

## **Hinweise zur Einschätzung von Art und Umfang weiter zu untersuchender Stahlkonstruktionen hinsichtlich möglicher Schäden aus dem Feuerverzinkungsprozess und des Schadensfolgepotentials durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten - Fassung Juni 2010 -**

### **1 Vorbemerkung**

Diese Hinweise sollen bei der Überprüfung der Standsicherheit bestehender feuerverzinkter Stahlkonstruktionen, insbesondere aus den Erstellungsjahren von 2000 bis 2006, Hilfestellung geben. Es kann als entsprechende Ergänzung bzw. Konkretisierung der „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten“ der Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) [1] angesehen werden.

Das gehäufte Auftreten von sicherheitsrelevanten Rissen infolge flüssigmetallinduzierter Spannungsrissskorrosion in feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Zeitraum Mitte 2000 bis Mitte 2006 führte zur Erstellung der DAST-Richtlinie 022:2009-08 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ [2]. Dort werden die Regeln und Randbedingungen im Hinblick auf eine rissfreie Feuerverzinkung im Einklang mit deutschen und europäischen Stahlbaunormen und Sicherheitsanforderungen vorgegeben. Sie ergänzt die existierenden Regeln DIN EN ISO 1461 und DIN EN ISO 14713, welche für das Feuerverzinken allgemein gelten, sich jedoch nicht mit den spezifischen Sicherheitsanforderungen tragender Bauteile aus Stahl gemäß den Normen der Normenreihe DIN 18800 bzw. DIN EN 1993 und DIN EN 1090 auseinandersetzen.

Durch die Aufnahme der DAST-Richtlinie 022:2009-08 in die Bauregelliste A Teil 1 ist die Feuerverzinkung nunmehr auch im Hinblick auf Standsicherheitsbelange geregelt. Gleichwohl bedarf es ebenfalls einer Gewährleistung der Standsicherheit bestehender feuerverzinkter Stahlkonstruktionen, insbesondere aus den Jahren 2000 bis 2006, in denen veränderte, die Risswahrscheinlichkeit deutlich erhöhende Zinklegierungen in den Tauchbädern zum Einsatz gekommen sind. Zur Erlangung eines Überblicks über den Sicherheitszustand von feuerverzinkten Stahlbaukonstruktionen dieses Zeitraums sollen die nachfolgenden Ausführungen sowie das als Anlage 1 angefügte Ablaufdiagramm helfen.

### **2 Beschreibung von Merkmalen**

Im Folgenden werden Merkmale beschrieben, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass verzinkungsbedingte Risse auftreten, die bezüglich der Standsicherheit von Bedeutung sind. Erst durch die Verknüpfung von Merkmalen untereinander können Risiken, nach denen man Entscheidungen über den Umfang von Untersuchungen trifft, abgeschätzt werden.

#### **2.1 Merkmal 1: „Belastung und Nutzung“**

Die Schadenswahrscheinlichkeiten und Schadensfolgen wachsen mit der Art der Belastung:

- Konstruktionen mit nicht ruhenden Belastungen bergen die Gefahr eines anschließenden Ermüdungsrissswachstums im Gegensatz zu Konstruktionen mit vorwiegend ruhender Belastung,
- eine Einwirkung von tiefen Temperaturen auf die Konstruktion erhöht die Sprödbbruchgefahr,
- Bauwerke, bei denen eine hohe Ausnutzung der Beanspruchbarkeit zu erwarten ist, haben wenig Reserven und deshalb ein höheres Versagensrisiko.

Die Art der Nutzung kann ebenfalls das Maß der Schadensfolgen beeinflussen. Hohe Schadensfolgen können eintreten bei:

- einem Versagen von Gebäuden bzw. Konstruktionen mit hohem Publikumsverkehr wie z. B. Konferenzsälen, Sportstätten,
- Konstruktionen, bei denen es im Versagensfall zu besonders hoher Gefährdung von Personen und Umwelt kommen kann (z. B. Chemieanlagen).

Im Gegensatz dazu sind die Schadensfolgen z. B. bei landwirtschaftlichen Bauten in der Regel als gering anzusehen.

## **2.2 Merkmal 2: "Verzinkung, Legierung des Zinkbades"**

Untersuchungen haben gezeigt, dass bereits bei Zinngehalten ab 0,1 Gew.-% im Zinkbad die Rissneigung zunehmen kann. Vor dem Hintergrund, dass auch vor dem Jahr 2000 in Zinkbädern mit Zinngehalten von bis ca. 0,3 Gew.-% verzinkt worden ist, ohne dass ein signifikanter Anstieg der Schadenshäufigkeit zu verzeichnen gewesen wäre, erscheint eine weitere Untersuchung von bestehenden feuerverzinkten Stahlkonstruktionen erst erforderlich, wenn der Zinngehalt in den Zinkbädern mehr als 0,3 Gew.-% betrug.

## **2.3 Merkmal 3: „Verzinkung, Art des Bauteils“**

Da in der Regel ganze Bauteile am Stück feuerverzinkt werden, ist nicht nur die Detailsausbildung an Stellen möglicher Rissbildung zu betrachten. Auch die zusammenhängende, am Stück zu verzinkende Konstruktion kann strukturbedingt über thermische Zwängungen zur Rissbildung neigen. Dies ist insbesondere z. B. in der Umgebung von Knoten von Fachwerken infolge der dortigen Dehnungsbehinderungen bei nicht gleichmäßiger Erwärmung des Gurts gegenüber den Füllstäben beim Eintauchen in das Zinkbad der Fall. In diesem Zusammenhang ist aufgefallen, dass es bei Fachwerken mit schräg zulaufenden Gurten an der spitzen Ecke oder an benachbarten Knotenpunkten zu sehr großen Dehnungsbehinderungen kommen kann.

Dies gilt auch für niedrige Fachwerke oder Vierendeelkonstruktionen (Leiterkonstruktionen), Fachwerke mit großem Verhältnis der Trägheitsmomente  $I_{\text{Gurt}} / I_{\text{Füllstab}}$  oder Fachwerke aus Hohlprofilen, die aufgrund geringer Durchlauföffnungen nur sehr langsam eingetaucht werden können.

## **2.4 Merkmal 4: „Tragwerk, statische Empfindlichkeit / Robustheit“**

Zu Tragwerken, die aufgrund ihres statischen Konzepts und ihrer Funktion im Bauwerk besondere Schadensfolgen erwarten lassen, zählen z. B.:

- Weitgespannte Trägerkonstruktionen mit Profil- und Blechdickenmerkmalen gemäß 2.5, insbesondere im Zugbereich,
- Fachwerke (Zuggurte, Zugdiagonalen und Zugpfosten) mit primärer Tragfunktion, ebene Fachwerke ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten, große Raumfachwerke,
- Hänger- und Zügelkonstruktionen,
- Rahmenkonstruktionen, insbesondere jene mit Merkmalen gemäß 2.5 in Zugbereichen.

## **2.5 Merkmalkategorie 5: „Konstruktive Ausbildung“**

Einfluss auf die Höhe der Risswahrscheinlichkeit haben auch die nachfolgend unter a) bis d) beispielhaft aufgeführten Merkmale, die allein oder in Kombination auftreten können. Weitere Anhaltspunkte zur Konstruktions- und Detailbeurteilung können der DAST-Richtlinie 022:2009-08 entnommen werden:

a) Details

- Endausbildungen von Trägern und Stützen,
- Schweißnahtverbindungen,
- Anschlussausbildungen,
- Komplexität von Details.

b) Profilgrößen und Blechdicken

- Art und Höhe von Profilen, z. B.  $h \geq 450$  mm,
- vorwiegend verwendete Blech- und Flanschstärken, z. B.  $t \geq 30$  mm.

c) Stahlgüte

Grundsätzlich können Konstruktionen aller Stahlgüten betroffen sein; es hat sich jedoch gezeigt, dass ab Festigkeitsklasse S355 die Risstiefe ansteigt.

d) Kaltverformungen

Vor dem Feuerverzinken kalt umgeformte Bauteile, wie Trittstufenbügel, Sicherheitseinrichtungen etc. können ein erhöhtes Schadensrisiko infolge Rissbildung beim Feuerverzinken bergen.

### **3 Empfehlungen für das weitere Vorgehen bei feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Bestand**

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit von feuerverzinkungsbedingten Schäden und eventuelle Schadensfolgen im Wesentlichen von den im Abschnitt 2 beschriebenen Merkmalen abhängt. Als Hilfestellung bei der Entscheidung, welche Konstruktionen auf feuerverzinkungsbedingte Schäden, die zur Beeinträchtigung der Standsicherheit führen können, zu untersuchen sind, dient das Ablaufdiagramm in Anlage 1. Sonderfälle, die sich nicht in das Schema des Ablaufdiagramms einordnen lassen wie z. B. einbetonierte verzinkte Stahlbauteile, sind individuell einzuschätzen.

### **4 Festlegung der Prüforte und des Prüfumfanges sowie Durchführung der Prüfung**

Wenn eine Untersuchung auf feuerverzinkungsbedingte Risse erforderlich ist, sollten die Festlegung der Prüforte (Bereiche mit hoher statischer Auslastung, rissanfälligen konstruktiven Details etc.) und des Prüfumfanges durch fachkundige oder besonders fachkundige Personen auf dem Gebiet des Stahlbaus erfolgen.

Fachkundige Personen sind z. B. Bauingenieure und Architekten, die mindestens fünf Jahre Tätigkeit mit der Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen, mit technischer Bauleitung und mit vergleichbaren Tätigkeiten, davon mindestens drei Jahre mit der Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen, nachweisen können. Sie sollen Erfahrungen mit Stahlkonstruktionen nachweisen können. Als fachkundig gelten auch Bauingenieure und Architekten, die eine mindestens dreijährige Erfahrung mit der Überprüfung von Stahlkonstruktionen belegen können.

Besonders fachkundige Personen sind z. B. Bauingenieure, die mindestens zehn Jahre Tätigkeit mit der Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen, mit technischer Bauleitung und mit vergleichbaren Tätigkeiten, davon mindestens fünf Jahre mit der Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen und mindestens ein Jahr mit technischer Bauleitung, nachweisen können. Sie sollen Erfahrungen mit Stahlkonstruktionen nachweisen können.

Die Voraussetzung für eine besonders fachkundige Person erfüllen z. B.:

- Bauingenieure mit o. g. Qualifikation,
- Prüferingenieure für Standsicherheit / Prüfsachverständige für Standsicherheit für Metallbau und Prüfämter, die bauaufsichtliche Prüfaufgaben im Bereich der Standsicherheit wahrnehmen.

Zerstörungsfreie Prüfungen sind mit geeigneten Verfahren durchzuführen. Als geeignetes Verfahren gilt derzeit die Magnetpulverprüfung (MT – Verfahren).

Die Magnetpulverprüfung darf nur von geschultem Personal (mindestens Level II-Anforderung der DIN EN 473 für das MT-Verfahren) durchgeführt werden. Mindestens ein Prüfer am Prüfobjekt muss Erfahrungen bei der Prüfung feuerverzinkter Stahlkonstruktionen haben und andere Prüfer, die keine Erfahrungen haben, entsprechend einweisen.

Für die Ausführung der Magnetpulverprüfung ist DAST-Richtlinie 022:2009-08, Anlage 3 zu beachten.

## **5 Literatur**

- [1] „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten“, Bauministerkonferenz - Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU), Fassung September 2006
- [2] DAST-Richtlinie 022 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, August 2009

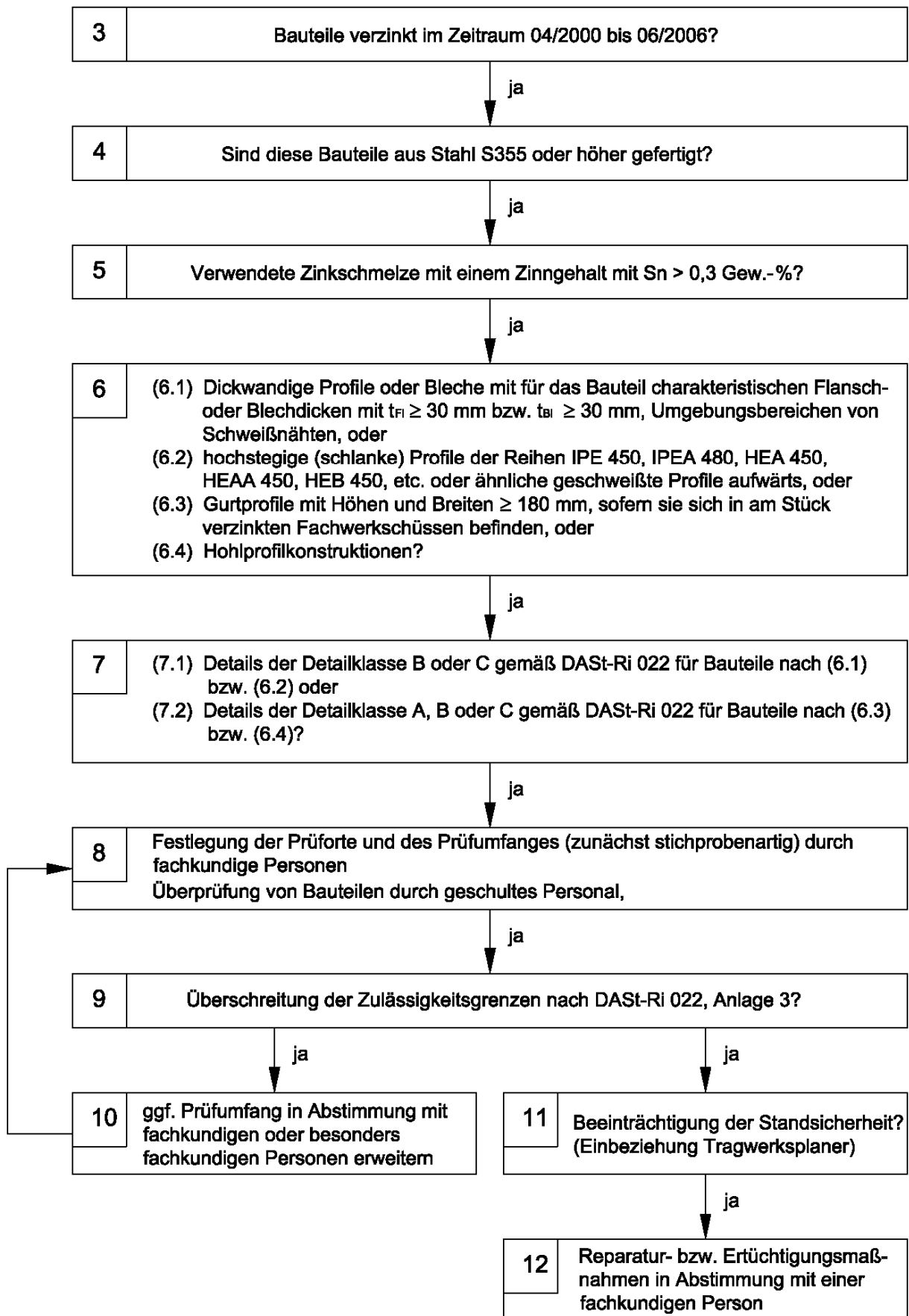
## Anlage 1: Ablaufdiagramm zum Vorgehen bei der Überprüfung verzinkter Stahlkonstruktionen aus den Jahren 2000 bis 2006

<b>1</b>	Bauwerk oder Bauteil gemäß Kategorie 1, 2 oder 3 der Tabelle 1?																
<p><b>Tabelle 1:</b> Einteilung der zum Anwendungsbereich gehörenden baulichen Anlagen nach Gefährdungspotential und Schadensfolgen</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%; text-align: center;">1</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">2</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="font-size: small;"><i>Gefährdungspotential/ Schadensfolgen</i></td> <td style="font-size: small;"><i>Gebäudetypen und exponierte Bauteile</i></td> <td style="font-size: small;"><i>Beispielhafte, nicht abschließende Aufzählung</i></td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"><i>Kategorie 1</i></td> <td style="vertical-align: top;"><i>Versammlungsstätten mit mehr als 5000 Personen</i></td> <td style="vertical-align: top;"><i>Stadien</i></td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"><i>Kategorie 2</i></td> <td style="vertical-align: top;"> <i>Bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe</i>   <i>Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten &gt; 12 m und/oder Auskragungen &gt; 6 m sowie großflächige Überdachungen</i>   <i>Exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotential beinhalten</i>   <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i> </td> <td style="vertical-align: top;"> <i>Fernsehtürme, Hochhäuser</i>   <i>Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Mehrzweck-, Sport-, Eislauf-, Reit-, Tennis-, Passagierabfertigungs-, Pausen-, Produktionshallen, Kinos, Theater, Schulen</i>   <i>Große Vordächer, angehängte Balkone, vorgehängte Fassaden, Kuppeln</i>   <i>Hänger- und Zügelkonstruktionen incl. ihrer Anschlüsse und ihrer lastweiterleitenden Konstruktionen (Pylonköpfe und Verankerungen) mit Lasteinzugsflächen ≥ 40 m<sup>2</sup></i> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"><i>Kategorie 3</i></td> <td style="vertical-align: top;"> <i>Bauliche Anlagen mit über 30 m Höhe und/oder mit Stützweiten &gt; 12 m</i>   <i>Ermüdungsgefährdete Konstruktionen</i>   <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i> </td> <td style="vertical-align: top;"> <i>Fußgängerbrücken Flutlichtmaste Maste mit Hohlprofilen</i>   <i>Kranbahnträger und Konsolen von Kranbahnträgern ab Beanspruchungsgruppe B4 bis B6 nach DIN 4132, fliegende Bauten sofern ermüdungsbeansprucht</i>   <i>am Stück verzinkte Fachwerke, Rahmen- oder Trägerkonstruktionen</i> </td> </tr> </tbody> </table>			1	2	3	<i>Gefährdungspotential/ Schadensfolgen</i>	<i>Gebäudetypen und exponierte Bauteile</i>	<i>Beispielhafte, nicht abschließende Aufzählung</i>	<i>Kategorie 1</i>	<i>Versammlungsstätten mit mehr als 5000 Personen</i>	<i>Stadien</i>	<i>Kategorie 2</i>	<i>Bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe</i>  <i>Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten &gt; 12 m und/oder Auskragungen &gt; 6 m sowie großflächige Überdachungen</i>  <i>Exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotential beinhalten</i>  <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i>	<i>Fernsehtürme, Hochhäuser</i>  <i>Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Mehrzweck-, Sport-, Eislauf-, Reit-, Tennis-, Passagierabfertigungs-, Pausen-, Produktionshallen, Kinos, Theater, Schulen</i>  <i>Große Vordächer, angehängte Balkone, vorgehängte Fassaden, Kuppeln</i>  <i>Hänger- und Zügelkonstruktionen incl. ihrer Anschlüsse und ihrer lastweiterleitenden Konstruktionen (Pylonköpfe und Verankerungen) mit Lasteinzugsflächen ≥ 40 m<sup>2</sup></i>	<i>Kategorie 3</i>	<i>Bauliche Anlagen mit über 30 m Höhe und/oder mit Stützweiten &gt; 12 m</i>  <i>Ermüdungsgefährdete Konstruktionen</i>  <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i>	<i>Fußgängerbrücken Flutlichtmaste Maste mit Hohlprofilen</i>  <i>Kranbahnträger und Konsolen von Kranbahnträgern ab Beanspruchungsgruppe B4 bis B6 nach DIN 4132, fliegende Bauten sofern ermüdungsbeansprucht</i>  <i>am Stück verzinkte Fachwerke, Rahmen- oder Trägerkonstruktionen</i>
1	2	3															
<i>Gefährdungspotential/ Schadensfolgen</i>	<i>Gebäudetypen und exponierte Bauteile</i>	<i>Beispielhafte, nicht abschließende Aufzählung</i>															
<i>Kategorie 1</i>	<i>Versammlungsstätten mit mehr als 5000 Personen</i>	<i>Stadien</i>															
<i>Kategorie 2</i>	<i>Bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe</i>  <i>Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten &gt; 12 m und/oder Auskragungen &gt; 6 m sowie großflächige Überdachungen</i>  <i>Exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotential beinhalten</i>  <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i>	<i>Fernsehtürme, Hochhäuser</i>  <i>Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Mehrzweck-, Sport-, Eislauf-, Reit-, Tennis-, Passagierabfertigungs-, Pausen-, Produktionshallen, Kinos, Theater, Schulen</i>  <i>Große Vordächer, angehängte Balkone, vorgehängte Fassaden, Kuppeln</i>  <i>Hänger- und Zügelkonstruktionen incl. ihrer Anschlüsse und ihrer lastweiterleitenden Konstruktionen (Pylonköpfe und Verankerungen) mit Lasteinzugsflächen ≥ 40 m<sup>2</sup></i>															
<i>Kategorie 3</i>	<i>Bauliche Anlagen mit über 30 m Höhe und/oder mit Stützweiten &gt; 12 m</i>  <i>Ermüdungsgefährdete Konstruktionen</i>  <i>Bauteile/Tragwerke mit primärer Tragfunktion ohne Lastumlagerungsmöglichkeiten</i>	<i>Fußgängerbrücken Flutlichtmaste Maste mit Hohlprofilen</i>  <i>Kranbahnträger und Konsolen von Kranbahnträgern ab Beanspruchungsgruppe B4 bis B6 nach DIN 4132, fliegende Bauten sofern ermüdungsbeansprucht</i>  <i>am Stück verzinkte Fachwerke, Rahmen- oder Trägerkonstruktionen</i>															

↓ ja

<b>2</b>	Bauwerk mit tragenden Bauteilen aus feuerverzinktem Stahl?
----------	--

↓ ja



Eine Überprüfung der feuerverzinkten Stahlkonstruktion ist erforderlich, wenn alle Fragen bis einschließlich **7** mit "ja" beantwortet wurden.