

Fachliche Stellungnahme: Korrosionsgefährdung von Montagegestellen für PV-Anlagen

Montagegestelle für Photovoltaik werden in meisten Fällen aus korrosionsfreien Materialien hergestellt. Aluminium Strangpressprofile und Verbindungsmittel und Befestigungselemente aus nichtrostenden Stählen haben sich in der Praxis etabliert. Vereinzelt werden auch feuer- oder bandverzinkte Stahlkomponenten verwendet, dabei kann aber nicht zwingend von einer wartungsfreien Lösung über die geplante Standzeit von mindestens 20 Jahren ausgegangen werden. In diesen Fällen muss von Unterhaltskosten für die Ausbesserung des Korrosionsschutzes im Laufe des Nutzungszyklus ausgegangen werden.

Auch bei Verwendung korrosionsfreier Materialien, die keiner Einschränkung der Dauerhaftigkeit durch natürliche Korrosion ausgesetzt sind, existieren zwei Risikofaktoren, die unter bestimmten Voraussetzungen zu Korrosion führen können. Zum einen muss bei der Entwicklung von Befestigungssystemen, die aus unterschiedlichen Metallwerkstoffen bestehen, geprüft werden, ob die gewählte Werkstoffkombination und die geometrischen Proportionen der Bauteile zueinander eine hinreichende Sicherheit gegen elektrochemische Korrosion bieten. Bei der Kombination unterschiedlich edler Metalle dient im Regelfall das unedlere Metall als kathodischer Korrosionsschutz für das edlere Metall. Dieser Effekt ist z.B. aus der aus dem Spenglerhandwerk bekannt, wenn Dachrinnen aus verzinktem Stahl mit Kupferdachrinnen gestoßen werden. Schon nach sehr kurzer Zeit kann man ausgeprägte Korrosionserscheinungen an der verzinkten Stahlrinne beobachten. Dieser Effekt ist insbesondere bei Klemmbefestigungen an Dach- eindeckungen aus Metallblechen zu beachten. Gegebenenfalls ist eine Trennung zwischen der ungleichen Werkstoffpaarung durch Trennfolien oder Beschichtung vorzusehen.

Das zweite latente Korrosionsrisiko liegt in der chloridinduzierten Korrosion, die bei Standorten in unmittelbarer Meeresnähe oder im Salzsprühnebelbereich an Straßen auftreten kann. In dieser Frage besteht in der Branche eine Unsicherheit, die mit den normativen Regelungen und Forschungsergebnissen der letzten Jahre beantwortet werden kann.



Bild 1 Korrosionsarten und Ursachen für Korrosion

Dass auch nichtrostende Werkstoffe unter Einwirkung von Chloriden korrodieren, zeigt die Erfahrung aus der Verwendung von Edelstählen im Bereich von Hallenbädern und von Bauwerken im unmittelbaren maritimen Bereich. In diesem Kontext wird häufig die Frage gestellt, bis zu welcher Entfernung von der Küste der aggressive Einfluss der Meeresatmosphäre beachtet werden muss. Die Normen und technischen Regelwerke enthalten in dieser Fragestellung eher vage Angaben in Konjunktivformulierungen, so dass das tatsächliche Risiko für den Projektierer von Solaranlagen nicht exakt eingeschätzt werden kann. Bild 2 gibt den Chloridgehalt in der Luft in Abhängigkeit von der Küste wieder. Dabei ist eine deutliche Abnahme der Konzentration schon nach wenigen hundert Metern zu erkennen. Die logarithmische Darstellung der Ordinate (vertikale Achse) führt zu einer optischen Untertreibung der Abnahme des Chloridgehalts. Bereits nach 400 m ist der Chloridgehalt auf einen Wert bis unter einem Prozent im Vergleich zur Brandungszone abgefallen. Auch wenn örtliche Windbedingungen einen weiteren Transport der Aerosole ins Landesinnere bewirken können, kann festgehalten, dass bei einem Küstenabstand von ca. 2 km kein erhöhtes Risiko für chloridinduzierte Korrosion mehr zu beachten ist.

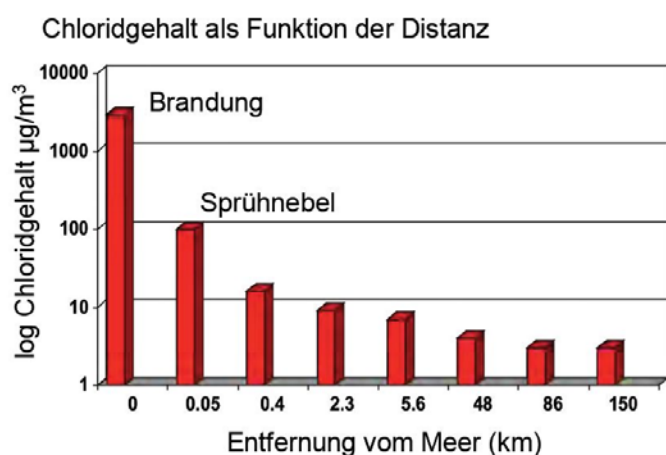


Bild 2 Chloridgehalt in der Atmosphäre in Meeresnähe

In Bild 3 und Bild 4 sind typische optische Merkmale von Montagegestellen in unmittelbarer Küstennähe dargestellt. Auf den Aluminiumoberflächen können sich weiße Ablagerungen aus verdampftem Kondenswasser bilden. Diese sind im Regelfall nur in regengeschützten Bereichen zu beobachten, da der Regen ansonsten eine abwaschende Wirkung hat. Diese weißen Ablagerungen sind rein optische Einflüsse ohne signifikante Erhöhung des Korrosionsrisikos. In Bild 3 sind zudem Korrosionsspuren am Gewinde einer Stockschraube zu erkennen. Auch bei richtiger Werkstoffwahl können derartige Effekte auftreten, wenn das Gewinde mit herkömmlichen Stahlwerkzeugen geschnitten wurde. Es handelt sich dabei um einen endlichen Prozess.



Bild 3 Korrosionserscheinungen in Küstennähe



Bild 4 Ablagerungen an regengeschützten Oberflächen

Anhand der vorausgegangenen Erläuterungen kann festgehalten werden, dass nur in unmittelbarer Küstennähe besondere Maßnahmen hinsichtlich des Korrosionsschutzes ergriffen werden müssen. Im Bereich der verwendeten Edelstahlkomponenten kann schon die richtige Werkstoffwahl das Korrosionsrisiko deutlich senken. Bild 5 enthält einen Auszug aus der allgemeinen baufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“. Typischerweise wird im Photovoltaiksektor der Werkstoff 1.4301 verwendet, der unter normalen atmosphärischen Bedingungen als rostfrei einzustufen ist. Dieser Werkstoff wird im täglichen Umgang auch als V2A bezeichnet. In chloridhaltiger Atmosphäre kann die Resistenz von Edelstählen durch die Zugabe des Legierungselementes Molybdän deutlich erhöht werden. Edelstähle dieser Gruppe werden häufig auch als V4A bezeichnet. Das gängigste Material dieser Gruppe trägt die Werkstoffnummer 1.4571.

Lfd. Nr.	Stahlsorte ¹⁾		Gefüge ²⁾	Festigkeitsklassen ³⁾ und Erzeugnisformen ⁴⁾					Korrosion	
	Kurzname	W-Nr.		S 235	S 275	S 355	S 460	S 690	Widerstandsklasse ⁵⁾	Belastung und typische Anwendung
1	X2CrNi12	1.4003	F	B, Ba, H, P	D, H, S, W	D, S	D, S	---	I / gering	Konstruktionen in Innenräumen mit Ausnahme von Feuchträumen
2	X6Cr17	1.4016	F	D, S, W	---	---	---	---	I / gering	Konstruktionen in Innenräumen mit Ausnahme von Feuchträumen
3	X5CrNi18-10	1.4301	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	B, Ba, D, H, S	Ba, D, H, S	S	II / mäßig	Zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxyden, keine Industrielatmosphäre
4	X2CrNi18-9	1.4307	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	Ba, D, H, S	Ba, D, S	S	V2A	Zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxyden, keine Industrielatmosphäre
5	X3CrNiCu18-9-4	1.4567	A	D, S, W	D, S	D, S	D, S	---	V2A	Zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxyden, keine Industrielatmosphäre
6	X6CrNiTi18-10	1.4541	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	Ba, D, H, S	Ba, D, H, S	---	V2A	Zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxyden, keine Industrielatmosphäre
7	X2CrNiN18-7	1.4318	A	---	---	B, Ba, D, H, P, S	B, Ba, H	---	V2A	Zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxyden, keine Industrielatmosphäre
8	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	Ba, D, H, S	Ba, D, S	S	III / mittel	Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxydbelastung und unzugängliche Konstruktionen ⁶⁾
9	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	Ba, D, H, S	Ba, D, H, S	D, S	III / mittel	Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxydbelastung und unzugängliche Konstruktionen ⁶⁾
10	X3CrNiCuMo17-11-3-2	1.4578	A	D, S, W	D, S	D, S	D, S	---	III / mittel	Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxydbelastung und unzugängliche Konstruktionen ⁶⁾
11	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, H, P, S	Ba, D, H, S	Ba, D, H, S	D, S	V4A	Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxydbelastung und unzugängliche Konstruktionen ⁶⁾
12	X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	A	---	B, Ba, D, H, S, W	---	---	---	III / mittel	Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxydbelastung und unzugängliche Konstruktionen ⁶⁾
13	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	FA	---	---	---	B, Ba, D, P, S, W	D, S	IV / stark	hohe Korrosionsbelastung ⁷⁾ durch Chlor und / oder Chloride und / oder Schwefeldioxyde und hohe Luftfeuchtigkeit, sowie Aufkonzentrationen von Schadstoffen ⁸⁾
14	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	A	B, Ba, D, H, P, S, W	B, Ba, D, P, S	D, P, S	D, S	D, S	IV / stark	hohe Korrosionsbelastung ⁷⁾ durch Chlor und / oder Chloride und / oder Schwefeldioxyde und hohe Luftfeuchtigkeit, sowie Aufkonzentrationen von Schadstoffen ⁸⁾
15	X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	A	---	---	---	B, Ba, D, S	---	IV / stark	hohe Korrosionsbelastung ⁷⁾ durch Chlor und / oder Chloride und / oder Schwefeldioxyde und hohe Luftfeuchtigkeit, sowie Aufkonzentrationen von Schadstoffen ⁸⁾
16	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	A	---	B, D, S, W	B, D, H, P, S	D, P, S	D, S	IV / stark	hohe Korrosionsbelastung ⁷⁾ durch Chlor und / oder Chloride und / oder Schwefeldioxyde und hohe Luftfeuchtigkeit, sowie Aufkonzentrationen von Schadstoffen ⁸⁾
17	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	A	---	B, Ba	B, Ba	---	---	IV / stark	hohe Korrosionsbelastung ⁷⁾ durch Chlor und / oder Chloride und / oder Schwefeldioxyde und hohe Luftfeuchtigkeit, sowie Aufkonzentrationen von Schadstoffen ⁸⁾

Bild 5 Werkstoffwahl bei Edelstählen in Abhängigkeit vom Korrosionsrisiko

Weniger klar sind die technischen Regelungen zur Korrosionsresistenz von Aluminiumwerkstoffen. DIN EN 1991 (Eurocode 9) enthält Erläuterungen und Regelungen, die dem Planer einen ausgeprägten Entscheidungsspielraum einräumen. In Tabelle 1 sind die typischen Aluminium-Knetlegierungen mit Einteilung in Beständigkeitsklassen (BK) sowie einer Einschätzung des Tiefenwachstums von Lochfraß- und Muldenkorrosion pro Jahr angegeben. Die Gruppe EN-AW-30xx und EN AW-50xx werden im Regelfall für die Herstellung von Blechen, Bändern und Platten verwendet und verfügen über die besten Korrosionsbeständigkeiten. Strangpressprofile werden typischerweise aus Knetlegierung der Gruppe EN AW-60xx mit dem Hauptlegierungselement Silizium produziert. Werkstoffe dieser Klasse verfügen über eine höhere mechanische Festigkeit, fallen aber in der Korrosionsbeständigkeit in die Klasse B. Aluminium-Zinklegierungen (EN AW-70xx) sind zwar noch fester, aus korrosionstechnischer Sicht aber ungünstiger einzustufen. Gemäß DIN 81249-1 sind die meisten Knetlegierungen aus diesen Gruppen für den maritimen Einsatz geeignet. Besonders bevorzugt sollen Legierungen des Typs EN AW-6005A verwendet werden, die in Fachkreisen auch als Schiffsaluminium bezeichnet wird. Laut EN 13195-1 sind die typischen Knetlegierungen für Strangpressprofile (EN AW 60xx) für den Schiffsbau, Meeres und Offshore-Technik geeignet.

Tabelle 1 Aluminium-Knetlegierungen

		BK	Tiefenwachstum [mm/a]
EN AW-30xx	AlMn x	A	0,03-1,0
EN AW-50xx	AlMg x	A	0,03-1,0
EN AW-60xx	AlSi x	B	0,05-0,1
EN AW-70xx	AlZn x	C	0,02-1,2

Eurocode 9 enthält ein Bewertungsschema in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen und der Beständigkeitsklasse der betrachteten Knetlegierung, wonach zu entscheiden ist, ob zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen erforderlich sind. In Tabelle 2 sind die Bedingungen abhängig von der Beständigkeitsklasse nach Tabelle 1 dargestellt. Strangpressprofile fallen im Regelfall in die Beständigkeitsklasse B. Der Eintrag 0 bedeutet, dass keine Maßnahmen zum Korrosionsschutz erforderlich sind. Die Einträge (P) und P legen die Entscheidung in die Hände des verantwortlichen Planers. NR bedeutet, dass die Verwendung nicht empfohlen werden kann. Lediglich in strenger Industriatmosphäre oder strenger Meeresnähe wird die Beurteilung in die Hände des Planers gelegt. Strenge Meeresnähe ist hier als der Brandungsbereich zu verstehen. Als Schutzmaßnahmen werden Eloxieren der Oberflächen oder Beschichten des Profils vorgeschlagen.

Tabelle 2 Bewertungsschema zur Erfordernis von Korrosionsschutzmaßnahmen gemäß Eurocode 9

Beständigkeitsklasse	Materialdicke in mm	Korrosionsschutz in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen							
		Atmosphärisch						unter Wasser	
		ländlich	Industriell/städtisch		Meeresnähe			Süßwasser	Salzwasser
mäßig	streng		ländlich	mäßig	streng				
A	Alle	0	0	P	0	0	P	0	(P)
B	<3	0	(P)	P	(P)	(P)	P	P	P
	≥ 3	0	0	P	0	(P)	P	(P)	P
C	Alle	0	(P)	P	(P)	(P)	P	(P)	NR

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei typischen Strangpressprofilen aus AlSi Legierungen bei ländlicher und mäßiger Industrie- und Meeresatmosphäre auf Korrosionsschutzmaßnahmen für Aluminiumprofile verzichtet werden kann. Bei Küstenabständen ≤ 2 km oder strenger industrieller Atmosphäre macht die Verwendung von Speziallegierungen, Beschichtungen oder Eloxieren der Oberflächen Sinn.

Der Nachweis der Beständigkeit gegen elektrochemische Korrosion bei Werkstoffpaarungen mit unterschiedlichen Metallen ist auf rechnerischem Weg nur sehr eingeschränkt möglich. Üblicherweise wird die Bewertung auf experimentellem Wege vorgenommen. Da Korrosion ein langwieriger Prozess ist, erfolgt die Untersuchung mit Salzsprühnebeltests in Anlehnung an DIN EN ISO 9227 in Verbindung mit DIN EN ISO 12994-6. Durch die extrem salzhaltige Atmosphäre werden Korrosionsprozesse ganz erheblich beschleunigt. Einwirkungszeiträume von über 1000 Stunden gestatten eine Übertragung der Ergebnisse auf die Lebensdauer von Solaranlagen unter normalen atmosphärischen Bedingungen. Gleichzeitig kann auch das Risiko unter meeresnahen Bedingungen getestet werden. Bild 6 zeigt einen Versuchskörper mit einer Werkstoffpaarung aus verzinktem Stahl, Aluminium und Edelstahlschrauben vor und nach der Versuchsfolge. Im vorliegenden Fall waren keine Korrosionsschäden zu verzeichnen.



Versuchskörper

Detail Schrauben

Zustand Zinkfundament

Bild 6 Werkstoffwahl bei Edelstählen in Abhängigkeit vom Korrosionsrisiko

Salzsprühnebeltests werden von fachspezifischen Instituten wie der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV oder den Fachabteilungen der Landesgewerbeanstalt LGA durchgeführt und ausgewertet. Die Berichterstattung enthält gleichzeitig eine gutachterliche Bewertung des Korrosionsrisikos. Bild 7 zeigt eine Serie von Versuchskörpern nach Abschluss der Salzsprühnebeltests mit positivem Befund. An den Oberflächen der Versuchskörper sind Salzablagerungen und Sprühfahnen zu erkennen. Bei diesen Beispielen zeigte sich kein signifikanter Korrosionsangriff, der die Vermutung einer Gefährdung der Standsicherheit über die geplante Standzeit gestattet.



Bild 7 Versuchskörper verschiedener Befestigungsdetails nach erfolgreicher Salzsprühnebelprüfung

In Bild 8 ist ein Prüfkörper bestehend aus einer Edelstahl- Blechfalzklemme auf einem Falzdach mit Aluminiumprofil dargestellt, bei dem der Salzsprühnebeltest einen negativen Befund aufwies. Bedingt durch Elektronegativitätsdifferenzen wurde das Aluminiumprofil durch Korrosion in den Kontaktstellen so stark belastet, dass das Grundmaterial punktuell aufgezehrt wurde. Entsprechende Anschlüsse sollten demnach nicht ohne Trennschicht ausgeführt werden. Als Beispiel für problematische Konstellationen können Stehfalzdächer aus Kupferblechen oder Zink-Titanbleche angeführt werden. In letzterem Fall wird im Regelfall die Dachhaut durch Korrosion lokal aufgezehrt.

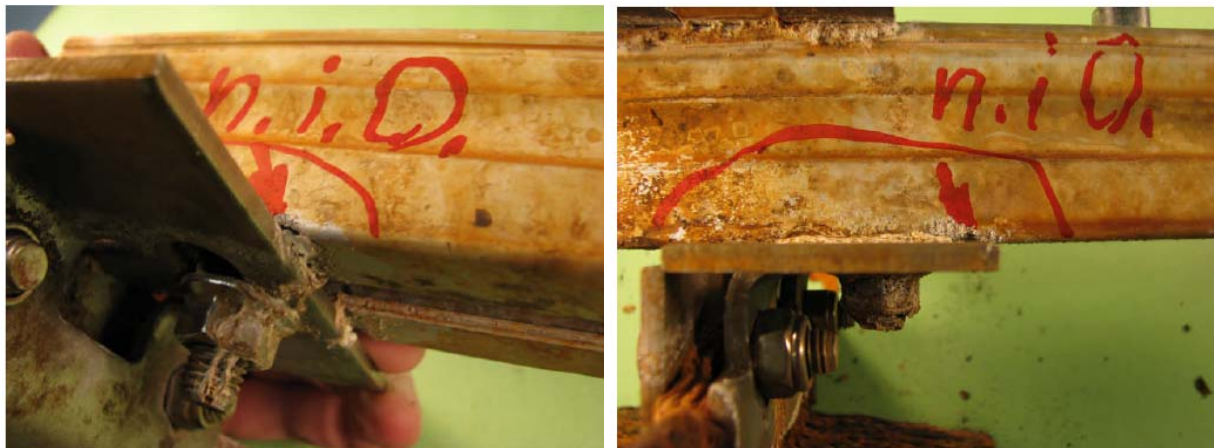


Bild 8 Versuchskörper einer Befestigungsklemme mit negativem Befund

Die vorstehenden Ausführungen dienen in erster Linie einer Erläuterung der grundsätzlichen Korrosionsrisiken und als Anhalt, unter welchen Bedingungen ein Korrosionsrisiko besteht und welche Maßnahmen sinnvoll sind, um das Korrosionsrisiko zu minimieren.

C. Zapfe

Dr.-Ing. C. Zapfe

Literatur:

Nürnberger Ulf: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen: 2 Bde. Bauverlag BV GmbH, September 1999, ISBN-13: 978-3762531999