

OTIF



ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE POUR
LES TRANSPORTS INTERNATIONAUX FERROVIAIRES

ZWISCHENSTAATLICHE ORGANISATION FÜR DEN
INTERNATIONALEN EISENBAHNVERKEHR

INTERGOVERNMENTAL ORGANISATION FOR INTER-
NATIONAL CARRIAGE BY RAIL

OTIF/RID/RC/2011/17
(ECE/TRANS/WP.15/AC.1/2011/17)

4. Januar 2011

Original: Englisch

RID/ADR/ADN

Gemeinsame Tagung des RID-Fachausschusses und der
Arbeitsgruppe für die Beförderung gefährlicher Güter
(Bern, 21. bis 25. März 2011)

Tagesordnungspunkt 2: Tanks

Kapitel 6.8: Kategorisierung austenitisch-ferritischer rostfreier Stahlsorten

Antrag Schwedens

ZUSAMMENFASSUNG

Erläuternde Zusammenfassung:

Dieser Antrag sieht eine eigene Kategorie und eine
Änderung der Mindestwanddicken für austenitisch-
ferritische rostfreie Stahlsorten in Absatz 6.8.2.1.19
vor.

Zu treffende Entscheidung:

Änderung des Wortlauts in Absatz 6.8.2.1.19 und
Aufnahme einer neuen Vorschrift für austenitisch-
ferritische rostfreie Stahlsorten.

Damit zusammenhängende Dokumente: Keine.

Aus Kostengründen wurde dieses Dokument nur in begrenzter Auflage gedruckt. Die Delegierten werden daher gebeten, die ihnen zugesandten Exemplare zu den Sitzungen mitzubringen. Die OTIF verfügt nur über eine sehr geringe Reserve.

Einleitung

1. Die Mindestwanddicken für Niederdrucktanks werden in den Absätzen 6.8.2.1.17 bis 6.8.2.1.22 ADR festgelegt.
2. Besteht ein Schutz des Tankkörpers gegen Beschädigung durch seitliches Anfahren oder Überschlagen, kann die gleichwertige Wanddicke verringert werden. Die Tabelle in Absatz 6.8.2.1.19 beinhaltet die Mindestwanddicken für die vier gängigen Werkstoffgruppen im Falle eines bestehenden Beschädigungsschutzes. Diese vier Werkstoffgruppen und die dazugehörigen Mindestwanddicken finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1

Mindestwanddicke von Tankkörpern gemäß Absatz 6.8.2.1.19

		Durchmesser des Tankkörpers	
		≤ 1,80 m	> 1,80 m
Mindestwand- dicke des Tankkörpers	rostfreie austenitische Stähle	2,5 mm	3 mm
	andere Stähle	3 mm	4 mm
	Aluminiumlegierungen	4 mm	5 mm
	Aluminium, 99,80 % rein	6 mm	8 mm

3. Austenitisch-ferritische rostfreie Stahlsorten (auch rostfreie Duplex-Stähle) gehören zur zweiten Gruppe "andere Stähle" und werden daher wie Baustahl behandelt.
4. Diese Kategorisierung ist jedoch unpräzise und berücksichtigt nicht die Eigenschaften der austenitisch-ferritischen Stahlsorten. Das Potenzial der austenitisch-ferritischen rostfreien Stahlsorten kann somit nicht genutzt werden, wodurch Tankherstellern eine Möglichkeit zur Entwicklung kosteneffizienter Lösungen genommen wird.
5. Es wird daher vorgeschlagen, die Tabelle um eine fünfte Werkstoffgruppe für austenitisch-ferritische rostfreie Stahlsorten gemäß Norm EN 10028-7 zu ergänzen. Die Mindesteigenschaften dieser austenitisch-ferritischen Stähle werden in Tabelle 2 zusammengefasst.
6. Weiter wird vorgeschlagen, für austenitisch-ferritische rostfreie Stähle die gleichen Mindestwanddicken wie für austenitische rostfreie Stähle zu übernehmen. Dieser Vorschlag wird weiter unten unter "Begründung" näher erläutert.
7. Mit Hilfe der Formel in Absatz 6.8.2.1.18 kann die Mindestwanddicke für Tankkörper ohne Beschädigungsschutz errechnet werden. In Absatz 6.8.2.1.19 wird erläutert, wie die Formel im Falle eines bestehenden Beschädigungsschutzes angepasst werden kann. Dies führt bei Tanks mit einem Durchmesser von > 1,8 m zu $e_0 = 4$ mm und bei Tanks mit einem Durchmesser von ≤ 1,8 m zu $e_0 = 3$ mm.

$$e_1 = \frac{464 e_0}{\sqrt[3]{(Rm_1 A_1)^2}} \quad (\text{Formel gemäß Absatz 6.8.2.1.18})$$

In dieser Formel bedeutet:

- e_1 = Mindestwanddicke des Tankkörpers in mm für das gewählte Metall;
- e_0 = Mindestwanddicke des Tankkörpers in mm für Baustahl nach den Absätzen 6.8.2.1.18 und 6.8.2.1.19;
- Rm_1 = Mindestzugfestigkeit des gewählten Metalls in N/mm²;
- A_1 = Mindestbruchdehnung in % des gewählten Metalls.

8. Berechnungen fanden sowohl für Tankkörper mit Beschädigungsschutz als auch für solche ohne Beschädigungsschutz statt. Die errechneten Werte für alle austenitisch-ferritischen rostfreien Stähle sind in der Norm EN 10028-7 aufgelistet, und die errechneten Werte für den Tank-Anwendungsbereich, für den in der Regel austenitische rostfreie Stähle verwendet werden, finden sich in Tabelle 3.

Tabelle 2

Mindestwerte gemäß Norm EN 10028-7

Stahlsorte	$R_m = \text{Zugfestigkeit [MPa]}$	Dehnung [%]	Stahltyp
1.4362	650	20	austenitisch-ferritisch
1.4462	700	20	austenitisch-ferritisch
1.4507	690	20	austenitisch-ferritisch
1.4410	750	30	austenitisch-ferritisch
1.4501	730	25	austenitisch-ferritisch
1.4404	530	40	austenitisch
1.4401	530	40	austenitisch
1.4307	520	45	austenitisch

Tabelle 3

Berechnung der Wanddicken gemäß den Absätzen 6.8.2.1.18 und 6.8.2.1.19

Berechnung mit Hilfe der Formel in Absatz 6.8.2.1.18 ohne Beschädigungsschutz des Tankkörpers

Stahlsorte	Durchmesser des Tankkörpers: > 1,8 m	Durchmesser des Tankkörpers: ≤ 1,8 m
	Mindestwanddicke für den gewählten Werkstoff in mm, mit $e_0 = 6 \text{ mm}$	Mindestwanddicke für den gewählten Werkstoff in mm, mit $e_0 = 5 \text{ mm}$
austenitisch-ferritisch		
1.4362	5,04	4,2
1.4462	4,8	3,99
1.4507	4,84	4,03
1.4410	4,58	3,81
1.4501	4,02	3,35
austenitisch		
1.4404	3,63	3,03
1.4401	3,63	3,03
1.4301	3,32	2,77

Berechnung mit Hilfe der Formel in Absatz 6.8.2.1.18 mit Beschädigungsschutz des Tankkörpers

Stahlsorte	Durchmesser des Tankkörpers: > 1,8 m		Durchmesser des Tankkörpers: ≤ 1,8 m	
	Mindestwanddicke für den gewählten Werkstoff in mm, mit $e_0 = 4 \text{ mm}$	Mindestdicke gemäß Absatz 6.8.2.1.19 ADR in mm	Mindestwanddicke für den gewählten Werkstoff in mm, mit $e_0 = 3 \text{ mm}$	Mindestdicke gemäß Absatz 6.8.2.1.19 ADR in mm
austenitisch-ferritisch				
1.4362	3,36	4	2,52	3
1.4462	3,2	4	2,4	3
1.4507	3,23	4	2,42	3
1.4410	3,05	4	2,29	3
1.4501	2,68	4	2,01	3
austenitisch				
1.4404	2,42	3	1,82	2,5
1.4401	2,42	3	1,82	2,5
1.4301	2,21	3	1,66	2,5

9. Tabelle 3 zeigt, dass austenitisch-ferritische rostfreie Stähle bei Berechnungen gemäß Absatz 6.8.2.1.18 im Vergleich zu austenitischen Stahlsorten (minimal) höhere Mindestdickenwerte erzielen. Gleiches gilt bei Berechnungen gemäß Absatz 6.8.2.1.19. Dennoch sind die nach Absatz 6.8.2.1.19 errechneten Mindestwanddicken für austenitisch-ferritische Stähle geringer als die Mindestdicken von 3 mm und 4 mm bei Tankdurchmessern von ≤ 1,8 m bzw. > 1,8 m. Demnach kann die erforderliche Mindestwanddicke für austenitisch-ferritische Stähle dünner ausgelegt werden, d.h. mit den errechneten Werten oder den für Tankdurchmesser von > 1,8 m bzw. ≤ 1,8 m vorgeschlagenen Mindestdicken von 3 mm und 2,5 mm.

Antrag

10. Es wird vorgeschlagen, die Tabelle in Absatz 6.8.2.1.19 um eine fünfte Kategorie zu ergänzen und für austenitisch-ferritische rostfreie Stahlsorten die Werte für austenitische rostfreie Stähle zu übernehmen (siehe Tabelle 4 unten).

Tabelle 4

Vorgeschlagene Änderungen der Tabelle in Absatz 6.8.2.1.19

		<i>Durchmesser des Tankkörpers</i>	
		$\leq 1,80\text{ m}$	$> 1,80\text{ m}$
Mindestwand- dicke des Tankkörpers	rostfreie austenitische Stähle	2,5 mm	3 mm
	austenitisch-ferritische rostfreie Stähle	2,5 mm	3 mm
	Aluminiumlegierungen	4 mm	5 mm
	Aluminium, 99,80 % rein	6 mm	8 mm

11. Diese Vorschläge sind nicht auf Hochdrucktanks anwendbar. Die Dicke von Hochdrucktanks wird durch die klassische Druckbehälterformel bestimmt, wobei austenitisch-ferritische Stähle unter die Kategorie "andere Stähle" fallen. Diese Regelung steht im Einklang mit den Regelwerken für Druckbehälter wie die Norm EN 13445 und der Abschnitt VIII des Boiler and Pressure Vessel Code der American Society of Mechanical Engineers.

Begründung

- 1. Begründung für die vorgeschlagenen Änderungen im Bezug auf Mindestdicken für austenitisch-ferritische Stähle**

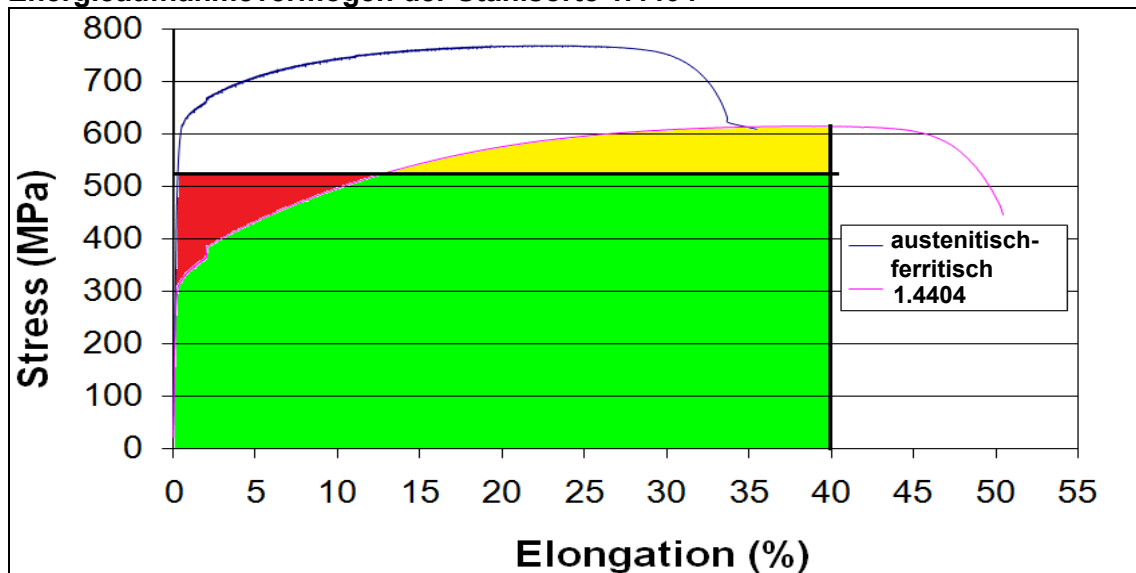
Spannungs-Dehnungs-Diagramm

12. Jede Kollision führt zu Schäden an der Konstruktion, das Ausmaß des Schadens hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab. Ein für die Folgen einer Kollision entscheidender Faktor ist das Energieaufnahmevermögen des Werkstoffs. In der Regel bietet ein Werkstoff mit hohem Energieaufnahmevermögen größere Sicherheit.
13. Zur bildlichen Darstellung und Ableitung des Energieaufnahmevermögens eines Werkstoffs können Spannungs-Dehnungs-Diagramme verwendet werden. Abbildung 1 zeigt das Spannungs-Dehnungs-Diagramm für die austenitische Stahlsorte 1.4404, Abbildung 2 zeigt ein allgemeines Spannungs-Dehnungs-Diagramm für austenitisch-ferritische rostfreie Stahlsorten. Die Errechnung des Energieaufnahmevermögens wird nachstehend erläutert.
14. Die in Absatz 6.8.2.1.18 enthaltene Formel zur Berechnung der Mindestwanddicke berücksichtigt durch die beiden Faktoren R_{m1} und A_1 bereits das Energieaufnahmevermögen eines Werkstoffs.
- $$e_1 = \frac{464 e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} A_1)^2}} \quad (\text{Formel gemäß Absatz 6.8.2.1.18})$$
15. Der im Rechteck befindliche rote und grüne Teil in Abbildung 1 gibt das mittels R_{m1} A_1 errechnete Energieaufnahmevermögen der Stahlsorte 1.4404 an. Gleiches gilt für austenitisch-ferritische Stähle in Abbildung 2. Dieses mittels der Formel in Absatz 6.8.2.1.18 errechnete Energieaufnahmevermögen entspricht jedoch nicht dem tatsächlichen Energieaufnahmevermögen des Werkstoffs. Das tatsächliche Energieaufnahmevermögen setzt sich aus dem darunter liegenden Bereich (gelber und grüner Bereich der Abbildung) zusammen.
16. Beim Vergleich der beiden Kurven fällt auf, dass der rote Bereich über der Kurve bei der Stahlsorte 1.4404 deutlich größer ausfällt als bei den austenitisch-ferritischen Stählen. Bei Berechnung von e_1 mit der Formel aus Absatz 6.8.2.1.18 wird der rote Bereich voll berücksichtigt, obwohl er für das tatsächliche Energieaufnahmevermögen des Werkstoffs praktisch keine Rolle spielt. Der Vergleich von Abbildung 1 und 2 macht deutlich, dass die Formel aus Absatz 6.8.2.1.18 für austenitisch-ferritische Stähle sehr viel konservativere Ergebnisse erzielt als für

austenitische rostfreie Stähle. Daher wird vorgeschlagen, die für austenitische Stähle geltenden Mindestwanddicken auch für austenitisch-ferritische Stahlsorten (Tabellen 1 und 4) zu übernehmen.

17. Tabelle 3 zeigt die errechneten Werte für die Mindestwanddicken einiger rostfreier Stahlsorten. Die errechneten Mindestwanddicken für austenitisch-ferritische Stahlsorten sind in einigen Fällen höher (siehe Einleitung). Wie bereits erwähnt, hängt dies mit der Art der Berechnung des Energieaufnahmevermögens eines Werkstoffs mittels der Formel in Absatz 6.8.2.1.18 zusammen. Zwar beträgt die Mindestwanddicke für einige austenitisch-ferritische Stähle mehr als 3 mm bzw. 2,5 mm bei einem Tankdurchmesser von $> 1,8$ m bzw. $\leq 1,8$ m, bei anderen Stahlsorten sind Wanddicken von 3 mm bzw. 2,5 mm jedoch ausreichend. Es scheint daher angemessen, Tankherstellern die Möglichkeit zu geben, je nach gewählter austenitisch-ferritischer Stahlsorte eine Mindestwanddicke von 3 mm oder 2,5 mm zu wählen.
18. Aufgrund der konservativen Behandlung von austenitisch-ferritischen Stählen bei der Berechnung anhand der Formel scheint die Änderung der Tabelle in Absatz 6.8.2.1.19 gerechtfertigt.

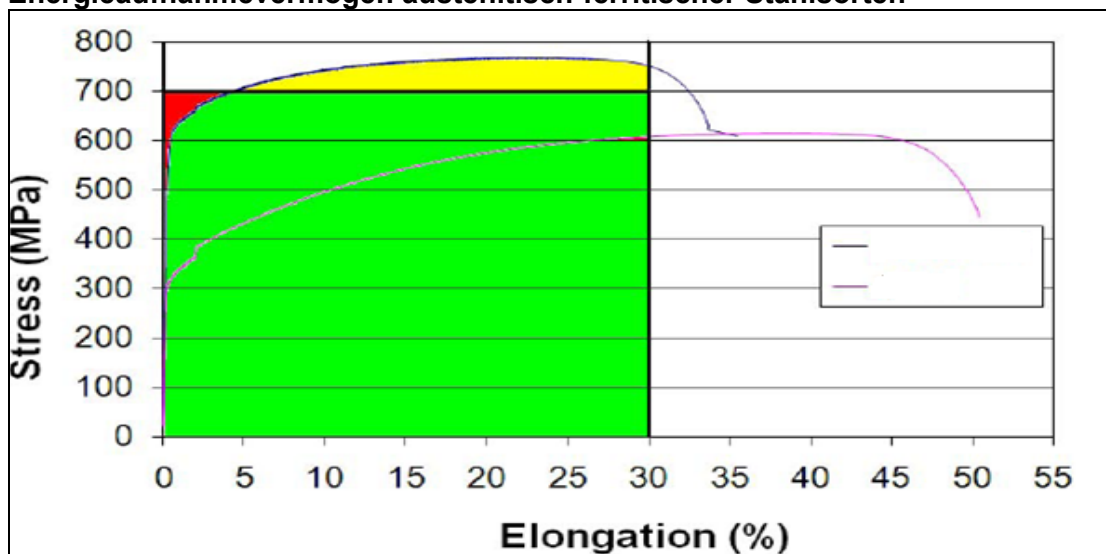
Energieaufnahmevermögen der Stahlsorte 1.4404



stress = Spannung
elongation = Dehnung

Abbildung 2

Energieaufnahmevermögen austenitisch-ferritischer Stahlsorten



2. Beobachtung

Energieaufnahmevermögen bei verschiedenen Zugfestigkeiten

19. Erfahrungen aus von der Automobilindustrie durchgeführten Tests zeigen, dass Werkstoffe sich bei Zusammenstößen nur um 10 % und nicht um bis zu 20 %, 30 % oder höheren Werten verformen. Abbildung 3 zeigt die tatsächliche Energieaufnahme der Stahlsorte 1.4404 und der austenitisch-ferritischen Stahlsorten bei 10 %, 15 % bzw. 20 % Dehnung.
20. Bis zum Bersten weisen austenitisch-ferritische Stähle ein weitaus höheres tatsächliches Energieaufnahmevermögen auf als die Stahlsorte 1.4404. Zu Anschauungszwecken wurde die Energieaufnahme mittels $R_{px} A_1$ bei einer Dehnung x berechnet. Die Ergebnisse finden sich in unten stehender Tabelle 5. Zu betonen sei noch, dass die Ergebnisse aus den genannten Gründe (siehe Begründung, 1.) nicht die tatsächliche Energieaufnahme widerspiegeln.

Tabelle 5

Energieaufnahme austenitisch-ferritischer Stähle im Vergleich zur Stahlsorte 1.4404

Dehnung	Energieaufnahme ($R_{px} A_1$) austenitisch-ferritischer Stähle	Energieaufnahme ($R_{px} A_1$) der Stahlsorte 1.4404	Energieaufnahme austenitisch-ferritischer Stähle im Vergleich zur Stahlsorte 1.4404
10 %	7400	5000	+ ~50 %
15 %	11400	8100	+ ~40 %
20 %	15600	11600	+ ~35 %
30 %	22500	18300	+ ~23 %

21. Aus Tabelle 5 geht ebenso hervor, dass sich austenitische Stahlsorten bei gleicher Energieaufnahme deutlich stärker verformen (dehnen) als austenitisch-ferritische Stähle. So beträgt die Energieaufnahme (EA-Nummer) einer austenitisch-ferritischen Stahlsorte bei einer 15%-igen Dehnung beispielsweise 11400. Bei einem Zusammenprall müsste sich ein Stahl der Stahlsorte 1.4404 um 21,5 % dehnen, um die gleiche Energiemenge aufnehmen zu können wie ein austenitisch-ferritischer Stahl bei 15 % Dehnung (siehe Abbildung 4). Weitere Test wurden durchgeführt für Dehnwerte von 10 %, 20 %, 25 % und 30 %. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 6.

Tabelle 6

Dehnung der Stahlsorte 1.4404 bei einer gegebenen Energieaufnahme

Energieaufnahme austenitisch-ferritischer Stähle	Dehnung austenitisch-ferritischer Stähle	zur gleichen Energieaufnahme wie austenitisch-ferritische Stähle nötige Dehnung von Stählen der Stahlsorte 1.4404
7400	10 %	15 %
11400	15 %	22 %
15600	20 %	27 %
22500	30 %	37 %

¹ R_{px} = Spannung bei jeweiliger Dehnung.

Abbildung 3
Energieaufnahme bei 10 %, 15 %, 20 % und 30 % Dehnung für austenitisch-ferritische Stähle und die Stahlorte 1.4404

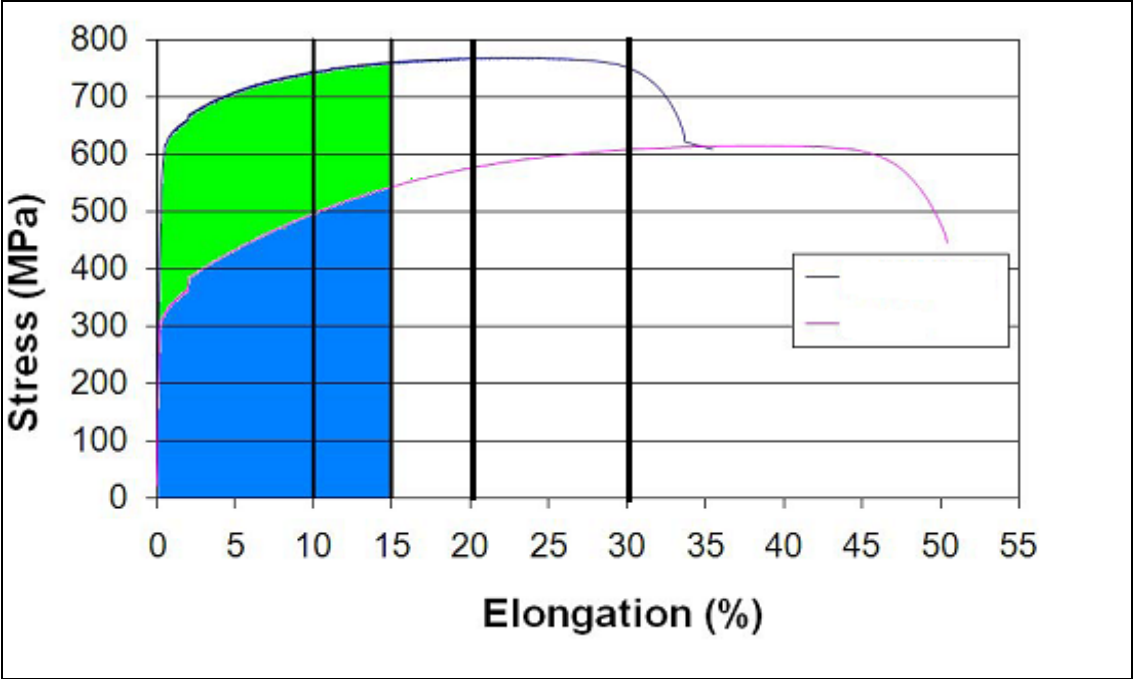
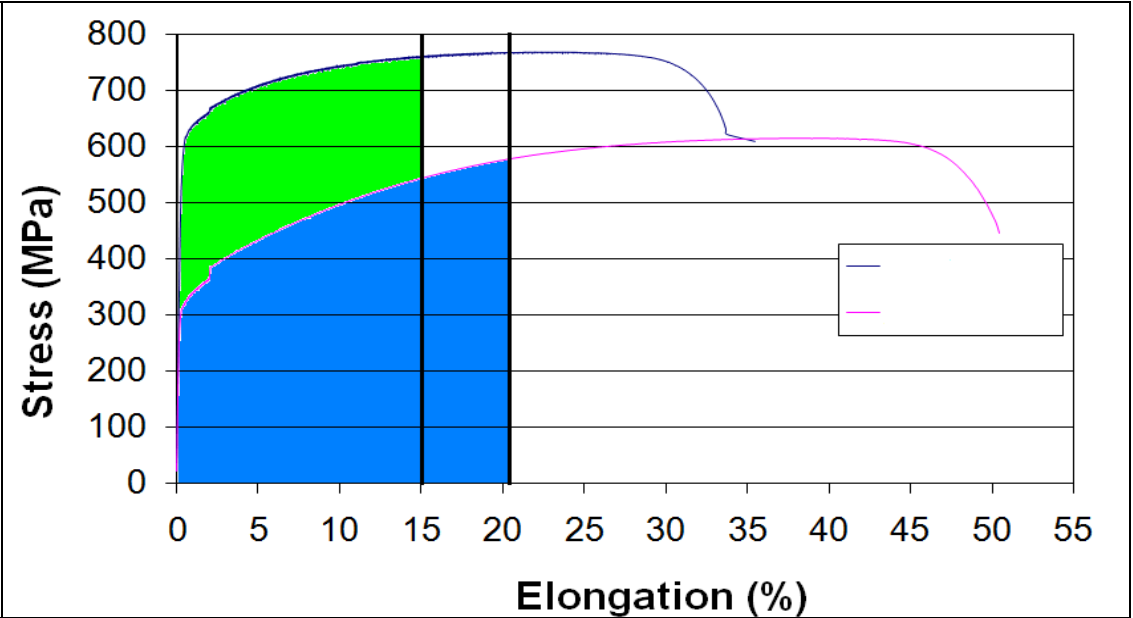


Abbildung 4
Dehnung der Stahlorte 1.4404 und austenitisch-ferritischen Stähle bei einer Energieaufnahme von 11400



3. Zusätzliche Informationen

22. Für Januar 2011 sind statische und dynamische Prüfungen für einige austenitisch-ferritische und austenitische Stahlsorten vorgesehen. Die Prüfungen werden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Deutschland durchgeführt werden. Die Prüfungsergebnisse werden bei der Gemeinsamen Tagung im März 2011 vorgestellt und für weitere Beratungen genutzt werden.
-