

# 3R INTERNATIONAL

Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis

Rohre Rohrleitungsbau Rohrleitungssysteme

Pipes Piping Engineering Piping Systems

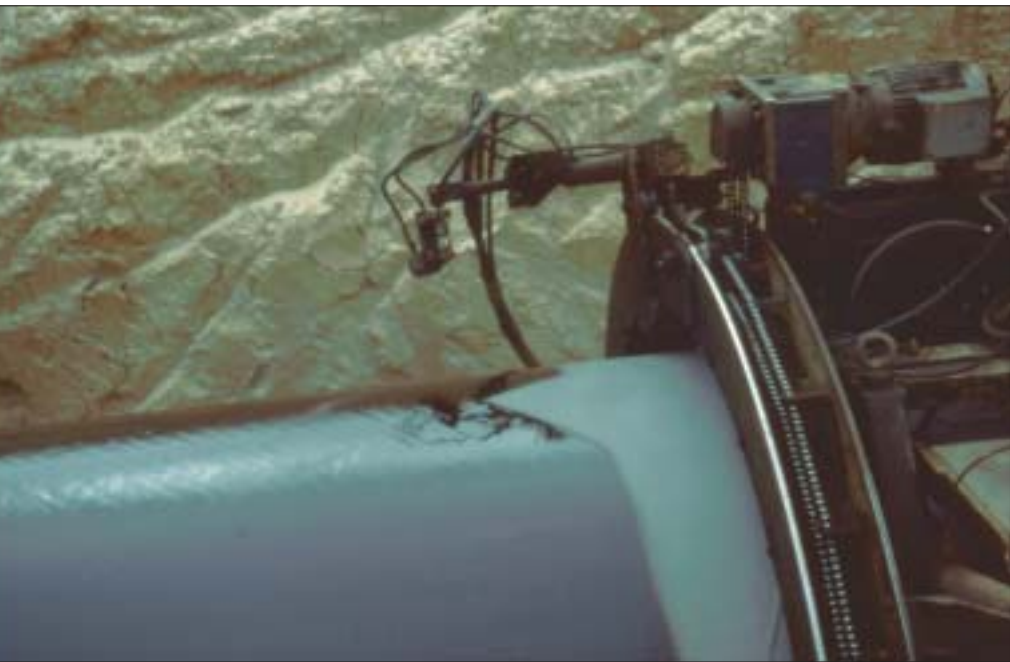
## **Neue Polyurethan-Korrosionsschutz- beschichtung für erhöhte Anforderungen**

Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Michael Quast

**erschienen in 3R international 6/2002**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Kontakt: N. Hülsdau (Tel. 0201/82002-33, E-Mail: [n.huelsdau@vulkan-verlag.de](mailto:n.huelsdau@vulkan-verlag.de))



# Neue Polyurethan-Korrosionsschutzbeschichtung für erhöhte Anforderungen

**Eigenschaften nach aktueller DIN- und zukünftiger EN-Normung**

**New Polyurethane Corrosion Protective Coating for Highly Stressing Environments**

*Properties According to current DIN- and coming EN-Standards*

*Während sich für die Werksbeschichtung von Rohren thermoplastische Kunststoffe wie Polyethylen durchgesetzt haben, bieten für die korrosionsschützende Beschichtung unregelmäßig geformter Bauteile wie Armaturen, Rohrbögen und Fittings sowie bei Sanierungsanwendungen Polyurethan-Reaktivharze entscheidende Verarbeitungsvorteile. Neben dem Aspekt einfacher Verarbeitbarkeit sollen Korrosionsschutzbeschichtungen technische Mindestanforderungen erfüllen, die in entsprechenden Materialnormen ihren Niederschlag finden. Anhand von DENSOLID FK2 – einem neuen Polyurethan-Beschichtungsmaterial für erhöhte Anforderungen – werden die Anforderungen der aktuell gültigen DIN-Normen und der zukünftigen EN-Normung erläutert und miteinander verglichen.*

*Thermoplastic compounds like polyethylene are the dominating materials for the corrosion protective coating of pipes, whereas for coating of irregularly shaped objects like valves, bends and fittings and for rehabilitation purposes polyurethane reactive resins offer decisive advantages for application. Beside the requirement for simple application such coatings have to fulfil technical requirements, which find expression in corresponding material standards. For DENSOLID FK2, a newly developed polyurethane coating material for highly stressing environments, the requirements of current DIN-standards and the coming European standard are described and compared exemplarily.*

## Anwendungsgebiete für Polyurethan-Beschichtungen

Für die Bewertung der Eignung einer Korrosionsschutzbeschichtung für erdverlegte Stahlrohre und Bauteile müssen folgende Anforderungen betrachtet werden:

- Elektrische Isolierung
- Diffusionsdichtheit
- Mechanische Widerstandsfähigkeit
- Alterungsbeständigkeit
- Verarbeitbarkeit

Betrachtet man ausschließlich Werksbeschichtungen, so gibt es insbesondere bezüglich der Verarbeitbarkeit deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Materialklassen. Während thermoplastische Beschichtungen wie Polyethylen relativ einfach durch Extrusion auf einfache geometrische Formen wie Stahlrohre aufgebracht werden können, ist die Herstellung vergleichbar leistungsfähiger thermoplastischer Beschichtungen auf geometrisch komplexen Oberflächen nicht ohne Weiteres zu bewerkstelligen.

Hier bieten die besonderen Verarbeitungseigenschaften von Zweikomponenten-Reaktivharzen wie Polyurethan entscheidende Vorteile. Solche duroplastischen Beschichtungsmaterialien bilden den polymeren Werkstoff erst durch chemische Reaktion auf dem zu beschichtenden Bauteil, sind aber im Verarbeitungszustand flüssig bis viskos und können damit problemlos auf komplex geformte Oberflächen oder auf bereits eingebaute und damit geometrisch fixierte Anlagenkomponenten aufgebracht werden. Typische Anwendungsgebiete für Polyurethan-Korrosionsschutzbeschichtungen sind daher

- Armaturen (**Bild 1**) und Fittings,
- Rohrbögen,
- Umhüllungssanierung (**Bild 2**) [1] und
- Behälter.

## Normbezüge

Das technische Leistungsniveau von Rohrleitungs-Korrosionsschutzbeschichtungen wird durch die Konformität zu entsprechenden Materialnormen sichergestellt, die aufeinander abgestimmte Mindestanforderungen an die Eigenschaften der Beschichtung beschreiben. Im Falle von Polyurethanbeschichtungen haben bislang Gültigkeit:

- DIN 30671 für Rohrbeschichtungen aus duroplastischen Materialien [2]
- DIN 30677-2 für Armaturenbeschichtungen aus duroplastischen Materialien [3]



**Dr. rer. nat. Dipl.-Chem.  
Michael Quast**

Denso GmbH, Leverkusen  
Tel. 0214/2602-308  
E-Mail: quast@denso.de



**Bild 1:** Anwendungsgebiet Armaturenbeschichtung

**Fig. 1:** Field of application valve coating

Beide Normen werden in Zukunft ersetzt durch die Europäische Norm:

- EN 10290 für Rohr- und Armaturenbeschichtungen aus Polyurethan [4]

Im Folgenden soll anhand des Beispiels DENSOLID FK2, einer neuen Polyurethan-Korrosionsschutzbeschichtung für erhöhte Anforderungen, das Eigenschaftsniveau der zukünftigen Europäischen Norm mit dem der bislang gültigen nationalen Normen verglichen werden. Obwohl in den oben genannten Normen auch Teer-modifizierte Polyurethanbeschichtungen beschrieben sind, werden sich die Erläuterungen dabei auf Teer-freies Polyurethan beschränken, das aus Arbeitsschutz- und Gesundheitsschutzgründen zu bevorzugen ist.

## Technische Eigenschaften von Polyurethanbeschichtungen

### Eigenschaftsniveau DIN – EN

In **Tabelle 1** sind die in den oben genannten Normen geforderten Eigenschaften den jeweiligen Leistungsdaten von DENSOLID FK2 gegenübergestellt. Beim Vergleich der DIN- und EN-Normanforderungen kann man feststellen, dass unabhängig von geringfügig abweichenden Prüfbedingungen die meisten EN-Anforderungen tendenziell geringer ausfallen. Dieser Eindruck wird auch dadurch gestützt, dass nach prEN 10290 eine Reihe von Prüfungen nur informativ durchgeführt werden, also keiner konkreten Anforderung gegenüberstehen. Die Unterschiede zwischen DIN- und EN- werden im Folgenden im Detail diskutiert.

### Belastungsklassen

Die Belastungsklasse einer PU-Beschichtung ergibt sich aus der Kombination von Schichtdicke und maximaler Dauerbetriebstemperatur. Wie **Tabelle 1** zeigt, unterscheiden sich die Mindestdicken in den drei Normen nur marginal, für erhöhte Anforderungen werden in jedem Fall 1,5 mm gefordert. Bei den Temperaturklassen differenziert prEN 10290 mit 40, 60 und 80 °C deutlicher als die aktuell gültigen DIN-Normen mit 23 und 70 °C.

### Elektrische Isolierung – Durchschlagfestigkeit

Nach den vorliegenden Normen müssen Durchschlagfestigkeiten zwischen 8 und 10 kV/mm Schichtdicke erzielt werden. Das Beispiel DENSOLID FK2 zeigt, dass von leistungsfähigen PU-Beschichtungen auch weit höhere Werte von etwa 30 kV erreicht werden.

### Elektrische Isolierung – Umhüllungswiderstand

Der vielleicht größte Unterschied zwischen DIN- und EN-Normen wird beim Kriterium Umhüllungswiderstand offensichtlich. Die Absenkung der Anforderung bei maximaler Dauerbetriebstemperatur um eine Zehnerpotenz in prEN 10290 stellt insbesondere für die Klasse bis 60 °C einen deutlichen Unterschied im Leistungsniveau dar. Bedenkt man, dass bei Polyurethanbeschichtungen das Verhalten unter Wasserbelastung ein wichtiges Alterungskriterium ist [5], so ist Beschichtungen mit einem deutlich höheren Umhüllungswiderstand als  $10^4 \Omega \cdot \text{m}^2$  (bei maximaler Dauerbetriebstemperatur) hier sicherlich der Vorzug zu geben (**Bild 3**).

### Mechanische Eigenschaften – Eindruckfestigkeit

Ein weiterer Unterschied zwischen DIN- und EN-Anforderungen ist erst bei genauer

Betrachtung der Prüfbedingungen zur Bestimmung der Eindruckfestigkeit ersichtlich (**Bild 4**). Zunächst scheint bei maximaler Dauerbetriebstemperatur die gleiche Anforderung vorzuliegen (max. 30 % Eindringtiefe bei gleicher Stempelauflast), allerdings muss nach beiden DIN-Normen das Kriterium nach 48 h erfüllt werden, nach EN nur nach bereits 24 h. Darüber hinaus berücksichtigen DIN 30671 und DIN 30677 die geringere Härte von in Wasser gelagertem Polyurethan, da die Eindruckprüfung unter Wasserbeaufschlagung durchgeführt wird, während die EN-Eindruckprüfung Luft als Umgebung vorsieht. Lediglich die höchste Temperaturbelastungsklasse 80 °C nach prEN 10290 bedeutet durch die um 10 °C höhere Prüftemperatur eine höhere Anforderung an die Eindruckfestigkeit als in der höchsten DIN-Belastungsklasse.

### Mechanische Eigenschaften – Schlagbeständigkeit

In Punkto Schlagbeständigkeit gelten nach prEN 10290 gemäß **Tabelle 1** sowohl bei Raumtemperatur als auch bei Tieftemperatur etwas geringere Anforderungen als nach aktueller DIN-Normung. Auffällig ist, dass das Tieftemperatur-Kriterium nach DIN 30671 bei einer um 25 K niedrigeren Prüftemperatur zu bestehen ist, wodurch ein deutlich höheres Maß an Tieftemperatur-Flexibilität sichergestellt wird. Zu begrüßen ist, dass in prEN 10290 die Schlagenergie pro mm Schichtdicke definiert ist, wodurch auch bei Überschichtdicken des Schlag-Prüfkörpers ein vergleichbares Kriterium gegeben ist.

### Mechanische Eigenschaften – Flexibilität – Biegebarkeit

Deutliche Unterschiede bezüglich der Prüfbedingungen sind in den Punkten Biegebarkeit und Flexibilität zu verzeichnen. Die extreme DIN-Anforderung hinsichtlich Biegebarkeit, bei der ein Flachstahlstreifen über



**Bild 2:** Anwendungsgebiet Umhüllungssanierung bei Rohrleitungen

**Fig. 2:** Field of application pipeline-coating rehabilitation

**Tab. 1:** Vergleich der Normanforderungen an Teer-freie Polyurethan-Korrosionsschutzbeschichtungen, Eigenschaften von DENSOLID FK2

**Table 1:** Comparison of standard requirements for polyurethane corrosion protective coatings, properties of DENSOLID FK2

Eigenschaft	Anforderungen			DENSOLID FK 2 Typische Werte	
	DIN 30671 (06/1992)	DIN 30677-2 (09/1988)	prEN 10290 (12/2001)		
Belastungsklassen	N (bis 23 °C) S (bis 70 °C)	bis 70 °C	Typ 1: (bis 40 °C, Dickenklasse A / B) Typ 2: (bis 60 °C, Dickenklasse B) Typ 3: (bis 80 °C, Dickenklasse B)	–	
Schichtdicke	≥ 0,8 mm (N) / ≥ 1,5 mm (S)	≥ 1,0 mm (≥ 0,8 mm an konvexen Kanten)	≥ 1,0 mm (A) ≥ 1,5 mm (B)	0,8 mm bis 3,0 mm	
Porenfreiheit	bei 10 kV/mm	bei 10 kV	8 kV/mm (max. 20 kV)	Erfüllt	
Elektrische Durchschlagfestigkeit	–	–	–	30 kV/mm	
Reißdehnung	–	–	≥ 10 %	12 %	
Biegsamkeit	$\epsilon_{bB} \geq 5 \%$	$\epsilon_{bB} \geq 3 \%$	-	19 %	
Flexibilität, Biegung über kreisförmiges Widerlager bei 23 °C und 0 °C	–	–	keine Risse, Abplatzungen oder Poren	Erfüllt	
Schlagbeständigkeit	23 °C	$\geq 3 J \cdot \varphi$ (N) $\geq 10 J \cdot \varphi$ (S)	≥ 10 J	≥ 5 · $\varphi$ J/mm	Erfüllt
	-5 °C	–	–	≥ 3 · $\varphi$ J/mm	Erfüllt
	-30 °C	$\geq 3 J \cdot \varphi$	–	–	Erfüllt
Eindruckwiderstand	H <sub>2</sub> O, T <sub>max</sub>	≤ 30 % (48 h)	≤ 30 % (48 h)	–	23 %
		≤ 5 % (24 h – 48 h)	≤ 5 % (24 h – 48 h)	–	3 %
	Luft, 23 °C	–	–	≤ 0,2 mm (24 h)	< 0,1 mm
	Luft, T <sub>max</sub>	–	–	≤ 30 % (24 h)	18 % (60 °C)
Umhüllungswiderstand	23 °C, 100 Tage	≥ 10 <sup>7</sup> Ω·m <sup>2</sup>	≥ 10 <sup>8</sup> Ω·m <sup>2</sup>	≥ 10 <sup>6</sup> Ω·m <sup>2</sup> (A) ≥ 10 <sup>7</sup> Ω·m <sup>2</sup> (B)	1,2 · 10 <sup>10</sup> Ω·m <sup>2</sup>
	T <sub>max</sub> , 30 Tage	≥ 10 <sup>5</sup> Ω·m <sup>2</sup>	≥ 10 <sup>5</sup> Ω·m <sup>2</sup>	≥ 10 <sup>4</sup> Ω·m <sup>2</sup>	3 · 10 <sup>6</sup> Ω·m <sup>2</sup> (70 °C) 2,3 · 10 <sup>5</sup> Ω·m <sup>2</sup> (80 °C)
Hafffestigkeit V-Schnitt			Quantitativ ≤ Bew.-Stufe 3 (23 °C) ≤ Bew.-Stufe 4 (T <sub>max</sub> )	Erfüllt, Bew.-Stufe 1	
Hafffestigkeit nach Wasserlagerung, V-Schnitt	„keine vollständige Enthftung“	„keine vollständige Enthftung“	keine Anforderung, Prüfung informativ	Erfüllt Bew.-Stufe 1	
Hafffestigkeit EN 24624 (23 °C)	–	–	≥ 7 N/mm <sup>2</sup> (23 °C) Wert bei T <sub>max</sub> informativ	15 N/mm <sup>2</sup> (23 °C)	
Wärmealterung 90 Tage, vorgedehnte Probekörper	5 % Vordehnung 100 °C, keine Poren	3 % Vordehnung 110 °C, keine Poren	–	Erfüllt	
Wärmealterung, Abzug-Hafffestigkeit (EN 24624) nach 100 Tagen Lagerung bei 60 °C (Typ1), 80 °C (Typ 2) bzw. 100 °C (Typ 3)	–	–	Keine Anforderung, Prüfung informativ	17 N/mm <sup>2</sup> (Kohäsionsbruch, Alterung bei 100 °C)	
Kathodische Unterwanderung	23 °C, 30 Tage	≤ 12 mm	≤ 10 mm	–	< 0,1 mm
	23 °C, 28 Tage	–	–	≤ 8 mm (max. ≤ 10 mm)	< 0,1 mm
	60 °C, 2 Tage	–	–	≤ 8 mm (max. ≤ 10 mm)	< 0,1 mm
	65 °C, 2 Tage	≤ 15 mm	≤ 15 mm	–	< 0,1 mm
Härte Shore D	5 °C	–	–	–	77
	23 °C	–	–	Prüfung informativ	74
	40 °C	–	–	–	66
	70 °C	–	–	–	45

$\varphi$ : Nennweitenabhängiger Faktor,  $\varphi = 1$  für > DN 200

einen nur 25 mm breiten Rundstab gebogen wird (Typischer Prüfkörper DENSOLID FK2 siehe **Bild 5**), ist nach EN ersetzt durch eine kombinierte Anforderung an Reißdehnung und Biegebarkeit über ein Widerlager mit deutlich größerem Durchmesser (**Bild 6**). Ein Vergleich der Leistungsniveaus nach alter und neuer Norm ist bei derart stark abweichenden Prüfbedingungen nur schwer möglich. Festzustellen ist, dass hartflexible Beschichtungen wie DENSOLID FK2 beide Kriterien problemlos erfüllen.

**Haftfestigkeit**

Das etwas unbefriedigende, subjektive Kriterium nach DIN 30671 und DIN 30677-2, dass nach Wasserlagerung "keine vollständige Enthaftung" auftreten darf, ist in prEN 10290 durch eine definierte maximale Enthaftungslänge bei der V-Schnitt-Prüfung (**Bild 7**) sowie eine definierte Mindesthaftfestigkeit in der Abzugprüfung präzisiert. Dagegen bedeutet es eine deutlich geringere Anforderung, dass nach prEN 10290 die Haftfestigkeit nach Wasserlagerung nur informativ und darüber hinaus nach erheblich kürzerer Einlagerungszeit bestimmt wird. Der Anfälligkeit weniger leistungsfähiger Polyurethanbeschichtungen für Haftungsverlust nach Wasserlagerung wird damit nicht ausreichend Rechnung getragen. DENSOLID FK2 als hochwertige Beschichtungen erfüllt dagegen alte und neue Kriterien problemlos.

**Wärmealterung**

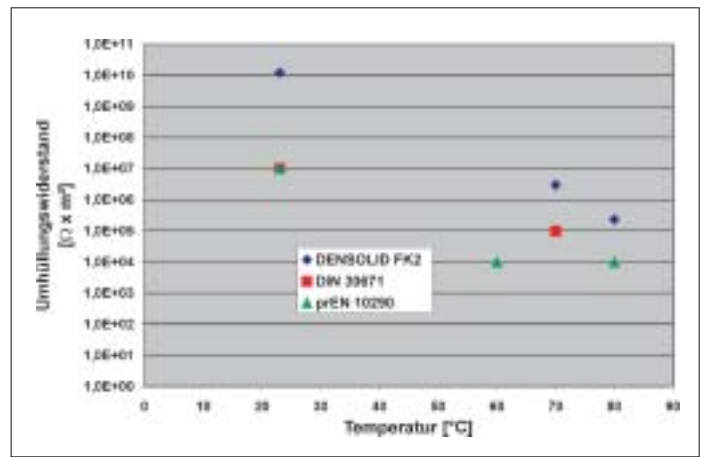
Nach DIN bzw. EN deutlich abweichende Prüfkriterien gelten für die Anforderungen an die Alterungsbeständigkeit. Während nach DIN 30671 und DIN 30677 vorgebogene, beschichtete Stahlstreifen nach 90 Tagen Alterung bei 100 °C (30671) bzw. 110 °C (30677-2) keine Poren aufweisen dürfen, wird nach EN die Abzug-Haftfestigkeit nach Wärmealterung bestimmt, allerdings auch hier nur informativ, also ohne geforderte Mindesthaftfestigkeit. Hinzu kommt, dass die Alterungstemperatur (max. Dauerbetriebstemperatur +20 °C) nach EN niedriger angesiedelt ist. Die Kombination von DIN- und EN-Prüfungen gäbe sicherlich das vollständigste Bild über das Alterungsverhalten einer PU-Beschichtung. Tabelle 1 zeigt das entsprechende Eigenschaftsniveau von DENSOLID FK2.

**Kathodische Unterwanderung**

Die Eigenschaft einer Beschichtung, im stark alkalischen Milieu einer kathodisch geschützten Fehlstelle zu enthaften, wird als kathodische Unterwanderung bezeichnet. Insbesondere bei duroplastischen Beschichtungen, die eher als Thermoplaste wie PE im enthafteten Bereich zu Blasen- und Rissbil-

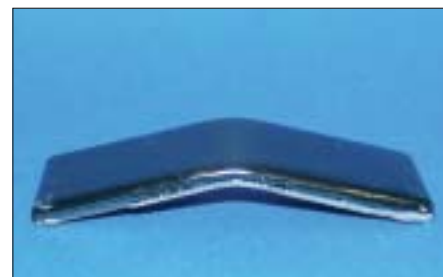
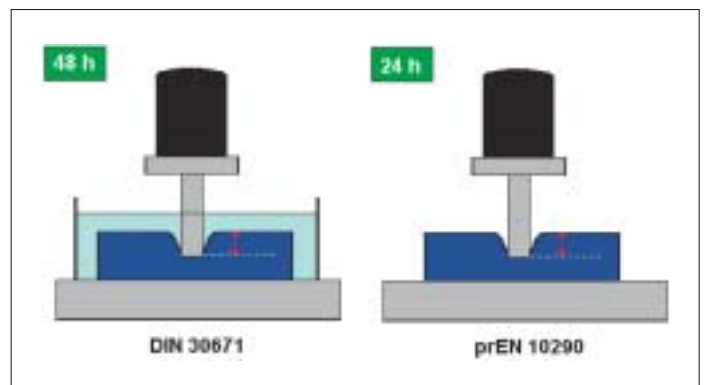
**Bild 3:** Umhüllungswiderstand von DENSOLID FK2 im Vergleich zu Normanforderungen

**Fig. 3:** Specific insulation resistance of DENSOLID FK2 related to standard requirements

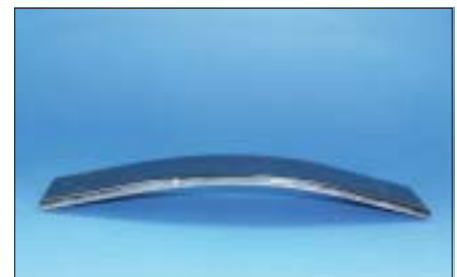


**Bild 4:** Unterschied der Eindruckfestigkeits-Prüfung nach DIN 30671 und prEN 10290

**Fig. 4:** Difference in indentation resistance testing according to DIN 30671 and prEN 10290



**Bild 5:** DENSOLID FK2: Biegebarkeit nach DIN 30671  
**Fig. 5:** DENSOLID FK2: Bending flexibility according to DIN 30671



**Bild 6:** DENSOLID FK2: Biegebarkeit nach prEN 10290  
**Fig. 6:** DENSOLID FK2: Bending flexibility according to prEN 10290

**Bild 7:** DENSOLID FK2: V-Schnitt-Prüfung nach Wasserlagerung - kein Haftungsverlust, Bruch erfolgt in der Beschichtung

**Fig. 7:** DENSOLID FK2: V-cut lift-off test after water immersion - no loss of adhesion, rupture occurs within coating





**Bild 8:** DENSOLID FK2: Kathodische Enthaftung nach DIN 30671

**Fig. 8:** DENSOLID FK2: Cathodic disbonding acc. to DIN 30671

## Härte

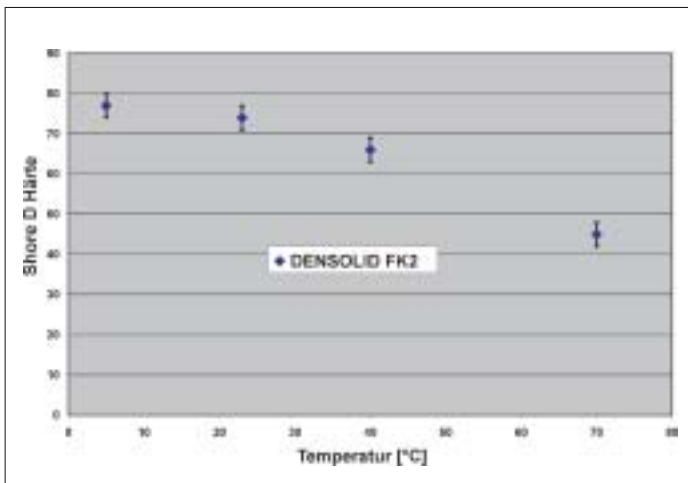
Als zusätzliche informative Prüfung fordert prEN 10290 die Bestimmung der Shore-D-Härte, die als Vergleichskriterium für die Vollständigkeit der Aushärtung von Bedeutung ist. Exemplarisch für eine "hartflexible" PU-Beschichtung ist in **Bild 9** der temperaturabhängige Verlauf der Shore-D-Härte von DENSOLID FK2 wiedergegeben.

## Fazit

Airless-heißsprühbare Polyurethanbeschichtungen finden überall dort Anwendung, wo geometrisch komplexe oder in der Lage fixierte Bauteile mit hoch leistungsfähigen Korrosionsschutzbeschichtungen versehen werden müssen. Die technischen Mindestanforderungen an Beschichtungen dieses Typs werden bisher in DIN 30671 und DIN 30677-2 sowie zukünftig in EN 10290 beschrieben. Ein Anforderungsvergleich der genannten Normen zeigt, dass das Eigenschaftsniveau nach DIN tendenziell etwas höher liegt. Hochwertige Polyurethanbeschichtungen wie DENSOLID FK2 erfüllen problemlos die Anforderungen beider Normengruppen. Herausragende Eigenschaften von DENSOLID FK2 sind dabei eine extrem geringe kathodische Enthaftung sowie eine sehr gute Haftung auch nach Wasserlagerung.

## Literatur:

- [1] Kuprion, R.: World Pipelines, Autumn 2001, 89-92.
- [2] DIN 30671 "Umhüllung (Außenbeschichtung) von erdverlegten Stahlrohren mit Duroplasten" (1992-06)
- [3] DIN 30677-2 "Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Armaturen; Umhüllung aus Duroplasten (Außenbeschichtung) für erhöhte Anforderungen" (1988-09)
- [4] ECISS prEN 10290 "Steel tubes and fittings for onshore and offshore pipelines – External liquid applied polyurethane and polyurethane-modified coatings" (2001-12)
- [5] Funk, D.: Anforderung an die Umhüllung für im Bohrpress- bzw. im Horizontal-Drilling-Verfahren verlegte Rohrleitungen, bbr Sonderausgabe "Grabenlose Rohrleitungsbauverfahren", 2000



**Bild 9:** Temperaturverlauf der Shore-D-Härte von DENSOLID FK2

**Fig. 9:** Temperature dependent shore-D-hardness of DENSOLID FK2

und damit zu einer effektiven Vergrößerung der Fehlstelle neigen, ist die Widerstandsfähigkeit gegen dieses Phänomens ein wichtiges Kriterium. In prEN 10290 wurde das Kriterium für alle Prüfbedingungen leicht verschärft auf 8 mm mittleren Enthaftradius.

Die herausragende Eigenschaft von DENSOLID FK2 ist eine extrem geringe kathodische Enthaftung (**Bild 8**). Gemäß Tabelle 1 ist unter keiner der Norm-Prüfbedingungen eine nennenswerte Enthaftung festzustellen, eine Eigenschaft, die von keiner vergleichbaren PU-Beschichtung erreicht wird.