

**Inhalt:**

- 1 Geltungsbereich
- 2 Einleitung
- 3 Typen von Versiegelungsstoffen
- 4 Auftragmethoden
- 5 Spritzschichteigenschaften
- 6 Charakterisierungsmethoden für Versiegelungsstoff und Schicht
- 7 Ergänzende Bemerkung zur Arbeitssicherheit

**1 Geltungsbereich**

Dieses Merkblatt enthält Angaben zu potentiellen Dicht- und Versiegelungsstoffen, allgemeinen Verarbeitungsmöglichkeiten sowie Hinweise zur Auswahl und Entwicklung eines funktionsfähigen Versiegelungskonzepts für thermisch gespritzte Schichten. Durch das Merkblatt wird der Anwender befähigt, entsprechend seines individuellen Anforderungsprofils eine Festlegung zu allen versiegelungsrelevanten Größen zu treffen, deren Eignung mittels dargestellter Prüfmethoden sicherzustellen und die gewonnenen Ergebnisse zur praktischen Umsetzung zu nutzen.

**2 Einleitung**

Versiegeln bezeichnet die Methode des Aufbringens und Infiltrierens poröser Oberflächen mit viskosen Substanzen, mit dem Ziel einer vollständigen Abdichtung des Bauteils gegen das Eindringen in äußerer Medien. Im Gegensatz zu den Dünn- und Dickschichtverfahren wird bei der Versiegelung kein messbarer Auftrag gestrebt. In Fällen des atmosphärischen Korrosionsschutzes mit thermisch gespritzten Zink- oder Aluminiumschutzschichten, eine nachfolgender mechanischer Bearbeitung, sollte die Nassschichtdicke so eingestellt werden, dass die Trockenschichtdicke nicht mehr als 40 µm beträgt.

Thermisch gespritzte Schichten weisen in der Regel prozessbedingt häufig eine offene Porosität auf, die sich bis zum Grundwerkstoff erstreckt. Mit Versiegelungen lassen sich anwendungsspezifisch Vorteile hinsichtlich Standzeit und Funktionalität realisieren. Versiegelungen werden direkt nach dem Spritzprozess, vor dem Abtrag auf Endmaß vorgenommen.

Die Versiegelung zählt zur Gruppe der chemischen Nachbehandlungsverfahren. Die materialunabhängige Anwendbarkeit und die Abdichtung der Spritzschicht ohne strukturelle Änderung bieten entscheidende Vorteile gegenüber den thermischen oder mechanischen Alternativverfahren (z. B. Verschluss durch Oxidation bzw. Oberflächenverdichtung (z. B. durch Kugelstrahlen). Unter den möglichen Nachbehandlungsverfahren findet die Versiegelung im industriellen Einsatz die häufigsten Anwendung.

Typische Beispiele sind der Korrosionsschutz, die elektrische Isolation, die Erhöhung der Schlagfestigkeit sowie Anwendungen mit Wechseldrücken.

Das Thema Versiegelung beinhaltet eine Vielzahl interdisziplinärer Fragestellungen, da sich die spezifischen Eigenschaften des Versiegelungsstoffes, der Spritzschicht und der Auftragtechnik gegenseitig beeinflussen, Tabelle 1.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

**Tabelle 1. Einflussparameter beim Versiegelungsprozess.**

Versiegelungsstoff	Verarbeitung	Spritzschicht
Benetzungsverhalten	Tauchen, Sprühen, Streichen	Struktur-eigenschaften (Porosität, Schichtdicke)
Viskosität	Normal-, Über- und Unterdruck	Material-eigenschaften (Benetzungsverhalten)
Aushärtemechanismus		
Topfzeit		
chemische Beständigkeit		
elektrische Leitfähigkeit		
Beständigkeit gegenüber hydraulische Drücke		

Die enge Verknüpfung beider Prozessgrößen fordert eine detaillierte Vorüberlegung und Abstimmung der Einflussparameter. Das gilt auch für die Verträglichkeit des Versiegelungsstoffes mit dem Schichtwerkstoff und gegebenenfalls den nachfolgenden organischen Beschichtungen, wie z. B. in Fällen des atmosphärischen Korrosionsschutzes.

Versiegelungen thermischer Spritzschichten finden überall da Anwendung, wo die offenen Fehlstellen im Schichtgefüge eine nicht tolerierbare Funktionsbeeinträchtigung mit sich bringen.

**3 Typen von Versiegelungsstoffen**

Versiegelungsstoffe sind insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass sie bei der Applikation in viskoser Form vorliegen und in der Regel in weiteren Prozessschritten aushärten bzw. verfestigen. Eine Einteilung empfiehlt sich nach Werkstoffgruppenzugehörigkeit und dem Abbindemechanismus. Bei kombinierter Betrachtung sind Aussagen zu den spezifischen Werkstoffeigenschaften und dem Verhalten während der Verfestigung möglich. Die Auswahl orientiert sich am Anwendungsfall, der Rahmenbedingungen für die geforderte thermische, chemische und tribologische Beständigkeit der Versiegelungsstoffe liefert. Für den Versiegelungsprozess sind der Benetzungswinkel zum Schichtwerkstoff, die Viskosität und das Schwindungsverhalten während des Abbindens entscheidend.

Geeignete Stoffe finden sich in allen Werkstoffgruppen. Die Versiegelungsstoffe können in Reinform oder als Gemisch verarbeitet werden (metallische oder anorganische Füllstoffe in organischen Bindern).

In der Regel wird angestrebt, dass die Versiegelungsstoffe nach der Infiltration abbinden. Dadurch entsteht ein Schicht-Versiegelungs-Verbundwerkstoff mit spezifischen Eigenschaften, die sich insbesondere bei den mechanischen Kennwerten von den unversiegelten Schichten unterscheiden können (Schlagfestigkeit, Verschleißverhalten).

Man unterscheidet physikalisch und chemisch abbindende Systeme. Dabei bieten insbesondere Polymere die Möglichkeit der gezielten Einstellung des Abbindemechanismus. Auf fertigungsbedingte Erfordernisse kann dadurch sehr variabel reagiert werden.

Bei chemisch abbindenden Systemen erfolgt die Aushärtung durch Initiierung einer chemischen Reaktion. Physikalisch abbindende Systeme können durch Wechsel des Aggregatzustandes oder Abdampfen des Lösungs- bzw. Dispersionsmittels aushärten.

In Tabelle 2 wird für ausgewählte Versiegelungsstoffgrundtypen veranschaulicht, welche Abbindemöglichkeiten bestehen. Die spezifischen Parameter für Temperatur- und Zeitführung sind selbst innerhalb einer Gruppe sehr variabel und somit nicht allgemeingültig. Es sollten jeweils die Herstellerangaben beachtet werden.

Die unterschiedlichen Abbindevarianten weisen Vor- und Nachteile auf, die in Tabelle 3 exemplarisch dargestellt werden.

Tabelle 2. Auswahl von Versiegelungsstoffen und deren Abbindemöglichkeiten.

Dicht- und Versiegelungsstoff		physikalisch abbindend				chemisch abbindend				
		lösemittelhaltig	Dispersion	Schmelze	Sol	1 K			2 K	
						Temperatur	Metallionen (anaerob)	Aerob	photokatalytisch (UV)	andere
künstliche Stoffe	Acrylat (PMMA)									
	Epoxidharz									
	Furanharz									
	Melaninharz									
	Öle (synthetisch)									
	Phenolharz									
	MS-Polymer									
	Polyester									
	Polyurethan									
	Polyvinylchlorid									
	Bitumen									
	Wachse									
	Silikon									
natürliche Stoffe	Öle									
	Biopolymere									
	Fette / Wachse									
	Teere									
anorganische Stoffe	Oxide									
	Phosphate									
	Silikate									
metallisch	Reinmetall									
	Legierungen									

Tabelle 3. Vor- (+) und Nachteile (-) der Abbindeverfahren im Vergleich.

physikalisch abbindend	chemisch abbindend
+ Viskosität leicht einstellbar	+ geringe Schwindung
- gesundheitliche Aspekte lösemittelhaltiger Systeme	+ lösemittelfrei
- hohe Schwindung	+ definierte Eigenschaften bei allen Verarbeitungsvarianten
- Schmelzen erfordern meist hohe Temperatur	+ Abbinden kann auf verschiedene Art und Weise initiiert werden
	- teilweise gesundheitsbedenkliche Stoffe