



Dokumentation 892

Edelstahl Rostfrei in der Umwelttechnik



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informations- stelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) ist eine Gemeinschaftsorganisation von Unternehmen und Institutionen aus den Bereichen

- Edelstahlherstellung,
- Edelstahlhandel und Anarbeitung,
- Edelstahlverarbeitung,
- Oberflächenveredelung,
- Legierungsmittelindustrie,
- Marktforschung und Verlage für nichtrostende Stähle.

Die Aufgaben der ISER umfassen die firmenneutrale Information über Eigenschaften und Anwendungen von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind

- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Online-Informationsplattform unter www.edelstahl-rostfrei.de,
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Errichtung von Kompetenzzentren „Edelstahl-Rostfrei-Verarbeitung“,
- Informationen über Bezugsmöglichkeiten von Produkten aus Edelstahl Rostfrei,
- individuelle Bearbeitung technischer Anfragen.

Ein aktuelles Schriftenverzeichnis wird auf Anforderung gerne übersandt – oder ist einsehbar unter www.edelstahl-rostfrei.de/Publikationen.

Impressum

Dokumentation 892
Edelstahl Rostfrei in der
Umwelttechnik
4. überarbeitete Auflage 2015

Herausgeber:
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
Telefon: 0211 / 67 07-8 35
Telefax: 0211 / 67 07-3 44
Internet: www.edelstahl-rostfrei.de
E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de

Autor:
Dr.-Ing. Ulrich Heubner, Werdohl

Titelfoto:
Erich Stallkamp ESTA GmbH,
Dinklage

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungsansprüche können hieraus nicht abgeleitet werden. Nachdrucke aus dieser Dokumentation bzw. Veröffentlichungen im Internet, auch auszugsweise, sind nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und mit deutlicher Quellenangabe gestattet.

Inhalt

	Seite
1 Edelstahl Rostfrei	1
1.1 Begriffe und Definitionen	1
1.2 Ferritische korrosionsbeständige Stähle	1
1.3 Austenitische korrosionsbeständige Stähle	2
1.4 Austenitisch-ferritische korrosionsbeständige Stähle	3
1.5 Martenitische korrosionsbeständige Stähle	4
1.6 Übergreifende Aussagen zu den mechanischen Eigenschaften	5
1.7 Nachhaltigkeit	5
2 Umwelttechnik – Definitionen	6
3 Anwendungen von Edelstahl Rostfrei in der Umwelttechnik	6
3.1 Allgemeines	6
3.2 Edelstahl Rostfrei in der Rauchgasreinigung	6
3.3 Edelstahl Rostfrei in der katalytischen Abgasnachbehandlung	8
3.4 Edelstahl Rostfrei in der Hochtemperatur-Brennstoffzelle	10
3.5 Edelstahl Rostfrei in der Gewinnung von elektrischer Energie aus der Sonne	11
3.5.1 Photovoltaik	11
3.5.2 Solarthermische Kraftwerke	12
3.6 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegewinnung aus der Sonne	12
3.7 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegewinnung aus oberflächennahem Grundwasser: Venturi-Edelstahl-Sonde	15
3.8 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegewinnung aus Abwasser	16
3.9 Edelstahl Rostfrei in Sonnenschutz-Systemen	16
3.10 Edelstahl Rostfrei zur Unterstützung der Wärmedämmung von Gebäudemauerwerk	17
3.11 Edelstahl Rostfrei in der Gewinnung von Biogas	18
3.12 Ausblick	19
4 Literatur	20

1 Edelstahl Rostfrei

1.1 Begriffe und Definitionen

Edelstahl Rostfrei ist ein Sammelbegriff für nichtrostende Stähle. Sie enthalten gemäß der in DIN EN 10088-1 [1] gegebenen Definition mindestens 10,5 % Chrom und weisen gegenüber unlegierten Stählen eine deutlich bessere Korrosionsbeständigkeit auf. Die nichtrostenden Stähle werden nach ihren wesentlichen Eigenschaften weiter unterteilt in korrosionsbeständige, hitzebeständige und warmfeste Stähle [1]. Zwar haben sich in speziellen Anwendungen der Umwelttechnik wie in den Trägergerüsten von Kfz-Abgaskatalysatoren nichtrostende hitzebeständige Werkstoffe sehr bewährt, doch finden vor allem die nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle in der Umwelttechnik eine sehr weite Verbreitung und vielfältigere Anwendung, so dass die nachfolgenden Ausführungen vor allem auf diese eingehen. Die zugehörigen technischen Lieferbedingungen sind für Blech und Band in DIN EN 10088-2 [2] enthalten, und für Langprodukte in DIN EN 10088-3 [3].

Bei den nichtrostenden korrosionsbeständigen Stählen führt das Legierungselement Chrom (Cr) zur Ausbildung einer sehr dünnen, aber fest haftenden und bei Verletzung auch selbst heilenden so genannten Passivschicht, die das darunter liegende Metall vor dem Angriff durch die umgebenden Medien schützt. Die traditionelle Namensgebung „nichtrostende Stähle“ hat ihren Ursprung darin, dass diese Werkstoffe bei Auslagerung an normaler Atmosphäre

nicht rosten. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sie beliebigen Medien ohne Korrosionserscheinungen ausgesetzt werden können. Mit einer Erhöhung des Chrom-Gehalts über den oben genannten Mindestgehalt hinaus und dem Hinzufügen von Legierungsbestandteilen wie z.B. Nickel (Ni) und Molybdän (Mo) kann die Korrosionsbeständigkeit in Anpassung an das jeweils umgebende Medium weiter verbessert werden. Durch ein Hinzulegen bestimmter anderer Elemente, wie z.B. Stickstoff (N), wird die Festigkeit ohne Beeinträchtigung der Duktilität erhöht. Zugleich erhöht Stickstoff auch die Beständigkeit gegenüber örtlichem Korrosionsangriff.

Daneben ist als herstellungsbedingte Beimengung immer etwas Kohlenstoff (C) vorhanden. Dieser kann insbesondere nach dem Schweißen zu interkristalliner Korrosion führen, sofern er nicht sehr niedrig gehalten oder durch die Zugabe von Titan (Ti) oder alternativ Niob (Nb) oder Zirkonium (Zr) abgebunden ist. Man bezeichnet diese Werkstoffe dann als stabilisiert. Umgekehrt dient Kohlenstoff jedoch auch als Legierungselement, um mittels einer Wärmebehandlung (Vergütung) eine besonders hohe Festigkeit zu erzielen [3].

1.2 Ferritische korrosionsbeständige Stähle

Der Werkstoff 1.4016 ist ein typischer ferritischer korrosionsbeständiger Chromstahl und als solcher in **Tabelle 1** genannt und in **Bild 1** und **Bild 2** aufgenommen. Wie **Tabelle 1** zu entnehmen ist, enthält er keine Zusätze stabilisierender Legierungselemente

und ist deshalb im geschweißten Zustand nicht beständig gegenüber interkristalliner Korrosion [2,3]. Für den Anlagenbau muss von solchen ferritischen Chromstählen ohne Zusätze stabilisierender Legierungselemente abgeraten werden. Dagegen findet die Gruppe der stabilisierten ferritischen Chromstähle mit im Mittel rd. 12 bis 18 % Chrom Anwendung für einfache Anlagenteile und wenig beanspruchte Apparaturen, sofern der vergleichsweise geringen Kaltumformbarkeit sowie der Notwendigkeit einer erhöhten Aufmerksamkeit beim Schweißen entsprochen werden kann.

Aus der großen Zahl der in DIN EN 10088-1 genannten stabilisierten ferritischen Chromstähle können in diesem Bericht in **Tabelle 1** nur beispielhaft einige wenige genannt werden. Man erkennt, dass die Chromgehalte der in **Tabelle 1** genannten Edelstähle im Mittel bei etwa 12 bzw. 18 % liegen, und dass der Edelstahl 1.4521 zusätzlich rund 2 % Molybdän enthält. Die vier Edelstähle sind ferner mit Titan bzw. Niob stabilisiert. Allerdings ist der Stahl 1.4512 trotz dieser Stabilisierung aufgrund seines geringen Chromgehalts nicht beständig gegenüber interkristalliner Korrosion [2,3].

Auf Grund seines zusätzlichen Molybdängehalts bei gleichzeitig angehobenem Chromgehalt hat der Edelstahl 1.4521 eine bessere Beständigkeit gegenüber Lokalkorrosion in chloridhaltigen Medien als die Edelstähle 1.4510 und 1.4511.

Ein besonderes Merkmal der ferritischen korrosionsbeständigen

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Hauptlegierungselemente in Masse-%			
			Cr	Mo	C max.	Titan/Niob
Ferrite	X6Cr17	1.4016	16,0-18,0		0,08	
	X2CrTi12	1.4512	10,5-12,5		0,03	Ti [6x(C+N)] bis 0,65
	X3CrTi17	1.4510	16,0-18,0		0,05	Ti [4x(C+N) + 0,15] bis 0,80
	X3CrNb17	1.4511	16,0-18,0		0,05	Nb[12xC] bis 1,00
	X2CrMoTi18-2	1.4521	17,0-20,0	1,8-2,5	0,025	Ti [4x(C+N) + 0,15] bis 0,80

Tabelle 1: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender ferritischer korrosionsbeständiger Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1 [1]

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	0,2 %-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²] min.	Zugfestigkeit Rm [N/mm ²] min.	Bruchdehnung A [%] min.
Ferrite	X6Cr17	1.4016	240	430	18
	X2CrTi12	1.4512	210	380	25
	X3CrTi17	1.4510	230	420	23
	X3CrNb17	1.4511	230	420	23
	X2CrMoTi18-2	1.4521	280	400	20

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften ausgewählter nichtrostender ferritischer korrosionsbeständiger Stähle für Blech und Band im geglühten Zustand bei Raumtemperatur gemäß EN 10088-2 [2]

Stähle ist, dass sie eine hohe Beständigkeit gegenüber chloridinduzierter transkristalliner Spannungsrisskorrosion zeigen [4]. Wie in den in **Tabelle 2** angegebenen Bruchdehnungswerten zum Ausdruck kommt, besitzen sie jedoch eine eingeschränkte Kaltumformbarkeit. Ihre Neigung zur Kaltsprödigkeit [4] ist insbesondere bei der Verarbeitung zu beachten. Auch das Schweißen erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit in Hinblick auf Schweißzusatz, Schweißverfahren und Wärmeeinbringung, um Risse zu vermeiden.

1.3 Austenitische korrosionsbeständige Stähle

Bei den nichtrostenden austenitischen korrosionsbeständigen Stählen nimmt die Gruppe der im deutschen Sprachgebrauch umgangssprachlich häufig als V2A bezeichneten Edelstähle mengenmäßig den bedeu-

tendsten Anteil ein, gefolgt von der Gruppe der umgangssprachlich als V4A bezeichneten Edelstähle. Für besondere Korrosionsansprüche gibt es daneben die Vielfalt der hoch legierten austenitischen Edelstähle.

Tabelle 3 zeigt eine Auswahl aus den als V2A und V4A bezeichneten nichtrostenden austenitischen Stählen. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich dabei nicht um genormte Bezeichnungen handelt. Die Zuordnung ist aber dann sinnvoll, wenn sie sich an die Einteilung in die nichtrostenden Stähle vom Typ 304 und 316 der international weithin gebräuchlichen US-amerikanischen Normung anlehnt. Man erkennt in **Tabelle 3**, dass es sich bei V2A um austenitische Edelstähle mit im Mittel 18 % Chrom und 10 % Nickel handelt, die im Fall von V4A zusätzlich noch 2 bis 3 % Molybdän enthalten. Die V4A-Stähle weisen eine bessere Beständigkeit gegenüber Lokalkor-

rosion in chloridhaltigen Medien auf als die V2A-Stähle. Als typische Vertreter sind traditionell die Edelstähle 1.4301 und 1.4571 in Deutschland heute am weitesten verbreitet und in vielerlei Produktformen verfügbar.

Die Vielfalt der in **Tabelle 3** genannten Werkstoffe darf allerdings nicht darüber hinweg täuschen, dass im Zuge der Globalisierung und einer vereinfachten Lagerhaltung ein Trend zur Verwendung ausschließlich der austenitischen korrosionsbeständigen Stähle 1.4307 und 1.4404 erfolgt, da diese sich mit den international üblicheren Typen der US-amerikanischen Normung AISI 304L und 316L am besten in Einklang bringen lassen. Beide Werkstoffe weisen Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion auch im sensibilisierten Zustand auf [2,3]. Für sehr hohe Korrosionsbeanspruchung gibt **Tabelle 4** eine Auswahl hoch legierter nichtrostender austenitischer korrosionsbeständiger Stähle.

Die wichtigen mechanischen Eigenschaften der nichtrostenden austenitischen Stähle verdeutlicht **Tabelle 5**. Die in den Bruchdehnungswerten zum Ausdruck kommende Kaltumformbarkeit der austenitischen korrosionsbeständigen Stähle ist in allen Fällen sehr viel besser als bei den ferritischen korrosionsbeständigen Stählen.

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Austenite (V2A)	X5CrNi18-10	1.4301	17,0-19,5	8,0-10,5		0,07	max. 0,10 N
	X2CrNi18-9	1.4307	17,5-19,5	8,0-10,5		0,03	max. 0,10 N
	X2CrNi19-11	1.4306	18,0-20,0	10,0-12,0		0,03	max. 0,10 N
	X6CrNiTi18-10	1.4541	17,0-19,0	9,0-12,0		0,08	Ti [5xC] bis 0,70
Austenite (V4A)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	0,07	max. 0,10 N
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	0,03	max. 0,10 N
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	0,08	Ti [5xC] bis 0,70
	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	17,0-19,0	12,5-15,0	2,5-3,0	0,03	max. 0,10 N

Tabelle 3: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender austenitischer korrosionsbeständiger Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1 [1]

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr. (Alloy)	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Hochlegierte Austenite	X2CrNiMoN17-13-5	1.4439 (317LN)	16,5-18,5	12,5-14,5	4,0-5,0	0,03	0,12-0,22 N
	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539 (904L)	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	0,02	1,2-2,0 Cu
	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547 (254SMO)	19,5-20,5	17,5-18,5	6,0-7,0	0,02	0,18-0,25 N 0,5-1,0 Cu
	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529 (926)	19,0-21,0	24,0-26,0	6,0-7,0	0,02	0,15-0,25 N 0,5-1,5 Cu
	X2CrNiMnMoNbN25-18-6-5	1.4565 (24)	23,0-26,0	16,0-19,0	4,0-5,0	0,03	5,0-7,0 Mn max. 0,15 Nb 0,3-0,6 N
	X1NiCrMoCu32-28-7	1.4562 (31)	26,0-28,0	30,0-32,0	6,0-7,0	0,015	0,15-0,25 N 1,0-1,4 Cu

Tabelle 4: Auswahl gebräuchlicher hoch legierter nichtrostender austenitischer korrosionsbeständiger Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß DIN EN 10088-1 [1] und SEW 400 [5]

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	0,2 %-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²] min.	Zugfestigkeit Rm [N/mm ²] min.	Bruchdehnung A [%] min.
Austenite (V2A)	X5CrNi18-10	1.4301	230	540	45
	X2CrNi18-9	1.4306	220	520	45
	X2CrNi19-11	1.4307	220	520	45
	X6CrNiTi18-10	1.4541	220	520	40
Austenite (V4A)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	240	530	40
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	240	530	40
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	240	540	40
	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	240	550	40

Tabelle 5: Mechanische Eigenschaften nichtrostender austenitischer Stähle für Blech und Band im lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur gemäß EN 10088-2 [2]

1.4 Austenitisch-ferritische korrosionsbeständige Stähle

Wenn in die Ferritphase eine Austenit-Phase eindispersiert wird, gelangt man zu den so genannten Duplexstählen. Die Duplexstähle lassen sich gemäß **Tabelle 6** in drei Gruppen einteilen. Bei den in **Tabelle 6** genannten Duplexstählen 1.4362 und 1.4462 liegen die Chromgehalte im Mittel bei 23 bzw. 22 %, bei 1.4662 bei 24 %, im Fall des Superduplexstahls 1.4410 sogar bei 25 %, wobei der Standard-Duplexstahl 1.4462 im Mittel zusätzlich 3 % Molybdän enthält. Duplexstähle mit niedrigeren Nickel- und Molybdän-Gehalten als der Standard-Duplexstahl werden als Lean-Duplexstähle bezeichnet. Die Duplexstähle sind ferner mit Stickstoff legiert.

Die Legierungselemente der nichtrostenden Duplexstähle sind so aufeinander abgestimmt, dass sich beim Lösungsglühen ein Austenit/Ferrit-Verhältnis von etwa 50:50 er-

gibt. Man hat also einen Austenit/Ferrit-Verbundwerkstoff mit einer Eigenschaftskombination dieser beiden Phasen. Das sind u.a. die hohe Beständigkeit der Ferrit-Phase gegenüber Spannungsrisskorrosion und die höhere Festigkeit der Ferritphase im Raumtemperaturbereich. Obwohl für die Mehrzahl der Anwendungen der hoch legierten Edelmetalle in der Umwelttechnik die Festigkeit kein primäres Kriterium ist - primäre Kriterien sind hier Bestimmungsgemäß die Korrosionsbeständigkeit und die Schweißbarkeit - gibt es doch Anwendungen, wo die höhere Festigkeit von Interesse ist, um damit u.a. Gewicht und auch Materialkosten zu sparen oder generell, um schlanker konstruieren zu können. Allerdings bedeutet im Fall der austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stähle die erhöhte Festigkeit auch wieder eine geringere Duktilität für die Kaltumformung, wie die in **Tabelle 7** angegebenen Werte für die Bruchdehnung im Vergleich zu den in **Tabelle 5** für die austenitischen korrosionsbeständigen Stähle ge-

machten Angaben verdeutlichen.

Wie vorstehend bereits erläutert, ist das Chrom der herausragende Legierungsbestandteil der Duplexstähle sowohl im Vergleich zu den ferritischen korrosionsbeständigen Stählen als auch im Vergleich zu den austenitischen korrosionsbeständigen Stählen. Der hohe Chromgehalt in Verbindung mit dem niedrigen Kohlenstoffgehalt bewirkt eine Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion auch im sensibilisierten Zustand [2,3]. Der ferritische Gefügeanteil bewirkt eine verhältnismäßig geringe Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion, kann andererseits aber eine Duktilitätsverminderung infolge der den hochlegierten Ferriten eigenen 475°-Versprödung und Kaltsprödigkeit [4] mit sich bringen.

Die Superduplexstähle 1.4410 und 1.4501 liegen mit ihrer Korrosionsbeständigkeit in der Nachbarschaft hoch legierter Austenite, was auch die Bezeichnung Superduplex verdeutlicht.

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Lean-Duplex	X2CrNi22-2	1.4062	21,5-24,0	1,0-2,9	0,45	0,03	0,16-0,28 N
	X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	21,0-22,0	1,35-1,90	0,10-0,80	0,04	4,0-6,0 Mn 0,20-0,25 N 0,10-0,80 Cu
	X2CrNiN23-4	1.4362	22,0-24,5	3,5-5,5	0,1-0,6	0,03	0,10-0,60 Cu 0,05-0,20 N
	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662	23,0-25,0	3,0-4,5	1,0-2,0	0,03	2,5-4,0 Mn 0,10-0,80 Cu 0,20-0,30 N
Standard- Duplex	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,03	0,10-0,22 N
Superduplex	X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,5	0,03	0,24-0,35 N
	X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,0	0,03	0,50-1,00 Cu 0,50-1,00 W 0,20-0,30 N

Tabelle 6: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender austenitisch-ferritischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1 [1]

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	0,2 %-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²] min.	Zugfestigkeit Rm [N/mm ²] min.	Bruchdehnung A [%] min.
Lean-Duplex	X2CrNi22-2	1.4062	450	650	30
	X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	450	650	30
	X2CrNiN23-4	1.4362	400	630	20
	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662	480	680	25
Standard- Duplex	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	460	640	25
Superduplex	X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	530	730	20
	X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	530	730	25

Tabelle 7: Mechanische Eigenschaften nichtrostender austenitisch-ferritischer Stähle für Blech und Band im lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur gemäß EN 10088-2 [2]

1.5 Martensitische und ausscheidungshärtbare korrosionsbeständige Stähle

Neben den vor allem auf Flacherzeugnisse und längsnahtgeschweißte Rohre abzielenden ferritischen, austenitischen und austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stählen sind auch die nichtrostenden martensitischen Stähle zu er-

wähnen, die als Langprodukte in der Umwelttechnik beispielsweise für Pumpenwellen, Spindeln, Ventile und Armaturen Verwendung finden. Neben ihrer Korrosionsbeständigkeit sind die Verschleißfestigkeit und die hohe Festigkeit im vergüteten Zustand maßgebend für ihre Anwendung. **Tabelle 8** gibt eine Auswahl nichtrostender martensitischer korrosionsbeständiger Stähle und **Tabelle 9** benennt deren mechanischen Eigenschaften im vergüteten Zustand.

Ihre Korrosionsbeständigkeit in Wässern orientiert sich gemäß der jeweiligen chemischen Zusammensetzung entsprechend an derjenigen der vorstehend genannten ferritischen korrosionsbeständigen Stähle.

Neben den martensitischen spielen die ausscheidungshärtbaren korrosionsbeständigen Stähle eine Rolle. Diese lassen sich durch eine Aushärtungsbehandlung auf hohe Festigkeitswerte bringen [3].

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Hauptlegierungselemente in Masse-%			
			Cr	Mo	C	Andere
Martensite	X20Cr13	1.4021	12,0-14,0		0,16-0,25	
	X17CrNi16-2	1.4057	15,0-17,0		0,12-0,22	1,5-2,5 Ni
	X39CrMo17-1	1.4122	15,5-17,5	0,8-1,3	0,33-0,45	≤ 1,0 Ni

Tabelle 8: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender martensitischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1 [1]

Stahlgruppe	Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Dicke t oder ø [mm]	Wärmebehandlungszustand	0,2 %-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²] min.	Zugfestigkeit Rm [N/mm ²] min.	Bruchdehnung A [%] min.
Martensite	X20Cr13	1.4021	≤ 160	+QT800	600	800	12
	X17CrNi16-2	1.4057	60 > t ≤ 160	+QT900	700	900	10
	X39CrMo17-1	1.4122	60 > t ≤ 160	+QT750	550	750	12

Tabelle 9: Mechanische Eigenschaften nichtrostender martensitischer Stähle für Langprodukte im vergüteten Zustand bei Raumtemperatur gemäß EN 10088-3 [3]

1.6 Übergreifende Aussagen zu den mechanischen Eigenschaften

Wie man den Tabellen 2 und 5 entnehmen kann, liegen die 0,2 %-Dehngrenzen der ferritischen und der austenitischen korrosionsbeständigen Stähle bei wenigstens 210 bis 240 N/mm² und damit eher im unteren Bereich der allgemeinen Baustähle [6]. Bemerkenswert ist aber die hohe Duktilität der nichtrostenden austenitischen Stähle, die gemäß Bild 1 [4] weit über derjenigen der allgemeinen Baustähle liegt und gemäß Tabelle 5 in der Bruchdehnung von wenigstens 40 % für die Stahlgruppen V2A und V4A ihren Ausdruck findet. Diese hohe Duktilität der austenitischen korrosionsbeständigen Stähle macht sie besonders verarbeitungsfreundlich.

Ferner muss auf die von Natur aus sehr hohen 0,2 %-Dehngrenzen der austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stähle aufmerksam gemacht werden, welche gemäß Tabelle 7 im lösungsgeglühten Zustand mit mindestens 400 N/mm² deutlich über derjenigen der allgemeinen Baustähle liegt.

Einige Angaben zur zulässigen Schwingbelastung verschiedener Stähle für unterschiedliche Beanspruchungsformen sind beispielhaft in Bild 2 wiedergegeben [6], u.a. für den häufig verwendeten austenitischen korrosionsbeständigen Stahl 1.4571. Technische Regeln für die Berechnung auf Wechselbeanspruchung geben die AD 2000-Merkblätter S 1 und S 2. Insbesondere ist in diesem Zusammenhang auf eine Konstruktion mit glatten Übergängen zu achten.

1.7 Nachhaltigkeit

Bei Edelstahl Rostfrei verfügt man über eine Vielzahl unterschiedlicher Sorten für mannigfache Anwendungen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass nichtrostende korrosionsbeständige Stähle bei anwendungsgerechter Auswahl und Verarbeitung in der Regel war-

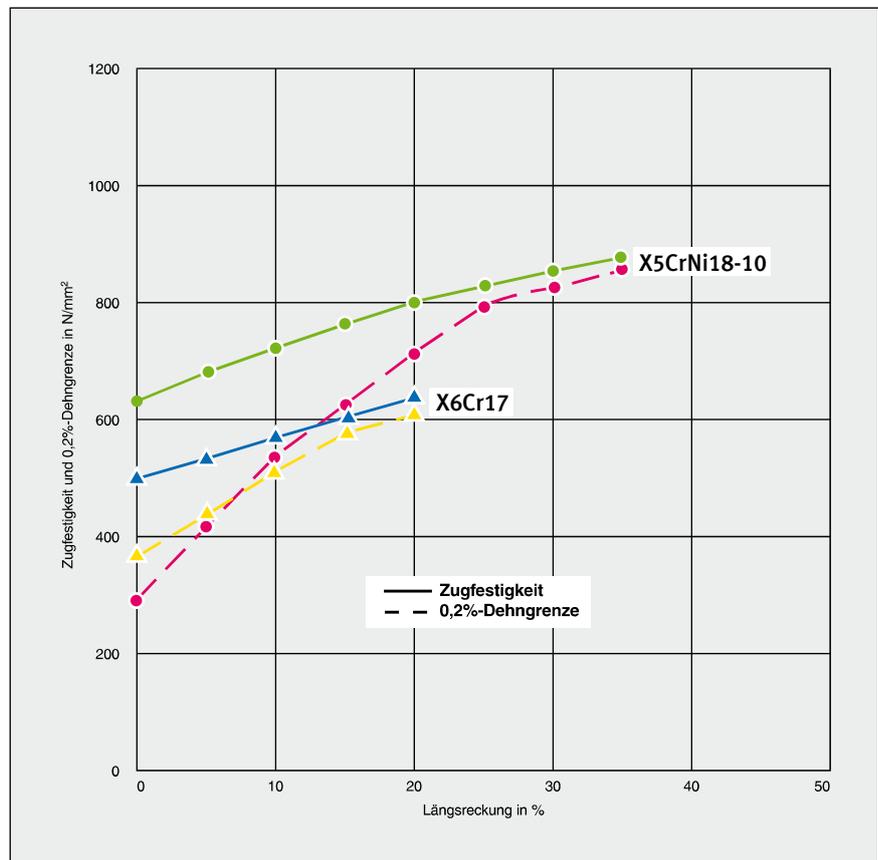


Bild 1: Verfestigungsverhalten von zwei nichtrostenden Stählen – Austenit X5CrNi18-10 (1.4301) im Vergleich zum Ferrit X6Cr17 (1.4016) [4]

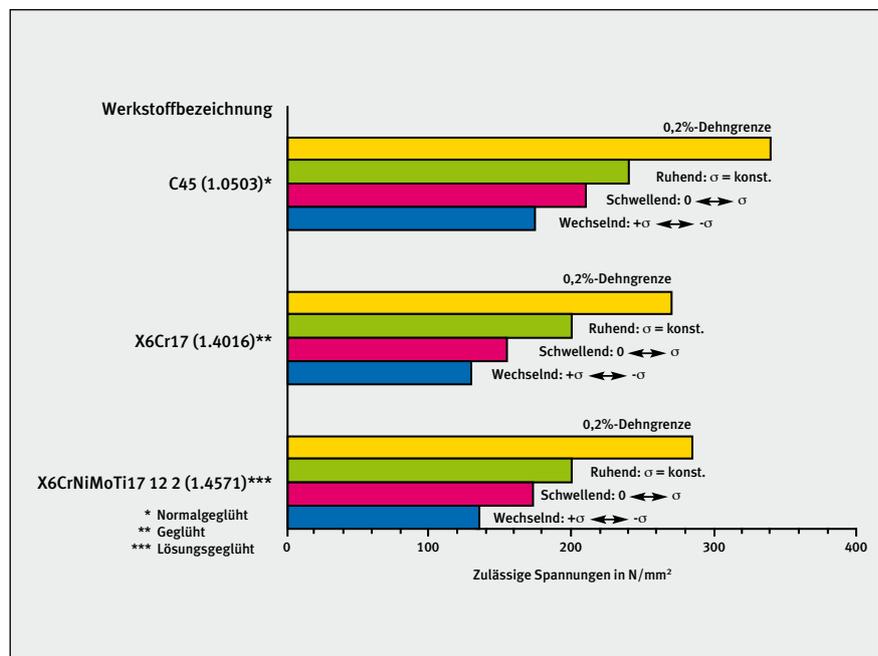


Bild 2: Zulässige Schwingbelastung nichtrostender Stähle im Vergleich zu unlegiertem Stahl, aus [6]

tungsarm und langlebig sind und sich zugleich in ihrer Wechselwirkung mit der Umwelt weitgehend inert verhalten. Sie sind zudem auch vollständig recyclingfähig. In

diesem Sinn ist Edelstahl Rostfrei in der Umwelttechnik ein nachhaltiger Werkstoff.

2 Umwelttechnik - Definitionen

Unter den Begriffen Umwelttechnik oder Umweltschutztechnik versteht man die technischen und technologischen Verfahren zum Schutz der Umwelt sowie zur Wiederherstellung bereits geschädigter Ökosysteme [7]. Gegenstand der Umwelttechnik sind insbesondere die Entsorgung (beispielsweise Abfallbeseitigung, Müllverbrennung, Abwasserreinigung), technische Maßnahmen zum Gewässer-, Boden-, Lärm- und Strahlenschutz, Verfahren zur Verminderung der Luftverschmutzung (beispielsweise Rauchgasentschwefelung, Abgasreinigung, Entstaubungsverfahren), Techniken für die effektive Nutzung erneuerbarer Energien (beispielsweise Sonnenenergie, Erdwärme, Biokraftstoffe). Daneben gibt es auch umwelttechnische Konzepte und Maßnahmen zur umweltschonenden Produktion, zum Energiesparen und zur Vermeidung und Verringerung von Emissionen und Abfällen [7].

3 Anwendungen von Edelstahl Rostfrei in der Umwelttechnik

3.1 Allgemeines

Wie aus Abschnitt 2 hervorgeht, ist die Umwelttechnik ein sehr vielfältiges Gebiet mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die dort eingesetzten Werkstoffe. Während in vielen Bereichen bei richtiger Auswahl die in dem einschlägigen Normenwerk [1,2,3,5] genannten Edelstahl-Rostfrei-Sorten Anwendung finden können, gibt es andere Bereiche, die eine den dort gegebenen speziellen Anforderungen angepasste Werkstoffentwicklung zur Voraussetzung haben. Zu den umfangreichen Themen „Edelstahl Rostfrei in der Wasserwirtschaft“ und „Edelstahl Rostfrei in der Handhabung und Behandlung von Abwasser“ liegen bereits eigenständige Schriften vor [8-10], so dass nachfolgend vorwiegend andere Themenbereiche in Auswahl behandelt

werden. Diese betreffen unter anderem die Verfahren zur Verminderung der Luftverschmutzung mit den Themengruppen Rauchgasreinigung von fossil befeuerten Kraftwerken und katalytische Nachbehandlung der Abgase von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren sowie Maßnahmen für die Nutzung erneuerbarer Energien und für die Energieeinsparung. Aus den Möglichkeiten und Erfahrungen mit der Anwendung von Edelstahl Rostfrei in diesen Bereichen lassen sich viele andere Anwendungsmöglichkeiten von nichtrostenden Stählen in der Umwelttechnik sinngemäß ableiten.

3.2 Edelstahl Rostfrei in der Rauchgasreinigung

Im Gesamtmarkt der Umwelttechnik nimmt die Luftreinhaltung eine herausragende Position ein [11]. Die Rauchgasreinigung von fossil befeuerten Kraftwerken mittels einer Rauchgaswäsche mit Kalksteinsuspension ist hierbei ein wichtiger Bereich zur Vermeidung des so genannten sauren Regens, wobei in großem Umfang mit metallischen Konstruktionswerkstoffen gearbeitet wird. Diese metallischen Konstruktionswerkstoffe sind höher legierte nichtrostende Stähle und Nickellegierungen. Es geht dabei um die Entfernung von Oxidationsprodukten des Schwefels sowie der begleitenden HCl-/HF-Gase aus dem Verbrennungsprozess organischer Materie (Steinkohle, Braunkohle, Öl) durch chemische Gaswäsche. Das Verfahren wird allgemein als Rauchgasentschwefelung, die dazu gehörigen Anlagen als Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA) bezeichnet. Dabei hat das so genannte Kalkwaschverfahren weltweit eine Verbreitung von über 90 % gefunden [11]. Nach der Passage des Elektrofilters wird das entstaubte Rohgas im Vorwäscher (Quencher) mit einer Waschsuspension besprüht, dadurch gekühlt und mit Wasserdampf gesättigt. Bei Anlagen mit Wärmeverschiebungssystemen wird das Rohgas schon vor dem Eintritt in den eigentlichen Wäscher durch einen sogenannten Reingasvorwärmer von etwa 200-300 °C (mit/ohne NO_x-Reduktion) auf teilweise unter 150 °C abgekühlt. Im Rauchgaswäscher werden der Gasstrom und der

Suspensionsumlauf so aufeinander eingestellt, dass die Suspension eine Temperatur von ca. 60 °C annimmt. Ein solcher Wäscher oder Absorber kann beispielsweise eine Höhe von 43,5 m und im unteren Wäscherboden einen Durchmesser von 23 m aufweisen [11].

Der pH-Wert wird zwischen 4,5 und 6 eingestellt. Im Wäscher wird Schwefeldioxid/Schwefeltrioxid (SO₂/SO₃) durch Kalksteinzugabe in Calciumsulfit (CaSO₃) umgewandelt und anschließend durch Luft oder Sauerstoffzugabe in das schwerlösliche CaSO₄ x 2 H₂O, d.h. in Gips, umgewandelt. Dieser schwerlösliche Gips fällt aus und begünstigt damit aufgrund des Massenwirkungsgesetzes die sehr hohe Abscheiderate von SO₂/SO₃ zu über 90 % [11].

Als Waschlösung wird eine Suspension aus gebranntem Kalk (CaO), Kalkhydrat (Ca(OH)₂) oder Kalkstein (CaCO₃) eingesetzt. Chemische Pufferreaktionen sorgen nach der Einführphase einer REA für einen konstanten pH-Wert im Absorber. Nebenreaktionen, die nach Eintritt in den Vorwäscher bzw. unteren Teil des integrierten Absorbers ablaufen, sind die fast 100 %ige Abscheidung von Chlorwasserstoff (HCl) und Fluorwasserstoff (HF), die bei chemischen Umsetzungen im Verbrennungsprozess erzeugt und vom Rauchgas mit eingeschleppt werden. Bei Gegenstromsystemen wird im oberen Bereich des Wäschers das Rauchgas erneut mit Waschsuspension besprüht, wobei durch Kalksteinüberschuss in der dann zugegebenen Suspension eine weitere Erhöhung des Entschwefelungsgrades erreicht wird. Durch die Pufferwirkung von Hydrogencarbonat wird eine pH-Wert-Verschiebung in Richtung pH ca. 6 erzielt. Die Hauptreaktion bei der Rauchgasentschwefelung besteht also in einer in schwach saurem Medium ablaufenden Umwandlung von Oxiden des Schwefels in reaktionsträge schwerlösliche Endprodukte (Gips). Die aus diesem Vorgang resultierende Werkstoffbeanspruchung ist im Prinzip unkritisch. Die Praxis zeigt aber, dass spezielle Zonen innerhalb der Gesamtanlage offenbar aufgrund von Nebenreaktionen bzw. Ungleichgewichten werkstoffseitig anfälliger

sind als andere. Hierzu tragen Effekte bei, die sich z.B. aus lokalen Temperaturschwankungen, Taupunktunterschreitungen, aus katalytisch wirkenden Oberflächenzuständen und aus der Tendenz zur Bildung von Anbackungen und Aufkonzentrierungen einzelner schädlicher Ionen ergeben.

In der Frühphase der Auslegung von Rauchgasreinigungsanlagen, meist hinter Steinkohlekraftwerken, wurden basierend auf den Erfahrungen in den USA die Werkstoffe X2CrNiMoN17-13-3 (1.4429), X2CrNiMoN17-13-5 (1.4439) und X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539) in großem Umfang eingesetzt. Diese drei Werkstoffe erwiesen sich jedoch bei normalem REA-Einsatz als korrosionsgefährdet [11] und kommen heute in Rauchgasentschwefelungsanlagen nur noch vereinzelt zur Verwendung. Einen verstärkten Eingang in schwach bis mittelstark belastete Zonen von REA-Absorbern haben die Werkstoffe X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529) – alloy 926, X2CrNiMnMoNbN25-18-6-5 (1.4565) – alloy 24 und X1NiCrMoCu32-28-7 (1.4562) – alloy 31 gefunden. Neben hohen Nickelgehalten enthalten diese Werkstoffe gemäß **Tabelle 4** deutlich höhere Molybdängehalte als die einfachen nichtrostenden Stähle. Die hohen Chromgehalte sichern gemeinsam mit Molybdän die hervorragende Beständigkeit. Reicht die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle nicht aus, finden Nickellegierungen wie NiCr23Mo9Nb (2.4856) – alloy 625, NiMo16Cr15W (2.4819) – alloy C-276 und NiCr23Mo16Al (2.4605) – alloy 59 Anwendungen [12].

Der Werkstoffeinsatz erfordert hier grundsätzlich die Beständigkeit gegen schwefelsaure Medien unter dem Einfluss der in diesen enthaltenen REA-typischen Schwermetall- und Halogenid-Ionen. Grob zusammenfassend kann man sagen, dass das Verhalten der hier zur Sprache kommenden passivierbaren Werkstoffe in REA-typische Medien von der Stärke der gebildeten Säuremischung Schwefel-/Salzsäure, dem Gehalt an Halogeniden und der Wertigkeit und Menge der gelösten Oxidationsmittel, wie z.B. Schwermetall-Ionen und/oder Luftsauerstoff, bestimmt wird [11]. Spaltbedingungen führen zur

Ausbildung von Lokalelementen. Diese auf komplexen elektrochemischen Reaktionen beruhenden Vorgänge müssen bei der Wahl der Werkstoffe für hochbelastete REA-Anlagenkomponenten beachtet werden. Sie lassen sich standortbezogen aus der Brennstoff- bzw. Rohgas-Zusammensetzung, dem Temperaturverlauf und den Verfahrensprinzipien der Entschwefelungsanlage herleiten.

Die Summe aller Erfahrungen bezüglich der ungefähren Einsatzgrenzen von hochlegierten nichtrostenden korrosionsbeständigen Stählen und Nickellegierungen für die Rauchgasentschwefelung ist in [11] wiedergegeben. Grob vereinfachend kann man sagen, dass mit abnehmendem pH-Wert und zunehmender Halogenid-

Konzentration die Werkstoffe immer höher legiert sein müssen.

Diese Aussage darf jedoch nicht zur alleinigen Entscheidungsfindung bei der Auslegung von REA-Komponenten herangezogen werden. Sie gibt nur einen kleinen Ausschnitt der real vorkommenden Belastungsbedingungen wieder und dient lediglich der Orientierung für das notwendige Gespräch zwischen dem Betreiber von Kraftwerk und Rauchgasentschwefelungsanlage, dem Engineering, dem Apparatebauer und dem Halbzeug-Hersteller. Die weniger hoch legierten nichtrostenden Stähle, z.B. solche vom Typ 1.4539 sind nur bei sehr milden Bedingungen, niedrigen Temperaturen und, wenn Aufkonzentrationen unter Anba-



Bild 3: Fertigung von Sprühdüsen aus dem hochlegierten nichtrostenden korrosionsbeständigen Stahl X1NiCrMoCu32-28-7 (1.4562) für den Rauchgaswäscher eines Kraftwerks im slowenischen Sostanj (Foto: Heinz Gothe GmbH & Co. KG, Mönchengladbach)



Bild 4: Umwälzleitungen aus dem hochlegierten nichtrostenden korrosionsbeständigen Stahl X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529) eines Kraftwerks im niederrheinischen Braunkohlenrevier (Foto: Heinz Gothe GmbH & Co. KG, Mönchengladbach)

ckungen oder Ablagerungen sicher ausgeschlossen werden können, im Bereich der REA-Absorber einsetzbar, d.h. im neutralen bis schwach sauren Bereich, wenn man die Chloridionen-Konzentration $\ll 0,5\%$ einstellt [11]. Der Arbeitsbereich der 6% Mo-Stähle X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529) – alloy 926 und X1NiCrMoCu32-28-7 (1.4562) – alloy 31 beginnt in schwach sauren und reicht bis zu stark sauren Lösungen bei mittleren Chloridionen-Belastungen.

Bild 3 zeigt die Fertigung von Sprühlanzen aus dem hochlegierten nichtrostenden korrosionsbeständigen Stahl X1NiCrMoCu32-28-7 (1.4562) [13] für den Rauchgaswäscher eines Kraftwerks im slowenischen Sostanj, **Bild 4** Teile der Umwälzleitungen aus dem hochlegierten nichtrostenden korrosionsbeständigen Stahl X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529) eines Kraftwerks im niederrheinischen Braunkohlenrevier.

Nickellegierungen finden in der Regel ihren Einsatz bei Chlorid-Konzentrationen > 30.000 ppm und sauren bis sehr stark sauren Bedingungen so-

wie bei zu erwartenden Temperaturerhöhungen deutlich über 70 °C hinaus. Bei Temperaturen über 100 °C , bei hohen Chloridfrachten im Rauchgas und bei starken Anbackungen durch Staub oder Gipsablagerungen haben sich lediglich die beiden hochlegierten so genannten C-Legierungen NiMo16Cr15W (2.4819) - alloy C-276 und NiCr23Mo16Al (2.4605) – alloy 59 als dauerhaft beständig herausgestellt. Doch selbst bei diesen relativ ähnlichen Werkstoffen zeigen sich in der Praxis starke Unterschiede in der Beständigkeit gegenüber den aggressivsten REA-Bedingungen. So haben unzählige Referenzanlagen in den letzten 20 Jahren gezeigt, dass NiCr23Mo16Al (2.4605) – alloy 59 in den am stärksten korrosionsgefährdeten Bereichen wie z.B. im Rohgaseintritt einer Braunkohle-REA als einziger Werkstoff auch nach langjährigem Betrieb noch unbeschadet im Einsatz ist und einen sicheren Betrieb der Anlage für die gesamte Lebensdauer gewährleisten kann [11].

Bei dieser vereinfachten Darstellung der Anwendungsbereiche der unterschiedlichen hochlegierten

nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle und Nickellegierungen in Rauchgasentschwefelungsanlagen ist zu beachten, dass die tatsächliche Werkstoffspezifikation nur projektbezogen gemeinsam mit dem Werkstoff-Hersteller, dem Apparatebauer, dem Engineering und dem Anlagenbetreiber möglich ist. Hierbei ist eine Vielzahl weiterer Parameter wie Verfahren, Brennstoffe, Anlagenfahrweise, Betriebstemperaturen, Größe und Häufigkeit der Abweichungen vom Gleichgewichtszustand, Feststoff-Anteil, Anbackungen, Bauart und Geometrie der Komponenten zu berücksichtigen [11].

3.3 Edelfrostfrei in der katalytischen Nachbehandlung von Abgasen

Die katalytische Nachbehandlung der Abgase von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren dient der chemischen Umwandlung sowohl nicht verbrannter Kohlenwasserstoffe als auch von Kohlenstoffmonoxid und von Stickoxiden in die ungiftigen Stoffe Kohlenstoffdioxid, Wasser und Stickstoff



Bild 5: Elektrisch beheizbarer Katalysator zur Nachbehandlung von Abgasen (Foto: Emitec Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH, Lohmar)



Bild 6: Metallische Katalysatorträger in vielfältiger Gestaltungsmöglichkeit (Foto: Emitec Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH, Lohmar)

durch Oxidation oder Reduktion [14]. Im Gegensatz zur Rauchgasreinigung werden hier keine Verbrennungsschadstoffe ausgewaschen, sondern solche Schadstoffe werden katalytisch in ungiftige Stoffe umgewandelt. Die wesentlichen Teile eines katalytischen Automobil-Abgaskonverters sind ein Trägergerüst, eine auf diesem Trägergerüst aufliegender so genannter Wash-coat aus porösem Aluminiumoxid, welcher dem Trägergerüst eine vergrößerte Oberfläche verleiht, und der Katalysator selbst (Platin, Rhodium), der in sehr feiner Verteilung auf dem Wash-coat liegt. Das System wird komplettiert durch eine äußere Hülle mit Ein- und Auslassrohr, Adaptern, Flanschen und Halterungen aus Edelstahl rostfrei wie er für Auspuffanlagen Verwendung findet, beispielsweise X3CrTi17 (1.4510). Das Trägergerüst ist heute in den meisten Fällen entweder ein stranggepresster keramischer Monolith oder ein aus zusammengewickelten und durch Hochtemperaturlöten miteinander verbundenen Wellbändern von beispielsweise 30 bis 80 μm Dicke erstellter bienenwabenförmiger Körper mit einer Vielzahl durchgängiger Kanäle. Die Vorteile derartiger metallischer Strukturen im Vergleich zu den mit ihnen im Wettbewerb stehenden keramischen Werkstoffen sind: schnelle Erwärmung aufgrund geringer Wärmekapazität, hohe statische und dynamische Festigkeit, hohe Festigkeit gegenüber thermischer Wechselbeanspruchung, große Oberfläche, geringer Druckabfall, schnelle Wärmeabfuhr aufgrund metallischer Wärmeleitfähigkeit, mäßiger Raumbedarf und einfaches Einbauen [14].

Kriterium der hitzebeständigen metallischen Werkstoffe für Katalysator-Trägergerüste ist eine ausreichende Beständigkeit gegenüber dem Angriff heißer Abgase bei Temperaturen bis zu 1100 $^{\circ}\text{C}$ oder darüber bei zugleich möglichst geringen Kosten. Hierfür haben sich nichtrostende ferritische hitzebeständige Stähle als brauchbar erwiesen [14]. Deren Aluminiumgehalt muss hoch genug sein, um die Ausbildung einer schützenden Aluminiumoxid-Deckschicht auf der Oberfläche zu ermöglichen. Bei Aluminiumgehalten von etwa 4 % und darüber und bei Temperaturen unter-

halb von 1000 °C entstehen Eisen-Chrom-Aluminium-Mischoxide. In dem Maß, wie die Temperatur gegen etwa 1000 °C geht oder diese Grenze übersteigt, wird jedoch zunehmend Aluminiumoxid gebildet. Mit derartigen Aluminiumoxid-Deckschichten sind die Legierungen sehr beständig gegenüber dem Angriff oxidierender Gasatmosphären, vorausgesetzt, dass die Aluminiumoxidschichten stets fest auf der Oberfläche haften bleiben. DIN 17470 [15] gibt die Grundzusammensetzung für einige dieser Werkstoffe wieder. Nicht angegeben sind dort die über die Grundlegierungselemente Eisen, Chrom und Aluminium hinausgehenden weiteren Legierungsbestandteile, die im Fall von Kohlenstoff, Mangan und Silizium erschmelzungsbedingt sind, die aber in geringer Dosierung auch gezielt zugesetzt werden, um auf diese Weise die Haftung der schützenden Aluminiumoxidschicht auf der Oberfläche zu verbessern und damit die Lebensdauer der Hochtemperatur-Komponenten entscheidend zu verlängern [16]. Ein vielfach bewährter derartiger Werkstoff kann als modifizierter nichtrostender ferritischer hitzebeständiger Stahl X8CrAl20-5 (1.4767) gesehen werden, der 19,0-22,0 Masse-% Cr, 5,5-6,5 Masse-% Al, bis zu 0,07 Masse-% Zr, bis zu 0,10 Masse-% Y, und bis zu 0,10 Masse-% Hf enthält [17].

Bild 5 vermittelt einen Eindruck vom Aufbau eines elektrisch beheizbaren gewickelten metallischen Katalysators zur Nachbehandlung von Abgasen. Aufgrund der vielfältigen Formgebungsmöglichkeiten von dünnen Metallfolien erlauben die metallischen Katalysatorträger aber eine über die einfache Wickelstruktur hinausgehende Gestaltung, wie **Bild 6** deutlich macht. Diese Freiheit in der Gestaltung erlaubt auch eine weitgehende Beeinflussung der Strömungsverhältnisse, so dass Strukturen mit beispielsweise radialen Strömungsanteilen oder Strukturen mit verkürzten Diffusionswegen möglich werden [18,19].

3.4 Edelstahl Rostfrei in der Hochtemperatur-Brennstoffzelle

Brennstoffzellen wandeln chemische Energie direkt in elektrische Energie um und liefern bei Betrieb mit Wasserstoff emissionsfrei Strom für stationäre und mobile Anwendungen. Unter den verschiedenen Brennstoffzellentypen hat die Festoxid-Brennstoffzelle – eine Variante der Hochtemperatur-Brennstoffzellen – große Bedeutung. Sie besitzt einen hohen elektrischen Wirkungsgrad und ist aufgrund der einfachen Brennstoffaufbereitung nicht nur für den Betrieb mit Wasserstoff, sondern auch mit Erdgas, Synthesegas oder Dieselkraftstoff geeignet.

In einer solchen Zelle reagiert der Brennstoff ohne Verbrennungsprozess mit dem Sauerstoff, indem Sauerstoff-Ionen durch eine keramische Elektrolyt-Membran hindurch wandern. Über einen elektrischen Leiter kommt es zum Austausch von Elektronen, die Brennstoffzelle

wird zur Stromquelle. Für die erforderliche Spannung werden mehrere Zellen in Reihe geschaltet und mit dünnwandigen elektrisch leitfähigen Zwischenplatten aus Stahl, den Interkonnektoren, zu so genannten Stacks verbunden. **Bild 7** macht einen solchen Aufbau beispielhaft deutlich [20,21]. Die Interkonnektoren enthalten die Zuleitungschanäle für den Brennstoff der einen und den Sauerstoff der benachbarten Zelle und stabilisieren das Gesamtsystem.

Arbeitstemperaturen zwischen 700 und 900 °C stellen hohe Anforderungen an den eingesetzten Stahl. Dazu zählen hohe elektrische Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit sowie gute Hochtemperaturfestigkeit, um die Dicke der Interkonnektoren möglichst gering zu halten. Zudem muss der Stahl ein ähnliches Wärmeausdehnungsverhalten wie die in den Zellen eingesetzten keramischen Werkstoffe aufweisen, sich wirtschaftlich herstellen und gut umformen lassen.

Das Institut für Energie- und Klima-

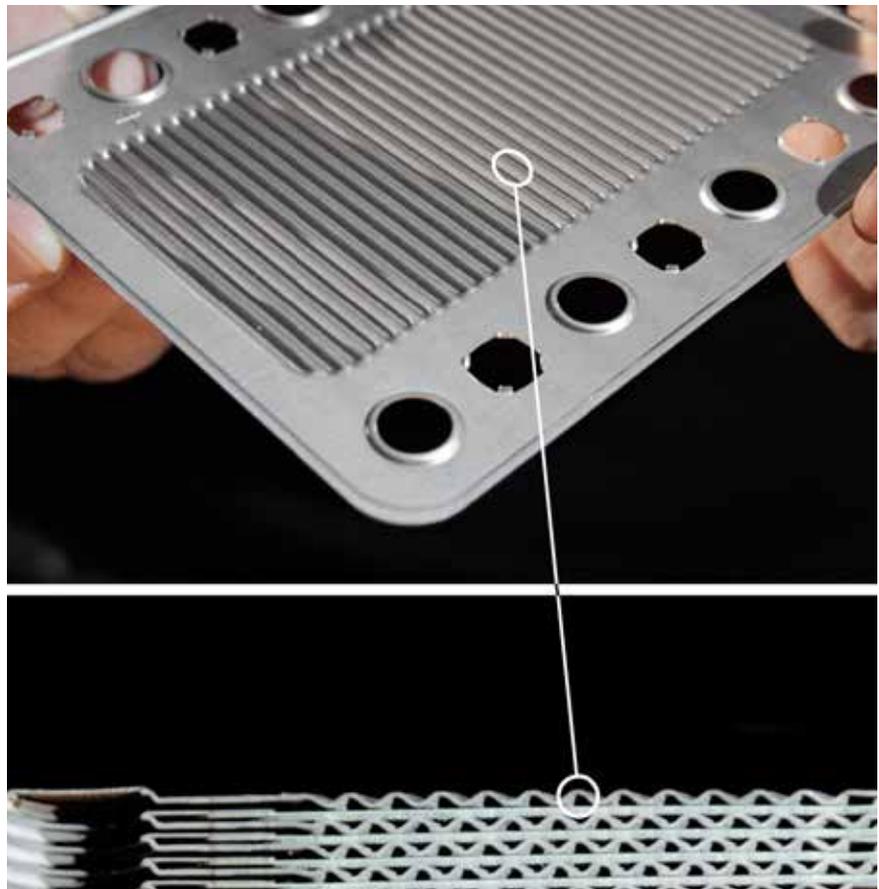


Bild 7: Interkonnektorplatten aus dem nichtrostenden ferritischen hitzebeständigen Stahl Crofer® 22 H für Hochtemperatur-Brennstoffzellen [20,21] (Foto: Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich)

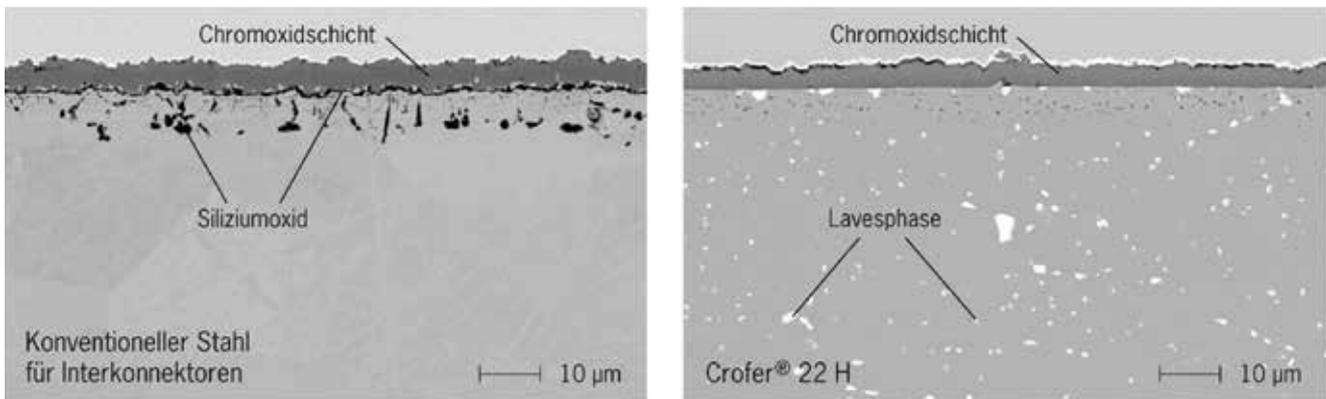


Bild 8: Metallographisches Gefügebild einer Interkonnektorplatte im Querschliff aus konventionellem Stahl für Interkonnektoren und aus Crofer® 22 H mit oben aufliegender Chromoxidschicht [20,21] (Foto: Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich)

forschung des Forschungszentrums Jülich hat in Kooperation mit einem Hersteller von Hochleistungswerkstoffen eine neue Stahlsorte entwickelt, die diese Kombination von Eigenschaften in besonderer Weise erfüllt. Der ferritische Edelstahl Crofer® 22 H enthält neben dem Hauptlegierungselement Chrom und geringen Anteilen an Titan und Lanthan ein exakt abgestimmtes Verhältnis von Niob, Wolfram und Silizium.

Diese drei Elemente bilden eine spezielle intermetallische Phase, die so genannte Lavesphase, die durch ihre sehr feine Verteilung eine deutliche Steigerung der Hochtemperaturfestigkeit bewirkt. **Bild 8** zeigt beispielhaft das metallographische Gefüge dieses Werkstoffs im Querschliff [20,21].

Die Besonderheit besteht darin, dass das Silizium in einem genau spezifizierten, vom Niob-Anteil abhängigen Konzentrationsbereich nahezu vollständig in der Lavesphase gelöst wird. Die bei konventionellen Werkstoffen auftretende innere Oxidation des Siliziums wird vollständig unterdrückt. Durch den Siliziumanteil kann der neue Stahl zudem auf wirtschaftliche Weise erschmolzen werden.

Die Entwicklung von Crofer® 22 H schafft mit deutlich reduzierten Herstellkosten bei gleichzeitig verbesserten Eigenschaften eine wesentliche Voraussetzung für die Einführung der klimaschonenden Festoxid-Brennstoffzellentechnologie. Darüber hinaus ist der Einsatz dieses oder weiterer neuer Stähle, die auf ähnlichen Werkstoffkonzepten basieren, auch in Abgasanlagen

oder in der Kraftwerkstechnik denkbar [20,21].

3.5 Edelstahl Rostfrei in der Gewinnung von elektrischer Energie aus der Sonne

3.5.1 Photovoltaik

Die nahezu unerschöpfliche Lichtenergie der Sonne kann mit Hilfe der Photovoltaik direkt in elektrische Energie umgesetzt werden [22]. Mit Hilfe des photovoltaischen Effekts in Halbleitermaterialien kann eine photovoltaische Stromerzeugung aufgebaut werden. Dazu dienen Solarzellen. Das sind Photoelemente, deren Eigenschaften speziell auf das elektromagnetische Spektrum der Sonne abgestimmt sind. Flexible Solarzellen, beispielsweise solche auf der Basis von amor-

phem Silizium, können auf flexible Unterlagen aus Edelstahl-Rostfrei-Flachprodukten sehr geringer Dicke aufgebracht werden. Diese werden sodann als Module zu Bestandteilen von Metalldächern aus Edelstahl Rostfrei [23,24,25], beispielsweise der Sorte 1.4510 oder bei stärkerer korrosiver Beanspruchung beispielsweise der Sorte 1.4401, meist mit walzblanker Oberfläche gemacht [23]. Dacheindeckungen aus Edelstahl Rostfrei eignen sich hierzu besonders, weil sie beliebige Neigungswinkel erlauben [26]. Da die amorphen Solarzellen wasserdicht sind, können die elektrischen Anschlüsse durch die Gebäudehülle aus Edelstahl Rostfrei hindurch ins Innere des Gebäudes geführt werden.

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle aus amorphem Silizium liegt bei etwa 6 %. Es sind damit etwa 15 m²



Bild 9: Amorphe Solarzellen lassen sich in idealer Weise auf Dachoberflächen aus Edelstahl Rostfrei verlegen [26]



Bild 10: Dächer mit Solarzellenpaneelen, welche mittels Befestigungselementen aus Edelstahl Rostfrei gehalten werden [26]



Bild 11: Befestigungselement aus Edelstahl Rostfrei als Halterung für Solarzellenpaneele auf Gebäudedächern [26]

erforderlich, um im Fall von Sonnenschein 1 kW elektrischer Energie zur Verfügung zu stellen. Das hat einen entsprechend großen Flächenbedarf zur Folge, wie **Bild 9** beispielhaft deutlich macht [26].

Gelangen Solarmodule auf der Basis von kristallinem Silizium zur Anwendung, werden diese in Form starrer Platten oder sogenannter Paneele in gebäudegeeigneter Größe auf den Gebäuden, das heißt in der Regel auf deren Dächern montiert. **Bild 10** zeigt, wie solches dann aussehen kann [26]. Es sind hierfür robuste und wetterbeständige Befestigungselemente, beispielsweise gemäß **Bild 11** erforderlich, für die

Edelstahl Rostfrei sich als hervorragend geeigneter Werkstoff anbietet [26].

3.5.2 Solarthermische Kraftwerke

Zur Umwandlung der Sonnenenergie in elektrische Energie ist nicht nur der direkte Weg der Photovoltaik denkbar, sondern auch der indirekte Weg über die Gewinnung von Wärme und deren anschließende Umwandlung in elektrische Energie [22]. In Kraftwerken auf Basis von Hochtemperatur-Solarthermie wird die Sonnenstrahlung optisch konzentriert. Damit werden die für den Kraftwerksprozess benötigten sehr hohen Temperaturen ermöglicht. Die

se Hochtemperaturwärme kann auch zwischengespeichert werden. Das gemeinsame Grundprinzip solarthermischer Kraftwerke ist die Nutzung konzentrierender parabolischer Spiegelsysteme. Diese müssen der Sonne nachgeführt werden. Sie lassen sich in großflächigen so genannten Solarfeldern anordnen. In diesen wird die Sonnenstrahlung auf einen Empfänger gebündelt. Die Wärmeenergie kann dann wie in einem konventionellen Kraftwerk über Dampf- oder Gasturbinen zu Strom umgewandelt oder ggf. auch andersartig genutzt werden. Für bestehende Parabolrinnenkraftwerke wird als Wärmeträger zirkulierendes Thermoöl genannt, das die Wärme abführt und in einem Wärmetauscher Wasserdampf mit einer Temperatur von etwa 390 °C erzeugt, der damit eine Dampfturbine und einen Generator zur Stromerzeugung antreibt [22].

Als Wärmeträger, die höhere Temperaturen erlauben als Thermoöl, sind Salzschnmelzen denkbar. Eine hierfür errichtete Demonstrationsanlage [27] sieht vor, die einstrahlende Sonnenenergie mittels Parabolspiegeln auf ein Empfängerrohr aus dem nichtrostenden Stahl 1.4541 zu konzentrieren und auf diese Weise eine dieses Empfängerrohr durchströmende Natriumnitrat/Kaliumnitrat-Salzschnmelze von 290 auf 550 °C zu erhitzen. Hierfür sind 6 lineare Parabolspiegel von etwa 100 m Länge und zwei zylindrische Zwischenspeicher vorhanden. Auch diese Zwischenspeicher sind unter Verwendung des nichtrostenden Stahls 1.4541 erstellt. Die in der Salzschnmelze gespeicherte Energie wird sodann über Dampferzeuger, Turbine und Generator in elektrische Energie umgewandelt [27].

3.6 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegewinnung aus der Sonne

Thermosolare Systeme erzeugen Warmwasser. Sie stellen die am meisten verbreitete Nutzung der Sonnenenergie dar [22,26]. Der Anwendungsbereich der Solarthermie reicht von der einfachen Trinkwassererwärmung in Ein- und Zweifamilienhäusern, über Kombianlagen, die auch zur Gebäudeheizung eingesetzt

werden, bis hin zu solarthermischen Kühlanlagen und Prozesswärmeanlagen [22]. Selbst in den gemäßigten Klimazonen oder in kühleren Jahreszeiten sind sie in der Lage, den größten Teil des Warmwasserbedarfs eines Gebäudes zu decken. Bei einem Thermosiphonsystem wird das Wasser durch die Sonneneinstrahlung auf geschwärzte Kollektorplatten, auf die ein Wasserleitungssystem in engem Kontakt aufgebracht ist, erwärmt und steigt aufgrund der sich bei der Erwärmung verringernden Dichte nach oben in einen darüber befindlichen Sammelbehälter auf. Das sich in diesem befindende kühlere Wasser sinkt in gleichem Ausmaß durch das Wasserleitungssystem nach unten in den Bereich der geschwärzten Kollektorplatte. Es entsteht ein natürlicher Kreislauf, der Schritt für Schritt das gesamte im Sammelbehälter befindliche Wasser erhitzt. Wie in Bild 12 zu erkennen, sind die Kollektorplatten mit Glasscheiben abgedeckt, die für einen die Erwärmung verstärkenden Treibhauseffekt in den Kollektorplatten sorgen.

Der Sammelbehälter besteht aus der sichtbaren äußeren Umhüllung, dem innen liegenden eigentlichen Sammelgefäß und einer dazwischen eingebrachten thermischen Isolierung. Das innen liegende Sammelgefäß ist in dauerhafter Verbindung mit der Warmwasserversorgung des Gebäudes, die Trinkwasserqualität haben muss. Edelstahl Rostfrei in den für die Trinkwasserinstallation bewährten Sorten [28] bietet sich deshalb als optimale Werkstoffwahl an. Für die Wahl der für die äußere in Frage kommenden Edelstahl-Rostfrei-Sorte ist hingegen die Qualität der umgebenden Atmosphäre zu berücksichtigen [29].

In Regionen der Erde, die jahreszeitlichen Frostperioden ausgesetzt sind, ist das vorstehend beschriebene direkte thermosolare Wärmege-
winnungssystem nicht möglich. Hier muss ein primärer in sich geschlossener Wärmemittelkreislauf der Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden, bei dem das Wasser in hinreichendem Ausmaß mit einem Frostschutzmittel versetzt ist [26]. Über einen im Inneren des Gebäudes befindlichen Wärmetauscher wird dann die ther-



Bild 12: Solarkollektor für die Warmwassererzeugung auf einem Gebäudedach mit drei Kollektorplatten und einem Warmwasser-Sammelbehälter [26]

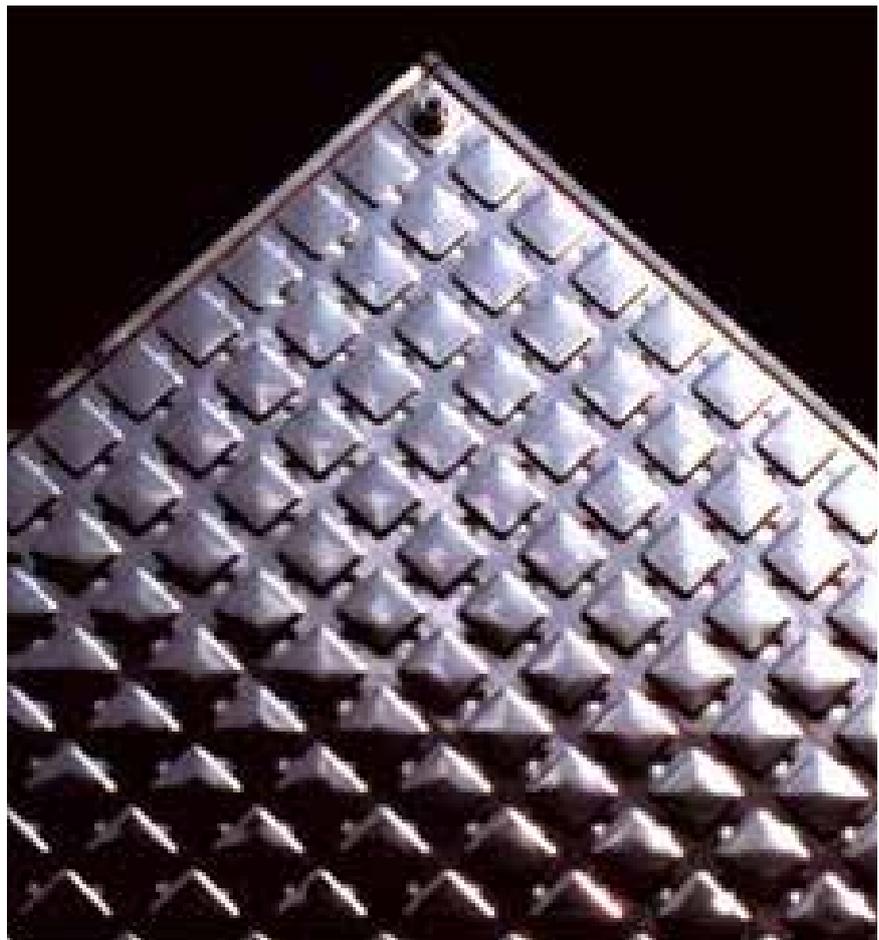


Bild 13: Doppelwandiger waffelartig geformter Solarkollektor, hergestellt aus schwarz verchromtem Edelstahl Rostfrei von 0,6 mm Wanddicke. Zwei äußere Schalen sind zwischen den quadratischen Auswölbungen miteinander punktverschweißt und dabei mit ihren Erhebungen und Vertiefungen so zueinander verschoben, dass die solar zu erwärmende Flüssigkeit die auf diese Weise geschaffenen Hohlräume durchfließen kann. Am Rand sind beide Schalen miteinander verschweißt. Dieser Solarkollektor ist gedacht als Paneel sowohl für das Dach als auch für geeignete Seitenwände [26]



Bild 14: Doppelwandiger waffelartig geformter Solarkollektor als Paneelen an einer Gebäude-Außenwand, hergestellt aus schwarz verchromtem Edelstahl Rostfrei gemäß Bild 13 [26]

mosolare Energie an die Warmwasserversorgung des Gebäudes transferiert. Ein solches indirektes System kommt üblicherweise in Regionen mit starken jahreszeitlichen Klimaschwankungen zur Anwendung. Die Erfahrung zeigt, dass in gemäßigten Klimazonen das wirtschaftliche Optimum dann erreicht ist, wenn 60 % des jährlichen Wärmebedarfs auf thermosolarem Weg gewonnen werden, und 40 % aus anderen Quellen kommen [26].

Anstelle der geschwärzten Kollektorplatten mit einem in gut wärmeleitendem Kontakt stehenden Wasserleitungssystem kann auch ein geschwärzter kissenartig profilierter doppelwandiger Kollektor aus Edelstahl rostfrei Anwendung finden, der unmittelbar von dem zu erwärmenden Wasser durchflossen wird. Die Profilierung sorgt für die erforderliche mechanische Stabilität des Kollektors, der infolge der bei nur 0,6 mm dicken Wandungen die Sonnenwärme unmittelbar an das innen durchfließende Wasser überführt. Auch hier werden die Edelstahl-Rostfrei-Kollektorplatten mit Glas abgedeckt, um den daraus resultierenden verstärkenden Treibhauseffekt zu nutzen [26].

Bild 13 und **Bild 14** zeigen Solarkollektoren aus Edelstahl Rostfrei, die in Form von schwarz verchromten Paneelen ohne Verglasung als Dach- und Wandelemente gedacht sind [26].

Schließlich sei erwähnt, dass Edelstahl Rostfrei aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit auch der ideale Werkstoff für die Rahmen und für die tragenden Konstruktionen der Sonnenkollektor-Paneele ist [26].

3.7 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegegewinnung aus oberflächennahem Grundwasser: Venturi-Edelstahl-Sonde

Erneuerbare Energien effizient einzusetzen, gehört zu den großen Herausforderungen unserer Zeit. Die Wärmeenergie der Sonne steht in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung. Eine Möglichkeit, die Sonnenenergie

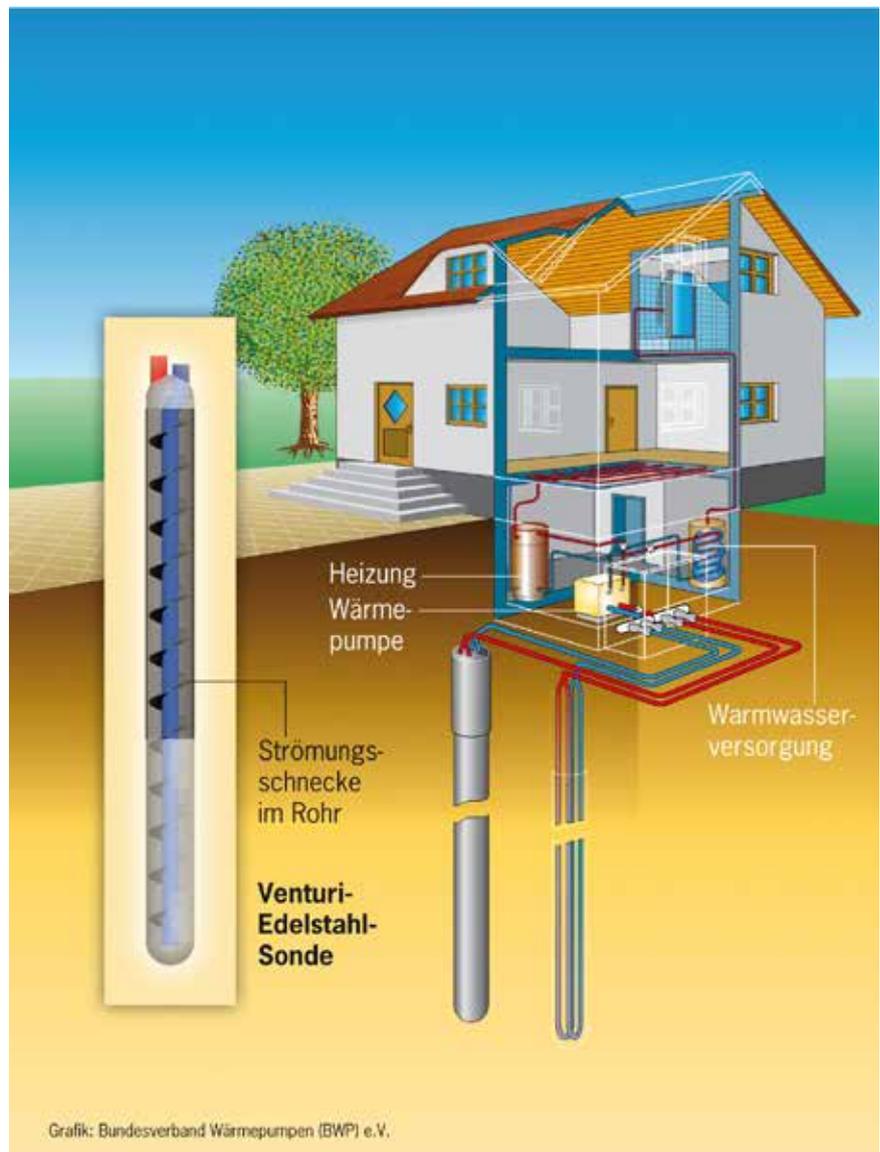


Bild 15: Venturi-Edelstahl-Sonde zur Versorgung eines Einfamilienhauses mit Warmwasser und Heizenergie [20,30] (Foto: Pumpen Strebe, Wusterhusen)

zu nutzen besteht darin, die in den oberflächennahen Bereichen der Erde gespeicherte Wärme zu gewinnen. In diesen Zonen von etwa 5-20 m Tiefe stellt sich praktisch die Jahresmitteltemperatur der jeweiligen Umgebung ein. In Deutschland sind das in der Regel zwischen 8 und 10 °C. Dies ist ausreichend für die Energiegewinnung mittels Wärmepumpe. Damit lässt sich Erdreich und Grundwasser Wärme entziehen und z.B. für das Heizungssystem oder die Warmwasseraufbereitung verwenden.

Die Venturi-Edelstahl-Sonde kann dort eingesetzt werden, wo Grundwasser im so genannten ersten Wasserleiter vorhanden ist. Das ist die oberste Grundwasserschicht, die noch nicht zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Die Sonde bildet den

Wärmetauscher und nutzt die Grundwassertemperatur. Die Temperaturdifferenz zwischen einfließendem und zurück fließendem Wärmeträgermittel reicht aus, um bis zu 75 % der Energie zu liefern, die z.B. zur Heizenergieerzeugung benötigt wird. Die übrigen rund 25 % müssen in der Regel als Elektrizität zugeführt werden, um die Wärmepumpe anzutreiben. Wie viele solcher Sonden, die es in unterschiedlichen Längen gibt, erforderlich sind, um ausreichend Wärmeenergie für das zu beheizende Objekt zu liefern, und welches Medium am besten als die Wärme aufnehmende Flüssigkeit (Fluid) zur Wärmeübertragung geeignet ist, muss im Einzelfall ermittelt werden.

Die notwendige Bohrtiefe ist um etwa 50 % geringer als bei Geothermie-



Bild 16: Archimedische Schraube im Innenraum einer Venturi-Edelstahl-Sonde mit koaxial angeordnetem zweiten Rohr [20,30] (Foto: Pumpen Strebe, Wusterhusen)

Anlagen mit vergleichbarer Leistung. **Bild 15** zeigt schematisch eine solche Venturi-Edelstahl-Sonde zur Versorgung eines Einfamilienhauses mit Warmwasser und Heizenergie [20,30]. Die Venturi-Edelstahl-Sonde erreicht ihre hohe Effizienz durch den Werkstoff Edelstahl, der eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweist, und durch den inneren Aufbau der Sonde, der eine schnelle Aufnahme der dem Grundwasser entnommenen Wärme ermöglicht. Denn die Edelstahl-Sonde besteht nicht aus einem leeren Rohr: Im Inneren befindet sich eine starre archimedische Schraube mit einem koaxial angeordneten zweiten Rohr, wie aus **Bild 16** [20,30] deutlich wird. Durch dieses innere Rohr wird das Fluid in die Venturi-Sonde hineingepumpt. Der Außendurchmesser

der archimedischen Schraube ist etwas kleiner als der Innendurchmesser des äußeren Rohres. Dadurch strömt ein Teil des zurück fließenden Fluid mit höherer Geschwindigkeit (Venturi-Effekt) an der Rohrwand entlang und wird durch Verwirbelung mit der langsamer strömenden Flüssigkeit im Innenbereich der Schraube vermischt. Diese Durchmischung bewirkt den schnellen Wärmetransport von der Wand auf den gesamten Strömungsquerschnitt.

Die Venturi-Edelstahl-Sonde bildet das Herzstück einer modernen, umweltfreundlichen Wärmezeugung, deren Hauptenergiequelle erneuerbare Wärmeenergie aus dem oberflächennahen Wasser ist. Innerhalb eines Jahreszyklus wird die dem Boden

und dem Grundwasser entnommene Energie durch Sonneneinstrahlung und Versickerung von Regenwasser wieder ausgeglichen [20,30].

3.8 Edelstahl Rostfrei in der Wärmegewinnung aus Abwasser

Ähnlich wie aus dem Grundwasser kann auch die im kommunalen Abwasser enthaltene Wärmeenergie mit Hilfe von Wärmepumpen entzogen und sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen zurückgewonnen werden. Es liegt nahe, hierfür geeignet erscheinende Wärmetauscher in die Abwasserkanäle einzubringen. Sowohl das Einbringen solcher Wärmetauscher ebenso wie die nachfolgende Wartung und Instandhaltung sind jedoch nicht einfach. Alternativ wird bei dem angebotenen ThermoWin®-System deshalb Abwasser aus dem Kanal entnommen, gesiebt, durch einen überirdisch aufgestellten Wärmetauscher gepumpt und anschließend in den Kanal zurückgeführt. Die Vorsiebung des Abwassers erlaubt die Verwendung kompakter und preiswerter Wärmetauscher [31].

3.9 Edelstahl Rostfrei in Sonnenschutz-Systemen

Eingebettet in eine Grünzone mit jungen Bäumen, kurzen Wegen und kleinen Plätzen reihen sich entlang einer ordnenden Wasserachse die Bürogebäude des Stahl- und Technologiekonzerns ThyssenKrupp. Herzstück des neuen Quartiers in Essen ist das 50 m hohe, kubusförmige Hauptgebäude Q1 mit seiner expressiven Architektur.

Sichtbarer Beleg für die langjährige Erfahrung des Bauherrn mit dem Baustoff Stahl ist der in **Bild 17** [20,32] gezeigte Sonnenschutz dieses Gebäudes. JSWD Architekten und Chaix & Morel entwickelten ein weltweit bislang einzigartiges System aus Edelstahl, das den Lichteinfall auf einer Fläche von rund 8.000 m² automatisch steuert. An 3.150 vertikalen Drehachsen sind jeweils zwei Trapezoid-, drei- oder rechteckige Flügелеlemente montiert, die exakt der Sonne nachgeführt oder auch vollständig auf- und zugeklappt werden können.



Bild 17: Sonnenschutzsystem aus Edelstahl vor dem Bürogebäude des Stahl- und Technologiekonzerns ThyssenKrupp [20,32] (Foto: Günter Wett / Frener & Reifer Deutschland GmbH, Augsburg)

Jeder Flügel besteht aus einer großen Anzahl horizontal schwenkbarer Lamellen. Die geschosshohen Flügелеlemente sind so optimiert, dass sie die Vorteile horizontaler Lamellen für die Lichtumlenkung mit denen von vertikalen Drehlamellen für freie Sicht und ausreichenden Lichteinfall in sich vereinen.

Der Sonnenschutz ist nicht nur funktionales Bauteil und künstlerische Inszenierung, sondern auch Bestandteil des Energiekonzepts. Damit trägt das System in erheblichem Umfang zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes des für seine besonders nachhaltige Bauweise ausgezeichneten Gebäudes bei [20,32].

3.10 Edelstahl Rostfrei zur Unterstützung der Wärmedämmung von Gebäudemauerwerk

Gebäude werden häufig mit einer auf der tragenden Mauer außen anliegenden Dämmung und einer äußeren Verblendungsmauer erstellt. Die sich aus einem solchen Verbund

ergebende thermische Isolation ist dort gestört, wo Konsolanker aus Stahl und andere Befestigungsmittel eingebracht sind, mit deren Hilfe das Vormauerwerk an der das Gebäude tragenden inneren Mauer befestigt ist, wie aus **Bild 18** beispielhaft zu

ersehen ist. Diese Befestigungselemente stellen Wärmebrücken dar. Derartige Wärmebrücken lassen sich jedoch minimieren, wenn die Befestigungselemente aus einer Edelstahl-Rostfrei-Sorte hergestellt werden, welche aufgrund ihrer Festigkeits-



Bild 18: Technisch-wirtschaftliche Alternative zu Standardausteniten: Klinkerabfangung aus nichtrostendem Lean-Duplexstahl (Foto: W. Modersohn GmbH & Co. KG, Spenge)



Bild 19: Zusammenbau eines Fermenter-Tanks aus nichtrostendem Stahl (Foto: WELTEC BIOPOWER GmbH, Vechta)



Bild 20: Innenansicht des Vorratstanks einer Biogasanlage aus nichtrostendem Stahl (Foto: Erich Stallkamp ESTA GmbH, Dinklage)

eigenschaften eine schlanke Konstruktionsweise erlaubt. Durch eine solche kann mehr erreicht werden als durch thermische Trennelemente. Bewährt hat sich hier der Einsatz von Lean-Duplexstahl [33]. Dieser weist im Vergleich zu den austenitischen Edelstahl-Rostfrei-Sorten 1.4404 und 1.4571 u.a. folgende Vorteile auf:

- Deutlich bessere Korrosionsbeständigkeit, insbesondere gegen chlorid- und wasserstoffinduzierte Spannungsriss- und Lochkorrosion.
- Doppelt so hohe Festigkeit: die für

statische Bemessung grundlegende Dehngrenze $R_{p0,2}$ wird gemäß Zulassung [34] je nach Duplex-Werkstoff mit mind. 400 N/mm^2 (1.4362) oder sogar mit 480 N/mm^2 (1.4662) angesetzt. Diese Festigkeitswerte sind Grundfestigkeiten und gelten auch für den geschweißten Zustand.

- Um ca. 18 % höhere Steifigkeit: E-Modul von $200\,000$ anstelle von $170\,000 \text{ N/mm}^2$ für die statische Beanspruchung.
- Deutlich höhere Dauerschwingfestigkeit aufgrund des ferritischen

Anteils am Gefüge – damit höhere Belastbarkeit bei dynamischen Kräften.

- Bei gleicher Belastbarkeit sind schlankere Bauweisen und filigranere Konstruktionen möglich.
- Kleinere und weniger Wärmebrücken in der Fassade [33].

3.11 Edelstahl Rostfrei in der Gewinnung von Biogas

Bei der Erzeugung von Biogas sind korrosive Verbindungen wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak unvermeidbare Nebenprodukte [35]. Alle in einem Fermenter [35] vorhandenen Komponenten kommen damit in Berührung, so dass für diese entsprechend korrosionsbeständige Werkstoffe gewählt werden müssen. Anlagenstillstände sind nach Möglichkeit zu vermeiden da das Wiederanfahren eines Fermenters längere Zeit erfordern kann [35]. Obwohl Beton zurzeit der am meisten verwendete Werkstoff für die Herstellung der Fermenter ist, kann nichtrostender Stahl hier eine interessante Alternative sein. Diese großvolumigen Behälter von beispielsweise 25 m Durchmesser und 6,3 m Höhe [35] lassen sich mit nichtrostendem Stahl leicht und schnell vor Ort montieren. Dafür werden die Blechsegmente in der Werkstatt auf Maß geschnitten und mit Bohrungen versehen, so dass sie vor Ort direkt und unter Verwendung einer geeigneten Dichtmasse miteinander verschraubt werden können. **Bild 19** zeigt den Zusammenbau eines solchen Fermenter-Tanks aus nichtrostendem Stahl, **Bild 20** gibt die Innenansicht eines Tanks aus nichtrostendem Stahl wieder, und **Bild 21** macht deutlich, wie sich Vorrats- und Fermenter-Tanks einer unter Verwendung von nichtrostendem Stahl erbauten Biogasanlage in Gruppenansicht darstellen [35]. Als Werkstoffe für die Behälterwandungen werden die austenitischen nichtrostenden Stähle 1.4301 und 1.4571 angegeben [35]. Beide sind auch schon in Kombination verwendet worden: 1.4301 für den Kontakt mit der Flüssigphase im unteren Bereich des Fermenters und 1.4571 für den Kontakt mit den sich akkumulierenden Gasen im oberen Teil [35]. Auch der nichtrostende austenitisch-ferritische Stahl 1.4662 ist für derartige Behälterwan-



Bild 21: Ansicht von Vorrats- und Fermenter-Tanks einer Biogasanlage aus nichtrostendem Stahl (Foto: Erich Stallkamp ESTA GmbH, Dinklage)

dungen schon erfolgreich verwendet worden [36]. Dieser erlaubt auf Grund seiner hohen 0,2 %-Dehngrenze eine im Vergleich zu einem austenitischen Stahl wie 1.4571 deutlich reduzierte Wanddicke mit einer Gewichtseinsparung von etwa 25 %, was ihn als eine kostengünstigen Alternative erscheinen lässt [36]. Allerdings kann bei den austenitischen Stählen für diese Anwendung auch die kaltverfestigte Ausführungsart 2H mit erhöhter 0,2 %-Dehngrenze [2] in Betracht gezogen werden, weil sich die zu verarbeitenden Zuschnitte ohne Wärmezufuhr herstellen lassen und bei deren Verarbeitung nicht geschweißt wird.

Ebenso wie die Fermenter können auch andere, in einer Biogasanlage benötigten Behälter vorteilhaft aus Edelstahl rostfrei erstellt werden [35]. Für die in Biogasanlagen verwendeten Rohre und Flansche ist der nichtrostende Stahl 1.4404 der bevorzugte Werkstoff [35].

3.12 Ausblick

Wie schon in Abschnitt 3.1 angemerkt, können aus dem vielfältigen und sehr umfangreichen Gebiet der Umwelttechnik in einer solchen Übersichtsdarstellung wie in dieser Schrift nur einige ausgewählte Themenbereiche behandelt werden. Zu anderen, beispielsweise denjenigen, welche die Wasserwirtschaft und das Abwasser betreffen, sei auf die bereits vorliegenden umfangreichen Einzeldarstellungen [8-10] oder auf spezielle Fallstudien wie beispielsweise [37] verwiesen.

4 Literatur

- [1] **DIN EN 10088-1**, Ausgabe 2014
Nichtrostende Stähle – Teil 1:
Verzeichnis der nichtrostenden
Stähle
- [2] **DIN EN 10088-2**, Ausgabe 2014
Nichtrostende Stähle – Teil 2:
Technische Lieferbedingungen
für Blech und Band aus korrosi-
onsbeständigen Stählen für all-
gemeine Verwendung
- [3] **DIN EN 10088-3**, Ausgabe 2014
Nichtrostende Stähle – Teil 3:
Technische Lieferbedingungen
für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht,
gezogenen Draht, Profile und
Blankstahlerzeugnisse aus kor-
rosionsbeständigen Stählen für
allgemeine Verwendung
- [4] U. Heubner
**„Edelstahl Rostfrei – Eigen-
schaften“**
ISER Merkblatt 821, 5. Auflage,
2014
- [5] **SEW 400**, Ausgabe 1997-02
Technische Regel: Nichtrostende
Walz- und Schmiedestähle
www.beuth.de
- [6] U. Gramberg, E.M. Horn,
P. Mattern
**„Kleine Stahlkunde für den
Chemieapparatebau“**
2. Auflage, Verlag Stahleisen
mbH, Düsseldorf, 1993
- [7] **Wikipedia**, 2013/2014
- [8] U. Heubner
**„Leistungsfähigkeit nichtrostenden
Stähle in Abwasseranlagen“**
KA – Wasserwirtschaft, Abwas-
ser, Abfall 48 (2001) Nr. 3, 321-
332
- [9] U. Heubner, E. Hini
**„Edelstahl Rostfrei für die Was-
serwirtschaft“**
ISER Merkblatt 893, 1. Auflage,
2007
- [10] U. Heubner
**„Einsatz nichtrostender Stähle
in Abwasseranlagen“**
Erste Ausgabe 2010, Euro Inox,
Brüssel, 2011
- [11] V. Wahl
**„Die Anwendung von Nickelle-
gierungen und nichtrostenden
Stählen in der Umwelttechnik“**,
in U. Heubner, J. Klöwer und 5
Mitautoren: Nickelwerkstoffe
und hochlegierte Sonderedel-
stähle, 4. völlig neu bearbeitete
Auflage, expert verlag 2009, S.
215-251
- [12] U. Heubner, M. Köhler
**„Hochlegierte Werkstoffe für
besondere Beanspruchung“**
VDM Report Nr. 26, Krupp VDM
GmbH, Ausgabe Januar 2002
- [13] M.B. Rockel
**„Nicrofer 3127 hMo – alloy 31,
ein neuer, hoch legierter Son-
deredelstahl für die chemische
Verfahrenstechnik und andere
Prozessindustrien“**
VDM Case History 6, Krupp VDM
GmbH, 03/2001
- [14] U. Brill, U. Heubner
**„Werkstoffe für Metallträger
von Automobil-Abgaskatalysa-
toren“**
MTZ Motortechnische Zeitschrift
49 (1988) 365-368
- [15] **DIN 17470**, Ausgabe 1984
Heizleiterlegierungen, Tech-
nische Lieferbedingungen für
Rund- und Flachdrähte
- [16] J. Kloewer, A. Kolb-Telieps,
U. Heubner, M. Brede
**„Effects of Alloying Elements
and Foil Dimensions on the Life-
time of Thin Fe-Cr-Al Foils in Ca-
talytic Converters“**
CORROSION 98, Paper N° 746,
NACE International, Houston, TX,
1998
- [17] **„Aluchrom YHF“**
Werkstoffblatt N° 4149, Ausga-
be Mai 2008 der ThyssenKrupp
VDM GmbH
- [18] U. Heubner
**„VDM Werkstoffe für Energie
und Umwelt“**
Beitrag zur Vortragsveranstal-
tung 75 Jahre ThyssenKrupp
VDM, Kulturhaus Lüdenscheid,
20./21. Oktober 2005
- [19] R. Brück / Emitec GmbH
**„Design moderner Abgasreini-
gungssysteme für Diesel- und
Ottomotoren“**
Beitrag zur Vortragsveranstal-
tung 75 Jahre ThyssenKrupp
VDM, Kulturhaus Lüdenscheid,
20./21. Oktober 2005
- [20] Mit freundlicher Genehmigung
entnommen der Schrift
„Stahl-Innovationspreis 2012“
Dokumentation 501, Stahl-Inno-
vationspreis 2012, ISSN 0175-
2006, Herausgeber: Stahl-Infor-
mations-Zentrum, Postfach10
48 42, 40039 Düsseldorf
- [21] Institut für Energie- und Klima-
forschung (IEK), Forschungszen-
trum Jülich GmbH
„Crofer® 22 H“
1. Preis in der Kategorie „Stahl
in Forschung und Entwicklung/
Verfahren“ im Wettbewerb Stahl-
Innovationspreis 2012
- [22] Dena – Deutsche Energie Agentur
**„renewables – Made in Germa-
ny“**
Informationen über Unterneh-
men und Produkte der deutschen
Erneuerbare-Energie-Branche
www.renewables-made-in-ger-
many.com
- [23] M. Helzel, Anke Lorber
**„Bedachungen mit Edelstahl
Rostfrei“**
ISER Dokumentation 872, 1.
Auflage, 1998
- [24] **„Dächer aus Edelstahl Rostfrei“**
ISER Dokumentation 962, 1.
Auflage, 2002
- [25] W. De Roover
**„Technischer Leitfaden: Dächer
aus Edelstahl Rostfrei“**
ISER Merkblatt 963, 1. Auflage,
2003

- [26] International Stainless Steel Forum
„Stainless Steel in Solar Energy“
 ISBN 978-2-930069-53-1
- [27] **„L'inossidabile energia del sole (Solar Energy and Stainless Steel)“**
 Inossidabile 195, Marzo 2014, S. 10
- [28] U. Heubner
„Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern“
 ISER Merkblatt 830, 3. überarbeitete Auflage, 2012
- [29] **„Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre“**
 ISER Merkblatt 828, 1. Auflage, 1996
- [30] Pumpen Strebe, Wusterhausen
„Venturi-Edelstahl-Sonde“
 Sonderpreis in der Kategorie „Klimaschutz mit Stahl“ im Wettbewerb Stahl-Innovationspreis 2012
- [31] Huber SE, Berching
„Energie aus Abwasser: Heizen und Kühlen“
www.huber.de/de/produkte/energie-aus-abwasser.html
- [32] JSWD Architekten, Köln und Chaix & Morel et Associés, Paris
„Sonnenschutzsystem aus Edelstahl“
 Finalisten in der Kategorie „Bauteile und Systeme aus Stahl für das Bauen“ im Wettbewerb Stahl-Innovationspreis 2012
- [33] W. Modersohn GmbH & Co. KG
„Fassadenbefestigungen für Mauerwerk und Beton“
www.mfixings.de
- [34] Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 22. April 2014 **„Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“**
 Sonderdruck 862 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
- [35] International Stainless Steel Forum
„Stainless Steel in Biogas Production – A Sustainable Solution for Green Energy“
 International Stainless Steel Forum, ISSF 2012, ISBN 978-2-930069-69-2
- [36] B. Beckers
„Das Anwendungspotential der Duplexstähle in Industrieanlagen, Energie- und Meerestechnik“
 Beitrag zum Korrosionsschutzseminar „Hochlegierte Stähle und Nickellegierungen für Industrieanlagen und Energietechnik“, Dresden, 09./10. Oktober 2013, Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH
- [37] International Stainless Steel Forum
„Cooling with Heat - A Case Study about Solar Cooling“
 International Stainless Steel Forum, ISSF 2010, ISBN 978-2-930069-60-9



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 102205
40013 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de

