

# A Arbeitshilfe A.1.3

## Empfehlung zur Stahlsortenwahl im Stahlhochbau

### Die Vorzüge der Stahlsorte S355 gegenüber Stählen mit geringerer Festigkeit

#### Überblick

Baustoffe mit höherer Festigkeit ermöglichen mit weniger Material und damit wirtschaftlicher und nachhaltiger zu bauen. Durch die ständige Weiterentwicklung des Herstellungsprozesses von warmgewalztem Baustahl sind heute Stahlsorten S355 oder höher (z. B. S460 nach DIN EN10025) wirtschaftlich herstellbar.

In Deutschland wird im Stahlhochbau heute immer noch vorwiegend die Stahlsorte S235 eingesetzt. Technische Ursachen zum bevorzugten Einsatz von S235 sind hierfür allerdings selten gegeben.

Auf europäischer Ebene ist ein deutlicher Trend zur Stahlgüte S355 zu beobachten, welcher in den nur geringen Mehrkosten von S355 gegenüber S235 begründet liegt. Schon bei einer Querschnittsreduktion um nur eine Profilstufe ist bei Walzträgern der Einsatz von S355 gegenüber S235 wirtschaftlich.

Zusätzliche Kostenersparnisse in der Fertigung, z. B. durch Anschlussoptimierung, Entfall von Steifen oder geringeren Schweißnahtdicken, sind typisch. Stähle höherer Festigkeit ermöglichen somit im Allgemeinen eine Optimierung von Materialeinsatz und Kosten und sind insgesamt nachhaltiger.

#### Verfügbarkeit

Stahlsorten bis S355 werden standardmäßig und mit den üblichen Mindestbestimmungen hergestellt und sind ab Werk kurzfristig verfügbar. Höhere Festigkeiten wie S460 bedingen teilweise höhere Mindestbestimmungen oder z.B. eine etwas geringere Anzahl an verfügbaren Walzprofilen. Auch beim Produkt Grobblech sind höherfeste Stahlsorten über S355 hinaus fest etabliert und ab Werk bzw. Handel verfügbar.

#### Ausführungsklassen für Stahlkonstruktionen

Die Mehrheit der Stahlkonstruktionen im Hochbau liegt in Ausführungsklasse (Execution Class) EXC2. Diese bedingt eine Standardqualitätsanforderung an die Schweißnähte nach DIN EN ISO 3834. Die Ausführungsklasse EXC2 und höhere Klassen bedingen höhere Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfungen als die einfachste Ausführungsklasse EXC1, welche allerdings nur für einfachste Stahlkonstruktionen zulässig und von untergeordneter Bedeutung ist. Diese Anforderungen beziehen sich im Übrigen nicht auf einzelne Projekte, sondern auf die laufende Fertigung.

Somit muss ein z.B. für EXC3 zertifizierter Stahlbaubetrieb keine zusätzlichen Anforderungen für einzelne Projekte in der Ausführungsklasse EXC3 erfüllen. Ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 ist für die Stahlsorte S355 bei der Bestellung zu vereinbaren und üblich. Damit ist die spezifische Materialrückverfolgbarkeit gegeben.

#### Materialzähigkeit

DIN EN 1993-1-10, Tabelle 2.1 definiert die zulässigen Erzeugnisdicken abhängig von der Bezugstemperatur.

Danach werden unter 30 mm Erzeugnisdicke selten höhere Zähigkeiten erforderlich und S355J0 ist in den überwiegenden Fällen ausreichend. Bei sehr tiefen Bezugstemperaturen (< -20°C) kann S355J2 erforderlich werden.

Bei Erzeugnisdicken über 30 mm werden Feinkornbaustähle (z.B. S355N nach DIN EN 10025-3 oder S355M nach DIN EN 10025-4) empfohlen, welche neben weiter verbesserten Zähigkeiten auch das Äquivalenzkriterium nach DIN EN 1993-1-1/NA erfüllen und somit auf den Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 verzichten können.

#### Schweißeignung

Unter Einhaltung der allgemeinen Regeln der Schweißtechnik sind die heutigen Stahlsorten nach DIN EN 10025 für alle manuellen, mechanisierten, voll-mechanisierten und automatischen Prozesse geeignet.

Richtwert für die Schweißeignung sind die Kohlenstoffäquivalente CEV, welche in DIN EN 10025 Teile 2 - 5 geregelt ist und CET, welches in SEW 088 und DIN EN 1011-2 zur Ermittlung der Vorwärmtemperaturen herangezogen wird. Hierbei ist der CEV-Wert ein Indikator für Aufhärtungsrisse und der CET-Wert ein Indikator für Wasserstoffunterstützte Risse. Rein rechnerisch liegt der CET-Wert 0,1 % bis 0,15 % unter dem CEV-Wert. Grundsätzlich muss im jeweiligen Einzelfall entschieden werden, ob vorgewärmt werden muss oder nicht. Nachfolgende Tabelle gibt eine Entscheidungshilfe.

**Tabelle 1: Vorwärmbedingungen nach SEW 088 und DIN EN 1011-2**

Erzeugnisdicke	Stahlsorte n. DIN EN 10025, Teile 2 -5	CEV max. [%]	CET max. [%]	Empfehlung
$t \leq 30$ mm	S355 (Alle)	0,40	0,31	kein Vorwärmen
$30 \text{ mm} < t \leq 40$ mm	S355J2*/K2* (DIN EN 10025-2)	0,47	zu ermitteln aus Materialprüfzeugnis	Vorwärmen s. Anhang
	S355N (DIN EN 10025-3)	0,43	zu ermitteln aus Materialprüfzeugnis	Vorwärmen s. Anhang
	S355M (DIN EN 10025-4)	0,39	0,26	kein Vorwärmen

\* Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 erforderlich. Empfehlenswert ist allerdings das Äquivalenzkriterium nach DIN EN 1993-1-1/NA, d.h. die Verwendung von Feinkornbaustahl nach DIN EN 10025-3 oder DIN EN 10025-4 (s. nachfolgende Spalten)

**Tabelle 2: Anhaltswerte der Grenzdicke für das Vorwärmen nach SEW 088 Tabelle 5**

Kohlenstoffäquivalent CET [%]	Grenzdicke [mm]
0,26	40
0,31	30
0,34	20
0,38	12
0,40	8

## Feuerverzinken

Tragende Stahlbauteile sind für das Feuerverzinken nach DAST-RL 022 in sogenannte Vertrauenszonen einzustufen. Während für Bauteile aus S235 generell die Vertrauenszone 1 gilt, sind für Stahlbauteile aus S355 mit Querschnittshöhen >300 mm auch Einstufungen in die Vertrauenszonen 2 und 3 möglich. In solchen Fällen vergrößert sich Prüfaufwand der Stahlbauteile nach dem Feuerverzinken.

## Nachhaltigkeit

Verwendung von Baustählen höherer Festigkeit führt zur Reduzierung der Bauteilmassen. Bereits der Einsatz der bewährten Stahlsorte S355 anstelle von S235 ermöglicht Materialeinsparungen in einer signifikanten Größenordnung. Die Realisierung solcher einfacher Materialeinsparungen kommt sowohl der Umwelt durch geringere CO<sub>2</sub>-Belastung in der Produktion als auch den ausführenden Unternehmen durch geringere Material- und Verarbeitungskosten zugute. Bereits bei einer Reduktion des benötigten Walzprofils um nur eine Profilstufe ist der Einsatz von S355

gegenüber S235 wirtschaftlicher und umweltfreundlicher. Aus diesem Grund werden die Stahlsorten S235 und S275 in vielen Märkten zunehmend durch S355 vollständig ersetzt, ein Trend, der auch in Deutschland unverzichtbar ist. Weitere Einsparungen können durch Baustähle in S460 erzielt werden. Eine Stütze in S460 ist bspw. bis zu 32% leichter als eine vergleichbare Stütze in S355 mit ähnlicher Tragfähigkeit und verringert so weiter den CO<sub>2</sub>-Ausstoß und Materialkosten.

Beispiel: Treibhauspotenzial für das Stahltragwerk einer bauforumstahl-Typenhalle [www.bauforumstahl.de]

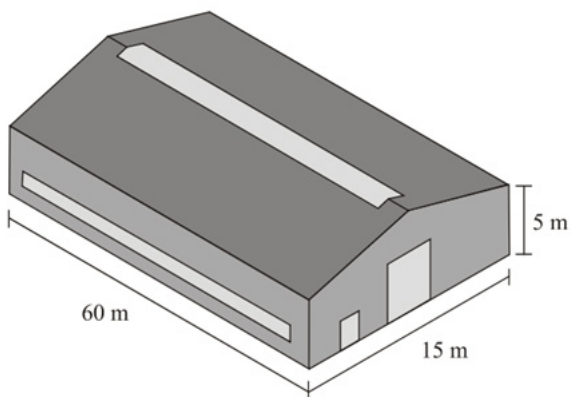


Abb. 1: Hallenabmessungen

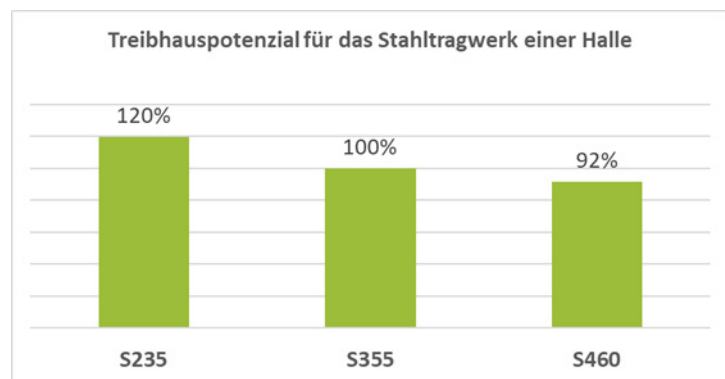


Abb. 2: Vergleich des Treibhauspotenzials

## Anhang

Prävention potentieller Risserscheinungen in Baustählen (ausführlich)	
Kaltrisse vom Typ <b>Aufhängungsriß</b>	Kaltrisse vom Typ <b>wasserstoffunterstützter Riß</b>
„ <b>Abkühlzeitkonzept</b> “ („T <sub>0</sub> -Konzept“)	„ <b>Wasserstoffrisiskonzept</b> “ („T <sub>P</sub> -Konzept“)
Ermitteln der Notwendigkeit einer Vorwärmung	
Berechnung von Kohlenstoffäquivalenten CEV	Berechnung von Kohlenstoffäquivalenten CET
$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$	$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{(Ni)}{40}$
Vergleich mit maximal zulässigen CEV-Angaben in z. B. EN 10 025-2/6	Vergleich der CET-Angaben mit Grenzblechdicken nach SEW 088
bei Überschreitung von CEV ≥ 0,40 % ist eine Vorwärmung empfehlenswert	bei Überschreitung von CET in Abhängigkeit von der Grenzblechdicke ist eine Vorwärmung emp- fehlenswert
Berechnung der Vorwärmtemperatur	
Lösung 1 für T <sub>0</sub> (vergleichsweise dicke Bleche)	Berechnen des Wärmeeinbringens
$T_{03} = 113,64 \cdot \ln \left( \frac{198,6 \cdot t_{8/5} \cdot v_s \cdot V}{F_3 \cdot U \cdot I \cdot k} - 5,3126 \right)$	$Q = k \cdot \left( \frac{U \cdot I}{v} \right) \cdot 10^{-3}$
Lösung 2 für T <sub>0</sub> (vergleichsweise dünne Bleche)	Berechnen von T <sub>P</sub>
$T_{02} = 81,3 \cdot \ln \left( \frac{187,1 \cdot t_{8/5} \cdot d^2 \cdot v_s^2}{F_2 \cdot U^2 \cdot I^2 \cdot k^2} - 6,8943 \right)$	$T_P = 700 \cdot CET + 160 \cdot \tanh \left( \frac{d}{35} \right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 330$
Es gilt der jeweils höhere Wert von T <sub>0</sub> .	Bewerten der Höhe von T <sub>P</sub> .
Ist T <sub>0</sub> > T <sub>P</sub> gilt T <sub>0</sub> , ist T <sub>0</sub> < T <sub>P</sub> gilt T <sub>P</sub> jedoch nicht höher als 220 °C.	

In diesen Gleichungen bedeuten:

<b>t<sub>8/5</sub></b>	Abkühlzeit zwischen 800 und 500 °C (s)
<b>k</b>	relativer thermischer Wirkungsgrad (bezogen auf UP)
<b>F<sub>2</sub></b>	Nahtfaktor für die sogenannte zweidimensionale Wärmeableitung
<b>F<sub>3</sub></b>	Nahtfaktor für die sogenannte dreidimensionale Wärmeableitung
<b>HD</b>	diffusibler Wasserstoff in ml/100 g Schweißgut

<b>U</b>	Lichtbogenspannung (V)
<b>I</b>	Schweißspannung (A)
<b>v<sub>s</sub></b>	Schweißgeschwindigkeit (mm/s)
<b>d</b>	Blechdicke (mm)
<b>Q</b>	Wärmeeinbringen in kJ/cm

## Prävention potentieller Risserscheinungen in Baustählen

### Kaltrisse vom Typ Aufhärtungsrisse

Berechnung Lösung 1 für Vorwärmtemperatur  $T_0$  (vergleichsweise dicke Bleche)

$$T_{03} = 113,64 \cdot \ln \left( \frac{198,6 \cdot t_{8/5} \cdot v_s}{F_3 \cdot U \cdot l \cdot k} - 5,3126 \right)$$

### Kaltrisse vom Typ Aufhärtungsrisse

Berechnung Lösung 2 für Vorwärmtemperatur  $T_0$  (vergleichsweise dünne Bleche)

$$T_{02} = 81,3 \cdot \ln \left( \frac{187,1 \cdot t_{8/5} \cdot d^2 \cdot v_s^2}{F_2 \cdot U^2 \cdot l^2 \cdot k^2} - 6,8943 \right)$$

### Kaltrisse vom Typ wasserstoffunterstützter Riss

Berechnung Vorwärmtemperatur  $T_P$

$$T_P = 700 \cdot CET + 160 \cdot \tanh \left( \frac{d}{35} \right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 330$$

mit

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{(Ni)}{40} \quad \text{und} \quad Q = k \cdot \left( \frac{U \cdot l}{v} \right) \cdot 10^{-3}$$

**Die Vorwärmtemperatur ist der höchste Wert von  $T_{02}$ ,  $T_{03}$  und  $T_P$ .**  
jedoch nicht höher als 220 °C.

Mit diesen Algorithmen wird sowohl die Anfälligkeit gegen Aufhärtungs- als auch gegen wasserstoffunterstützte Risse erfasst. Sie beruhen auf den bewährten Abhängigkeiten in SEW 088 bzw. DIN EN 1011-2 und berücksichtigen werkstoffspezifische Parameter (chem. Zusammensetzung, Blechdicke, Vorgaben zur  $t_{8/5}$ -Zeit der Hersteller, diff. Wasserstoff) als auch das Wärmeeinbringen.