

# Auslegung von MS-Kabelmuffen für einen Wasserdruck von 2 bar

## Praktische Grundsätze für eine hochwasserresiliente Leistung von Kabelmuffen

### Einleitung

Überschwemmungen und steigende Grundwasserstände führen dazu, dass unterirdische Mittelspannungsnetze immer häufiger und über längere Zeiträume einer dauerhaften Wasserbelastung ausgesetzt sind. Unter diesen Bedingungen wird die Zuverlässigkeit nicht dadurch bestimmt, ob Komponenten „nass werden können“, sondern ob sie einem kontinuierlichen hydrostatischen Wasserdruck standhalten können, ohne dass es zu Wassereintritt kommt.

Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass Kabelmuffen unter überfluteten Bedingungen die häufigste Ausfallstelle darstellen. Dadurch kommt dem Konzept der äußeren Abdichtung und Vergusskapselung eine entscheidende Bedeutung zu.

Dieses Dokument beschreibt praxisorientierte Konstruktionsprinzipien, die es ermöglichen, Mittelspannungs-Kabelmuffen für einen hydrostatischen Wasserdruck von bis zu 2 bar (entsprechend einer Wassersäule von etwa 20 m) über lange Betriebszeiträume auszulegen.

### Was ein hydrostatischer Druck von 2 bar in der Praxis bedeutet

Hydrostatischer Druck bedeutet nicht, dass Komponenten lediglich Spritzwasser oder eine kurzfristige Überflutung ausgesetzt sind. Es handelt sich vielmehr um eine kontinuierlich wirkende Kraft, die Wasser in jeden verfügbaren Eintrittspfad drückt: entlang von Grenzflächen, in Mikroporen und durch jede vorhandene Porosität. Eine Kabelmuffe kann äußerlich intakt erscheinen und dennoch eine langsame Feuchtigkeitsmigration zulassen, die im Laufe der Zeit zu einer elektrischen Degradation führt.

Deshalb darf „Wasserbeständigkeit“ nicht als Eigenschaft eines einzelnen Werkstoffs betrachtet werden, sondern muss als Eigenschaft des gesamten Systems verstanden werden.

### Prinzip 1: Abdichtung als Systemfunktion und nicht als Materialeigenschaft betrachten

Die Widerstandsfähigkeit einer Kabelmuffe gegenüber Wasserdruck beruht auf dem Zusammenspiel mehrerer Eigenschaften: dem Fließverhalten während der Installation, dem Aushärtungsverhalten, der mechanischen Integrität, der Haftung an Grenzflächen sowie der Langzeitbeständigkeit gegenüber Alterung. Versagt eines dieser Elemente, beispielsweise durch eine unzureichende Haftung an Grenzflächen oder Mikrorisse, nutzt der hydrostatische Druck diese Schwachstelle aus.

Dies gilt selbst dann, wenn das verwendete Vergussharz oder das Gehäusematerial an sich wasserbeständig ist.

## **Prinzip 2: Kontrollierte Viskosität und ausreichende Verarbeitungszeit ermöglichen eine vollständige Füllung**

Die Widerstandsfähigkeit einer Kabelmuffe gegenüber Wasserdruck beruht auf dem Zusammenspiel mehrerer Eigenschaften: dem Fließverhalten während der Installation, dem Aushärtungsverhalten, der mechanischen Integrität, der Haftung an Grenzflächen sowie der Langzeitbeständigkeit gegenüber Alterung.

Versagt eines dieser Elemente, beispielsweise durch eine unzureichende Haftung an Grenzflächen oder Mikrorisse, nutzt der hydrostatische Druck diese Schwachstelle aus. Dies gilt selbst dann, wenn das verwendete Vergussharz oder das Gehäusematerial an sich wasserbeständig ist.

## **Prinzip 3: Hohlraumfreie Vergusskapselung verhindert zusammenhängende Pfade für die Wassermigration**

Unter Druck sucht Wasser stets den Weg des geringsten Widerstands. Hohlräume, Lufteinschlüsse und nicht vollständig verfüllte Bereiche können zusammenhängende Pfade bilden, über die Feuchtigkeit tiefer in die Kabelmuffe eindringen kann.

Eine hohlraumfreie Vergusskapselung ist daher unverzichtbar, nicht nur um die Wassermigration zu verhindern, sondern auch um das Risiko der Entstehung von Teilentladungen unter feuchten Bedingungen zu reduzieren.

In überschwemmungsgefährdeten Umgebungen reicht eine „ausreichende Füllung“ nicht aus. Die Beständigkeit gegenüber hydrostatischem Druck erfordert eine durchgängig hohlraumfreie Ausführung.

## **Prinzip 4: Blasenfreie Aushärtung erhält die strukturelle Kontinuität**

Das Aushärtungsverhalten ist ebenso wichtig wie die anfängliche Befüllung. Führt der Aushärtungsprozess zur Bildung von Blasen, Aufschäumungen oder zusammenhängender Porosität, kann der hydrostatische Druck diese Mikrostrukturen als kapillare Pfade für die Wassermigration nutzen.

Im Ausgangsdokument wird erläutert, dass eine blasenfreie, nicht poröse Aushärtung entscheidend für die langfristige Druckbeständigkeit ist und dass durch geeignete Formulierungsmaßnahmen die Blasenbildung während der Aushärtung selbst bei Feuchtigkeitseinwirkung verhindert werden kann.

Das Ergebnis muss eine dichte, durchgängige Struktur sein, die keine kapillaren Pfade für Wasser bietet.

## **Prinzip 5: Mechanische Integrität und Rissbeständigkeit schützen die Abdichtung langfristig**

Eine Überflutung ist selten die einzige Belastung, der eine Kabelmuffe ausgesetzt ist. Im Betrieb wirken zusätzlich Bodenbewegungen, Setzungen, Vibrationen und thermische Zyklen auf die Muffe ein.

Selbst Mikrorisse können unter hydrostatischem Druck zu bevorzugten Eintrittspfaden für Wasser werden. Deshalb sind ein ausgewogenes mechanisches Eigenschaftsprofil und eine langfristige Rissbeständigkeit wesentliche Auslegungsziele für hochwasserresistente Kabelmuffen und keine nachrangigen Anforderungen.

## **Prinzip 6: Haftung ist der entscheidende Dichtungsmechanismus an Grenzflächen**

Bei Mittelspannungs-Kabelmuffen erfolgt Wassereintritt überwiegend entlang von Grenzflächen und nicht durch das Volumenmaterial selbst. Eine starke und dauerhaft beständige Haftung an Kabelmänteln, Gehäusen und metallischen Komponenten verhindert die longitudinale Wasserwanderung und unterbindet Grenzflächenentladungen unter Druckbelastung. Dies ist insbesondere bei Übergangsmuffen von Bedeutung, da die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe die Komplexität der Grenzflächen erhöht und die Anzahl potenzieller Pfade für die Feuchtigkeitsmigration vergrößert.

## **Prinzip 7: Alterungsbeständigkeit stellt sicher, dass die Druckbeständigkeit nicht nachlässt**

Die langfristige Leistungsfähigkeit hängt davon ab, wie sich das Dichtsystem nach jahrelanger thermischer und hydrothermischer Beanspruchung verhält. Das Ausgangsdokument betont den Erhalt der mechanischen Eigenschaften nach thermischer und wasserbedingter Alterung und unterstreicht damit, dass die Integrität der Abdichtung auch bei gleichzeitiger Einwirkung von Wärme und Feuchtigkeit erhalten bleiben muss.

In der Praxis bedeutet Hochwasserresilienz nicht nur, ein einzelnes Überflutungsereignis zu überstehen, sondern die Dichtungsleistung während der gesamten Lebensdauer auch unter wiederholter Belastung durch Überflutungen aufrechtzuerhalten.

## **Fazit**

Die Auslegung von Mittelspannungs-Kabelmuffen für einen hydrostatischen Wasserdruck von 2 bar erfordert einen systemorientierten Ansatz: kontrolliertes Fließverhalten bei der Befüllung, hohlraumfreie Vergusskapselung, blasenfreie Aushärtung, dauerhafte Haftung an Grenzflächen, Rissbeständigkeit unter mechanischer Belastung sowie Stabilität gegenüber Alterung.



Wenn diese Prinzipien zusammenwirken, können Kabelmuffen einem dauerhaft wirkenden Wasserdruck standhalten, ohne dass Pfade für den Wassereintritt entstehen, die später zu elektrischen Ausfällen führen.

## Weiterführende Informationen

Auf der Hauptseite finden Sie praktische Methoden zur Sicherstellung einer hohlraumfreien Installationsqualität sowie einen kompakten Auswahlleitfaden, der Spezifikationsteams bei der Auswahl geeigneter Kabelmuffenlösungen für wassergesättigte Bereiche und anspruchsvolle Grenzflächenanwendungen wie Übergangsmuffen unterstützt.