

Sicherheitsrelevante Bauteile in Hallenbädern: Werkstoffwahl und Kontrollierbarkeit

Autor(en): **Faller, Markus / Richner, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 16

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79909>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Markus Faller, Peter Richner, Dübendorf

Sicherheitsrelevante Bauteile in Hallenbädern

Werkstoffwahl und Kontrollierbarkeit

Deckenabhängungen in Hallenbädern sind sicherheitsrelevante Bauteile. Der Wahl des geeigneten Werkstoffs und der Zustandskontrolle dieser Bauteile müssen – wie das Ereignis des Deckeneinsturzes im Hallenbad Uster zeigte – eine hohe Aufmerksamkeit gewidmet werden. Einen zweiten Fall Uster darf es nicht mehr geben.

Vor 15 Jahren stürzte die abgehängte Betondecke im Hallenbad Uster infolge chloridinduzierter Spannungsrisskorrosion der Bügel aus hochlegiertem Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4301) ein. Der Unfall kostete 12 Menschen das Leben. Weltweit waren in der Folge Ingenieure, Konstrukteure und Betreiber von Hallenbädern bezüglich des Einsatzes von hochlegierten Stählen für sicherheitsrelevante Bauteile sensibilisiert. In der letzten Zeit sind der Abteilung Korrosion/Oberflächenschutz der Empa bei Kontrolluntersuchungen neu erstellter Hallenbaddecken Fälle bekannt geworden, bei denen für die Abhängungen wieder hochlegierte Standardstähle, d.h. Chrom-Ni-

ckel-Stähle ohne bzw. Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle mit zwei bis drei Prozent Molybdän eingesetzt wurden. Es muss angenommen werden, dass das Wissen um das Korrosionsverhalten dieser Stahlsorten nicht allen verantwortlichen Personen bekannt, über die Jahre verblasst ist bzw. in der Ausbildung nur in unzureichendem Masse vermittelt wurde.

Die Werkstoffwahl für sicherheitsrelevante Bauteile in Hallenbädern ist hauptsächlich eine Frage der Korrosionsbeständigkeit und der Kontrollierbarkeit der betreffenden Bauteile. Begriffe wie rostfreier Stahl, Edelstahl, aber auch der genormte Begriff «nicht rostender Stahl» verführen häufig zur Annahme, dass die derart bezeichneten Stähle frei von Korrosion seien. Dem ist jedoch keinesfalls so. Sie können bei entsprechender Korrosionsbelastung – wie sie z.B. in Hallenbädern, aber auch hinter vorgehängten Fassaden oder in Stassentunneln vorliegen können – zu lokalen Korrosionserscheinungen wie Lochfrass und Spannungskorrosionsrissen neigen.

Die Empa untersuchte in den zurückliegenden Jahren über 120 Hallenbäder im

MG. Der vorliegende Artikel nimmt die Anfang Jahr breit publizierten Untersuchungsergebnisse der Empa auf (unser Hinweis in SI+A 5 vom 4. Februar 2000) und stellt die Resultate ausführlich dar.

Hinblick auf Korrosionserscheinungen an metallischen Befestigungselementen, vor allem für Deckenkonstruktionen. Über diese Befunde und deren Folgerungen in korrosionstechnischer Hinsicht wird im Folgenden berichtet.

Fall Uster

Am 9. Mai 1985 um 20.25 Uhr stürzte im Hallenbad Uster die abgehängte Betondecke in die Schwimmhalle (Bild 1). Unter den herunterfallenden Trümmern fanden 12 Menschen den Tod [1]. Die betreffende Decke war an Bügeln von 10 mm Durchmesser aus austenitischem Chrom-Nickel-Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4301) aufgehängt gewesen. Von den insgesamt 207 Bügeln waren 108 gebrochen, davon 94 «spröde» (d.h. mit Sprödbbruchanteil) und 14 «zäh».

Die betreffenden Bügel waren in einem Hohlraum zwischen der Gebäude- decke und der abgehängten Decke eingebaut, durch den die Abluft der Schwimmhalle geführt wurde, wodurch sie in Kontakt mit den Aufhängebügeln kam. Dabei bildete sich auf der Metalloberfläche ein saurer, chloridhaltiger Feuchtigkeitsfilm, und es entstanden lokale Anfressungen. Unter dem Einfluss von Zugspannungen setzte ausgehend von solchen Anfressungen transkristalline Spannungsrisskorrosion (Bild 2) ein, die bei einem Siebtel der Bügel zu einem vorzeitigen Bruch und bei zahlreichen weiteren Bügeln zu einer erheblichen Vorschädigung führte. Nachdem die restliche Tragfähigkeit der Aufhängungen überschritten war, stürzte die abgehängte Betondecke ein.

Werkstoffe

Um eine richtige Werkstoffwahl treffen zu können, ist die korrekte Bezeichnung der Werkstoffe unabdingbar. Die ehemaligen Produktebezeichnungen wie V2A bzw. V4A sind dafür ungeeignet; sie führten häufig zu Missverständnissen und zur Verwendung eines falschen Werkstoffs.

Nicht rostende Stähle

Die Zusammensetzung und Eigenschaften der vorwiegend im Bauwesen verwendeten hochlegierten, nicht rosten-

1

Eingestürzte Decke des Hallenbads Uster infolge transkristalliner Spannungsrisskorrosion an den Befestigungsbügeln aus nicht rostendem Stahl 1.4301



den Stähle werden in der Norm DIN EN 10 088 [2] geregelt. Die Norm definiert den Begriff «nicht rostende Stähle» als «Stähle mit mindestens 10,5% Chrom (Cr) und höchstens 1,2% Kohlenstoff (C), wenn ihre Korrosionsbeständigkeit von höchster Wichtigkeit ist». Der Begriff «nicht rostende Stähle» ist unglücklich gewählt, da er den Anschein erweckt, dass diese Stähle nicht korrodieren können (die Grenze von 10,5% für den Chromgehalt ist unseres Erachtens zu niedrig gewählt worden, da bekanntermassen erst ab 12% Chrom mit einem weitgehend passiven Verhalten gerechnet werden kann). Im Gegensatz zu den un- und niedrig legierten Stählen erfolgt jedoch unter üblichen Umweltbedingungen (Luftsauerstoff, Feuchtigkeit) und in wässrigen Lösungen keine Flächenkorrosion oder merkliche Rostbildung.

Der Begriff «Edelstahl Rostfrei» ist eine geschützte Warenbezeichnung der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, die als Gemeinschaftsorganisation von Herstellern, Verarbeitern und mit diesen Stählen befassten Organisationen in Deutschland tätig ist, und sollte nicht verallgemeinernd als Werkstoffbezeichnung verwendet werden. Begriffe wie «rostfreier», «rostsicherer» oder «korrosionsbeständiger Stahl» sollten nicht verwendet werden, da sie nicht genormt sind, d.h. es existiert keine

2
Befestigungsbügel
der abgehängten
Decke des Hallenbads
Uster mit Korrosions-
rissen, deutlich ist das
spröde Bruchverhal-
ten erkennbar



verbindliche Definition über deren chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften. Der Begriff «Edelstahl» für sich alleine verwendet, bedeutet nur, dass es sich um eine Stahlsorte handelt, die besonders rein hergestellt wurde. Der Begriff gibt keine Auskunft über die Korrosionsbeständigkeit, da es sowohl unlegierte als auch legierte Edelstähle gibt.

Vielmehr sollten die einzelnen Stahl-sorten nach DIN EN 10 027 [3] durch Kurznamen bzw. Werkstoffnummern gekennzeichnet werden. Für Hallenbäder wurden bisher hauptsächlich die austenitischen Chrom-Nickel-Stähle (1.4301 bzw.

1.4541) und Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle (1.4401 bzw. 1.4571) eingesetzt.

Die Beständigkeit der nicht rostenden Stähle gegenüber Loch- und Spaltkorrosion lässt sich mit der sogenannten Wirksumme ($= \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 30 \cdot \%N$) abschätzen (über den Faktor beim Stickstoff herrscht in der Fachwelt noch keine Übereinstimmung). Sie können nach zunehmender Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit geordnet werden [4, 5] (Bild 3). Für eine Beständigkeit gegenüber höherprozentigen Chloridlösungen reichen Stähle mit Wirksummen von 24 nicht aus, dagegen meist solche mit Wirksummen über 30 [6].

3

Nicht rostende Stähle, geordnet in Gruppen mit zunehmender Lochfrass- und Spaltkorrosionsbeständigkeit nach Empfehlung SIA 179 [5]

Stahlart	Korrosions-widerstands-klasse*)	Kurzname	Werkstoff-nummer	Wirk-summe**)	Einsatzbereiche
CrNi-Stähle	I	X5CrNi18-10	1.4301	18	Feuchträume
		X4CrNi18-12	1.4303	18	
		X6CrNiTi18-10	1.4541	18	
		X2CrNi19-11	1.4306	19	
CrNiMo-Stähle	II	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	24	mildes Aussenklima, bewittert
		X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	24	
		X2CrNiMo17-12-2	1.4404	24	
		X3CrNiMo17-13-3	1.4436	26	
		X2CrNiMo18-14-3	1.4435	27	
		X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	30	
		X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	32	
	III	X2NiCrMoCu25-20-5	1.4539	35	Aussenklima, nicht bewittert Industrieatmosphäre, bewittert
		X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	37	
		X2CrNiMoN22-5-3	1.4462***)	37	
	IV	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	47	aggressive Medien Hallenbäder, Tunnel, Kläranlagen
		X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	48	
		X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	50	
Sonderwerkstoffe z. B. Nickelbasis- oder Titanlegierung		NiCr21Mo14W	2.4602	(66)	Kombination aggressiver Medien, chemische Industrie
		NiMo16Cr15W	2.4819	(68)	
		NiMo16Cr16Ti	2.4610	(69)	

*) nach Empfehlung SIA 179 [5]

**) Wirksumme = $\%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 30 \cdot \%N$

***) ferritisch-austenitisches Gefüge

Verzinkte Stähle

Zinküberzüge auf Stahl sind metallische Überzüge, die gegenüber dem Grundwerkstoff anodisch, d.h. unedler sind. Neben der passiven Korrosionsschutzwirkung (Barriereeffekt) weisen diese Überzüge vor allem eine aktive Korrosionsschutzwirkung auf, wobei der Grundwerkstoff in Poren und Verletzungen bei Berührung mit einem Elektrolyten durch das Überzugsmetall kathodisch geschützt wird. Zinküberzüge werden hauptsächlich durch Feuerverzinken, Spritzverzinken oder galvanisch in unterschiedlicher Zinkauflage aufgebracht. Für die Korrosionsbeständigkeit und die Nutzungsdauer ist hauptsächlich die Zinkschichtdicke massgebend.

Die Nutzungsdauer von verzinkten Bauteilen kann durch das zusätzliche Aufbringen eines organischen Korrosionsschutzes deutlich verlängert werden (sogenannte Duplex-Systeme).

Korrosionsbelastungen in Hallenbädern

Die Hallenbadatmosphäre weist bei relativen Feuchtwerten von 60 bis 70% häufig einen recht hohen Gehalt an Chlor und Chlorverbindungen – meist aus der Chlorung des Schwimmbadwassers – auf [7, 8, 9, 10]. Diese Stoffe können sowohl gasförmig als auch als Aerosol verfrachtet werden. Auf der Oberfläche von nicht regelmässig gereinigten bzw. nicht ständig mit Wasser berührten metallischen Bauteilen können sich dabei – auch zusammen mit Schmutz – hygroscopische (wasseranziehende) Ablagerungen bilden. Diese haben eine niedrige kritische Feuchte, so dass sich auf der Metalloberfläche ein korrosionsfördernder, saurer und chloridhaltiger Elektrolytfilm ausbilden kann. Neben Natriumchlorid wurden in vielen Fällen auch grössere Mengen an Calcium- und Magnesiumchlorid nachgewiesen. Typische pH-Werte liegen bei 3 bis 4, typische Chloridgehalte bei 2 bis 5%. Verschiedentlich wurden auch deutlich höhere Chloridgehalte bestimmt. Die Korrosivität kann gegebenenfalls durch die oxidierend wirkende hypochlorige Säure (HOCl) verstärkt werden.

Schadenmechanismus

Nicht rostende Stähle

Die Korrosion der betreffenden nicht rostenden Stähle erfolgt in Hallenbädern hauptsächlich durch Loch- und Spannungsrisskorrosion. Bei den im Elektrolytfilm auf der Metalloberfläche herr-

schen Verhältnissen bildet sich bei den verwendeten nicht rostenden Stählen eine schützende Passivschicht von wenigen Nanometern aus. Halogenid-Ionen, vor allem Chlorid-Ionen, können durch Wechselwirkung zwischen Halogenid-Ion und der Passivschicht zu Lochkorrosion führen, wobei die Passivschicht lokal durchbrochen wird. Wenn sich das Loch nicht mehr repassivieren kann, kommt es zu einem stabilen Lochwachstum. Die Lochfrassstelle wird anodisch wirksam (Metallauflösung, Oxidation) während die passive Umgebung zur Kathode wird (Sauerstoff-Reduktion). Durch elektrolytische Überführung erhöht sich in der Lochfrassstelle die Chloridkonzentration. Gleichzeitig wird der Elektrolyt im Loch durch Hydrolysereaktionen der Korrosionsprodukte angesäuert. In Spalten (z.B. bei eingeschraubten Bauteilen) kann es in Lochkorrosionserzeugenden Angriffsmitteln zu Spaltkorrosion kommen, die als verstärkt ablaufende Lochkorrosion beschrieben werden kann. In Spalten erfolgt daher schon bei schwächerer Korrosionsbelastung ein Korrosionsangriff.

Bei gleichzeitiger Einwirkung von spezifischen Medien (hauptsächlich Chlorid-Ionen) und ausreichend hohen Zugspannungen (auch Eigenspannungen) kann es bei nicht rostenden Stählen zur Auslösung von transkristall verlaufender Spannungsrisskorrosion (SprK) kommen. Die in Hallenbädern [11, 12] auftretenden Korrosionsbelastungen können einerseits bei schwach sauren bis neutralen Medien zu Spannungsrisskorrosion im passiven Zustand führen, wobei die Risse meist von kleinen primär entstandenen Lochkorrosionsstellen auf der Oberfläche ausgehen (lochfrassinduzierte Spannungsrisskorrosion), andererseits bei Vorliegen sehr saurer Elektrolyte zu Spannungsrisskorrosion im aktiven Zustand führen, wobei die Korrosionsrisse von einem mehr oder weniger starken gleichförmigen Flächenabtrag begleitet werden.

Ein Hauptmerkmal der SprK ist die verformungsarme Trennung des Werkstoffs, meist ohne nennenswerte Anteile an Korrosionsprodukten, d.h. äusserlich noch intakt erscheinende Bauteile können bereits bis tief ins Innere geschädigt sein, so dass es zu einem spontanen Versagen der Bauteile kommen kann.

Verzinkte Stähle

Verzinkte Stähle werden unter den im Oberflächenelektrolyt in Hallenbädern herrschenden Verhältnissen meist in Form gleichmässiger Flächenkorrosion angegriffen. Falls feste Korrosionsprodukte auftreten, zeigen diese im Anfangsstadium ein weisses Erscheinungsbild (Zinkkorro-

sionsprodukte). Nach dem Abbau der Reinzinkschicht geht der Korrosionsangriff bei feuerverzinkten Werkstoffen auf die Eisen/Zinklegierungsschicht über, wodurch braun gefärbte Korrosionsprodukte entstehen. Die sich bildenden Deckschichten führen mit der Zeit zu einer Verlangsamung des Korrosionsangriffs. Nach Abtrag der Eisen/Zinklegierungsschicht bzw. bei galvanisch verzinkten Bauteilen des Zinküberzugs geht der Korrosionsangriff auf den Grundwerkstoff (unlegierter Stahl) über und erfolgt meist in Form von Muldenkorrosion. Auch bei sonst geringer Korrosionsbelastung kann es durch Kondenswasserbildung im Bereich von Kältebrücken zu einem Korrosionsangriff kommen. Im Gegensatz zu den Korrosionserscheinungen an den nicht rostenden Stählen sind sie an den verzinkten Bauteilen bei regelmässiger Kontrolle einfach und vor allem rechtzeitig erkennbar. Eine Schädigung verzinkter Bauteile durch Spannungsrisskorrosion kann praktisch ausgeschlossen werden. Falls verzinkte Bauteile aus hochfestem Stahl zur Anwendung gelangen, sollte beim Beizen und Verzinken dieser Bauteile auf eine besonders fachgerechte Durchführung geachtet werden, damit es nicht zu einer Schädigung durch Wasserstoffversprödung kommen kann.

Befunde an Befestigungselementen in Hallenbädern

Es wurden bzw. werden in der Regel folgende Untersuchungsmethoden eingesetzt:

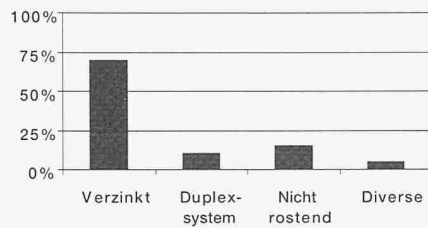
- Untersuchungen vor Ort: Augenschein vor Ort (visueller Befund, Fotodokumentation), Entnahme von Befestigungselementen für Laboruntersuchungen, Bestimmung der allgemeinen Chloridbeaufschlagung im Deckenbereich.

- Untersuchungen im Labor: Visueller Befund unter dem Binokular bzw. Rasterelektronenmikroskop, Bestimmung der Zusammensetzung der für die Bauteile verwendeten Werkstoffe, Charakterisierung der Korrosionsprodukte bzw. Ablagerungen, metallografische Untersuchungen.

- Beurteilung der Untersuchungsergebnisse bezüglich Tragsicherheit und Nutzungsdauer.

Korrosionsbelastung

Rund 80% der untersuchten Hallenbäder wiesen auf den Bauteilen im Deckenbereich erhöhte bis sehr hohe Chloridwerte auf. Die im wässrigen Extrakt der



4

Prozentuale Verteilung der für Befestigungselemente für abgehängte Decken verwendeten Werkstoffe (aufgrund von über 120 in der Schweiz kontrollierten Hallenbädern). Der verzinkte Stahl ist mit rund 80% der am meisten eingesetzte Werkstoff

Korrosionsprodukte ermittelten Chloridgehalte können den Bereich von etwa 0,5 bis 41 Masseprozent umfassen. Der höchste Wert wurde in einem Solebad ermittelt. Erhöhte Chloridgehalte traten auch in Bädern auf, in denen das Wasser durch Ozonung desinfiziert wird [8].

Werkstoffe und Korrosionserscheinungen

Wie Bild 4 zeigt, wurden in etwa 80% der untersuchten Hallenbäder Befestigungselemente aus verzinktem Stahl verwendet. Davon waren etwa 10% zusätzlich mit einem organischen Korrosionsschutz versehen (Duplex-System). Bei rund 15% der Decken waren austenistische Chrom-Nickel- bzw. Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle mit bis zu 3% Molybdän eingebaut. Bei den restlichen 5% fanden sich spezielle, nicht verbreitete Werkstoffe wie z.B. verkupfelter Stahl. In einem neu erstellten Hallenbad wurde der «höchstlegierte» Werkstoff 1.4529 (Bild 3) verwendet. Allerdings bestanden dabei nur die Schrau-

ben aus dem Werkstoff, für die Muttern wurde der Werkstoff 1.4401 eingesetzt.

Zustand der nicht rostenden Stähle

Etwa bei 87% der Fälle, bei denen Befestigungselemente im Deckenbereich aus den Werkstoffen 1.4301, 1.4541, 1.4401 und 1.4571 bestanden, wurden Korrosionserscheinungen in Form von Loch- und/oder Spannungsrisskorrosion festgestellt. Bild 5 zeigt einen Befestigungswinkel aus 1.4301 mit starken Korrosionserscheinungen. Bei der Demontage der Befestigung konnte der Winkel infolge Spannungsrisskorrosion bereits von Hand auseinander gebrochen werden. Die Fälle, bei denen an den erwähnten Werkstoffen keine Korrosionserscheinungen aufgetreten sind, fanden sich ausnahmslos dann, wenn die Chloridbeaufschlagung der Bauteile vernachlässigbar gering war.

Die oben erwähnten Befestigungselemente aus dem Werkstoff 1.4529 waren erst fünf Jahre alt. Bisher konnten an den untersuchten Bauteilen keine Korrosionserscheinungen beobachtet werden. Die gleichzeitig eingesetzten Muttern aus 1.4401 zeigten hingegen bereits sehr starke Korrosionserscheinungen in Form von Lochfrass.

Zustand der verzinkten Stähle

Bei den Fällen mit verzinktem Stahl als Werkstoff verhält es sich praktisch umgekehrt zu den nicht rostenden Stählen. In rund 86% der Fälle wurden an den Befestigungselementen aus verzinktem Stahl keine bzw. nur geringe, in korrosionstechnischer Hinsicht vernachlässigbare Korrosionserscheinungen festgestellt. Der Korrosionsangriff beschränkte sich normalerweise auf die Reinzinkschicht (weisse Korrosionsprodukte) oder auf die

Eisen/Zink-Legierungsphase (braune Korrosionsprodukte) und erfolgte als gleichmässige Flächenkorrosion. Bild 6 zeigt Bauteile aus verzinktem Stahl, die im gleichen Hallenbad wie die in Bild 5 dargestellten Befestigungselemente aus nicht rostendem Stahl eingebaut waren. Ausser den vernachlässigbar geringen Anrostungen an den Schnittkanten sind praktisch keine Korrosionserscheinungen erkennbar. Stärkere Korrosionserscheinungen – in etwa 14% der Fälle – traten nur an Bauteilen auf, die einen zu geringen, meistens galvanisch aufgetragenen Zinküberzug (Zinkschichtdicke rund 10 µm) aufwiesen. Dieser Fall fand sich hauptsächlich bei Gewindestangen.

Abhängungen vom Typ Schnellspann- bzw. Federspannabhänger (Bild 7), bei denen die Klemmfedern aus unlegiertem, nicht korrosionsgeschütztem Stahl (Federstahl) bestehen, zeigten in diesem Bereich in der Regel starke Korrosionserscheinungen, so dass längerfristig die Trag-sicherheit z.T. nicht mehr gewährleistet war. Damit es zu einem vollständigen Versagen der Klemmfeder kommen kann, muss es jedoch aus konstruktiven Gründen an mehreren Stellen der Klemmfeder gleichzeitig zu einer Werkstofftrennung kommen.

Nach dem Duplex-Verfahren (verzinkter Stahl plus organische Beschichtung) geschützte Bauteile zeigten in keinem der untersuchten Fälle Korrosionserscheinungen.

Werkstoffwahl

Im Licht der obigen Befunde soll nun der Frage nachgegangen werden, welche Werkstoffe für tragende Elemente in Hallenbad-

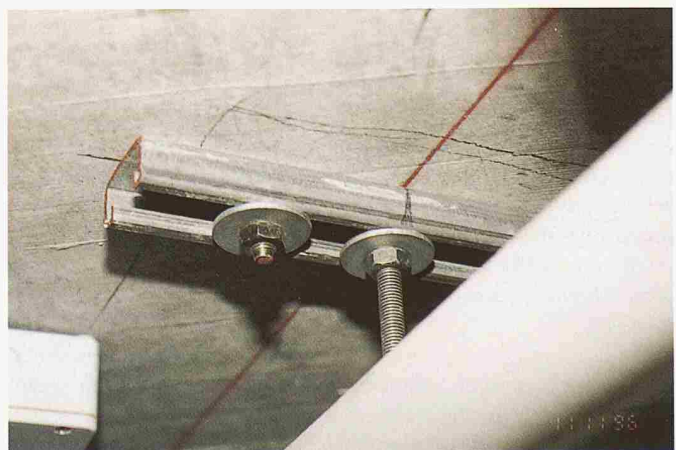
5

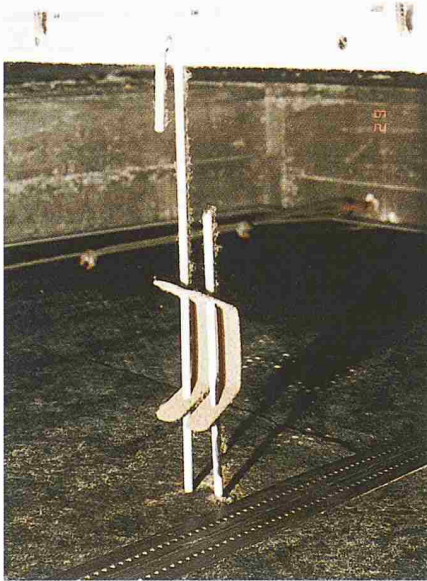
Befestigungselement aus nicht rostendem Stahl mit starken Korrosionserscheinungen. Bei der Demontage des Winkels konnte dieser infolge Spannungsrisskorrosion von Hand auseinander gerissen werden



6

Bauteile aus verzinktem Stahl aus demselben Hallenbad wie die in Bild 5 dargestellten Befestigungselemente aus nicht rostendem Stahl. Nur an den Schnittkanten sind vernachlässigbare Korrosionserscheinungen sichtbar





7

Klemmfeder aus nicht korrosionsgeschütztem Federstahl mit starken Korrosionserscheinungen. Die Befestigungsdrähte aus verzinktem Stahl zeigen hingegen keine Korrosion

Atmosphären geeignet sind. Dabei werden zusätzlich neuere Resultate aus der Forschung miteinbezogen.

Nicht rostende Stähle

Unsere Kontrollen ergaben, dass die «Standard-Austenite» 1.4301, 1.4541, 1.4401 und 1.4571 für sämtliche sicherheitsrelevanten Befestigungselemente in Schwimmhallen ungeeignet sind. In den Fällen, wo an den nicht rostenden Stählen noch keine Korrosionserscheinungen festgestellt worden sind – bei diesen wurden jeweils nur geringe Chloridbeaufschlagungen gemessen – muss davon ausgegangen werden, dass bei einer Erhöhung der Chloridbeaufschlagung (z.B. Wechsel von Ozonung auf Chlorung) mit der Zeit auch mit Korrosion und damit mit einer Gefährdung gerechnet werden muss. Zum gleichen Schluss bezüglich der Verwendung der genannten nicht rostenden Stähle kamen praktisch alle in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen, von denen im Folgenden die wichtigsten Schlussfolgerungen zitiert werden sollen:

«Zahlreiche Untersuchungen an tragenden Bauteilen in Hallenbädern haben gezeigt, dass alle bis 1985 [in der BRD] zugelassenen CrNi-Stähle in der chlorhaltigen Atmosphäre korrodieren. ... Die so genannten «V4A»-Qualitäten weisen dabei keine bessere Korrosionsbeständigkeit auf.» [13]

«Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die leider auch heute noch vielfach im Baufach herrschende Meinung, dass Stäh-

le der «V4A»-Qualität (1.4401 bzw. 1.4571) dennoch ausreichende Korrosionsbeständigkeit in der Hallenbadatmosphäre aufweisen, nicht aufrechterhalten werden kann.» [13]

«Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Bauteile aus dem nicht rostenden Stahl der Werkstoff-Nr. 1.4301 unter dem Einfluss einer Hallenbadatmosphäre in besonderer Weise durch Spannungsrisskorrosion gefährdet sind.» [7]

«Über gechlortem Schwimmbadwasser sollten nach den vorliegenden Ergebnissen die 18/8-CrNi- bzw. 18/10/2-CrNiMo-Werkstoffe (z. B. 1.4301, 1.4401, 1.4401 und 1.4571), die Werkstoff-Nr. 1.4439, aber auch der Duplex-Stahl 1.4462 nicht für tragende Elemente eingesetzt werden.» [14]

In der Bundesrepublik Deutschland wird durch das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin die Zulassung von nicht rostenden Stählen geregelt [15]. Darin wird ausgeführt, dass die Stähle 1.4301, 1.4541, 1.4401 und 1.4571 in chlorhaltiger Atmosphäre, z.B. über gechlortem Wasser in Schwimmhallen, für tragende Teile nicht verwendet werden dürfen, wenn sich auf den Oberflächen der Bauteile Korrosionsbelastungen entwickeln können, die zu Schäden durch Spannungsrisskorrosion und Lochkorrosion führen.

In der Empfehlung SIA 179 werden die «Standard-Austenite» (Gruppe I und II, Bild 3) für Befestigungen in Schwimmhallen als nicht geeignet bezeichnet. [5]

Verzinkte Stähle

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich für sicherheitsrelevante Bauteile, die ausserhalb der Spritzwasserzone des Hallenbadbeckens liegen, und bei Vermeidung von zu Kondenswasserbildung führenden Kältebrücken, feuerverzinkte Stähle gut bewähren. Besonders interessant waren Situationen, in denen neben den verzinkten Stählen auch nicht rostende Stähle eingesetzt waren. Es konnte praktisch ausnahmslos beobachtet werden, dass trotz gleicher Korrosionsbelastung die verzinkten Stähle keine bzw. nur geringe Korrosionserscheinungen aufwiesen, während benachbarte nicht rostende Stähle bereits starke Korrosionserscheinungen aufwiesen. Diese Erfahrungen werden auch durch Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM in Berlin [9, 16, 17], der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg FMPA [7, 18] sowie der Landesgewerbeanstalt Bayern LGA [13] bestätigt. Die von Stichel [16] abgeschätzte mittlere Abtragsrate für Zink-

überzüge von 5 µm/a in Schwimmbädern ist nach unserer Erfahrung deutlich zu hoch. Sie liegt nach unseren Untersuchungen um eine Zehnerpotenz tiefer, bei 0,5 µm/a.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen können wie folgt zitiert werden:

«Die bei den hiesigen Auswertungen ebenfalls untersuchten verzinkten Stähle ergaben insgesamt auch dann ein vorteilhaftes Verhalten, wenn benachbarte CrNi-Stähle bei vergleichbarer Korrosionsbelastung extreme Spannungsrisskorrosion erlitten. Danach empfiehlt sich als eine dauerhafte und wirtschaftlich sinnvolle Lösung auch der Einsatz von feuerverzinkten Stählen mit ausreichend hoher Zinkdicke.» [7]

«... der feuerverzinkte Bandstahl hat sich über die gesamte Versuchszeit [68 Monate] hinweg erfreulich beständig verhalten.» [17]

In der Empfehlung SIA 179 werden feuerverzinkte Stähle bei Einwirkung aggressiver Medien in Hallenbädern ausserhalb des Spritzwasserbereichs als bedingt geeignet bezeichnet [5]. Unsere Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass sie für sicherheitsrelevante Bauteile gut geeignet sind.

Höherlegierte Stähle

Als Alternativen zu den genannten Werkstoffen wurden von verschiedener Seite die höherlegierten Stähle genannt:

Das für Deutschland zuständige Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin lässt für «Bauteile und Verbindungsmittel aus nicht rostenden Stählen», die in Schwimmhallen ohne regelmässige Reinigung eingesetzt werden, bei «Wasser nach der Trinkwasserordnung» (Chloridgehalt ≤ 250 mg/L) nur die Stahlsorte mit der Werkstoff-Nr. 1.4539 und bei «chloridreichen Wässern» (z.B. Solewasser) nur die Sorten mit den Werkstoff-Nrn. 1.4565, 1.4529 und 1.4547 zu [15].

In Laboruntersuchungen haben sich die austenitischen Stähle 1.4439 und 1.4539 als resistent gegenüber Spannungsrisskorrosion erwiesen [12]. Die Autoren erwähnen auch den ferritischen Stahl 1.4522 (X2Cr-MoNb18-2), der sich ebenfalls resistent gegenüber Spannungsrisskorrosion zeigte, aber wegen seiner hohen Anfälligkeit für Lochkorrosion als ungeeignet bezeichnet wird.

Nach Auslagerungsversuchen über eine maximale Dauer von 68 Monaten wurden neben dem feuerverzinkten Stahl (s.o.) die Stahlsorten 1.4529, 1.4539 sowie 1.4575

(X1CrNiMoNb28-4-2) als nahezu rostfrei gefunden. Aufgrund dieser Feststellungen wurden diese Materialien von Stichel [17] als beste Wahl für Bauteile in Schwimmhallenluft bezeichnet. Interessanterweise waren in dieser Untersuchung die gleichzeitig ausgelagerten Nickelbasis-Legierungen 2.4856 (NiCr22Mo9Nb) und 2.4858 (NiCr21Mo) stark angerostet und die molybdänärmeren waren durch Loch- und Spaltkorrosion beschädigt. Der ferritisch-austenitische Stahl war zwar angerostet, zeigte jedoch keine signifikante Lochkorrosion.

Bei neueren Untersuchungen im Labor wurde die chloridinduzierte Korrosion durch Magnesiumchlorid [19] und Hypochlorite [20] untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Werkstoffe 1.4529 und 1.4565 die beste Korrosionsbeständigkeit der untersuchten Stähle aufwiesen. Deutliche Korrosionsangriffe konnten mit abnehmender Intensität an den Werkstoffen 1.4462, 1.4439 und 1.4539 beobachtet werden.

Zur Projektierung, Bemessung, Ausführung und Prüfung von Befestigungen in Hallenbädern, bei denen ein Versagen eine Gefährdung von Personen oder schwerwiegende Sachschäden zur Folge hat, kann die Empfehlung SIA 179 [5] angewendet werden (Bild 3).

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild: Zumindest in einem Teil der erwähnten Untersuchungen wurden die Stähle 1.4439, 1.4539, 1.4422 und 1.4462 eher kritisch bewertet. Ein Teil der Untersuchungen befand 1.4575 und 1.4547 als geeignet. Hingegen haben sich 1.4529 und 1.4565 bei praktisch allen Untersuchungen als resistent erwiesen.

Kontrollierbarkeit

Bei der Werkstoffwahl sollte jedoch neben einer nachgewiesenen Korrosionsbeständigkeit auch deren Kontrollierbarkeit eine Rolle spielen. Sowohl nach Ansicht der Empa als auch gemäss Empfehlung SIA 179 müssen sicherheitsrelevante Bauteile in Hallenbädern kontrollierbar sein. Für die Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke sollte die SIA-Richtlinie 462 [21] zur Anwendung gelangen. Gemäss Norm SIA 469 «Erhaltung von Bauwerken» [22] ist die Bauwerkserhaltung Sache der Eigentümerschaft. Die Kontrollierbarkeit der verschiedenen Werkstoffe ist unterschiedlich:

Aufgrund des Korrosionsverhaltens der unlegierten Stähle mit einem Zinküberzug

als Korrosionsschutz kann die Kontrolle erfahrungsgemäss hauptsächlich visuell vorgenommen werden. Mit Hilfe einer starken Lampe sind im Deckenbereich von einer einzigen Kontrollöffnung aus sehr viele Abhängungen kontrollierbar. Die Art und das Ausmass der Korrosionserscheinungen ist relativ einfach feststellbar. Zuerst ist der Zinküberzug matt, dann können weisse Zinkkorrosionsprodukte auftreten, bei weiter fortgeschrittener Korrosion bilden sich braune Eisenkorrosionsprodukte. Da der Korrosionsangriff flächenhaft erfolgt, bleibt zwischen dem Auftreten von deutlich sichtbaren Korrosionserscheinungen und dem Versagen der Bauteile durch Materialabtrag genügend Zeit (mehrere Jahre), um Sanierungsmassnahmen einzuleiten.

Die Kontrolle von Duplexsystemen (Verzinkung und Beschichtung) ist naturgemäss etwas schwieriger, kann jedoch von mehreren, eine repräsentative Anzahl von Befestigungen erfassenden Kontrollöffnungen aus vorgenommen werden.

Die Kontrolle nicht rostender Stähle kann vor Ort vor allem von Personen ohne Erfahrung nicht oder höchstens ansatzweise erfolgen. Im Gegensatz zu den verzinkten Stählen ist die Korrosion in Hallenbädern an den hochlegierten Stählen nicht flächenhaft, sondern lokaler Natur. In diesem Fall müssen in repräsentativer Weise Bauteile entnommen und im Labor mit Hilfe aufwendigerer Methoden untersucht werden.

Das Nickel Development Institute fordert in seiner Broschüre [23] «Stainless steel in swimming pool buildings», dass in jedem Fall die Bauteile auch bei Verwendung hochmolybdänhaltiger Stähle regelmässig inspiziert werden sollen.

Aus der SIA-Dokumentation D 055 «Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Befestigungssystemen» kann zitiert werden [24]: «Entscheidende Qualitätsmerkmale im Hinblick auf die Überwachung sind Zugänglichkeit und Kontrollierbarkeit der Befestigungen. Kontrollen sind das wichtigste Element der Risikoreduktion in der Nutzungsphase.»

In der Praxis hat sich gezeigt, dass Jahre nach der Fertigstellung einer Hallenbaddecke häufig keine Pläne mehr vorhanden sind und bei der Verwendung von nicht rostenden Stählen die genaue Stahlsorte meistens nicht mehr bekannt ist. Aus diesem Grund müssen bei der Beurteilung nicht rostender Stähle eine grössere Zahl Befestigungselemente entnommen und im

Labor bestimmt werden. Leider wurde auch festgestellt, dass in der Praxis teilweise parallel mehrere Sorten nicht rostender Stähle verwendet wurden. Deshalb erweist sich eine Kontrolle von Befestigungselementen aus nicht rostenden Stählen verglichen mit solchen aus verzinktem Stahl als deutlich schwieriger und aufwendiger. Häufig wurde auch festgestellt, dass keine geeigneten Kontrollöffnungen zur Inspektion von Deckenabhängungen vorhanden waren.

Folgerungen

Sicherheitsrelevante Bauteile, die der Hallenbadatmosphäre ausgesetzt werden, müssen aus einem genügend korrosionsbeständigen Werkstoff bestehen. Zu den sicherheitsrelevanten Bauteilen gehören z.B. Befestigungselemente für abgehängte Decken aus Beton, Holz oder einem anderen Material, Halter für Hängeleuchten, Lautsprecher, Geländer von Sprungtürmen sowie Stäbe und Drahtseile zur Befestigung von Luftschächten, Wassertrutschen oder anderen Konstruktionselementen [25].

Die austenitischen Chrom-Nickel- bzw. Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle mit bis zu 3% Molybdän (Standard-Austenite) dürfen für sicherheitsrelevante Bauteile (Tragkonstruktionen) in Hallenbädern nicht benutzt werden, wenn deren Versagen zu Personenschäden führen kann. Falls diese Art Stähle in bestehenden Hallenbädern für sicherheitsrelevante Bauteile zum Einsatz kam, sollte sie durch korrosionsbeständigere Werkstoffe ersetzt werden. Für Bauteile, die vollständig mit Wasser benetzt sind, haben sich die Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle hingegen gut bewährt.

Die in letzter Zeit verschiedentlich beobachtete Umstellung des Wasserbehandlungsverfahrens von Ozonung auf Chlorung stellt für Hallenbäder, in denen nicht rostende Standard-Austenite für tragende Elemente eingesetzt wurden, ein Gefahrenpotential dar. Durch den Einsatz chlorhaltiger Chemikalien kann sich nämlich die Chloridbeaufschlagung auf den nicht rostenden Stählen erhöhen, wodurch eine Schädigung der Befestigungselemente durch Korrosion und damit ein erhöhtes Sicherheitsrisiko erfolgen kann.

Die Bedenken hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit der genannten Werkstoffe sind auch auf Dübel und Setzbolzen übertragbar, wenn die Hallenbadluft Zugang zum Inneren des Dübels hat [9].

Befestigungselemente aus verzinktem Stahl haben sich beim Einsatz ausserhalb

Literatur

- [1] Orientierung der Bezirksanwaltschaft Uster: Deckeneinsturz im Hallenbad Uster vom 9. Mai 1985. Schweizer Ingenieur und Architekt 1985, Heft 23, 566-568
- [2] Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: «Nicht rostende Stähle» DIN EN 10088 Teile 1 bis 3, 1995
- [3] Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: «Bezeichnungssysteme für Stähle» DIN EN 10027 Teil 1 und 2, 1992
- [4] Humkeler F.: Entscheidungskriterien für die Werkstoffwahl. SIA-Dokumentation D 030 «Einsatz von «nicht rostenden» Stählen im Bauwesen». Zürich, 1988
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA: Befestigungen in Beton und Mauerwerk. Empfehlung SIA 179, Ausgabe 1998
- [6] Nürnberger U.: Korrosionsverhalten von Litzen aus hochfesten austenitischen Stahldrähten. Bauingenieur 65, 171-181, 1990
- [7] Nürnberger U.: Spannungsrisskorrosion an Bauteilen aus nicht rostendem Stahl in Schwimmbädern. Stahl u. Eisen 110, 142-148, 1990
- [8] Theiler F.: Chemische Umwelteinflüsse - Fassaden, Tunnel, Hallenbäder. SIA-Dokumentation D 030 «Einsatz von «nicht rostenden» Stählen im Bauwesen». Zürich, 1988
- [9] Stichel W.: Beurteilung des Korrosionsverhaltens von Metallen und von Korrosionsschutzmassnahmen in Hallenbädern. Bericht 1.3/11467 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin 1986
- [10] Manleitner S., Stichel W.: Zur Korrosion von Bauteilen aus nicht rostendem Stahl in Schwimmbadatmosphäre. Mitteilungen des IfBt 17, 1986
- [11] Herbsleb G., Theiler F.: Spannungsrisskorrosion nicht rostender austenitischer Chrom-Nickel-Stähle bei Raumtemperatur. Werkstoffe und Korrosion 40, 467-480, 1989
- [12] Arlt N., Busch H., Grimme D., Hirschfeld D., Michel E., Beck G.S., Stellfeld I.: Stress corrosion cracking behaviour of stainless steels with respect to their use in architecture. Steel research 64, part 1: Corrosion in active state, 461-465, part 2: Corrosion in the passive state, 526-533, 1993
- [13] Haase W.: Zur Korrosion von Bauteilen aus nicht rostendem Stahl in Hallenbädern. LGA-Rundschau, Nürnberg, Heft 3, 1989
- [14] Arnold N., Gümpel P. u. Heitz T.W.: Chloridinduzierte Korrosion von nicht rostenden Stählen in Schwimmballen-Atmosphären Teil 3: Einfluss einer realen Schwimmballen-Atmosphäre. Materials and Corrosion 50, 140-145, 1999
- [15] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Bauteile und Verbindungsmittel aus nicht rostenden Stählen: Zulassungsnummer Z-30.3-6 des Instituts für Bautechnik Berlin vom 25.9.1998
- [16] Stichel W.: Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmballen. Forschungsbericht 126, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin 1986
- [17] Stichel W.: Korrosionsverhalten von verzinktem und nicht rostendem Stahl sowie von Nickelbasis-Legierungen in Schwimmballenluft. Materials and Corrosion 50, 131-139, 1999
- [18] Nürnberger U., Jäger R., Gärtner E.: Aktuelle Korrosionsprobleme bei nicht rostenden Stählen in Hallenschwimmbädern. Archiv des Badewesens 47, 535-540, 1994
- [19] Arnold N., Gümpel P., Heitz T.W. u. Pscheidl P.: Chloridinduzierte Korrosion von nicht rostenden Stählen in Schwimmballen-Atmosphären, Teil 1: Elektrolyt Magnesium-Chlorid (30%). Materials and Corrosion 48, 679-686, 1997
- [20] Arnold N., Gümpel P., Heitz T.W. u. Pscheidl P.: Chloridinduzierte Korrosion von nicht rostenden Stählen in Schwimmballen-Atmosphären, Teil 2: Einfluss von Hypochloriten. Materials and Corrosion 49, 482-488, 1998
- [21] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA: Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke. SIA-Richtlinie 462, Ausgabe 1994
- [22] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA: Erhaltung von Bauwerken. Norm SIA 469, Ausgabe 1997
- [23] Nickel Development Institute: Stainless Steel in swimming pool buildings. NIDI Publication Number 12 010, 1995
- [24] Grob J.: Erhaltung von Befestigungssystemen. SIA-Dokumentation D 055 «Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Befestigungssystemen». Zürich, 1990
- [25] Informationsstelle Edelstahl Rostfrei: Edelstahl Rostfrei in Schwimmballen. Merkblatt 831, Düsseldorf, Ausgabe 1996

der Spritzwasserzone sehr gut bewährt. Sie sind eine kostengünstige Alternative zu den höherlegierten Stählen. Die durch Feuerverzinken aufgetragenen Zinküberzüge haben wegen ihrer im Vergleich zu galvanischen Überzügen deutlich höheren Zinkschichtdicke eine wesentlich längere Nutzungsdauer.

Die Nutzungsdauer von Befestigungen aus verzinktem Stahl kann durch Aufbringen eines zusätzlichen organischen Korrosionsschutzes (Duplex-Verfahren) deutlich gesteigert werden.

Klemmfedern für Schnellspannabnehmer aus Federstahl müssen mit einem geeigneten Korrosionsschutz versehen sein.

In einer Reihe von Untersuchungen haben verschiedene Autoren festgestellt, dass von den höherlegierten Stählen einzig diejenigen mit den Werkstoff-Nummern 1.4529 und 1.4565 ausreichend beständig gegenüber den in Hallenbädern vorherrschenden Korrosionsbelastungen sind.

Obwohl die Empa selbst bisher mit diesen Stählen keine Langzeiterfahrungen gemacht hat, kann davon ausgegangen werden, dass diese Stähle für den Einsatz in Hallenbädern gut geeignet sind (Gruppe IV, Bild 3 [5]). Sie können im Besonderen auch für sicherheitsrelevante Bauteile in der Spritzwasserzone, die nicht regelmässig gereinigt werden (z.B. Wandbefestigungen, Befestigungen an Sprungtürmen), eingesetzt werden. Nachteilig hingegen sind der hohe Preis und die schlechte Verfügbarkeit der Bauteile aus diesen Werkstoffen. Wegen der nicht sofort erkennbaren Verwechslungsmöglichkeit mit anderen, weniger beständigen nicht rostenden Stählen ist die Überprüfung und Kontrolle im Vergleich zu den verzinkten Stählen deutlich aufwendiger.

Sicherheitsrelevante Bauteile, die der Hallenbadatmosphäre ausgesetzt werden, müssen regelmässig kontrolliert werden.

Bereits bei der Planung von neuen Hallenbaddecken sollten bei abgehängten

Decken an geeigneten Stellen mehrere Kontrollöffnungen für die regelmässige Inspektion vorgesehen werden.

Verzinkte Stähle lassen sich dank ihres Korrosionsverhaltens sehr einfach visuell kontrollieren.

Bei nicht rostenden Stählen sind Inspektionen auf Grund der meist nur lokal auftretenden Korrosionserscheinungen deutlich aufwendiger und können nur durch Fachleute ausgeführt werden.

Adresse der Verfasser:

Markus Faller, Dr. phil. nat., Peter Richner, Dr. sc. nat., Abt. Korrosion/Oberflächenschutz, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf