohl die Arbeitsbedingungen am Installationsort als auch unterschiedliche Anforderungen an das Leistungsvermögen der Befestigungsmittel, vor allem hinsichtlich der Gebrauchstemperatur, haben zu einem Angebot verschiedenartiger Befestigungsmittel geführt. Das Gleiche

gilt auch für die DMS selbst. Dabei ergeben sich Paarungen zwischen gewissen DMS-Reihen und Klebstofftypen mit optimalen Eigenschaften in einem begrenzten Anwendungsbereich. Bei anderen Paarungen mit unterschiedlichem Leistungsvermögen bestimmt die Komponente mit dem engeren Leistungsbereich die Anwendungsgrenzen. Schließlich gibt es noch DMS und Befestigungsmittel, deren Kombination aus technologischen Gründen ausgeschlossen ist. Beachten Sie hierzu die Empfehlungen der Prospekte und technischen Datenblätter.



Information

Unbedingt zu warnen ist vor der Verwendung anderer als der empfohlenen Klebstoffe. DMS-Klebstoffe haben andere Anforderungen zu erfüllen als reine Verbindungsklebstoffe. Deshalb gehen sie in der Regel aus Spezialentwicklungen hervor oder sind zumindest Modifikationen handelsüblicher Klebstoffe. Dass ein DMS am Objekt klebt, ist allein noch kein ausreichendes Kriterium zur Beurteilung der Eignung des Klebstoffes für Messzwecke, es muss auch eine unverfälschte Übertragung der Objektdehnung gewährleistet sein. Dazu bedarf es weit schärferer Untersuchungen (in die DMS-Prüfung nach [\[1\]](#) sind die Klebstoffe automatisch einbezogen).

Befestigungsmittel lassen sich hinsichtlich der Anwendungstechnik unterscheiden:

Kalthärtende Klebstoffe

Diese lassen sich leicht und mit geringem Aufwand anwenden. Es gibt Einkomponenten-Klebstoffe, die z.B. durch Luftabschluss („anaerob“) zu reagieren beginnen, und Zweikomponenten-Klebstoffe, die vor der

Anwendung gemischt werden müssen. Bei kurzen Reaktionszeiten spricht man auch von „Schnellklebstoffen“. Ihr bevorzugtes Anwendungsgebiet ist die experimentelle Spannungsanalyse.

Heißhärtende Klebstoffe

Diese Befestigungsmittel sind nur dort anwendbar, wo das Messobjekt auf die geforderte Härtungstemperatur gebracht werden kann. Das ist im Allgemeinen beim Messgrößenaufnehmerbau möglich, aber auch vielfach dort, wo Maschinenteile vor ihrem Einbau mit DMS bestückt werden bzw. zur Installation der DMS ausgebaut werden können. Gegenüber den kalthärtenden Klebstoffen bieten die heißhärtenden einen erweiterten Anwendungsbereich in Richtung höherer Temperatur und eignen sich, in Verbindung mit Präzisions-DMS, zur Erfüllung der im Messgrößenaufnehmerbau üblicherweise höheren Genauigkeitsansprüche.

Das Punktschweißen

Dies ist eines der einfacheren Installationsverfahren. Es erfordert nur geringen apparativen Aufwand (ein kleines Schweißgerät), geringe Vorbereitung und wenig Übung. Dass es trotzdem nur selten angewandt wird, hat folgende Gründe:

- Man benötigt Spezial-DMS, die nur in geringer Typenzahl angeboten werden.
- Anschweißbare DMS können nicht beliebig klein hergestellt werden, dadurch ergibt sich eine weitere Beschränkung des Anwendungsbereichs.
- Das Messobjekt muss aus einem schweißbaren Werkstoff bestehen. An manchen Objekten wird trotz gegebener Schweißbarkeit die Anwendung wegen der Gefahr der Mikrokorrosion abgelehnt werden, z.B. bei

hoch beanspruchten Teilen von Dampfkesseln, bei austenitischen Stählen etc.

- Das Messobjekt muss so kräftig (dick) sein, dass die Spannungsverteilung in ihm nicht infolge der relativ großen Rückstellkraft des DMS verändert wird, d.h., es darf keine merkliche Dehnungsbehinderung eintreten.

Die Tabellen *Tab. 3.2* und *Tab. 3.3* auf den *Seiten 17 und 18*. geben einen tabellarischen Überblick über die von HBM angebotenen DMS-Befestigungsmittel und deren wichtigsten technischen und verarbeitungsbezogenen Daten, die Tabelle *Tab. 3.1* enthält eine Erläuterung der Buchstaben und Symbole.

Kennbuchstabe	DMS-Eigenschaften
Y, C, V	Polyimid-Träger
G, K	Phenolharz-Glasfaser-Träger
A, U	PEEK- ^F -Träger
E	PEEK-Träger
S	Metallischer Träger (anschweißbare DMS)
Symbol	Bedeutung
•	Optimale Kombination von DMS und Befestigungsmittel
○	Geeignet, jedoch unter Verzicht auf einen Teil des Temperaturbereichs der DMS oder des Befestigungsmittels
–	Ungeeignete Kombination

Tab. 3.1 Erläuterung der Buchstaben und Symbole von Tab. 3.3

Befestigungsmittel	Hauptanwendungsgebiete	Grundstoff	Nutzbarer Temperaturbereich (circa) ^{1) 2)}	Anz der Komponenten
Schnellklebstoff X60	Experimentelle Spannungsanalyse, einfache Aufnehmer	Methacrylatmischung	1) -200°C ... +60°C	2
			2) -200°C ... +80°C	
Schnellklebstoff Z70	Experimentelle Spannungsanalyse, Aufnehmer	Cyanacrylat	1) -55°C ... +100°C	1
			2) -70°C ... +120°C	
Kalthärtender Klebstoff X280	Experimentelle Spannungsanalyse	Expoxidharz	1) -200°C ... +200°C	2
			2) -200°C ... +280°C	
Klebstoff EP150	Experimentelle Spannungsanalyse, im erhöhten Temp.bereich, Aufnehmer	Expoxidharz	1) -70°C ... +150°C	1
			2) -70°C ... +150°C	
Klebstoff EP310S	Experimentelle Spannungsanalyse, im erhöhten Temp.bereich, Aufnehmer	Expoxidharz	1) -270°C ... +260°C	2
			2) -270°C ... +310°C	
Stick-on-DMS	Aufnehmerbau	Phenolharz	1) -190°C ... +200°C	-
			2) -190°C ... +200°C	
Punkt-schweißverfahren	Experimentelle Spannungsanalyse	-	Die Temperaturgrenzen sind nur vom DMS abhängig	-

1) **Für nullpunktbezogene Messungen.**

Bei nullpunktbezogenen Messungen sind die Messwerte auf den Nullpunkt referenziert (meist statische Messungen).

2) **Für nicht nullpunktbezogene Messungen.**

Bei nicht nullpunktbezogenen Messungen kann der Nullpunkt schwanken, nur der dynamische Anteil ist wichtig (dynamische Messungen).

Tab. 3.2 Übersicht der DMS-Befestigungsmittel des HBM-Programms

Befestigungsmittel	Topfzeit ³⁾	Aushärtebedingungen			Schichtdicke ⁵⁾ [μm]	Geeignet für DMS der Reihen ⁶⁾					
		Temp. [°C] ⁴⁾	Zeit ⁴⁾	Anpressdruck ⁴⁾ [N/mm ²]		Y, C	G, K	A, U	V	E	S
Schnellklebstoff X60	3...5 min	0 20 35	60 min 10 min 2 min	Daumen- druck	65	○	○	-	○	-	○
Schnellklebstoff Z70	-	5 20 30	10 min 1 min 0,5 min	Daumen- druck	6	○	○	○	●	○	-
Kalthärtender Klebstoff X280	30 min	RT 65 95	8 h 2 h 1 h	0,05 ... 2	40	○	○	○	○	○	-
Klebstoff EP150	-	160 170 190	6 h 3 h 1 h	0,3 ... 0,5	10	●	●	●	-	●	-
Klebstoff EP310S	4 Wochen	150 180 200	3 h 1 h 0,5 h	0,1 ... 0,5	10	●	●	●	-	●	-
Stick-on-DMS	-	160	3,5 h	0,2 ... 0,35	13 ... 17	-	●	●	-	-	-
Punkt-schweiß-verfahren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●

- 3) Unter der Topfzeit versteht man die nach dem Mischen der Klebstoff-Komponenten bei 20°C zum Kleben verfügbare Zeit; sie wird kürzer bei höherer Temperatur und umgekehrt.
- 4) Die fett gedruckte Zahl gibt den Vorzugswert an, die anderen die Alternativwerte oder die Grenzwerte.
- 5) Typische Werte, abhängig von Untergrund und Anpressdruck.
- 6) DMS-Reihen bestehen aus mehreren DMS-Serien bzw. DMS-Familien, die sich entweder im Werkstoff oder in konstruktiven Eigenarten unterscheiden. Die Buchstaben kennzeichnen den Messgitterträger; eine Erläuterung der Buchstaben und Symbole finden Sie in der Tabelle Tab. 3.1 auf Seite 16.

Tab. 3.3 Übersicht der DMS-Befestigungsmittel des HBM-Programms und deren Kombinierbarkeit mit verschiedenen DMS-Reihen (Serien)

3.3 Charakteristika der verschiedenen DMS-Klebstoffe von HBM

Schnellklebstoff X60

Dieser pastöse Klebstoff wird vorzugsweise zu spannungsanalytischen Untersuchungen im Bereich natürlicher Temperaturen (ca. $-20 \dots +60^{\circ}\text{C}$) angewandt. Er kann jedoch auch für Messungen bis -200°C eingesetzt werden. Seiner pastösen Konsistenz wegen eignet er sich zum Installieren von DMS auf porösen, saugenden Werkstoffen. Seine Beliebtheit bei Installateuren verdankt er seiner relativ problemlosen Verarbeitung. Dem Aufwand zum Mischen der zwei Komponenten vor jeder Klebung steht die (bei Raumtemperatur) ca. 3 Minuten währende Verarbeitungszeit positiv gegenüber, lange genug, um auch komplizierte Installationen (z.B. bei schlechter Zugänglichkeit der Klebestelle) ausführen zu können, kurz genug, um kostspielige Wartezeiten zu vermeiden.

Die Anwendung von X60 zum Bau von Messgrößenaufnehmern ist nur bedingt zu empfehlen und sollte auf einfache Ausführungen mit zulässigen Fehlergrenzen im Prozentbereich beschränkt bleiben.

Schnellklebstoff Z70

Dieser dünnflüssige, in Sekundenschnelle abbindende Cyanacrylat-Klebstoff ermöglicht – und verlangt! – eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit, die gute Zugänglichkeit der Klebestelle voraussetzt. Infolge der extrem dünnen Klebeschicht und der höheren Temperaturgrenzen lässt sich eine geringere Messunsicherheit erzielen als mit X60, insbesondere im Temperaturbereich oberhalb 50°C bis zur Temperaturgrenze. Z70 ist sehr einfach in der Handhabung.

Wegen seiner niedrigen Viskosität eignet sich Z70 nur zur Anwendung auf nicht saugenden Werkstoffen. Im Messgrößenaufnehmerbau eignet sich Z70 für Aufnehmer der mittleren Genauigkeitsklasse.

Kalthärtender Klebstoff X280

Dieser Klebstoff ist für Anwendungen gedacht, bei denen die Messstelle hohen Temperaturen ausgesetzt ist, jedoch eine Installation mit einem heißhärtenden Klebstoff nicht möglich ist. X280 ermöglicht statische Untersuchungen bis 200 °C und dynamische Untersuchungen bis 280 °C. Trotzdem härtet der Klebstoff bei Raumtemperatur innerhalb von 8 Stunden aus.

X280 ist auch für die Anwendung auf porösen Werkstoffen geeignet. Eine Anwendung im Messgrößenaufnehmerbau ist nicht sinnvoll.

Klebstoff EP150

Der Klebstoff EP150 ist ein heißhärtender Einkomponenten-Epoxidharzklebstoff. Er ist sehr dünnflüssig, ergibt eine dünne Klebstoffschicht, ist sparsam im Gebrauch und besitzt eine lange Topfzeit. Der Klebstoff haftet sehr gut auf allen gebräuchlichen Metallen und kann sowohl für statische als auch dynamische Messungen im Bereich von -70 ... +150°C verwendet werden. Diese Temperaturgrenzen sind allerdings fließend und hängen vom verwendeten DMS, von der geforderten Messunsicherheit und vom angewandten Härteverfahren ab. Beachten Sie daher die in den technischen Daten der DMS angegebenen Temperaturbereiche.

EP150 ist sehr gut geeignet zur Herstellung von Messgrößenaufnehmern.

Klebstoff EP310S

Dieser heißhärtende Zweikomponenten-Klebstoff ist frei von Füllstoffen, wodurch ähnlich dünne Klebeschichten wie bei Z70 erreicht werden. Daraus ergeben sich eine geringere Rückstellkraft der Installation, noch bessere Dehnungsübertragung vom Messobjekt auf den DMS und dadurch kleinere Messunsicherheiten. Im Aufgabengebiet der Spannungsanalyse liegen die besonderen Vorteile dieses Klebstoffs in den mit den vorgenannten Klebstoffen nicht mehr abdeckbaren hohen oder extrem niedrigen Temperaturbereichen.

EP310S ist sehr gut geeignet zur Herstellung von Messgrößenaufnehmern.

Selbstklebende DMS („Stick-on“-DMS)

Der Kleber auf Phenolharzbasis ist heißhärtend und bereits auf der Unterseite des DMS aufgebracht. Zum Befestigen dieser DMS wird kein zusätzlicher Klebstoff oder Aktivierer benötigt. Der Klebstoff ist grifftrocken und erleichtert somit den Umgang mit diesen DMS sowie das Positionieren. Die Aushärtung erfolgt unter Druck bei 160°C.

Die DMS eignen sich sehr gut zur Herstellung von Messgrößenaufnehmern.

3.4 Anwendung der Befestigungsmittel

Dehnungsmessstreifen lassen sich an nahezu allen festen Werkstoffen befestigen. Voraussetzung dazu ist eine geeignete und sorgfältige Vorbereitung der Installationsstelle. Nähere Angaben über geeignete Verfahren finden sich in den Gebrauchsanweisungen der DMS-Klebstoffe und in den folgenden Unterabschnitten.

Die nachfolgend gegebenen Informationen sind ausführlicher gehalten, als dies in den Gebrauchsanweisungen der Befestigungsmittel (Klebstoffe) möglich ist. Dennoch kann hier nicht auf alle Eigenarten der verschiedenen Befestigungsmittel eingegangen werden. Sollte sich aus diesem Grund an einer Stelle ein Widerspruch gegenüber den speziellen Angaben einer Gebrauchsanweisung ergeben, dann ist in jedem Fall die Gebrauchsanweisung verbindlich.

3.4.1 Klebeflächenvorbereitung bei Metallen

Art und Umfang der Maßnahmen zur Klebeflächenvorbereitung hängen vom Zustand des Messobjekts, vom Ausmaß und der Art der Verschmutzung und von dem zu beklebenden Werkstoff ab. Das folgende Schema nennt die verschiedenen Stufen der Vorbehandlung metallischer Objekte. Das Ziel ist, eine poren-, kerben- und oxidfreie, nicht zu raue und gut benetzbare Fläche zu schaffen. Die einzelnen Stufen der Messstellenvorbereitung sind:

- grob reinigen
- einebnen
- reinigen
- aufrauen
- reinigen
- anreißen
- feinreinigen und entfetten
- evtl. beizen, spülen und trocknen

Welche dieser Maßnahmen notwendig und mit welchen Mitteln sie auszuführen sind, hängt weitgehend vom Zustand, der Größe und der Empfindlichkeit (gegen

Beschädigung) des Objekts ab. Hier muss der Installateur selbst von Fall zu Fall sinnvolle Entscheidungen treffen, die nachfolgenden Beschreibungen erläutern die jeweiligen Maßnahmen.

Wesentlich ist zunächst eine Erläuterung der Begriffe „Sauberkeit“ und „Verunreinigung“, deren Verständnis dem Installateur unbedingt klar sein muss.

Jede offene Fläche muss prinzipiell als verunreinigt angesehen werden, auch dann, wenn sie dem Auge blank und rein erscheint. Ablagerung von Staub, Oxidation, Adsorption von Feuchtigkeit, Dämpfen und Gasen erfolgen ständig und verunreinigen die Fläche stets wieder aufs Neue, wodurch die Bindefähigkeit mit den Klebstoffen gemindert wird. Deshalb soll die Klebung so schnell wie möglich nach der Reinigung der Klebestelle erfolgen. Pausen zwischen den einzelnen Abschnitten der Messstellenvorbereitung sind unzulässig. Selbst unter Laborbedingungen und günstigen Luftzuständen ist eine Verweilzeit von 3 Stunden zwischen Reinigung und Installation als oberste Grenze anzusehen. Bei schnell oxidierenden Werkstoffen sowie in Industrielatmosphäre muss die Klebung der Reinigung unmittelbar folgen.

Grobreinigung

Entfernen Sie Rost, Zunder, Farbanstriche, dicke Schmierstoff- und Schmutzschichten sowie andere grobe Verunreinigungen oder Oberflächenbeschichtungen innerhalb eines nicht zu kleinen Umkreises um die Messstelle herum. Verwenden Sie Schaber, Spachtel, Schleifgeräte und ähnliche Werkzeuge, zur Grobreinigung von Schmier- und Fettschichten auch Haushaltsreinigungsmittel. Ätznatronlösung (kaustische Soda) ist ebenfalls ein gutes Fettlösemittel für die Grobreinigung, bei seiner Anwendung ist jedoch große Vorsicht geboten. Es wirkt auf der Haut stark ätzend; deshalb sind bei seiner Ver-

arbeitung Gummihandschuhe und Schutzbrille zu tragen. Vorsicht! Ätznatron nicht an Aluminium verwenden! Anschließend kräftig mit entionisiertem oder destilliertem Wasser spülen. Ausreichende Entfettung zeigt sich durch einen geschlossen ablaufenden Wasserfilm. Trocknen Sie die Messstelle danach mit einem sauberen Zellosevlies.

Einebnen

Rostnarben und tiefe Kratzer erzeugen Kerbspannungen in der Oberfläche des Objekts und führen zu falschen Messergebnissen. Buckel und andere Unebenheiten behindern das Ankleben der DMS. Ebenen Sie deshalb die Klebestelle durch Schleifen, Feilen oder andere geeignete Maßnahmen ein. Günstig sind Schleifgeräte mit Gummiteilern und auswechselbaren Schmirgelscheiben. Die Gummischeibe schmiegt sich der Kontur des Objekts an, die Schmirgelscheiben sind in ihrer Körnung dem Zwecke entsprechend wählbar; beginnen Sie mit grober Scheibe und gehen Sie stufenweise zu feinerem Korn über. Um Missverständnisse zu vermeiden: Die Klebefläche muss nicht plan sein (ein DMS kann auch an gekrümmte Flächen geklebt werden), aber sie soll nicht „bucklig“ sein. Überzüge aus Blei, Cadmium, Zinn, Indium, Wismut und ähnlichen Metallen binden nur schlecht oder gar nicht mit Klebstoffen, entfernen Sie diese daher. Nickelüberzüge können abblättern und sollten ebenfalls entfernt werden.

Reinigen

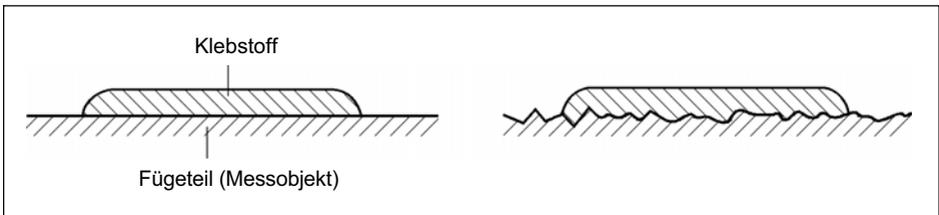
Mit diesem Arbeitsgang sollten Schmutz, Schleifstaub und Fett entfernt werden. Die Reinigung muss sorgfältig, braucht aber noch nicht extrem zu sein, weil noch weitere Arbeitsgänge folgen. Als Reinigungsmittel sind organische Lösungsmittel zu empfehlen. Nähere

Angaben darüber sind weiter unten unter dem Stichwort „Feinreinigen“ zu finden.

Mineralöle, wie sie u.a. beim Walzen von Blechen verwendet werden, sowie Bohremulsionen, Schneidöle etc. lassen sich mit den üblichen organischen Lösungsmitteln nur unzureichend entfernen. Hierzu sind Alkalien besser geeignet.

Aufrauen

Im *Abschnitt 3.1*, wurde erläutert, dass die Bindekräfte zwischen Fügepart und Klebstoff überwiegend chemischer Art sind. Eine Vergrößerung der Bindekräfte ist durch eine Vergrößerung der Kontaktflächen möglich. Dies kann aber nur durch Aufrauen erreicht werden. Das Aufrauen erfolgt meist mechanisch, seltener chemisch (durch Beizen).



*Abb. 3.1 Einfluss der Fügeflächenrauigkeit auf die effektive Kontaktflächen­größe
links: Kontaktlinie bei idealglatter Fügeteiloberfläche
rechts: verlängerte Kontaktlinie durch leichtes Aufrauen (optimaler Zustand)*

Aufrauen durch Sandstrahlen

Einen idealen Haftgrund erzielt man durch Sandstrahlen. Voraussetzung für einwandfreie Flächen sind öl- und wasserfreie Pressluft, saubere (ungebrauchte) Strahlmittel und vollkommen fettfreie Flächen, denn mit dem Sandstrahlgebläse eingehämmerte Fettpartikel sind

kaum noch zu beseitigen, allenfalls noch mit einem Ultraschallreinigungsgerät.

Als Strahlmittel ist Strahlkorund zu empfehlen. Er ist scharfkantig, hart und sauber, verursacht keine Korrosion und ist physiologisch unbedenklich (keine Silikose). Für extrem harte Werkstoffe (z.B. Hartmetalle) hat sich Borcarbid bewährt, ein Material, dessen Härte zwischen Diamant und Korund liegt. Die zweckmäßige Körnung richtet sich nach der Härte des zu strahlenden Werkstoffs, dem Luftdruck, dem Abstand zwischen Düse und Objekt sowie der benutzten Anlage.

Bei Verwendung von Cyanacrylat-Klebstoffen (z.B. Z70) ist eine geringere Aufrauung (feineres Korn) zu empfehlen, während bei pastösen Befestigungsmitteln eine stärkere Aufrauung mit größerem Korn zweckmäßig ist. Richtwerte für die günstigsten Rautiefen (quadratische Mittelwerte) gibt Ihnen Tabelle *Tab. 3.4*.

DMS-Befestigungsmittel	Mittlere Rautiefe in μm	Empfohlene Körnung des Schmirgelpapiers
Schnellklebstoff X60	3 ... 10	180
Schnellklebstoff Z70	2 ... 4	180 ... 300
Klebstoff X280	2 ... 10	180 ... 220
Klebstoff EP150 und EP310S	2 ... 4	220 ... 330

Tab. 3.4 Empfohlene Rautiefe der Klebeflächen am Messobjekt für verschiedene DMS-Klebstoffe

Aufrauen durch Schmirgeln

Trotz der offenkundigen Vorteile des Sandstrahlens ist dessen Anwendung begrenzt, teils wegen fehlender Anlage, teils, weil die Messobjekte eine derartige Behandlung nicht zulassen, z.B. in nächster Nähe von

Maschinenlagern. Verwenden Sie in solchen Fällen Schmirgelpapier. Richtig angewendet liefert es durchaus zufriedenstellende Ergebnisse. Das Schmirgelpapier soll mit kreisenden Bewegungen über die Fläche geführt werden; kreisend, damit nicht festigkeitsmindernde Vorzugsrichtungen entstehen. Verwenden Sie stets neues Schmirgelpapier (oder Schmirgelleinen) und eine der Härte des Werkstoffes angepasste Körnung. Richtwerte für zweckmäßige Körnungen sind in der Tabelle *Tab. 3.4* angegeben.

Aufrauen durch andere mechanische Maßnahmen

An manchen Objekten ist selbst das Schmirgeln als Maßnahme zum Aufrauen der Fügeflächen noch zu grob und daher unzulässig. Das gilt vor allem bei kerbempfindlichen Werkstoffen, deren Veredelung erhalten bleiben muss. Als mildeste Form der mechanischen Vorbehandlung zum Aufrauen und Beseitigen von Oxidschichten eignet sich das Abradieren mit einem Radierstift. Beachten Sie dabei, dass der Abrieb nicht mit der Hand oder durch Pusten entfernt werden darf. Schließlich gibt es auch noch chemische Verfahren, auf die im Abschnitt „Beizen“ eingegangen wird.

Anzeichnen

Markieren Sie die genaue Lage des DMS durch Anzeichnen. Folien-DMS besitzen Marken zur Kennzeichnung der Mittelachsen des Messgitters. Das Anreißern mittels Reißnadel ist nicht zu empfehlen, weil die dabei entstehende Verletzung der Oberfläche zur Schädigung oder gar zum Bruch des Objekts beitragen kann. Ein (leerer) Kugelschreiber ist hier wesentlich besser geeignet, weil die Kugel eine gut sichtbare Linie hinterlässt, aber keine Kerbe reißt. Enthält der Kugelschreiber noch Tinte, so muss diese allerdings nach dem

Anzeichnen mit Lösungsmittel (z.B. RMS1 oder RMS1-Spray) vollständig entfernt werden.

Bei weichen Werkstoffen, z.B. Aluminium, ist auch ein spitzer Bleistift geeignet, dessen zweckmäßige Härte (zwischen 4H und 6H) an einer Werkstoffprobe ermittelt werden sollte (die Linien müssen nach der Feinreinigung noch sichtbar sein, es dürfen keine Rillen entstehen).

Feinreinigen

Die Wirksamkeit der im *Abschnitt 3.1 auf Seite 11*, beschriebenen Bindekräfte nimmt mit der dritten bis sechsten Potenz des Abstandes ab. Sie ist somit auf molekulare Schichten begrenzt. Daraus ergibt sich der Zwang zu äußerst sorgfältiger Feinreinigung. Insbesondere Fette mindern schon in dünnsten Schichten die Wirksamkeit der Grenzflächenkräfte beträchtlich oder unterbinden sie gar. Am schwierigsten lassen sich Silikonfette und -öle entfernen, die in zahlreichen Kosmetika (Hautcremes etc.) enthalten sind. Während der DMS-Installation sollten derartige Mittel vermieden werden.

Sofern eine Anlage zur Verfügung steht und die Objekte es zulassen, empfiehlt sich die Dampfentfettung. Im Normalfall wird das Entfetten durch Abwaschen mit chemisch reinen fettlösenden Mitteln (z.B. RMS1 oder RMS1-Spray) vorgenommen. Beachten Sie dabei die Arbeitsschutzvorschriften! Gute Belüftung ist notwendig, damit sich keine zündfähigen Gas-Luft-Gemische bilden können und damit sich Lösungsmitteldämpfe schwerer als Luft nicht in Gruben o.Ä. ansammeln können (Erstickungsgefahr).

Reinigungsmittel

Die vorzugsweise zur Reinigung verwendeten organischen Lösungsmittel werden zum Teil in zwei verschiedenen Reinheitsgraden angeboten:

- „*Technisch rein*“ bedeutet: frei von festen Verunreinigungen;
- „*Chemisch rein*“, auch durch den Zusatz „pro analysi“ oder „p.a.“ oder „reinst“ gekennzeichnet, bedeutet: frei auch von löslichen Verunreinigungen im Rahmen der technischen Möglichkeiten.

Zur Reinigung von DMS-Installationsstellen sind unbedingt *chemisch reine* Lösungsmittel zu verwenden.

HBM bietet Ihnen mit *RMS1* und *RMS1-Spray* chemisch hochreine, umweltverträgliche Lösungsmittelkombinationen, die alle üblichen Verschmutzungen lösen.

Weitere gebräuchliche Lösungsmittel sind z.B. Aceton, Methyl-Ethyl-Keton, Isopropylalkohol, Ethylalkohol und Ethylacetat.

Beachten Sie bei der Ausführung der Feinreinigung:

- Zuvor Hände waschen, wenn nötig auch zwischendurch.
- Keine Hautcremes verwenden; wenn erforderlich, fettfreie Hautschutzsalbe (*siehe Abschnitt 3.4.6, Seite 58*).
- Lösungsmittel niemals direkt aus der Vorratsflasche heraus verbrauchen. Schütten Sie eine kleine Menge in ein sauberes Gefäß (Petrischale) und verwenden Sie es daraus. Reste niemals zum Vorrat zurückgeben, lieber wegschütten.
- Saubere, fett- und fusselfreie Tupfer verwenden. Tupfer aus Zellulosevlies haben sich gut bewährt. Jeden Tupfer nur einmal verwenden! Papiertaschen-

tücher sind nur brauchbar, wenn sie keine löslichen Bestandteile (Duftstoffe) enthalten!

- Nicht mit den Fingern in das Lösungsmittel tauchen, weil Hautfett gelöst wird, welches das Lösungsmittel verunreinigt. Gummihandschuhe, Gummifingerlinge oder Pinzette verwenden.
- Zunächst eine etwas größere Zone reinigen, dann immer kleinere Flächen, um nicht von den Rändern her Schmutz auf die Klebestelle zu bringen.
- Die Reinigung so lange fortsetzen, bis am Tupfer keine Spur von Verunreinigung mehr sichtbar ist. Zum Schluss mit stets neuem Tupfer nur jeweils 1 Strich von der Mitte nach außen hin in mindestens 2 entgegengesetzten Richtungen führen. Eventuell zurückbleibende Fusseln mit einer Pinzette wegnehmen oder mit sauberem Seidenpapier abwischen, *nicht mit Atemluft wegblasen!*
- Wenn sich auf der Klebefläche Feuchtigkeit niederschlägt (infolge Abkühlung durch Verdunsten des Lösemittels), verwenden Sie ein Warmluftgebläse zum Trocknen.
- Gereinigte Flächen nicht mehr mit den Händen berühren.



Information

Bei Leichtmetallen (Aluminium- und Titanlegierungen) wird gelegentlich ein Austreten öligter Substanzen aus der Oberfläche beobachtet, das sich auch nach gründlicher Reinigung und Entfettung fortsetzt. Dieses „Ausbluten“ ist vermutlich auf in die Metalloberfläche eingewalzte Schmiermittel zurückzuführen. Gegenmaßnahme: Reinigen, erhitzen, wieder reinigen usw., bis die Klebefläche sauber bleibt. Späteres Ablösen der Installation lässt sich nicht ganz ausschließen.

Beizen

Die chemische Vorbehandlung der Klebeflächen durch Beizen wird wegen des Aufwandes in der DMS-Technik seltener angewandt. Trotzdem soll sie hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Das Beizen kann zusätzlich zur mechanischen Vorbehandlung oder auch stattdessen angewandt werden. Es bewirkt neben der Aktivierung der Grenzflächenkräfte eine sehr feine Aufrauung. Diese mikroskopisch feine Rauigkeit hat den Vorteil, dass die Messobjekte in ihrer Festigkeit unbeeinflusst bleiben. Besonders vorteilhaft ist, dass sich sehr dünne Objekte weder verbiegen noch verbeulen. Durch das Beizen erhält man eine sehr gute und gleichmäßige Bindefestigkeit der Klebung.

Das Beizen ist ebenfalls unmittelbar vor dem Kleben vorzunehmen. Verwenden Sie besondere Sorgfalt auf das Neutralisieren, Spülen und Trocknen der Fügeflächen. In [4] sind einige Verfahren für verschiedene metallische Werkstoffe verzeichnet. Während bei Aluminiumlegierungen das Beizen gegenüber anderen Vorbehandlungsverfahren zu einer spürbaren Verbesserung

der Bindefestigkeit führt, lässt sich dieser Einfluss bei Stahl nicht erkennen [5].

3.4.2 Klebeflächenvorbereitung bei Nichtmetallen

Beton

Die Klebeflächenvorbereitung an Beton ist auf den Schnellklebstoff X60 zugeschnitten und in der Regel einfacher als bei Installationen an Metall. Zu beachten ist, ob der Beton in geölter oder in trockener Schalung geschüttet wurde. Im ersten Falle ist an der Klebestelle mit einem Schleifstein die ölgetränkte Schicht abzuschleifen. Das Entfetten mit Lösungsmitteln ist nicht zu empfehlen, weil die Lösungsmittel samt dem gelösten Öl nur tiefer in den Beton eindringen. Entfernen Sie bei trockener Schalung nur die Zementschlemppe bis auf den festen Beton. Auch hier empfiehlt sich das Schleifen, damit eine möglichst ebene Fläche entsteht. Blasen Sie den Schleifstaub mit einer Luftpumpe oder mit öl- und wasserfreier Pressluft sorgfältig ab. Spachteln Sie Poren mit X60 zu, und zwar nicht nur oberflächlich, sondern füllen Sie sie ganz aus. Die Klebeflächen nur glätten, keine Schicht aufziehen. Nach ca. 30 Minuten kann mit dem Aufkleben einer dünnen Aluminiumfolie als Sperrschicht oder, bei gegebenen Voraussetzungen, mit dem Ankleben des DMS begonnen werden.



Information

Beton erfordert einen stark porenfüllenden Klebstoff, der auch bei etwas Restfeuchte noch einwandfrei bindet. Hier hat sich der Schnellklebstoff X60 bewährt.

Die inhomogene Struktur des Betons erfordert DMS mit langem Messgitter zwecks Mittelwertbildung. Weitere Informationen finden Sie in [\[18\]](#).

Direktes Ankleben von DMS an Beton ist nur bei trockenen Teilen ratsam; bei Restfeuchte empfiehlt es sich, eine dünne Aluminiumfolie als Sperrschicht anzukleben und erst darauf den DMS.

Nullpunktbezogene Messungen sind bei Beton nur möglich, wenn die Probe vollständig trocken ist oder der Feuchtigkeitsgehalt während der Messung konstant bleibt. Bei veränderlichem Feuchtigkeitsgehalt schrumpft oder quillt Beton. Deshalb sind nullpunktbezogene Messungen meist nur über eine relativ kurze Zeitspanne möglich, sofern nicht ein gleichartiges, unbelastetes Objekt zur Kompensation verfügbar ist. Bei Installationen an der Armierung von Stahlbeton gelten die Regeln für Installationen an Metallen.



Information

Bei Messungen an Beton sollten Sie die Verwendung ansetzbarer Dehnungsaufnehmer in Betracht ziehen, z.B. des SLB700A.

Glas (Silikatglas), glasiertes Porzellan, Emaille

Mit den Klebstoffen X60 und Z70 kann man unmittelbar die entfettete Glasfläche bekleben. Aufrauen oder sonstige Vorbereitungen sind nicht notwendig. X60 lässt sich durch Auflösen mit Methyl-Ethyl-Keton oder Aceton entfernen, Z70 durch Einweichen in leicht alkalischem (Spülmittel) warmem Wasser. In gleicher Weise können DMS auch an glasierten oder emaillierten Werkstoffen sowie an geschliffenen Oberflächen von Steinzeugartikeln o.Ä. installiert werden [\[6\]](#).

Kunststoffe

Kunststoffe lassen sich grob in zwei Gruppen unterteilen, für die unterschiedliche Vorbehandlungsmethoden angewendet werden:

- a) Lösliche Kunststoffe, die leicht verklebbar sind, und
- b) Schwer- oder unlösliche (meist unpolare) Kunststoffe, die nur schwer bzw. ohne Vorbehandlung überhaupt nicht verklebbar sind.

Zu a) gehören vorwiegend die amorph aufgebauten Kunststoffe (z.B. Polystyrol [PS] und dessen Modifikationen, Polyvinylchlorid [PVC], Polykarbonat [PC], Celluloseacetobutyrat [CAB], Polymethylmethacrylat [PMMA]).

Zu b) gehören die teilkristallinen Kunststoffe (z.B. Polyethylen hoher Dichte [HDPE], Polyethylen niederer Dichte [LDPE], Polypropylen [PP], Polyoxymethylen [POM] (Polyacetal), Polyamid [PA]).

Die bei Kunststoffen angewandten physikalischen oder chemischen Vorbehandlungsverfahren haben die Aufgabe, die Molekularstruktur der Oberfläche zu aktivieren.

Bei den löslichen Kunststoffen zielt die Vorbehandlung auf die Entfernung von Verarbeitungshilfsmitteln, insbesondere von Trennmitteln (Silikone, Talkum), von Gleitmitteln (Stearate), von oberflächlichem Schmutz und von „Presshäuten“ (bei Press- oder Spritzgussteilen).

Zum Entfetten dienen organische Lösemittel, organische Sulfonate oder alkalische Phosphate. Auch das Aufräuen mit feinem Schmirgelpapier (Körnung 220 bis 360) ist eine geeignete Maßnahme. Bei den schwer- oder nicht-löslichen Kunststoffen führen die vorstehend genannten Maßnahmen manchmal zu ausreichender Bindung, in den meisten Fällen sind jedoch tiefer greifende Behandlungen nötig, mit denen die Kunststoffstruktur oberflächlich verändert und dadurch die Klebefähigkeit her-

beigeführt wird. Ausführliche Hinweise zur Vorbehandlung von Kunststoffen finden Sie in [7], [8].

Vorsicht ist bei der Behandlung von Kunststoffen mit Lösemitteln geboten, weil durch deren Angriffe Quellung und/oder Spannungskorrosion auftreten können. Als weitgehend unbedenklich, insbesondere im Hinblick auf die kurze Kontaktzeit, können Reinbenzin (nicht bei Polystyrol) und Isopropylalkohol angesehen werden. In kritischen Fällen sollten Sie immer einen Vorversuch durchführen, weil bei der großen Zahl modifizierter Kunststoffe eine eindeutige Vorhersage nicht möglich ist.

In diesem Zusammenhang verdient die Arbeit [9] Beachtung, die ausführlich über die Installation von DMS an Kunststoffen und die damit verbundenen Probleme berichtet.

Gängige Verfahren insbesondere zur Vorbehandlung sind auch Korona- bzw. Plasmabehandlung, die die Klebekraft deutlich verbessern.



Information

Aufzählung einiger, nach einfachen Vorbereitungsmaßnahmen erfolgreicher Installationen an verschiedenartigen Kunststoffen.

1. *Polyethylen-(HDPE)-Strukturschaum: Klebung mit Schnellklebstoff Z70.
Vorbereitung: Klebefläche mit trockenem sauberem Schmirgelpapier Körnung 320 kreisend aufgeraut, Staub sorgfältig entfernt. Bindefestigkeit ausreichend für $\varepsilon < 20.000\mu\text{m}/\text{m}$.*
2. *Polypropylen (PP): Klebung mit Schnellklebstoff X60 und mit Schnellklebstoff Z70.
Vorbereitung: wie bei 1). Erreichte Dehnung: $\varepsilon = 50.000 - 60.000\mu\text{m}/\text{m}$.*

3. *Polyoxmethylen (POM), Polyacetal. Klebung mit Schnellklebstoff Z70.
Vorbereitung: trockenes Aufrauen mit Schmirgelpapier Körnung 220. Bindefestigkeit sehr gut.*
4. *Phenolharze, Kresolharze, Melaminharze und Schichtstoffe daraus. Klebung mit Schnellklebstoff X60.
Vorbereitung: trockenes Aufrauen mit Schmirgelpapier Körnung 220.*
5. *Polymethylmethacrylat (PMMA), Acrylglas. Klebung mit den Schnellklebstoffen X60 oder Z70.
Vorbereitung: nur Entfetten. Bindefestigkeit sehr gut.*
6. *Polyvinylchlorid (PVC), weichmacherfrei. Klebung mit den Schnellklebstoffen X60 oder Z70.
Vorbereitung: nur Entfetten. Bindefestigkeit sehr gut.*
7. *Polykarbonat (PC). Klebung mit den Schnellklebstoffen X60 oder Z70. Vorbereitung: trockenes Aufrauen mit Schmirgelpapier Körnung 220 bis 320. Bindefestigkeit gut.*
8. *Polyesterharze (ausgehärtet, auch glasfaser- oder kohlefaserverstärkt). Klebung mit den Schnellklebstoffen X60 oder Z70.
Vorbereitung: wie 7. Bindefestigkeit gut.*
9. *Epoxidharz (EP). Klebung mit den Schnellklebstoffen X60 oder Z70.
Vorbereitung: wie 7. Bindefestigkeit sehr gut.*
10. *Polystyrol (PS). Klebung mit Schnellklebstoff Z70.
Vorbereitung: wie 7. Bindefestigkeit sehr gut.*



Information

Einige Methoden zur Vorbehandlung von Polyolefinen, siehe auch [\[2\]](#), [\[4\]](#), [\[7\]](#), [\[8\]](#).

- *Polyethylen niedriger Dichte (LDPE) (alternativ anwendbare Methoden).*
 - a) *Phenolharz-DMS mit erwärmtem Werkzeug „aufbügeln“.*
 - b) *Oberfläche des PE mit einer Gasflamme hauchdünn anschmelzen. Das PE wird dadurch klebefähig.*
 - c) *Evtl. Korona- bzw. Plasmabehandlung.*
- *Polyamide (und andere Kunststoffe) werden durch Behandlung mit Wasserstoffperoxid klebbar [\[2\]](#).*

Holz

Holz kann mit dem Schnellklebstoff X60 beklebt werden, nach vorherigem trockenem Schleifen mit Glas- oder Flintpapier.



Information

Holz ist ein inhomogener, anisotroper und poröser Werkstoff. Diese Eigenarten, die insbesondere bei den im Bauwesen verwendeten Nadelhölzern stark ausgeprägt sind, machen Messungen mit DMS problematisch.

Neben den extremen Unterschieden der elastischen Kennwerte, die sich aus der Holzstruktur ergeben, muss mit deren Veränderung in den oberflächennahen Schichten infolge des eindringenden Klebstoffs gerechnet werden. Als aussichtsreich können solche Messvorhaben gelten, bei denen die Messstellen kalibriert werden können und ein ausreichend langes DMS-Messgitter zur Ausmittlung der Partialdehnungen (wie bei Beton) benutzt wird.

Gummi

Nach dem Entfetten mit einem der in *Abschnitt Reinigungsmittel*, genannten Lösungsmittel ist Gummi mit den beiden Schnellklebstoffen Z70 und X60 beklebbar. Leichtes Anrauen mit Schmirgelpapier kann gelegentlich notwendig sein.

Dehnungsmessungen an Gummi sind insofern problematisch, als sich die Dehnungsbehinderung infolge der Rückstellkraft (Dehnsteifigkeit) des DMS umso stärker auswirkt, je weicher der Gummi ist. Weiterhin darf aus der großen Dehnbarkeit gewisser DMS-Typen nicht geschlossen werden, dass sie sich zur Messung großer Dehnungen an Gummi besonders gut eignen, denn diese große Dehnbarkeit ist nur einmal (oder höchstens wenige Male) erreichbar. Für derartige Anwendungen sind rückstellkraftarme Dehnungsaufnehmer besser geeignet. Siehe hierzu auch [\[10\]](#).

3.4.3 Anwendung von DMS in der Medizin

In der medizinischen Forschung fand die DMS-Technik vorwiegend in den Disziplinen Chirurgie, Orthopädie und Zahnmedizin Eingang. Sofern der Einsatz von DMS in Verbindung mit metallischem oder auch nichtmetallischem Instrumentarium beabsichtigt ist, z.B. zu Messungen an Osteosyntheseplatten, Prothesen u. a., können die gleichen Installationstechniken verwendet werden wie im technischen Bereich. Beim Einsatz am oder im lebenden Organismus müssen toxische oder allergische Reaktionen infolge des Kontaktes mit den Installationsmitteln ausgeschlossen sein. Für Implantate wird man gewebefreundliche Materialien wählen, die bei längerer Verweildauer gegen Verdauungsfermente resistent sein müssen. Aus den dem Autor zugegangenen

Informationen wurden für In-vivo-Installationen folgende Materialien mit Erfolg verwendet:

- zum Entfetten: Äther
- zum Kleben: Histoacryl® blau (Hersteller: B. Braun Melsungen AG)
- DMS: Reihe „Y“ (Messgitterträger aus Polyimid)
- zur Verschaltung: Leitungen mit Isolierungen aus Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Polyethylen niedriger Dichte (LDPE)
- zur Schutzabdeckung: Abdeckband ABM75 oder die plastische Masse des ABM75 allein, zusätzlich abgedeckt mit PTFE-Folie

Eine ausführliche Beschreibung der Installationstechnik an Knochen ist in [\[11\]](#) zu finden. Weitere Anwendungen von DMS im medizinischen Bereich siehe [\[12\]](#) bis [\[15\]](#).

Bei Installationen am toten Organismus kann zum Kleben auch der Schnellklebstoff Z70 und zur Schutzabdeckung der Silikonkautschuk SG 250 verwendet werden. Da die physiologischen Eigenschaften der beiden Materialien nicht bekannt sind, kann ihre Anwendung in vivo nicht empfohlen werden.

Installationen an Weichteilen sind wegen der Rückstellkraft (Dehnsteifigkeit) des DMS wenig erfolgversprechend, es sei denn, man beschränkt sich auf die rein qualitative Anzeige von Vorgängen, z.B. von Muskelreflexen.

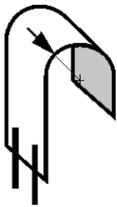
3.4.4 Vorbereiten der DMS

Reinigung

HBM-DMS sind im Anlieferungszustand gebrauchsfertig und bedürfen keiner besonderen Vorbereitung. Sollte die Klebeseite des DMS jedoch mit den Fingern berührt oder anderweitig verschmutzt worden sein, dann reinigen Sie sie mithilfe eines mit Lösungsmittel (RMS1) getränkten Wattestäbchens.

Anpassen an die Kontur des Werkstückes

Die Flexibilität der DMS hängt vorwiegend von den Eigenschaften des Messgitterträgers ab, zum geringen Teil von anderen Bestandteilen, z.B. von integrierten Lötstützpunkten. Die Tabelle *Tab. 3.5* gibt für die verschiedenen DMS-Serien die kleinsten Krümmungsradien an, mit denen die DMS ohne Vorbehandlung installiert werden können. Die Polyimidträger der DMS-Reihe Y sind derart flexibel, dass sie praktisch an scharfe Kanten geklebt werden könnten, ohne Schaden zu leiden. Die übrigen Träger sind spröder und brechen, wenn sie zu scharf gebogen werden. Dennoch kann man auch sie leicht durch „Vorformen“ für die Installation an kleinere Radien präparieren. Besonders bequem ist es, wenn Sie eine Lötstation mit regelbarer Temperatur verwenden und anstelle der Lötspitze einen Stift aus Kupfer, Messing, Aluminium oder Stahl einsetzen, dessen Kopfteil den gewünschten Durchmesser hat (*siehe Abb. 3.2*).

Trägerwerkstoff	Kleinster Krümmungsradius		
	Lötstützpunkt in mm	Dehnmessstreifen	
		Längs in mm	Quer in mm
			
Polyimid (Reihen Y/C)	2	<1	<1
Polyimid (Reihe V)	100	100	100
PEEK (Reihen A/U)	5	0,5	0,5
PEEK (Reihe E)	5	3	3
Phenolharz Glasfaser (Reihen G/K)	3	3	3

Tab. 3.5 Kleinste Krümmungsradien für nicht vorgeformte DMS

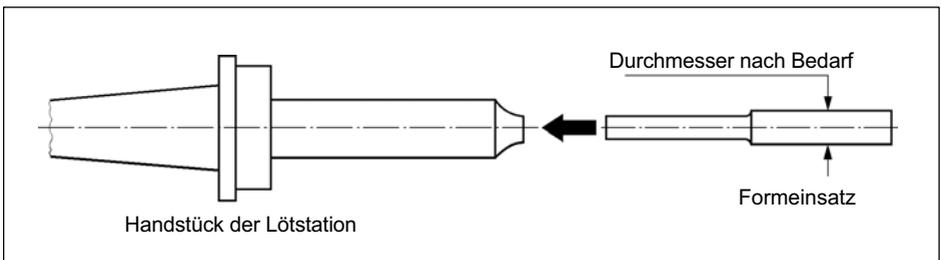


Abb. 3.2 Hilfsvorrichtung zum Anpassen von DMS an kleine Radien (nur bei Phenolharz-DMS notwendig)

Verfahren Sie nach folgendem Schema:

- Kleben Sie über die Rückseite des DMS ein temperaturbeständiges Klebeband (Abb. 3.3), z.B. das der

Klebstoffpackung EP310 beiliegende. Maskieren Sie gemäß Skizze a oder b je nachdem, ob die Biegeachse parallel oder quer zum DMS liegt. Beschneiden Sie entlang der zu biegenden Kanten des DMS den Klebestreifen bündig, da es sonst Probleme beim Abnehmen vom Formeinsatz geben könnte.

- Kleben Sie das kurze Klebestreifenende an dem kalten Formeinsatz so fest, dass die Biegeachse in der gewünschten Weise verläuft (Skizze c), längs, quer oder auch schräg.

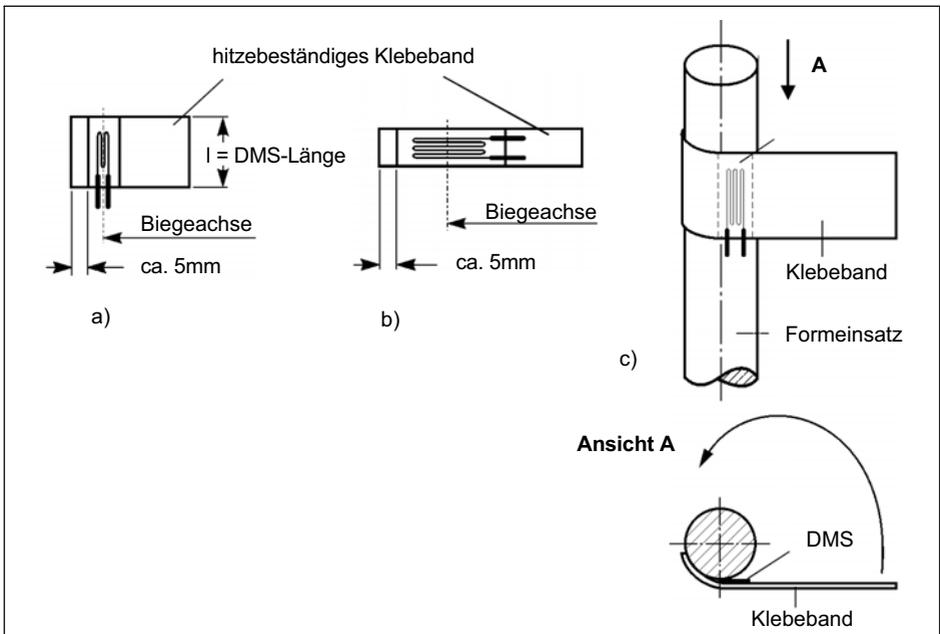


Abb. 3.3 Methode zum Vorformen spröder DMS zur Anpassung an kleine Radien

- Stellen Sie den Temperaturregler auf Solltemperatur ein, schalten Sie den Strom ein und warten Sie, bis die Solltemperatur erreicht ist (erkennbar an der Kon-

trollampe). Für DMS der Reihen G/K beträgt die Verformungstemperatur 100 ... 130°C.

- ▶ Fassen Sie das freie Ende des Klebebandes und führen Sie es langsam um den Formeinsatz so herum, dass sich der DMS gut anschmiegt (siehe Skizze c, Ansicht A). Kleben Sie das Ende des Klebebandes fest, schalten Sie den Strom aus und lassen Sie alles abkühlen.
- ▶ Ziehen Sie das Klebeband vorsichtig ab, erst von einem Ende bis zum DMS, dann vom anderen Ende (nicht von einer Seite her ganz abziehen, weil bei kleinen Radien der DMS brechen kann, wenn er ganz gestreckt wird). Verwenden Sie den Klebestreifen beim Ankleben des DMS zur Lagefixierung wie im *Abschnitt 3.4.5* beschrieben, entfernen Sie ihn erst nach der Installation des DMS.

Installationshilfen und Lötstützpunkte

(siehe auch Abschnitt 4.1.5, Seite 65)

DMS der Serie LY61 (*Abb. 3.4, Skizze a*) besitzen integrierte, mechanisch entkoppelte Lötstützpunkte, an welche die Messleitungen unmittelbar angelötet werden können. An DMS der Serie LY41 (*Abb. 3.4, Skizze b*) können dünne Messleitungen ebenfalls direkt angelötet werden. In den meisten Fällen ist es jedoch in gleicher Weise wie bei Ausführungen mit Bandanschlüssen (*Abb. 3.4, Skizze c*) empfehlenswert, einen Lötstützpunkt zwischenzuschalten. Damit wird einmal die Ausführung einer einwandfreien Lötstelle erleichtert und zum anderen ist eine Entlastung der Anschlüsse vom Zug der Messleitungen gewährleistet.

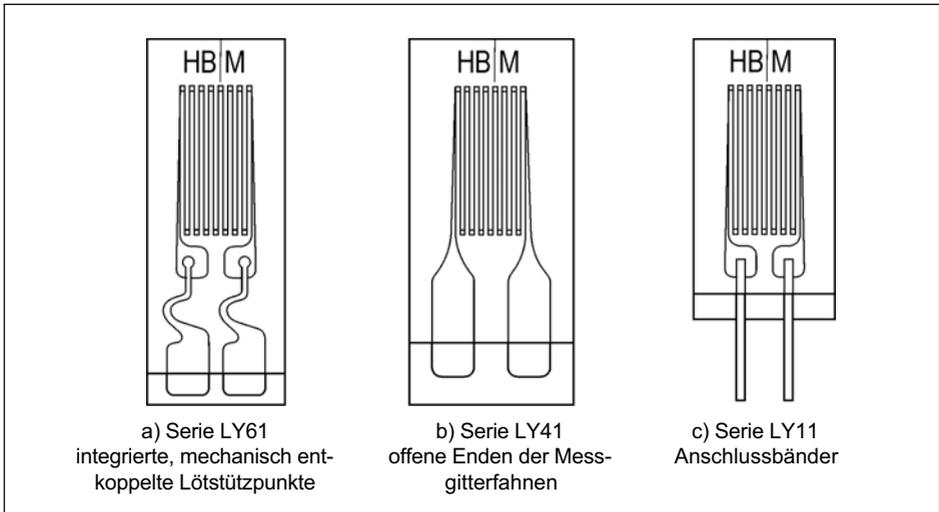


Abb. 3.4 Ausführungsarten von DMS-Anschlüssen

Die nachfolgend beschriebenen Hilfstechniken 1 und 2 erlauben es, DMS mit minimalem Aufwand zu installieren. Der Vorteil liegt darin, dass die diffizileren Arbeiten im Labor unter günstigen Bedingungen ausgeführt werden können, während die Arbeit am Installationsort ganz wesentlich vereinfacht wird. Diese Arbeitserleichterung macht in der Konsequenz das Installieren sicherer und die Messung zuverlässiger.

Hilfstechnik 1

Bei einem DMS nach Abb. 3.4, Skizze a, könnte sich auf der vernickelten Lötfläche etwas Oxid gebildet haben, wodurch später das Anlöten der Leitungen erschwert würde. Es ist deshalb ratsam, mit einem Radierstift die Oxidschicht zu beseitigen. Versehen Sie dann den DMS nach Abb. 3.4, Skizze a, mit einem Streifen Klebeband gemäß Abb. 3.5. Der Klebestreifen soll die

DMS-Anschlüsse bedecken, aber die Ecken und Kanten freilassen, an denen die Dehnung eingeleitet werden soll.

Kleben Sie den so präparierten DMS auf eine Zellophan- oder Fluorpolymerfolie und halten Sie ihn zum Installieren bereit.

Präparieren Sie DMS der Serie LY41 (*Abb. 3.4, Skizze b*) in gleicher Weise, wenn dünne Messleitungen direkt angelötet werden sollen. Bei dickeren Messkabeln empfiehlt sich die sinngemäße Anwendung der Hilfsttechnik 2.

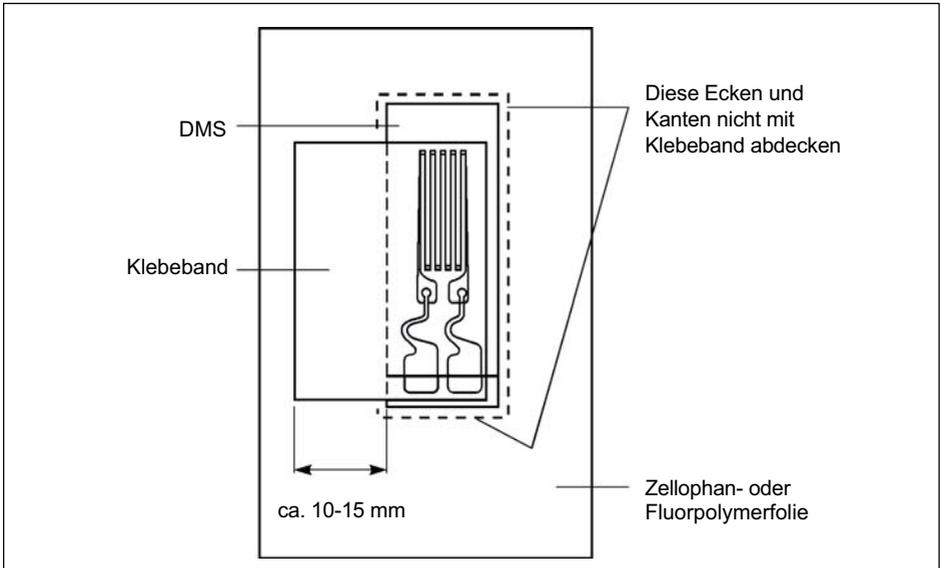


Abb. 3.5 Hilfsttechnik 1 zum Installieren eines DMS

Hilfstechnik 2

Kombinieren Sie die DMS nach *Abb. 3.4, Skizze c*, (gegebenenfalls auch solche nach *Skizze b*) zweckmäßigerweise mit einem Lötstützpunkt, an dem die Anschlussleitungen festen Halt finden.

Methode a)

- ▶ Schneiden Sie von einem Lötstützpunkt-Streifen ein Paar ab (der überstehende Rand soll mindestens 0,5mm breit bleiben), *Abb. 3.6, Skizze a*.
- ▶ Befreien Sie eventuell die Metallflächen mit einem Radierstift von Oxid.
- ▶ Reinigen Sie die Lötstützpunkte (falls nötig auch den DMS) von Fingerabdrücken, z.B. mit RMS1, und handtieren Sie im Folgenden nur noch mit Pinzette.

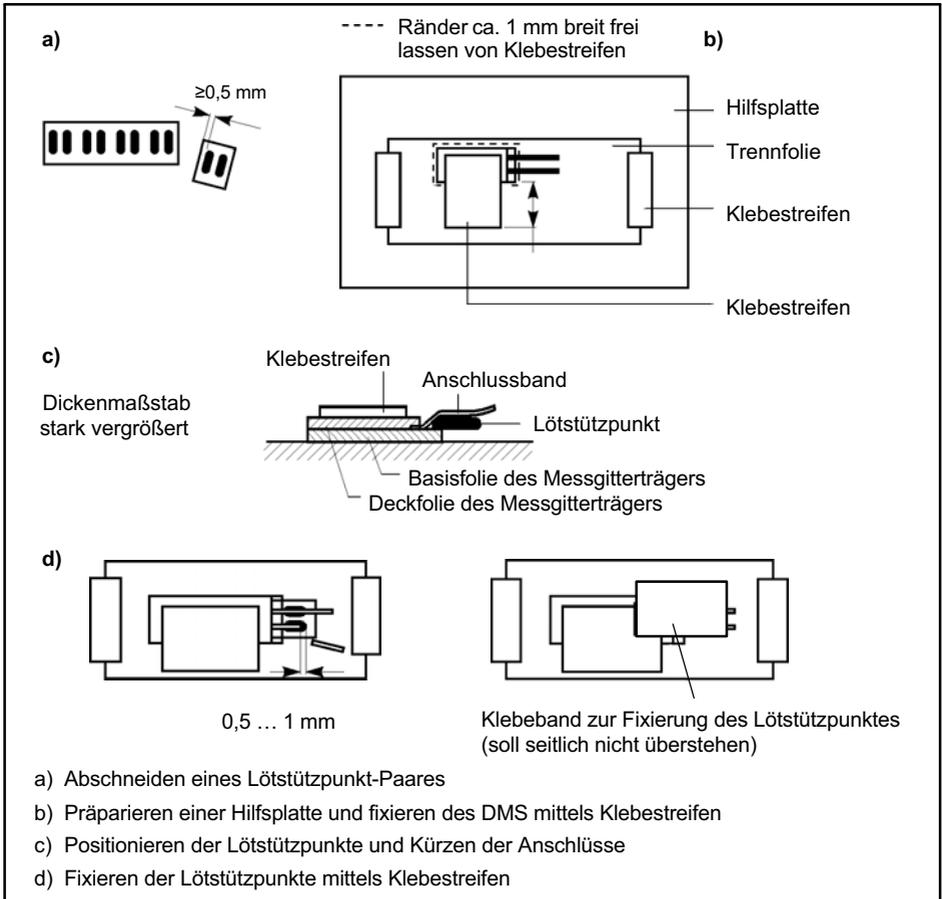


Abb. 3.6 Hilfstechik 2 zum Installieren eines DMS



Information

Lötstützpunkte werden in verschiedenen Größen und Ausführungen angeboten: Technische Einzelheiten finden Sie in den Prospekten. Kriterien für die Auswahl sind:

- *Abstand der DMS-Anschlüsse*
- *Am Messobjekt verfügbarer Platz*
- *Temperaturbeständigkeit und Befestigungsart*
Der Temperaturbereich anklebbarer Lötstützpunkte wird meist durch den verwendeten Klebstoff bestimmt bzw. eingeschränkt.

Methode b)

- ▶ Nehmen Sie zur Erleichterung des folgenden Arbeitsganges eine saubere Hilfsplatte aus Blech oder Kunststoff (Größe ca. 10cm x 10cm), legen Sie darauf eine Trennfolie aus Zellophan oder Fluorpolymer (Größe ca. 3cm x 6cm) und kleben Sie diese am Rand mit etwas Klebestreifen fest, damit sie nicht rutscht. Führen Sie auf dieser Unterlage die nächsten Arbeitsgänge durch.
- ▶ Kleben Sie auf die Oberseite des DMS einen Klebestreifen, der seitlich ca. 10 bis 15mm über den Rand des DMS hinausragt. Die übrigen drei Ränder des DMS sollen frei bleiben! Siehe *Abb. 3.6, Skizze b*. Kleben Sie den DMS mit dem überstehenden Teil des Klebestreifens auf die Trennfolie.

Methode c)

- ▶ Schieben Sie den Lötstützpunkt zwischen Basisfolie des Messgitterträgers und Anschlüsse, siehe *Abb. 3.6, Skizze c*, und kürzen Sie die Anschlussbändchen.

Methode d)

- ▶ Verbinden Sie DMS und Lötstützpunkt mit Klebeband; bedecken Sie dabei die Metallfläche ganz mit Klebeband, siehe *Abb. 3.6, Skizze d*. Nehmen Sie den installationsbereiten DMS mitsamt der Trennfolie von der Hilfsplatte und halten Sie ihn zum Installieren bereit.

Nehmen Sie bei der Verwendung eines heißhärtenden Klebstoffs ein hitzebeständiges Klebeband. Den betreffenden HBM-Klebstoffpackungen liegt derartiges Klebeband bei.

3.4.5 Klebevorgang

Jeder Klebstoffpackung liegt eine Gebrauchsanweisung bei, die unbedingt beachtet werden sollte. Darin sind genaue und ausführliche Angaben über die Behandlung und Anwendung des DMS-Klebstoffs; auf eine Wiederholung an dieser Stelle wird deshalb verzichtet. Die weiteren Ausführungen enthalten zusätzliche Hinweise zur Erleichterung des Installierens und zur Vermeidung von Fehlern. Die Übertragung der DMS auf das Messobjekt und ihre richtige Ausrichtung an der Messstelle sind denkbar einfach.

- Ziehen Sie den nach *Abschnitt 3.4.4, Seite 40*, vorbereiteten DMS mit einer Pinzette von der Schutzfolie (Vorsicht! Nur das Klebeband fassen, nicht den DMS selbst!).
- Richten Sie den DMS an der nach *Abschnitt 3.4.2, Seite 32*, vorbereiteten Messstelle so aus, dass sich die Achsmarkierungen des DMS mit den Anrisslinien decken. Drücken Sie dann den Klebestreifen an, *Abb. 3.7*, wodurch eine scharnierartige Verbindung zwischen DMS und Bauteil entsteht.

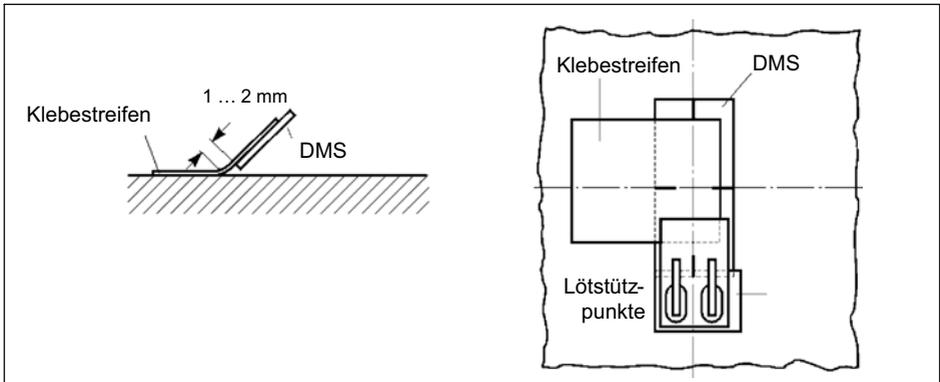


Abb. 3.7 Ansetzen des Dehnungsmessstreifens am Messobjekt

- Sie können zusätzlich, mit einem Abstand von 3 bis 5mm, rings um den DMS eine Maske aus Klebeband kleben. Dies empfiehlt sich insbesondere bei Verwendung des Schnellklebstoffs X60, weil man dann den Klebstoffüberschuss beim Auspressen auf die Maske drücken und nach dem Erhärten leicht entfernen kann.
- Richten Sie sich bei den weiteren Arbeitsschritten nach den Gebrauchsanweisungen der Klebstoffe. Nachfolgend finden Sie noch einige Hinweise auf Handhabungen, die erfahrungsgemäß oft falsch gemacht werden.

Schnellklebstoff X60

Der Klebstoff soll eine pastöse Konsistenz haben, nicht zu steif, damit die Klebstoffschicht nicht zu dick wird, nicht zu flüssig, weil sonst Luftblasen unter den DMS gesaugt werden. Luftblasen unter dem DMS sind schwere Installationsfehler. Wenden Sie einen Trick an, um sie zu verhindern (*siehe Abb. 3.8*):

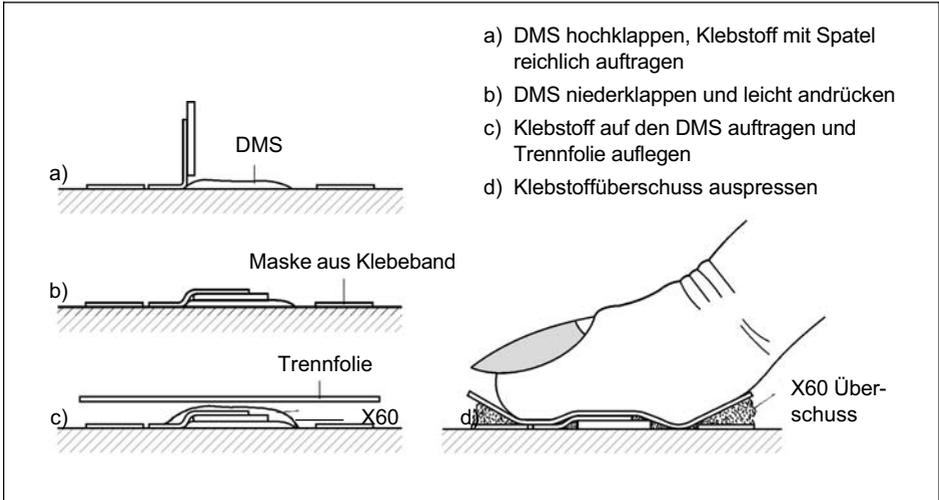


Abb. 3.8 DMS-Installation mit Schnellklebstoff X60



Information

Das beste Werkzeug zum Anpressen des DMS während der Installation mit kalthärtenden Klebstoffen ist der Daumen des Installateurs. Er übertrifft alle anderen Hilfswerkzeuge, wenn man seinen Vorteil, mit Gefühl ausgestattet zu sein, richtig nutzt.



Information

Bei X60 soll der Klebstoffüberschuss zunächst durch vorsichtiges Andrücken und Abrollen der Fingerkuppe nach außen gedrückt werden, wenn vorhanden, auf die Maske aus Klebestreifen. Dabei nicht schieben oder zerren, damit der DMS nicht verrutscht. Dann den Rest immer

fester andrücken und zum Schluss den Klebstoff so auspressen, dass eine ganz dünne, fast durchsichtige Klebstoffschicht entsteht. Arbeiten Sie dabei immer nur mit rollenden Bewegungen, nicht schieben und nicht zerren!

Der Klebstoff über dem DMS sorgt dafür, dass sich die Trennfolie festsaugt und den Zutritt von Luftblasen sperrt. Man braucht deshalb den DMS während der Aushärtung des Klebstoffs nicht mehr anzudrücken. Wenn sich trotzdem Luftblasen bilden, dann war der Klebstoff zu flüssig.

Nach wenigen Minuten (abhängig von der Temperatur) lässt sich die Trennfolie leicht abziehen. Entfernen Sie die Maske mit dem Klebstoffüberschuss sofort, weil dies leichter geht, bevor der Klebstoff durchgehärtet ist. Entfernen Sie gleichzeitig die Hilfs-Klebestreifen vom DMS, indem Sie sie mit einer Pinzette vorsichtig und langsam abschälen.

Schnellklebstoff Z70

Der Klebstoff härtet innerhalb weniger Sekunden aus, wenn er sehr dünn aufgetragen mit einer Fluorpolymer-Trennfolie und mäßigem Druck angepresst wird. Der Klebstoff Z70 benötigt eine relative Luftfeuchtigkeit von mindestens 30% zum Aushärten.

Die Anwendung ist denkbar einfach und schnell auszuführen:

1. DMS hochklappen
2. 1 kleinen Tropfen Klebstoff auf das Bauteil geben und sofort mit dem der Packung beiliegenden Fluorpolymerstreifen dünn und gleichmäßig ausziehen (keinen Druck ausüben)
3. DMS niederklappen, sofort Fluorpolymer-Trennfolie auflegen und ca. 1 Minute lang gleichmäßig andrücken. Bei Arbeiten „über Kopf“ kann man den

Klebstofftropfen auf den Fluorpolymerstreifen geben und an der Installationsstelle aufziehen.

4. Hilfs-Klebestreifen mit Pinzette vorsichtig abschälen.



Information

Jede Unterbrechung im Aushärtevorgang des Klebstoffs Z70 ist schädlich. Es ist unbedingt notwendig, den DMS sofort und gleichmäßig auf der gesamten Fläche anzudrücken. Der Druck muss ununterbrochen bis zum Aushärten des Klebstoffs aufrechterhalten bleiben. Ein oft beobachteter Fehler ist, dass der DMS immer nur punktuell mit einem Finger, so „tip-tip-tip“ über den DMS wandernd, angeedrückt wird. Dabei ist es möglich, dass der Klebstoff während des kurzen Antippens nur teilweise anhärtet und bei dem nächsten Antippen nicht mehr richtig bindet. Bei größeren DMS, die mit dem Daumen nicht mehr vollständig angeedrückt werden können, ist ein mit weichem Gummi gepolstertes Druckstück nützlich, das Sie gegebenenfalls der Kontur des Werkstücks anpassen müssen.

Ein anderer Fehler ist zu langsames Arbeiten, sodass der Klebstoff schon vor dem Andrücken des DMS ganz oder teilweise angetrocknet ist und deshalb nicht mehr bindet. Das ist besonders bei heißem Wetter zu beachten.

Der chemische Zustand der zu beklebenden Flächen hat ebenfalls einen Einfluss auf die Härtung des Klebstoffs: Basisch reagierende Stoffe beschleunigen die Härtung, sauer reagierende Stoffe verzögern die Härtung oder verhindern sie gar. Der letztere Fall ist als seltene Ausnahme anzusehen; in den meisten Fällen hat mangelhafte Durchhärtung ihre Ursache in zu dickem Klebstoffauftrag. Sollte tatsächlich eine saure Reaktion der Anlass sein, dann kann die Härtung durch Anwendung des Kata-

lysators BCY01 erzwungen werden. In diesem Falle die „saure“ Seite mit dem Neutralisator dünn überstreichen und trocknen lassen, Klebstoff auf den DMS auftragen und andrücken. Die nunmehr einsetzende Schockhärtung läuft innerhalb weniger Sekunden ab. Dabei entstehen in der Klebstoffschicht Eigenspannungen, die möglicherweise die Dehnbarkeit oder die Beständigkeit der Bindung über lange Zeit beeinträchtigen können. Die Anwendung des Katalysators sollte deshalb auf Notfälle beschränkt bleiben; von routinemäßiger Anwendung raten wir ab.

Klebstoff X280

Die beiden Komponenten des Klebstoffs sind in einem Beutel verpackt und durch eine Kunststoffklemme voneinander getrennt. Das optimale Mischungsverhältnis der Komponenten ist somit gewährleistet, ein Auswiegen vor der Anwendung entfällt.

Nachdem die Kunststoffklemme entfernt wurde, lassen sich die beiden Komponenten mischen. Dabei sollte der Klebstoff durch die Handwärme nicht zu sehr aufgeheizt werden, da sich sonst die Topfzeit verkürzt. Der Kleber kann gemischt werden, indem die von der Kunststoffklammer befreiten Beutel mehrmals über eine Tischkante gezogen werden. Die Topfzeit beträgt bei Raumtemperatur ca. 30min. Der Klebstoff ist gut vermischt, wenn er eine gleichmäßige Färbung ohne Schlieren o.ä. aufweist. Beachten Sie jedoch, dass die Schichtdicke des Klebstoffes beim Mischen im Töpfchen eine Dicke von 12mm nicht übersteigt, da sonst eine exotherme Reaktion eintritt, d.h., der Klebstoff wird heiß und härtet aus.

Mithilfe einer sehr präzisen Waage kann der Klebstoff auch in kleineren als der vorgegebenen Menge angemischt werden. Dazu müssen 100 Teile der

Komponente A mit 52 Teilen der Komponente B in einem Gefäß vermischt werden.

Der Klebstoff sollte auf DMS und Werkstück reichlich aufgetragen werden. Dazu kann ein Holzstückchen oder ein Spatel dienen. Anschließend kann der DMS mit leichtem Druck angedrückt werden.

Decken Sie die Installationsstelle durch ein Stück des mitgelieferten Fluorpolymerbandes ab, auf welches Sie noch ein Stück des ebenfalls mitgelieferten Neoprengummis legen. Dabei sollte das Fluorpolymer etwas großzügiger bemessen sein als der Gummi, um zu verhindern, dass dieser mit dem Werkstück verklebt.

Legen Sie auf diese Installationsstelle eine Metallplatte und belasten Sie sie mit einem Druck von mindestens $0,05\text{N/mm}^2$. Dieser Druck kann durch Gewichte, Federdruck, Magneten o.Ä. aufgebracht werden.

Bei Raumtemperatur beträgt die Aushärtezeit des X280 acht Stunden. Durch Wärmeeinwirkung kann die Aushärtezeit verkürzt werden, siehe *Tab. 3.3, Seite 18*.

Bei Temperaturen unter 10°C härtet der Klebstoff nicht mehr aus, bei 10°C beträgt die Aushärtedauer 36 Stunden. Bringen Sie im Zweifelsfall neben der Installationsstelle einen kleinen Tropfen des Klebstoffs auf, an dem Sie dann die Aushärtung überprüfen können.

Klebstoffe EP150 und EP310S

Die Klebstoffe bedürfen erhöhter Temperatur und müssen während des Aushärtens angepresst werden. Der Anpressdruck soll $0,1$ bis $0,5\text{N/mm}^2$ für spannungsanalytische Messungen betragen, für Präzisionsmessungen und den Aufnehmerbau können höhere Anpressdrücke verwendet werden, ebenso, wenn die Messstelle hohem hydrostatischen Druck ausgesetzt sein wird.

Zur Erzeugung des Anpressdruckes eignen sich Federklammern, die dem Objekt angepasst und mit einfachen Mitteln herzustellen sind; *Abb. 3.9* zeigt einige Beispiele.

Fügen Sie zum Schutz der DMS gegen punktförmige Belastung eine Polsterung zwischen Druckstück und DMS ein. Als billigstes und bestes Material hat sich ein ca. 2mm dickes Polster aus mehreren Lagen weichen Löschpapiers erwiesen. Sein Vorteil gegenüber Gummi besteht darin, dass das Polster in der Druckrichtung nachgiebig ist und Dickenunterschiede ausgleicht, ohne seitlich herauszuquellen und den DMS zu verzerren.

Die Federn sind notwendig, einerseits um einen definierten Anpressdruck erzeugen zu können, andererseits, um diesen Druck aufrechtzuerhalten, wenn das Polstermaterial, mit dem die DMS überdeckt werden, unter dem Einfluss der Hitze nachgibt.

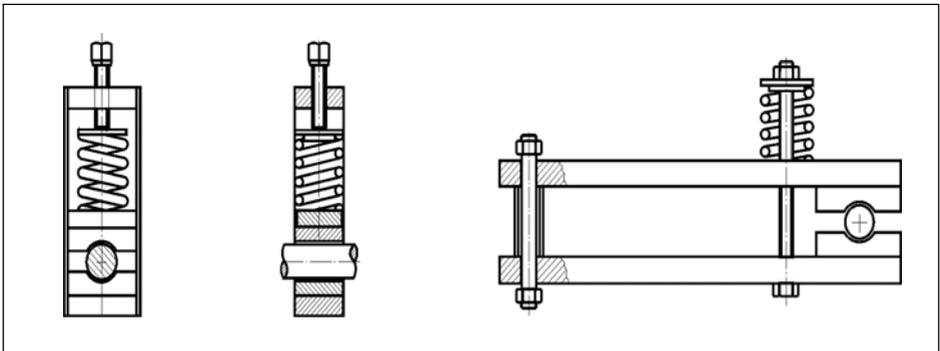


Abb. 3.9 Beispiel von Federklammern zur DMS-Installation mit heißhärtendem Klebstoff

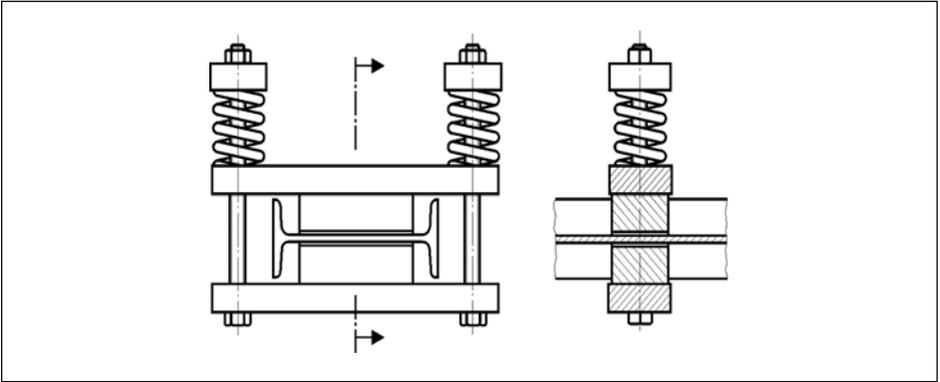


Abb. 3.10 Beispiel von Federklammern zur DMS-Installation mit heißhärtendem Klebstoff



Information

Beispiel zur Bestimmung des Anpressdrucks.

Die verwendete Feder habe eine Federkonstante von $c = 100\text{N/mm}$.

Die Federkonstante c , auch Federsteifigkeit oder Feder-rate genannt, bezeichnet die Kraft F , die notwendig ist, um die Feder um den Federweg $s = 1\text{mm}$ zusammenzudrücken.

$$c = \frac{F}{s}$$

Sie lässt sich bei leichten Federn durch Aufsetzen von Gewichten bestimmen, bei schweren Federn in der Prüfmaschine. Ein Gewicht der Masse 1kg erzeugt eine Gewichtskraft von ca. 10N (Newton). Bei der im Beispiel benutzten Feder drückt ein Gewichtsstück von 10kg mit seiner Gewichtskraft von 100N die Feder um 1mm zusammen.

Die zu drückende Fläche sei $3\text{cm} \times 5\text{cm} = 15\text{cm}^2$.

Gemeint ist die gesamte unter Druck stehende Fläche der Polsterung, nicht alleine die des DMS!

Der geforderte Anpressdruck sei $5\text{bar} = 50\text{N/cm}^2$.

Die verwendete Spannschraube hat eine Steigung von $s = 1,5\text{mm/Umdrehung}$.

Die benötigte Kraft F beträgt dann

$$F = 115\text{cm}^2 \cdot 5\text{bar} = 15\text{cm}^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 750\text{N}$$

Bei einer Spindelsteigung von $s = 1,5\text{mm}$ und einer Federkonstante $c = 100\text{N/mm}$ beträgt die Kraftzunahme ΔF je Spindelumdrehung:

$$\Delta F = \frac{s}{\text{Umdr.}} \cdot c = 1,5 \frac{\text{mm}}{\text{Umdr.}} \cdot 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 150\text{N/Umdr.}$$

Die geforderte Kraft von $F = 750\text{N}$ wird erreicht mit:

$$\frac{F}{\Delta F} = \frac{750\text{N}}{150\text{N/Umdr.}} = 5 \text{ Umdrehungen der Spindel}$$

3.4.6 Vorsichtsmaßnahmen

Die nachstehenden Hinweise sollen keine unbegründete Angst auslösen; dazu ist nach den Erfahrungen vieler Jahre kein Anlass gegeben. Sie sollen jedoch vor allzu großer Sorglosigkeit und deren Folgen warnen.

Beim Aufrauen von Beryllium und seinen Legierungen ist die Verwendung eines Atemschutzfilters dringend anzuraten. Beryllium, insbesondere Berylliumstaub, ist karzinogen (krebserregend).

Achten Sie beim Ankleben von DMS auf peinliche Sauberkeit. Dies gilt nicht nur hinsichtlich der Klebestelle und der DMS, sondern in gleichem Maße auch für die Hände. Bei überempfindlichen Personen kann der Umgang mit Lösungsmitteln und mit chemisch härtbaren Kunststoff-

fen, zu denen die meisten DMS-Klebstoffe zu rechnen sind, zu allergischen Reaktionen führen. Vermeiden Sie deshalb nach Möglichkeit den direkten Kontakt mit der Haut.

Waschen Sie in jedem Falle nach Abschluss der Klebearbeiten die Hände gründlich mit lauwarmem Wasser und neutraler Seife, bei länger andauernden Arbeiten auch zwischendurch.

Ein weiterer Hinweis ist angebracht, wenn Z70 verarbeitet wird. Z70, ein Cyanacrylat-Klebstoff, wird in kleinen Kunststoffflaschen mit verschlossener Tropfdüse geliefert. Beim Transport füllt sich die Tropfdüse meist an der Spitze mit Klebstoff. Beim Abschneiden der Düsen- spitze ist es möglich, dass dieser Klebstoff herausspritzt. Halten Sie deshalb die Flasche beim Öffnen so, dass der Klebstoffstrahl weder das Gesicht noch die Kleider einer Person in der Nähe treffen kann. Gelangt ein Tropfen Z70 ins Auge, dann härtet dieser durch die Tränenflüssigkeit sofort aus. Bei dieser Polymerisationsreaktion wird Wärme frei, welche die Hornhaut des Auges leicht angreift. Dadurch tritt in den ersten Minuten ein kurzer brennender Schmerz auf. Spülen Sie das Auge sofort mit lauwarmem Wasser! Sicherheitshalber sollten Sie anschließend einen Augenarzt aufsuchen. Nach bisheriger Erfahrung regeneriert sich die Hornhaut in wenigen Tagen, es treten keine bleibenden Sehstörungen auf. Aus der Kleidung lässt sich Z70 nicht mehr entfernen.

In diesem Zusammenhang ist noch ein Wort zur Benutzung von Hautcremes zu sagen. Viele davon enthalten Silikonfett. Silikonfett breitet sich über alle damit in Berührung kommenden Gegenstände (Werkzeuge) aus und wird dann immer weiter übertragen, auch auf die Messstellen. Es ist kaum sichtbar und nur sehr schwer zu entfernen. Schon molekulare Schichten führen zu

verminderter Haftung der Klebstoffe. Deshalb ist von der Benutzung solcher Cremes abzuraten.

Sorgen Sie bei der DMS-Installation durch gute Belüftung dafür, dass die Dämpfe der Lösungsmittel und der Klebstoffe nicht eingeatmet werden. Beachten Sie ebenfalls die Sicherheitsdatenblätter sowie die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften.

4 Anschließen der Kabel

Die beste und überwiegend angewandte Art der elektrischen Verbindung zwischen DMS und Messleitung (Messkabel) ist das Lötten. In den folgenden Abschnitten wird darauf ausführlich eingegangen. Ebenfalls hervorragende Verbindungen erhält man mit der Crimptechnik (Quetschverbindungen). Klemmverbindungen können infolge veränderlicher Übergangswiderstände Nullpunktwanderungen auslösen. Steckverbindungen sind noch kritischer; hier haben sich nur erstklassige Qualitäten mit vergoldeten Kontaktelementen als ausreichend erwiesen, solange deren einwandfreie Funktion nicht durch Verschmutzung gestört wird. Grundsätzlich ist zu sagen, dass normale Starkstromverbindungen gerade wegen der niedrigen Messspannungen und -ströme oftmals unzureichend sind.

4.1 Lötgerät, Lötmedium, Schaltmittel

4.1.1 LötKolben

Zu empfehlen sind temperaturgeregelte NiederspannungslötKolben. Verwenden Sie Modelle mit feinfühleriger, stufenloser elektronischer Regelung und hoher Heizleistung (ca. 50W bzw. ca. 80W für bleifreie Lote), weil Wärmeentzug an der Lötspitze während des Lötens sofort ausgeglichen wird. Der Temperatur-Regelbereich liegt bei handelsüblichen Lötstationen zwischen 120 und 400°C; er reicht für alle in der DMS-Technik benutzten Weichlote aus.

4.1.2 Lötspitzen

Entscheidend für die Herstellung zuverlässiger Lötstellen ist die Wahl der für den jeweiligen Anwendungsfall richtigen Lötspitze. Die Bezeichnung „Lötspitze“ darf nicht zu wörtlich genommen werden, denn ein bleistiftähnlich angespitzter Loteinsatz ist ungeeignet, *Abb. 4.1a*, weil der Wärmefluss vom Einsatz zur Lötstelle ungenügend ist und weil sich das Lot von der Spitze weg nach oben zieht und deshalb an der Lötstelle fehlt. Eine kleine Fläche, in ihrer Größe dem Lötobjekt angemessen, ist richtig, *Abb. 4.1b, c und d*. Ob gerade oder gebogene Lötspitzen günstiger sind, hängt allein von der Zugänglichkeit der Lötstelle ab.

Vergütete Lötspitzen nehmen nur an ganz bestimmten Stellen Lot an, wodurch es auf die zum Löten benutzte Stelle konzentriert bleibt. Die Vergütung verhindert außerdem das Oxidieren des Einsatzes.

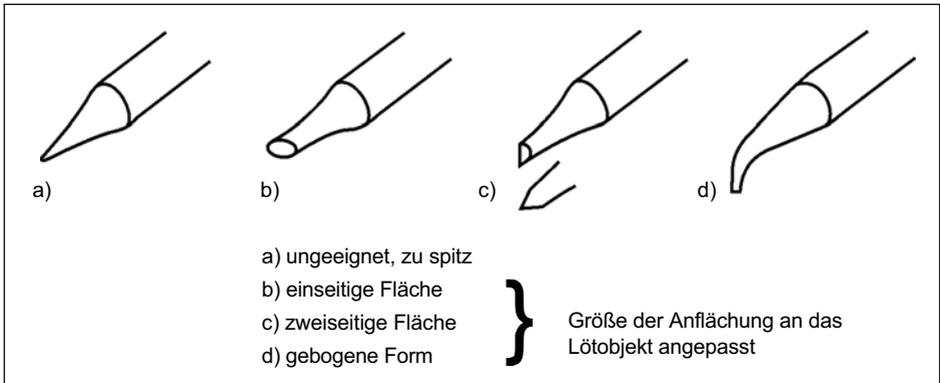


Abb. 4.1 Einige Lötspitzen-Formen

4.1.3 Lote (Weichlote)

Es werden zahllose Weichlote angeboten. Je nach Legierungsbestandteilen und Komposition erfüllen sie gewisse Anforderungen optimal. In der DMS-Technik sind gute Benetzungs- und Fließseigenschaften sowie eine den Einsatzbedingungen angemessene Schmelztemperatur wichtig.

Die maximale Gebrauchstemperatur sollte mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit der Lötverbindung mindestens 30K unterhalb des Lotschmelzpunktes liegen.



Information

Gelegentlich findet man den Hinweis, dass Zinnlote bei niedrigen Temperaturen eine Phasenumwandlung durchmachen und vom üblichen weißen Zinn (β -Phase) in pulveriges graues Zinn (α -Phase) zerfielen. Diese als „Zinnpest“ bezeichnete Erscheinung tritt nur bei Zinn höchster Reinheit auf und auch bei ihm nur unter ungünstigen Bedingungen. Normale Zinnlote mit Legierungsbestandteilen oder Restverunreinigungen aus Blei, Antimon, Wismut, Kupfer, Arsen, Eisen usw. zeigten selbst nach zehnjähriger Lagerung bei -40°C keine Schäden. Darüber ist ausführlich in [16] berichtet.

Kleine Zusätze von Kupfer verhindern das lästige Anfressen der Lötspitze („Kupferschutzlot“). Bei dynamischer Dauerbelastung sind Lote mit hoher Ermüdungsbeständigkeit vorteilhaft.

In Tabelle Tab. 4.1 sind einige gebräuchliche Weichlote verzeichnet. Weitere Informationen liefern DIN EN 61190-1/1-3 und die Listen der Lothersteller.

Lotbezeichnung nach DIN EN29453	Bestellnummer	Schmelzpunkt in $^{\circ}\text{C}$	Empfohlene Lötspitzentemperatur in $^{\circ}\text{C}$	Bemerkung
Sn 95,5Ag3,8Cu0,7	1-LOT-LF	217 ... 219	≤ 320	Bleifreies Lot
Sn60Pb38Cu2	1-LOT	183 ... 190	250	Bleihaltiges Lot

Tab. 4.1 Weichlote



Information

*Verwenden Sie im Hochtemperaturbereich möglichst Schweißverbindungen.
Hartlötungen sind wegen der aggressiven Flussmittel mit Vorsicht anzuwenden!*

4.1.4 Flussmittel

Flussmittel haben die Aufgabe, die Lötstelle von Oxid zu befreien und während des Lötvorgangs das erneute Oxidieren zu verhindern. Sie schaffen damit die Voraussetzung für eine einwandfreie Verbindung des Lotes mit den Lötteilen. Die Auswahl des Flussmittels muss nach der Art des Lötens (z.B. Weichlöten), der Art der zu verlötenden Werkstoffe (z.B. Schwermetalle) und der Art des Lötobjektes (z.B. elektrische Schaltung) getroffen werden.

Stark beizende oder halogenhaltige Flussmittel sind zwar bequem, weil auch an schlecht gereinigten Lötstellen gelötet werden kann; ihr Nachteil liegt darin, dass Rückstände unweigerlich Korrosion hervorrufen und das elektrische Isoliervermögen der Isolierstrecken empfindlich herabsetzen. Sie sind deshalb für Lötungen an elektrischen Schaltungen ungeeignet. Verwenden Sie auf keinen Fall Löt fett!

Nicht korrodierende Flussmittel werden auf der Basis natürlicher oder modifizierter natürlicher Harze hergestellt. Das bekannteste davon ist Kolophonium. Es wird in Lotdrähten als Flussmittelseele oder in Spiritus gelöst als Flüssigkeit angewandt. Diese „sanften“ Flussmittel verlangen gründliches Säubern und Blankmachen der Lötstelle unmittelbar vor dem Löten. Sie sind für die DMS-Technik sehr gut geeignet.

Die in vielen Lotdrähten enthaltene Flussmittelseele kann sowohl aus korrodierendem als auch aus nicht korrodierendem Flussmittel bestehen. Verschaffen Sie sich deshalb vor der Anwendung unbedingt Gewissheit über die Art des Flussmittels. Über die verschiedenen Flussmittel informiert das Normblatt „DIN EN 29454-1: Flussmittel zum Weichlöten“.

Flussmittel mit dem Typ-Kurzzeichen 1.1.1 und 1.1.3 hinterlassen keine korrodierenden Rückstände.

4.1.5 Lötstützpunkte

Die Aufgabe der Lötstützpunkte und ihre Anwendung sind bereits im *Abschnitt 3.4.4, Seite 40*, angesprochen worden. Zu erwähnen bleibt noch, dass Lötstützpunkte in verschiedenen Ausführungen und Größen hergestellt werden, darunter auch solche, die durch Punktschweißen befestigt werden. (*Abb. 4.2* zeigt einige typische Bauformen von Lötstützpunkten; über das aktuelle Angebot informieren Sie die jeweils gültigen Prospekte.) Die üblichen Ausführungen bestehen aus Polyimidfolie, auf welcher die vernickelten Kupferflächen mit einem wärmebeständigen Klebstoff befestigt sind. Die Temperaturbeständigkeit ist 180°C für Daueranwendung und 260°C für kurzzeitigen Betrieb.

Wählen Sie die Größe der Lötstützpunkte sowohl passend zur Größe des DMS als auch zur Dicke der anzulötenden Kabeladern. Bei hoher dynamischer Beanspruchung sind kurze Lötstützpunkte günstiger, oder Sie installieren die Lötstützpunkte quer zur Dehnungsrichtung. Als Alternative können Sie auch die die Lötstützpunkte in der Mitte zerschneiden, aber dann die Schnittkante zum DMS ausrichten, damit Masseschluss verhindert wird. Das Ankleben erfolgt gleichzeitig mit dem DMS (wie im *Abschnitt 3.4.4, Seite 40*, beschrieben) und

mit dem gleichen Klebstoff, mit dem der DMS installiert wird.

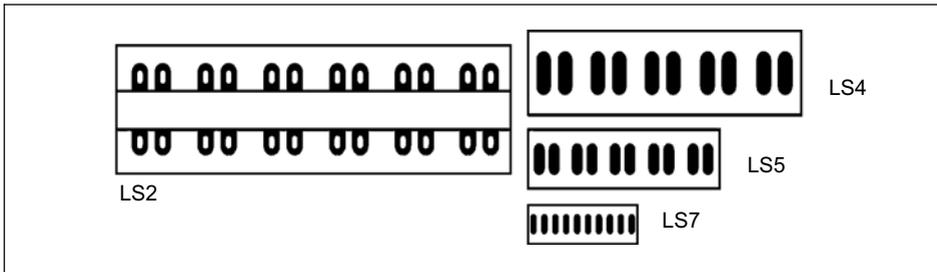


Abb. 4.2 Einige Formen von Lötstützpunkten (Beispiele)

4.1.6 Leitungsmaterial

Der Erfolg einer Messung hängt auch von der Auswahl der richtigen, d.h. für den speziellen Fall geeigneten Verbindungsleitungen und Messkabel ab. Sie sollen nicht nur die Messsignale zwischen den Elementen der Messkette (Aufnehmer – Messverstärker) übertragen, sie sollen auch Störsignale auf ein vertretbares Minimum beschränken und den Beanspruchungen aus Betrieb und Umgebung widerstehen.

Kurze Verbindungen, z.B. die interne Verschaltung innerhalb eines Aufnehmers, können durch Schaltdraht oder Schalllitze mit relativ dünnem Querschnitt erfolgen. Die Aderisolation muss hoch sein und für die auftretenden Temperaturen geeignet. Gute Lötbarkeit der Adern ist außerdem erwünscht. Bei extremer dynamischer Beanspruchung des Messobjektes kann sogenannte „Schwinglitze“ vorteilhaft sein. Bei ihr besteht eine Ader aus vielen sehr dünnen Litzen, die von einer flexiblen Isolation umgeben sind. Achten Sie darauf, dass innerhalb der Brücke „symmetrisch“ verschaltet wird,

d.h., dass Sie identische Leitungen *gleicher* Länge verwenden.

Zusätzliche Anforderungen sind bei längeren Verbindungen und Kabeln zu erfüllen. Hier gilt es, durch richtige Wahl des Leiterquerschnitts den ohmschen Widerstand in akzeptablen Grenzen zu halten. Bei Trägerfrequenzbetrieb empfiehlt sich kapazitätsarmes Kabel, ebenfalls bei Gleichspannungsbetrieb, wenn Signale hoher Frequenz zu übertragen sind. Ein die Adern umhüllendes Kupfergeflecht hilft, die Kapazität der Adern untereinander zu symmetrieren und schützt gegen störende Einstreuungen durch elektrische Felder (elektrische Abschirmung). Verlegen Sie zur Abschirmung magnetischer Felder die Kabel in Stahlpanzerrohr oder dergleichen.

Elektrostatische Beeinflussungen entstehen, wenn das elektrische Feld einer Spannungsquelle kapazitiv auf den Messkreis einwirkt. Der beste Schutz dagegen ist, das Kabel oder die Leitung mit einem geschlossenen Schirm zu umgeben. Üblich ist ein Kupferdrahtgeflecht ausreichender Bedeckung. Spezialmesskabel enthalten einen solchen Schirm. Die Erdung des Schirms ist wichtig, da ein auf freiem Potenzial liegender Schirm keinerlei Wirkung hat.



Information

Elektromagnetische Beeinflussungen entstehen, wenn Kabel des Messkreises in der Nähe stromdurchflussener Leiter oder elektrischer Anlagen (z.B. Generatoren, Schweißgeräten, Transformatoren, Motoren usw.) verlegt sind. Nach dem Transformatorprinzip werden in die Messleitung störende elektrische Spannungen induziert. Ein wirksamer Schutz ist das Verdrillen der Adern (bei fertigen Messkabeln sind die Adern verdrillt). Wo dies nicht ausreicht, hilft eine zusätzliche Abschirmung durch Stahlpanzerrohr oder metallische Wasserrohre.

Das Trägerfrequenzverfahren ist gegen Störeinstreuungen weit weniger empfindlich als das Gleichspannungsverfahren, weil bei Ersterem alle Störfrequenzen außerhalb des Übertragungsbandes verfahrensbedingt eliminiert werden.

Wichtig ist ein hoher Isolationswiderstand der Aderisolation, der sich auch durch Temperatur, Feuchtigkeit und dgl. nicht wesentlich ändern darf (siehe Tab. 4.2).

Beim Anschluss von Halb- und Vollbrückenschaltungen kommt es darauf an, dass die Symmetrie benachbarter Brückenweige erhalten bleibt, und zwar sowohl hinsichtlich des Widerstandes als auch der Kabelkapazität zwischen den Adern. Der Kabelmantel soll gegen äußere Einwirkungen schützen und beständig sein gegen Feuchtigkeit, Wasser, Öl, Chemikalien, Temperatur (hohe und niedrige) sowie mechanische Beanspruchungen. Handelsübliche Messkabel werden zwar vielen Anforderungen gerecht; ein Kabel, das alles kann, gibt es leider nicht.

In den Tabellen *Tab. 4.2* und *Tab. 4.3* sind die wichtigsten Isoliermaterialien und einige Hinweise auf ihre Eigenschaften zusammengestellt.



Information

Über das aktuelle von HBM angebotene Kabelprogramm informiert Sie die jeweils gültige Gerätepreisliste, über Schaltlitzen und Schaltdrähte die DMS-Preisliste.

Kriterium	Werkstoffname			
	PVC Polyvinyl- chlorid	PE Polyethylen (niedrige Dichte)	PTFE Polytetra- fluoridethy- len (Fluor- polymer)	PUR Polyurethan
Temperaturbeständigkeit in °C				
dauernd	-10 ... 70	-50 ... 80	-90 ... 350	-10 ... 80
kurzzeitig	... 80	... 100		... 120
Spezifischer Durchgangs- widerstand bei 20°C in Ω cm	$10^{11} \dots 10^{15}$	10^{16}	$>10^{18}$	$10^{11} \dots 10^{14}$
Abriebfestigkeit	mittel	mittel	mäßig	sehr gut
Brennbarkeit ¹⁾	sv	ef	nef	sv
Beständigkeit gegen				
verd. Säuren	gut	sehr gut	sehr gut ²⁾	wenig
verd. Laugen	gut	sehr gut	sehr gut	wenig
Beständigkeit gegen				
Öl	mäßig	mäßig	sehr gut	gut

Kriterium	Werkstoffname			
	PVC Polyvinyl- chlorid	PE Polyethylen (niedrige Dichte)	PTFE Polytetra- fluoridethy- len (Fluor- polymer)	PUR Polyurethan
Lösungsmittel	meist unbe- ständig	bedingt beständig	sehr gut	unbest.
Wasseraufnahme in %	1 ... 2	0	0	1,4

1) sv = selbstverlöschend; ef = entflammbar; sef = schwer entflammbar; nef = nicht entflammbar

2) gegen geschmolzenes Alkali und gegen Fluor unbeständig

Tab. 4.2 Die wichtigsten Kabel-(Leitungs-)Isolierstoffe und einige ihrer technischen Daten.

Kriterium	Werkstoffname		
	SIR Silikonkautschuk	PA Polyamid	PI Polyimid
Temperaturbeständigkeit in °C			
dauernd	-60 ... 200	-40 ... 90	-240 ... 280
kurzzeitig	... 250	... 125	... 400
Spezifischer Durchgangswiderstand bei 20°C in Ω cm	$10^{14} \dots 10^{15}$	$10^{12} \dots 10^{13}$	$10^{14} \dots 10^{16}$
Abriebfestigkeit	mäßig	sehr gut	sehr gut
Brennbarkeit ¹⁾	sv	sef	sv
Beständigkeit gegen			
verd. Säuren	gut ²⁾	unbest.	sehr gut
verd. Laugen	gut	gut	schlecht
Beständigkeit gegen			
Öl	bedingt beständig	gut	sehr gut
Lösungsmittel	bedingt beständig	bedingt beständig	beständig
Wasseraufnahme in %	0,1 ... 0,4	2 ... 10	1 ... 3

1) sv = selbstverlöschend; ef = entflammbar; sef = schwer entflammbar; nef = nicht entflammbar

2) in Dampf ab 130°C unbeständig

Tab. 4.3 Die wichtigsten Kabel-(Leitungs-)Isolierstoffe und einige ihrer technischen Daten

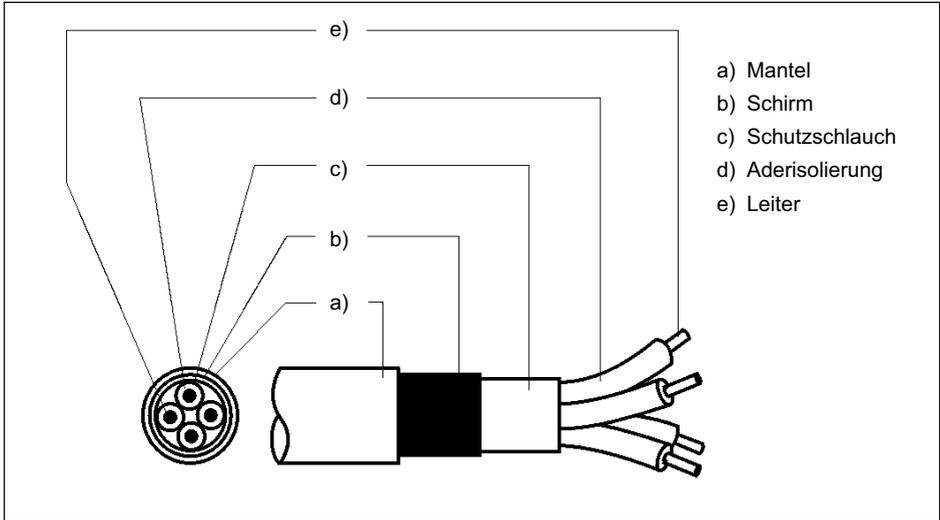


Abb. 4.3 Aufbau eines 4-adrigen HBM-Messkabels



Information

Die HBM-Messkabel zeichnen sich durch eine hohe kapazitive Symmetrie aus; auch bei großen Kabellängen treten in der Regel keine systematischen Tendenzen auf. Praktisch unbedeutend ist die Widerstandsunsymmetrie (unterschiedlicher Widerstand der verschiedenen Leiter). Eine Symmetrieprüfung kann bei Abgleichschwierigkeiten im Zuge der Fehlereingrenzung auf Schaltungsfehler in Steckern, Anschlüssen, in seltenen Fällen auch auf Fehler im Messkabel hinweisen. Die Betrachtungen gelten für das Arbeiten mit TF-Messgeräten.

Prüfung mit Kapazitätsmesser (Messfrequenz möglichst 1.000 ... 10.000Hz):

Die Kapazitäten

- 1 + Schirm gegen 2 (C1, 2) und 1 + Schirm gegen 3 (C1, 3) müssen gleich groß sein. Zulässige Unterschiede, unabhängig von der Kabellänge, sind 100 ... 200pF. (Bedingung auch für 3-adriges Kabel erforderlich.)
- 4 gegen 2 (C4, 2) und 4 gegen 3 (C4, 3) müssen gleich groß sein. Zulässige Unterschiede, unabhängig von der Kabellänge, sind 100 ... 200pF.

Unterschiedliche Kapazitätswerte zwischen den Messungen nach 1 und 2 sind ohne Bedeutung; der Unterschied ist infolge der bei 1 mitverbundenen Abschirmung beachtlich (ca. 30%). Liegen keine Schaltungsfehler vor, kann eine die obigen Werte überschreitende Unsymmetrie mit Zusatzkondensatoren ausgeglichen werden. Diese Kondensatoren können gleich gut am Kabelanfang wie am Kabelende angeschlossen werden.

4.2 Tipps aus der Praxis

4.2.1 Tipps zum Löten

- Befreien Sie die Lötflächen der Lötstützpunkte vor dem Ankleben mit einem Radierstift von Oxid, reinigen Sie sie anschließend mit RMS1 und Wattestäbchen.
- Verzinnen Sie die Lötflächen vor dem Anlöten der Kabel: Litzenenden zusammendrehen (zwischen Papier, nicht mit blanken Fingern) und verzinnen. Bringen Sie die Lötkolbenspitze mit dem Lötobjekt in Berührung, geben Sie das Lot mit Flussmittelseele zu, und zwar so, dass das Flussmittel das Lötgut benetzt. Benetzen Sie bei massivem Lotdraht die Lötstellen zuvor mit einem Flussmittelstift (Best.-Nr. 1-FS01).

Verwenden Sie Flussmittel und Lot immer nur sparsam!

- Anlöten der Kabeladern: Legen Sie das verzinnte Aderende auf den verzinnten Lötstützpunkt auf bzw. führen Sie es in das Lötfähnenauge ein, fixieren Sie es, wenn nötig, mit Klebeband und verlöten Sie es ohne weitere Lotzugabe.

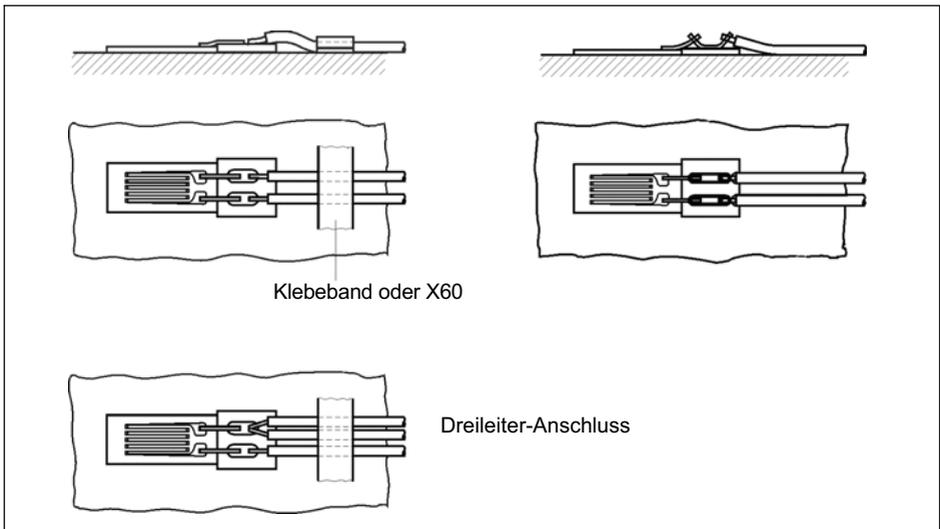


Abb. 4.4 Anlöten der Kabeladern bei DMS mit Anschlussbändchen

Bei DMS mit offenen Anschlussfahnen (siehe Abb. 3.4, Skizze b auf Seite 44) sollte ebenfalls ein Lötstützpunkt gesetzt werden (wie in Abb. 4.4 zu sehen). Die Verbindung zwischen Lötstützpunkt und Anschlussfahne muss nachgiebig sein. Zweckmäßigerweise führt man eine einzelne Litze der Kabelader vom Lötstützpunkt auf die Anschlussfahne weiter (siehe Abb. 4.5). Vermeiden Sie Masseschluss durch

Die Ränder des Lotes müssen erkennen lassen, dass das Lot die Teile gut benetzt hat.

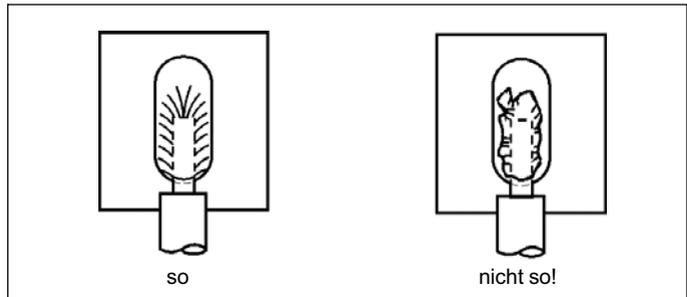


Abb. 4.7 Lötträger

Vorsicht, dass keine Masseschlüsse infolge Berührung blanker Aderenden mit dem Messobjekt entstehen.

- Entfernen Sie immer alle Flussmittelreste. Waschen Sie Kolophonium mit reinem Spiritus, Isopropylalkohol oder RMS1 *restlos* weg.
- Kontrollieren Sie die Lötstellen mit einer Lupe.



Information

Flussmittelreste, auch Reste von Kolophonium, können einen veränderlichen Isolationswiderstand bewirken, auch dann schon, wenn nur geringe Mengen Feuchtigkeit durch Diffusion eindringen oder durch Trocknen auswandern. Kolophonium ändert außerdem – wie auch andere Harze – seinen Isolationswiderstand drastisch in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Isolationswiderstand einer Messstelle lässt sich leicht gegen das Objekt hin messen, nicht aber zwischen den beiden Anschlüssen des DMS. Eine Änderung des Isolationswiderstandes zwischen diesen Anschlüssen erzeugt jedoch eine Nullpunktdrift, die dann fälschlicherweise dem DMS angelastet wird. Unter ungünstigen Bedingungen kann Kolophonium auch korrosiv wirken. Es ist deshalb außerordentlich wichtig, alle Flussmittelreste mit größter Sorgfalt zu entfernen!

4.2.2 Tipps zum Kabelanschluss

- Verwenden Sie im Messgrößenaufnehmerbau *nur* die Vollbrückenschaltung. Halten Sie die brückeninternen Verbindungsleitungen so kurz wie möglich. Achten Sie darauf, dass die Verbindungsleitungen in allen Brücken zweigen gleich lang sind (zumindest aber sollten die Leitungen in benachbarten Brückenarmen gleich lang sein).
- Empfehlenswert ist eine zusätzliche Zugentlastung am Messkabel, z.B. durch Festkleben des Kabelendes mit dem Schnellklebstoff X60.

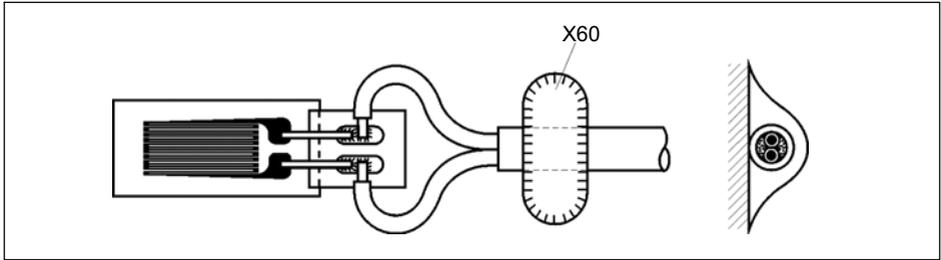


Abb. 4.8 Kabelanschluss mit X60

Das übrige Kabel kann mit Kabelschellen in üblicher Weise befestigt werden. Besonders bequem sind anklebbare Kabelschellen (sie können auch angeschraubt werden).

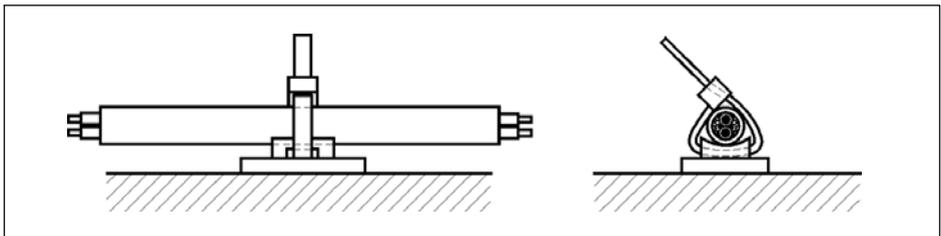


Abb. 4.9 Kabelfixierung mit Kabelschellen

- Entfernen Sie nach dem Kabelanschluss unbedingt wieder alle Flussmittelreste und überprüfen Sie den Isolationswiderstand und den Kabelwiderstand (Durchgangswiderstand).
- Wird die Messstelle extremen Beanspruchungen ausgesetzt, z.B. durch Druckwasser oder Unterwasserlagerung über längere Zeit, so entfernen Sie den Kabelmantel auf ca. 5 bis 10cm, damit die Kabeladern *einzel*n in das Abdeckmedium eingebettet werden können. Auf diese Weise ergibt sich eine lange Kriechstrecke an der meistgefährdeten Stelle,

dem Austritt des Kabels aus dem Schutzmedium.
 (Weiteres über Messstellenschutz *siehe Abschnitt 6, Seite 82.*)

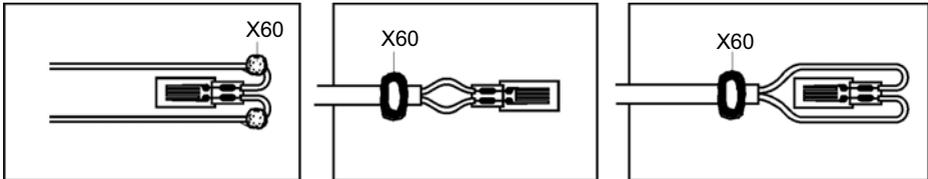


Abb. 4.10 Verschiedene Möglichkeiten der Kabelfixierung mit X60

5 Zwischenprüfungen

5.1 Optische Inspektion

Überprüfen Sie den DMS sowie die Kabelanschlüsse mit einer guten, ca. 6-fach vergrößernden Lupe auf:

- Luftblasen unter dem DMS
- schlecht geklebte Ränder
- unzuverlässige Lötverbindungen
- Flussmittelreste

5.2 Durchgangswiderstand des DMS

Die DMS sind im Anlieferzustand mit einer engen Toleranz auf den Nennwiderstand abgeglichen. Die Kontrollmessung soll zeigen, ob sich der Widerstand des DMS durch unsachgemäßes Installieren nennenswert

geändert hat (Widerstandsänderungen bis +0,25% sind ohne Nachteil).

5.3 Widerstand der Anschlusskabel

Der Widerstand der Anschlusskabel bewirkt (bei unregelmäßigen Messsystemen mit Konstantspannungsspeisung) eine scheinbare Empfindlichkeitsminderung des DMS; deshalb sollte er gemessen und sein Wert in das Messprotokoll eingetragen werden. Die durch den Kabelwiderstand verursachte „bekannte systematische Abweichung“ ist bei der Auswertung der Messung zu korrigieren.



Information

Beispiel: Bei einer Messstellenentfernung zum Messverstärker von 20m und bei Verwendung eines üblichen Kabels mit einem Aderquerschnitt von $0,17\text{mm}^2$ ergibt sich ein Widerstand von $4,23\Omega$ (Hin- und Rückleitung). Dadurch ergibt sich ein Empfindlichkeitsverlust von

- 3,4% bei einem DMS-Widerstand von 120Ω*
- 1,2% bei einem DMS-Widerstand von 350Ω*
- 0,6% bei einem DMS-Widerstand von 700Ω*

5.4 Isolationswiderstand des DMS

Messen Sie den Isolationswiderstand des DMS gegen Masse. Verwenden Sie dazu Geräte mit einer Prüfspannung nicht über 50 Volt.

Ein unter Laborbedingungen installierter DMS muss bei Raumtemperatur einen Isolationswiderstand von mindes-

tens $20.000\text{M}\Omega$ besitzen. Bei Installationen im Freien sollten mindestens $2.000\text{M}\Omega$ erreicht werden (siehe auch [18]). Ein niedriger Isolationswiderstand weist entweder auf unzureichende Reinigung der Lötstellen hin (siehe Abschnitt 4.2.1, *Tipps zum Löten*, Seite 73), auf nachträgliche Verschmutzung, z.B. durch Handschweiß, oder auf absorbierte Feuchtigkeit. Letzteres kann durch die Einwirkung feuchter Atmosphäre auftreten. In diesem Falle ist die Installation auszuheizen, bis ein ausreichend hoher und stabiler Isolationswiderstand erreicht ist (bei Verwendung kalthärtender Klebstoffe bei $80 \dots 100^\circ\text{C}$, bei heißhärtenden Klebstoffen $120 \dots 180^\circ\text{C}$).

5.5 Isolationswiderstand des Anschlusskabels

Der Isolationswiderstand zwischen den Adern des Anschlusskabels ist außer von der Qualität der Isolationswerkstoffe noch von der Länge des Kabels abhängig. Er soll sich in ähnlicher Größenordnung bewegen wie der Isolationswiderstand des DMS selbst. Er kann allerdings nach der Installation nicht mehr gemessen werden, da hier nur der DMS-Widerstand gemessen wird.

6 Messstellenschutz

DMS-Messstellen müssen gegen mechanische oder chemische Einwirkungen geschützt werden. Selbst unter idealen Bedingungen, z.B. im Labor, werden die Eigenschaften der Messstelle im Laufe der Zeit beeinflusst, wenn nicht geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Ebenso unterschiedlich wie die Einwirkungen auf die Messstelle, sind die Maßnahmen zu ihrer Abwehr. Im Labor bei gleichmäßig trockener Luft genügt schon ein leichter Schutz gegen Berührung (Handschweiß), während sich im rauen Walzwerkbetrieb der Schutz auf Dampf, Wasser, Öl, Hitze und mechanische Einwirkungen erstrecken muss. Im ersten Fall reicht ein einfacher Lacküberzug, im zweiten Fall muss man aus mehreren Schichten verschiedener Schutzstoffe eine Barriere aufbauen.

Sie sollten sich jedoch darüber im Klaren sein, dass ein absoluter Schutz über unbegrenzte Zeit nur durch hermetisch dichte metallische Kapselung möglich ist. Diese Schutzart wird deshalb bei handelsüblichen Aufnehmern angewendet, soweit die Funktion es zulässt. Alle anderen Abdeckmittel, auch die allerbesten, gewähren nur einen temporären Schutz. Die Schutzdauer hängt dabei sowohl von der Art des Abdeckmittels und seiner Schichtdicke als auch von der Art des einwirkenden Mediums ab. Die Zeitspannen der Schutzdauer reichen dabei von einigen Stunden bis zu mehreren Jahren, je nach den Gegebenheiten. Welche Schutzdauer notwendig ist, hängt nicht allein von der zu fordernden Lebensdauer der Messstelle ab, sondern auch von der Dauer der einzelnen Messungen, der Möglichkeit von zwischenzeitlichen Nullpunktkontrollen und schließlich noch von den Anforderungen an die Messunsicherheit.

Leichte Beeinträchtigungen der Messstelle, z.B. durch Einwanderung von Feuchtigkeit infolge Diffusion, wirken sich in erster Linie in Veränderungen des Nullpunktes aus. Sind diese kontrollierbar, z.B. durch Entlasten des Messobjektes, und bewegen sie sich in akzeptierbaren Grenzen (z.B. 100 ... 200 $\mu\text{m}/\text{m}$), dann kann man weiterhin mit für spannungsanalytische Untersuchungen ausreichender Messunsicherheit messen. Ein weiteres Indiz für die Brauchbarkeit einer Messstelle ist der Isolationswiderstand. Das Absinken des Isolationswiderstandes von 1.000M Ω auf 1M Ω bewirkt bei einem 120 Ω -DMS eine Nullpunktverschiebung von -60 $\mu\text{m}/\text{m}$, bei einem 350 Ω -DMS -175 $\mu\text{m}/\text{m}$ und bei einem 700 Ω -DMS eine Nullpunktverschiebung von -350 $\mu\text{m}/\text{m}$! Das heißt, dass die untere Grenze des Isolationswiderstandes auch vom Messgitterwiderstand des verwendeten DMS abhängt.

Schwere Beeinträchtigungen der Messstelle entstehen durch die Diffusion ätzender oder leitender Stoffe sowie durch Korrosion. Korrosion wird enorm gefördert bei der Anwendung von Gleichspannung zur Speisung der DMS! Dabei können sich, wie schon zu beobachten war, galvanische Elemente ausbilden, deren Spannung sich dem Messsignal überlagert und so große Messfehler verursacht (bei DC-Speisung!). Schließlich darf nicht übersehen werden, dass die Anforderungen zum Schutz der Messstelle in gleichem Maß auch für die Zuleitungen, die Kabel, gelten (*siehe auch Abschnitt 4.1.6, Leitungsmaterial, Seite 66*).

Die Schutzmaßnahmen sollen wirksam sein, sie dürfen aber auch die Eigenschaften des Messobjektes nicht verändern. Dünne Objekte dürfen nicht so versteift werden, dass die Verformung behindert wird; Kunststoffe dürfen nicht durch lösungsmittelhaltige Mittel angegriffen werden.

Für jeden Einzelfall eine konkrete Anweisung zu geben ist nicht möglich. Die folgenden Hinweise sollten jedoch genügen, um für die überwiegend vorkommenden Probleme die jeweils richtige Maßnahme zu treffen.

6.1 Hinweise für Anwendung und Aufbau von Schutzabdeckungen für DMS-Messstellen

Bei der Auswahl der Schutzstoffe sind zu beachten:

- Die Umgebungsbedingungen (siehe auch [\[17\]](#): „Chemische Beständigkeit der HBM-Abdeckmittel“).
- Die Dauer der Messung bzw. die geforderte Lebensdauer der Messstelle.
- Die geforderten Messunsicherheiten.
- Das Messobjekt darf nicht in unzulässiger Weise versteift werden.
- Der mit der Messstelle einschließlich dem Anschlusskabel in Kontakt kommende Stoff muss sehr hohen Isolationswiderstand besitzen und darf keine chemischen Reaktionen oder Korrosion auslösen.

Für die Anwendung gilt:

- Die Messstelle muss *vor dem Abdecken* in einwandfreiem Zustand sein. Klebstoff und evtl. vorher verwendete Abdeckmittel müssen vollständig ausgehärtet sein. Eingeschlossene Feuchtigkeit, Handschweiß, Flussmittelreste vom Löten u.dgl. sind Zeitzünder, die früher oder später zu Messfehlern oder gar zum Ausfall der Messstelle führen. Bedenken Sie, dass wirksame Abdeckmittel nicht nur äußere Feuchtigkeit aussperren, sondern auch innere Feuchtigkeit einsperren!

- Die Messstelle muss unmittelbar nach dem Installieren abgedeckt werden.
- Ist die Installation eines DMS in feuchter Umgebung unumgänglich (Termindruck, schlechtes Wetter, feuchte Räume), dann sollte das Messobjekt in einem Ofen ausgeheizt werden (Temperatur ca. 110 ... 120°C wenn möglich), oder – wo dies nicht anwendbar ist – die Messstelle mit einem Warmluftgebläse (Haartrockner o.Ä.) getrocknet werden.
- Das Abdeckmittel muss einwandfrei mit dem die Messstelle umgebenden Rand binden. Fehlstellen und Kapillaren (Kratzer, Rillen) sind Tore, durch die aggressive Medien einwandern können. Die Bindung des Abdeckmittels mit dem Rand muss während der gesamten Nutzungsdauer der Messstelle unverändert bestehen bleiben. Deshalb muss der Rand ebenso sorgfältig gereinigt sein wie die Klebestelle und soll etwa 1 bis 2cm über die äußeren Klebstoffränder hinausreichen. Handschweiß (Fingerabdrücke) kann dazu führen, dass trotz zunächst einwandfreier Bindung das Abdeckmittel unterrostet und damit wirkungslos wird.
- Kabeleinführungen sind mit größtmöglicher Sorgfalt abzudichten. Die Abdeckmittel müssen das Kabelende von allen Seiten einhüllen, also auch von unten, damit keine Kanäle oder Kapillaren entstehen, durch die Feuchtigkeit ins Innere der Abdeckung vordringen kann. Betten Sie bei mehradrigen Kabeln die Kabeladern einzeln in die Abdeckmasse ein und beziehen Sie ein Stück des Kabelmantels in die Abdeckung ein (*Abb. 6.1 auf Seite 86*). Rauen Sie bei kritischen Umgebungsbedingungen die Kabelisolation auf und entfetten Sie sie mit chemisch reinem Lösungsmittel.

- Befolgen Sie bei handelsüblichen Abdeckmitteln für DMS-Messstellen unbedingt die Verarbeitungsanweisungen.

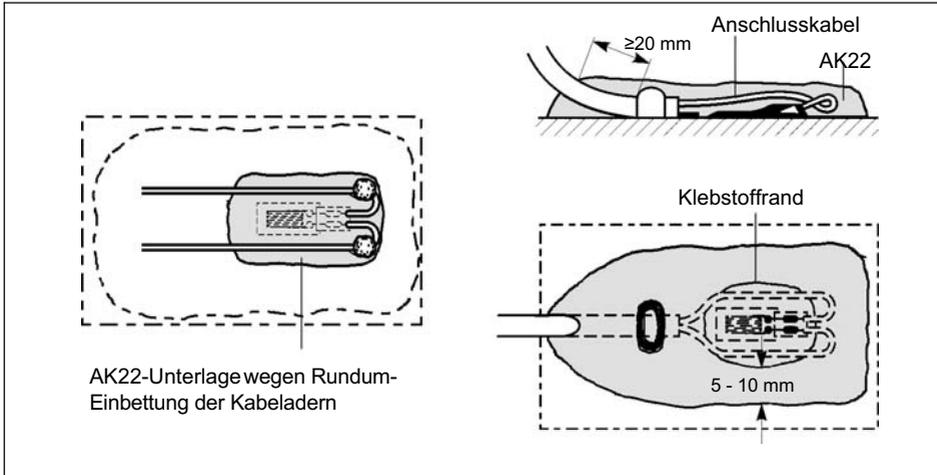


Abb. 6.1 Messstelle mit Schutzabdeckung

6.2 Gebräuchliche Abdeckmittel

Polyurethanlack PU140

Lufttrocknender Lack. Geeignet für leichten Messstellenschutz gegen Berühren (Handschweiß) und Staub, normale Luftfeuchtigkeit und deren in den gemäßigten Zonen übliche Schwankungen. Auch gut geeignet als isolierende Schicht unter anderen Abdeckmitteln. Ölbeständig. Gute Abriebfestigkeit. Achtung: Nicht in Kombination mit NG150 verwenden. Die Zeit bis zur vollständigen Aushärtung beträgt 96 Stunden bei Raumtemperatur.

Nitrilkautschuklack NG150

Lufttrocknender Lack. Beständig gegen Öl und Benzin, bevorzugte Anwendung bei Kontakt mit verflüssigten Gasen (nicht Sauerstoff!). Achtung: Nicht in Kombination mit PU140 verwenden.

Silikonlack SL450

Heißhärtender Lack. Vorzugsweise zum Schutz von Hochtemperatur-Installationen gegen Feuchtigkeitsabsorption und Verschmutzung.

AK22, dauerplastischer Kitt

Vorteile:

Einfache Anwendung durch Aufkneten.

Hervorragende Haftung infolge starker Eigenklebrigkeit.

Sehr guter Schutz gegen Feuchtigkeit und Wasser; auch unter Wasser verwendbar, Schutz im Wasser von ca.

20°C bis ca. 1 Jahr, im Wasser von 75°C bis ca. 3

Wochen; im Druckwasser bis 400bar erprobt über einige Tage, Grenzwerte nicht bekannt.

Sehr gute Witterungsbeständigkeit. Der Langzeitschutz kann durch Aufkneten einer Aluminiumfolie als Diffusionssperre erheblich verbessert werden (Haushalt-Aluminiumfolie).

Mechanischer Schutz gegen Stoß und herabfallende Gegenstände lassen sich auf einfache Weise durch Andrücken einer Blechplatte auf den selbsthaftenden Kitt herstellen. Temperaturbeständigkeit in Luft -50 ... +170°C.

Unbegrenzte Lagerfähigkeit.

Nachteile:

Unbeständig gegen Öl und Lösungsmittel.

Bei hohen Fliehkräften am Außenumfang von Objekten nicht anwendbar.

ABM75, dauerplastischer Kitt mit Aluminiumfolie

Anwendungsbereich und Eigenschaften ähnlich AK22 mit folgenden Abweichungen:

Das plattenförmig vorliegende Material ist bereits mit einer 50µm dicken Aluminiumfolie als Diffusionssperre kaschiert.

Der Temperaturbereich reicht von -200 ... +75°C, wobei die Obergrenze durch beginnendes Fließen gesetzt wird.

SG 250, transparenter lösungsmittelfreier Silikonkautschuk

Geeignet zum Schutz gegen Feuchtigkeit und Bewitterung, gegen Wasser bei Raumtemperatur, bedingt beständig gegen Öl.

Der gummiartige Überzug bietet sehr guten mechanischen Schutz.

Temperaturbeständigkeit: -70 ... +250°C, in diesem Bereich bleibt das Material gummielastisch.

Vaseline, ungebleicht

Vorteile:

Billig, leicht anwendbar; sehr guter Schutz gegen Feuchtigkeit und Wasser, auch unter Wasser anwendbar.

Nachteile:

Nicht anwendbar in strömendem Wasser und bei Regen oder Spritzwasser; wird an offenen Stellen leicht versehentlich abgewischt; schmilzt bei ca. 50°C.

Silikonfett

Vor der Anwendung von Silikonfett wird trotz guter Eigenschaften dringend abgeraten, weil es leicht auf Werkzeuge und von dort auf andere Gegenstände übertragen wird. Infolge seiner hervorragenden Haftung lässt sich

Silikonfett kaum rückstandslos entfernen. Als exzellentes Trennmittel verhindern schon geringste Spuren die einwandfreie Klebung von DMS.

Mikrokristalline Wachse

Guter Schutz gegen Feuchtigkeit und allgemeine atmosphärische Einwirkungen.

Muss im geschmolzenen Zustand auf das erwärmte Objekt aufgetragen werden, um einwandfreie Bindung zu erhalten.

Geringer mechanischer Schutz.

Temperaturbereich ca. -70 ... +100°C.

Polysulfid-Kautschuk

Zweikomponenten-Material, ergibt gummiartige Massen, die hervorragend lösungsmittel- und alterungsbeständig sind. Sie zeichnen sich ebenfalls durch gute Bewitterungsbeständigkeit aus.

Temperaturbereich -50 ... +120°C.

Epoxidharz (Handelsnamen: Araldit, UHU-plus u.a.)

Für DMS-Abdeckungen eignen sich vor allem nicht zu harte Einstellungen. Das unter dem Handelsnamen UHU-plus erhältliche Material, ein Zweikomponenten-Harz, eignet sich vor allem als Schutz gegen Öl, Motorentreibstoffe, verdünnte Säuren, verdünnte Laugen, viele Lösungsmittel und ergibt außerdem einen guten mechanischen Schutz.

Temperaturgrenzen sind von den Härtungsbedingungen abhängig (Kalt- oder Heißhärtung).

Aluminium-Klebestreifen

Mit Aluminiumfolie kaschierte Klebstreifen bilden eine gute Wasserdampfsperre (Diffusionssperre). Als zusätzli-

che Überdeckung der Messstelle sind sie geeignet, die Eigenschaften anderer Abdeckmittel zu verbessern, insbesondere deren Zeitstandverhalten. Die Aluminiumfolien eignen sich ebenfalls sehr gut als zusätzliche Schutzabdeckung für Messkabel, die in vielen Fällen das schwächste Glied innerhalb der Messstelle bilden.

Flüssige Mittel des Messstellenschutzes

Manche Probleme des Messstellenschutzes lassen sich durch Anwendung isolierender Flüssigkeiten lösen. Als Beispiel sei die Inneninstallation eines kleineren Gefäßes, das einer Druckprobe unterzogen werden soll, genannt. Wenn man anstatt der üblichen Druckflüssigkeit Wasser ein anderes Druckmedium anwenden kann, lösen sich viele Probleme auf einfachste Weise. Voraussetzung ist, dass das gewählte Druckmedium beste Isolationseigenschaften besitzt und frei ist von Zusätzen, welche den DMS angreifen. Hier bieten sich an:

- wasserfreies und säurefreies Öl
- Paraffinöl
- reines Petroleum

Diese Art des Messstellenschutzes mit flüssigen Mitteln wurde auch schon erfolgreich zum Schutz von Dauermessstellen eingesetzt, bei welchen eine umgebende Kapsel mit dem Schutzmedium gefüllt wurde. In diesem Zusammenhang sei auch noch auf ein anderes ausgezeichnetes Mittel hingewiesen:

- Polyisobutylen, dessen niedermolekulare Einstellungen wie Öl oder zähflüssig wie Honig fließen (Handelsnamen: Oppanol B 3, B 10 und B 15.)

Kombinierte Mittel

Nicht immer genügt ein Abdeckmittel allein für einen ausreichenden Messstellenschutz. Beispiele für kombinierten Einsatz mehrerer Mittel sind bereits bei AK22 und bei ABM75 gegeben (plastische Masse plus Aluminiumfolie). Wenn Sie der Metallfolie noch einen zusätzlichen mechanischen Schutz geben möchten, tragen Sie z.B. Silikonkautschuk SG 250 zusätzlich auf.

Achten Sie bei mehrstufigen Abdeckungen darauf, dass die darunterliegende Schicht vollständig ausgehärtet ist, bevor Sie eine neue Schicht auftragen. Außerdem muss jede Schicht die darunterliegende allseitig um einige Millimeter überlappen.

Oftmals sind es mehrere unterschiedliche Medien, die auf eine Messstelle einwirken, z.B. Öl und Wasser. In solchen Fällen sollte, als Beispiel, das öllösliche ABM75 direkt auf den DMS aufgebracht werden, die Alufolie als Diffusionssperre ist die 2. Schicht und darüber wäre das ölbeständige Epoxidharz anzubringen.

Bei so undefinierbaren Medien wie z.B. Seewasser ist ein Mehrlagenschutz unbedingt notwendig. Als obere Schichten, die nicht mit dem DMS in Berührung kommen, können auch andere als die genannten Stoffe verwendet werden, z.B. Asphalt. Sie dürfen die darunterliegenden Schichten weder anlösen noch chemisch verändern, hinsichtlich ihres elektrischen Isolationswiderstandes werden jedoch keine Forderungen gestellt.



Wichtig

Das Problem des Messstellenschutzes ist so vielseitig, dass nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden kann. In kritischen Fällen ist eine vorherige Untersuchung unter Einsatzbedingungen unbedingt zu empfehlen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] VDI/VDE-Richtlinie 2635, Blatt 1: Dehnungsmessstreifen mit metallischem Messgitter; Kenngrößen und Prüfbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [2] Michel, M.: Adhäsion und Klebetechnik. Carl Hanser Verlag, München (1969).
- [3] Mittrop, F.: Das Kleben als Befestigungsverfahren für Dehnungsmessstreifen in „Haus der Technik e.V. Essen Vortragsveröffentlichungen“ Heft 31 (1965), S. 15-27.
- [4] DIN 53281, Teil 1: Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen – Proben – Klebeflächenvorbehandlung Sept. 1979. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] Kleinert, H. und W. Krimmling: Das Alterungsverhalten von Metallklebeverbindungen in Abhängigkeit von der Oberflächenvorbehandlung der Fügeteile. Plaste und Kautschuk 12 (1965), H. 8, S. 472-475.
- [6] N.N.: Nullpunktstabilität von DMS-Meßstellen auf Steingut. Meßtechnische Briefe 3. Jg. (1967), H 3, S. 52. Hrsg.: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [7] VDI-Richtlinie 3821 (Sept. 1978): Kunststoffkleben, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [8] Merkblatt DVS 2204: Kleben von thermoplastischen Kunststoffen, Teil 2: Polyolefine (Februar 1977). Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS) GmbH, Düsseldorf.
- [9] Oberbach, K., und G. Heese: Dehnungsmessstreifen-Hilfsmittel zum Prüfen von Kunststoff-Formteilen. Kunststoffe 64 (1974) H. 9, S. 488-493.

- [10] Kern, W. F.: Meßelemente für die Anwendung auf Gummiprodukten. VDI-Bildungswerk, Manuskript BW 2556 (1973).
- [11] Diehl, K., U. Hanser und W. Hort: Erfassung mechanischer Beanspruchung von Skeletteilen bei der Osteosynthese mittels Dehnungsmeßstreifen. Medizinisch-orthopädische Technik 95 (1975) H. 3, S. 72-74. A. W. Geutner-Verlag, Stuttgart.
- [12] Korber, K. H.: Elektrisches Messen mechanischer Größen in der zahnmedizinischen Grundlagenforschung. Meßtechnische Briefe 6. Jg. (1970) H. 2, S. 38-43. Hrsg.: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [13] Kramer, J.: Messung der Zugkräfte bei Anwendung der Wirbelsäulenstreckbandage. Meßtechnische Briefe 6. Jg. (1970) H. 2, S. 44-45. Hrsg.: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [14] Windecker, D.: Untersuchungen der Belastbarkeit und der Verformung von zahnärztlichen Prothesen mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen. Meßtechnische Briefe 7. Jg. (1971) H. 2, S. 34-40. Hrsg.: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [15] Reuther, J.F.: Druckplattenosteosynthese und freie Knochentransplantation zur Unterkieferrekonstruktion – Experimentelle und klinische Untersuchungen. Med. habil.-Schrift, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz (1977).
- [16] Macintosh, R.M.: Zinn bei tiefen Temperaturen, Zeitschrift „Zinn und seine Verwendung“, Nr. 72 (1967), S. 6-10.
- [17] Dehnungsmessstreifen und Zubehör“. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [18] Hoffmann, K.: Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen. Hrsg.: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.

www.hbm.com

HBM Test and Measurement

Tel. +49 6151 803-0

Fax +49 6151 803-9100

info@hbm.com

measure and predict with confidence

