



# Rustfrit stål i levnedsmiddelindustrien

## – en introduktion

Forfattere:

*Foged, Jens Nielsen; A1 Steel Consulting ApS  
Folkmar Andersen, Jens; Alfa Laval Kolding A/S  
Jepsen, Elisabeth; APV Nordic A/S  
Løvstad, Peter; CPS Damrow A/S  
Melsing, Erling; EM Consult ApS  
Napper, David; Euroteknik Ltd.  
Riis, Annemette; Grundfos A/S  
Jørgensen, Christian; Sandvik Materials Technology A/S  
Christiansen, Preben; Stanfo A/S  
Ranløv, Palle; Uddeholm A/S  
Boye-Møller, Anne R.; Teknologisk Institut*

Udarbejdet af arbejdsgruppe 'Rustfrit stål i levnedsmiddelindustrien' i regi af Den Rustfri Stålindustris Kompetencecenter.



**RUSTFRI STÅLINDUSTRIS  
KOMPETENCECENTER**

Den Rustfri Stålindustris Kompetencecenter  
c/o Teknologisk Institut  
Holbergsvej 10  
DK-6000 Kolding

Tlf.: 72 20 19 00  
Fax: 72 20 19 19

[info@staalcentrum.dk](mailto:info@staalcentrum.dk)  
[www.staalcentrum.dk](http://www.staalcentrum.dk)

Denne guideline er udviklet med støtte fra Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling.

Publiceret for Centret af:



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

Holbergsvej 10  
DK-6000 Kolding

[www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)

© Teknologisk Institut  
ISBN: 87-7756-753-6



## Indledning

Nærværende vejledning giver en introduktion til de aspekter, der bør afklares i forbindelse med valg af rustfri stålmaterialer til procesudstyr til levnedsmiddelindustrien.

## Nøgleord

Korrosion, overflader, finish, dokumentation, godkendelser, certifikater, styrke, statik, levetid, produktionsmiljø, levnedsmidler, procesudstyr, normer, legering, svejsning, værk-tøjsstål, dimension, fødevarekontakt.

## Definition og brug af guidelines

Vejledningen er ikke en bibel/opslagsværk, der besvarer spørgsmål. Derimod kan vejledningen bruges som en rettesnor for, hvilke oplysninger der skal indhentes for at løse en opgave tilfredsstillende. Læseren hjælpes til at stille kvalificerede spørgsmål.

Der er yderligere hjælp at hente i de angivne henvisninger og links.

Denne guideline er udarbejdet af en arbejdsgruppe under Den Rustfri Stålindustri's Kompetencecenter og er en del af en guidelinesamling. De øvrige, der indgår i denne samling, er:

Guideline nr. 1: Kabelføringer og elskabe

Guideline nr. 2: Huskeliste ved køb/salg af produktionsudstyr

Guideline nr. 3: Transportører

Guideline nr. 4: Rustfrit stål i levnedsmiddelindustrien

Guideline nr. 5: Opbygning af rørsystemer i levnedsmiddelindustrien

Guideline nr. 6: Indbygning af komponenter i lukkede procesanlæg til levnedsmiddelindustrien



## Indholdsfortegnelse

<b>1. Fagområde .....</b>	<b>5</b>
1.1. Afgrænsninger .....	5
1.2. Definition og brug af guidelines .....	5
<b>2. Introduktion.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Normer og standarder for rustfrit stål.....</b>	<b>6</b>
<b>4. Dokumentationskrav .....</b>	<b>8</b>
4.1. Lovkrav .....	9
4.2. Standarder .....	10
4.3. Guidelines og best practise .....	10
4.4. Udstedelse af certifikater .....	11
<b>5. Valg af rustfrit stål .....</b>	<b>11</b>
5.1. Hvad er rustfrit stål? .....	11
5.2. Kan rustfrit stål ruste? .....	11
5.3. Faktorer som har betydning for korrosionsbestandighed.....	12
5.3.1. Hvilken legering anvendes? .....	12
5.3.2. Korrosionsformer .....	14
5.3.3. Forholdsregler ved svejsning .....	15
5.3.4. Design af konstruktionen.....	15
<b>6. Modtagelseskontrol.....</b>	<b>16</b>
<b>7. Betegnelser for rustfrit stål.....</b>	<b>17</b>
<b>8. Overfladebeskaffenhed .....</b>	<b>18</b>
8.1. Bejdsning.....	18
8.2. Elektropolering.....	18
8.3. Glasblæsning og slyngblæsning .....	19
8.4. Manuel polering .....	19
<b>9. Værktøjsstål .....</b>	<b>19</b>
9.1. Tre stål-hovedgrupper .....	20
9.1.1. Begreber.....	21
<b>10. Styrke og statik.....</b>	<b>21</b>
10.1. Dimensionering.....	22
10.2. Opstilling af statiske beregninger .....	22
<b>11. Relaterede vejledninger og links.....</b>	<b>24</b>
<b>12. Anvendte metoder .....</b>	<b>25</b>
<b>13. Anvendte begreber / termer.....</b>	<b>25</b>
<b>14. Ændringsprotokol.....</b>	<b>26</b>



## **1. Fagområde**

Nærværende vejledning giver en introduktion til de aspekter, der bør afklares i forbindelse med valg af rustfri stålmaterialer til procesudstyr til levnedsmiddelindustrien.

Som det fremgår, er det nødvendigt at kende krav og ønsker til bl.a. korrosionsbestandighed, dokumentation, godkendelser og certifikater, styrke og statik, overfladebeskaffenhed, fleksibilitet, levetid, pakninger, rengøring, produktionsmiljø mv.

### **1.1. Afgrænsninger**

Vejledningen afgrænses til materialer, der anvendes i fødevarerindustrien – fortrinsvis rustfrit stål.

### **1.2. Definition og brug af guidelines**

Vejledningen kan bruges af konstruktører i forbindelse med indhentning af korrekt materialevalg til procesudstyr og værktøj.

Vejledningen kan også bruges af indkøbere som et værktøj i forbindelse med specifikation af delmaterialer til produktionsudstyr.

Endelig kan vejledningen bruges som kommunikationsredskab mellem hhv. indkøbere og leverandører.

Vejledningen har ikke til hensigt at anbefale bestemte typer løsninger eller leverandører.

## **2. Introduktion**

Når man står over for at skulle udvælge materialer til konstruktion af udstyr – f.eks. til fødevarerindustrien eller den farmaceutiske industri, kan opgaven let virke afskrækkende. Selv om ekspertgrupper eller erfarent personale samles i et forsøg på at forfatte almindelige guidelines, lykkes det sjældent på grund af de enorme variationer, der findes i materialer og anvendelser.

I Europa og USA er situationen den samme. Der er en overflod af informationer om diverse materialer og processer. Betydende salgsmekanismer giver ikke et bedre overblik. Så hvad skal man gøre?

Udvælg med omhu dine informationskanaler og sørg for, at de er valide. Nogle af de tilsynsførende organisationer, f.eks. Food and Drug Administration i USA ([www.fda.gov](http://www.fda.gov)) samt nationale og europæiske fødevareregulativer, har dokumentation, man kan stole på.

Man skal sikre sig, at den information, man indsamler, kan anvendes til det konkrete formål. Det vil sige, hvis man tilstræber at overholde gældende, nationale regulativer i Europa, bør man kontrollere, om der verserer eller er vedtaget nye regulativer til erstat-



ning for gældende lovgivning, og som kræver omlægninger i arbejdsgangen. Det vil være nyttigt at få fastlagt, hvilke regulativer, der er i på bedding.

"EUR-Lex" giver gratis direkte adgang til EU-lovgivningen<sup>1</sup>. EU har desuden samlet "alle" de lovgivningsmæssige aspekter omkring materialer med fødevarekontakt<sup>2</sup>.

En af årsagerne til den tydelige mangel på information om materialeudvælgelse er, at de fleste nationale og europæiske love kun omfatter de standarder, der skal opretholdes, og lader det være op til det enkelte firma at nå frem til disse standarder.

På videnportalen [www.staalcentrum.dk](http://www.staalcentrum.dk) er det muligt at danne sig et overblik over, hvilke guidelines, standarder, love mv. der er tilgængelige inden for specifikke områder/udstyr og i forhold til geografiske områder. Det er nemt at søge i materialet og læse en kort beskrivelse af det konkrete indhold. De tilknyttede links giver mulighed for at rekvirere materialet fra kilden.

European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG) har udarbejdet en række guidelines (se [www.ehedg.org](http://www.ehedg.org)) om forskellige emner, inkl. materialeudvælgelse. Disse dokumenter kan være en hjælp til at finde frem til diverse kontaktmuligheder, nødvendigt stof eller organisationer.

Der kan endvidere henvises til CODEX ALIMENTARIUS, der udvikler fødevarerstandarder, guidelines og dokumenter for "best practice" (se <http://www.codexalimentarius.net>). De har bl.a. dokumenter relateret til procesvand i fødevarer virksomheder, og her skitseres mange af de guidelines, der følges i fødevarerindustrien.

Det kan ofte være en fordel at se, hvilke initiativer andre tager for at opsætte sin egen hygiejnestrategi. Dette påhviler som regel den, der er ansvarlig for materialeudvælgelse.

En god case for en omfattende strategi kan findes på [www.hilge.de](http://www.hilge.de), hvor der skitseres certificeringsaktiviteter i relation til "sterile og farmaceutiske pumper".

Hvis man ikke har kendskab til Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) metodikken, foreslås det at stifte bekendtskab med den, da den danner grundlag for mange beslutninger inden for fødevarerindustrien.

### **3. Normer og standarder for rustfrit stål**

Alle kendte stålmaterialer er specificerede. De enkelte stålproducenter/stålværker har beskrevet fremstillingsmåden og fremstillingsprocessen for de stålmaterialer, der tilbydes.

---

<sup>1</sup> Gå ind på siden <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/en/index.htm> (erstat sprogkode - f.eks. EN med DK - for at få sit nationale sprog). Systemet giver mulighed for at konsultere Den Europæiske Unions Tidende og indeholder bl.a. traktaterne, lovgivningen, retspraksis og forberedende retsakter. Det omfatter avancerede søgemulighed. Hvis man har eventuelle spørgsmål, relateret til status på lovgivning, kan man todfrit ringe på tlf.nr. 00 800 6789 10 11.

<sup>2</sup> Gå ind på siden [http://europa.eu.int/comm/food/food/resources/publications\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/food/food/resources/publications_en.htm)



For at gøre valg af stålmateriale overskueligt, har man samlet gængse stålmaterialer i standarder, som kan være nationale og/eller internationale, som eksempel kan nævnes de fælles europæiske standarder, der er tiltrådt af Danmark. I Danmark er betegnelsen for disse standarder DS/EN efterfulgt af et nummer. Den internationale betegnelse for gængse stålmaterialer er 1.XXXX (f.eks. 1.4301).

Stålet dokumenteres ofte ved hjælp af et certifikat, der beskriver den kemiske sammensætning og de mekaniske egenskaber, samt evt. andet efter aftale. Der findes forskellige former for certifikater.

Det drejer sig med andre ord "blot" om at vælge det mest egnede stålmateriale til en given opgave. Det kræver imidlertid indsigt og forståelse at udvælge en egnet stål kvalitet ved hjælp af standarder og opslagsværker. *Det anbefales derfor at søge råd og vejledning hos stål grossister, stålproducenter eller rådgivende ingeniører, såfremt der hersker tvivl om udvælgelsen.*

Der findes flere forskellige opslagsværker som et hjælpemiddel til at finde et stålmateriale til en given opgave. Det kendte opslagsværk Stahlschüssel anvender f.eks. førnævnte, internationale betegnelser for stålmaterialer. Stahlschüssel kan købes gennem tekniske boghandlere og evt. Dansk Standard (DS), som er den institution som samler og vedligeholder normer og standarder i Danmark. DS kan levere alle gængse nationale og internationale normer og standarder mm.

Normer og standarder er lovstof på lige fod med f.eks. Arbejdstilsynets love, bekendtgørelser og anvisninger, samt lokale (politi)vedtægter. Det er bl.a. derfor af afgørende betydning at få tekniske opgaver klassificeret korrekt i henhold til lovgivningen og få fastlagt evt. gældende normgrundlag, før opgaven løses. Danske normer og standarder er underlagt dansk lovgivning. Producenten har det juridiske ansvar for den tekniske udførelse og funktionaliteten af sit produkt.

Specialstål er ikke altid opført i en norm. Man er derfor henvist til at søge de nødvendige informationer hos stål grossisten/stålproducenten. Disse informationer kan f.eks. anvendes til at vurdere graden af rust- og korrosionsbestandigheden under givne forudsætninger. Såfremt materialet skal bearbejdes, sammenføres f.eks. ved svejsning, udsættes for gentagende, mekaniske og/eller termiske påvirkninger er det vigtigt at kende materialets egnethed til at modstå de aktuelle påvirkninger.

Nødvendige, tekniske informationer kan f.eks. omfatte:

- Kemisk sammensætning
- Mekaniske egenskaber
- Termiske egenskaber

Der findes specifikke, tekniske områder hvor man har forhåndsgodkendt et udvalg af stålmaterialer. Det gælder f.eks. trykbærende anlæg og udstyr iht. EN13445, som er en fælles europæisk standard. Der kan anvendes andre stålmaterialer end de i EN13445 forhåndsgodkendte, men det kræver en PED (Pressure Equipment Directive) godkendelse af både stålværket og stålmaterialet, hvilket er tidskrævende og kostbart. PED forhåndsgodkendte stålmaterialer findes f.eks. i EN13445 Part 2 (i alt 55 sider).



I tabel 1 er angivet forskellige anvendelser af rustfrit stål og nogle af de standarder og normer, udstyret er underlagt.

### Tabel 1. Oversigt over forskellige anvendelser af rustfrit stål og nogle af de standarder og normer, der gælder

#### Rustfrit stål anvendes f.eks. til fremstilling af:

- **Maskiner, maskinanlæg og udstyr.** (Maskindirektivet er et sikkerhedsdirektiv, gældende for området. NB. Maskindirektivet kan gælde for andre områder.)
- **Rør og røranlæg.** (Tryksatte rør og røranlæg med et tryk større end 0,5 bar (g) og en rørdimension større end DN25<sup>3</sup>, er som hovedregel underlagt Arbejdstilsynets (AT) bekendtgørelse nr. 743 af 23. september 1999. Bekendtgørelse om indretning af trykbærende udstyr. Se anvendelsesområde og definitioner mm. i bekendtgørelsen. For tryksatte rør og røranlæg med et tryk mindre end 0,5 bar (g) og en rørdimension på DN25 eller mindre, henvises til samme direktiv, artikel 3 – tekniske krav, stk. 3. NB. Artikel 3, stk. 3 rør og røranlæg må ikke CE-mærkes, øvrige rør og røranlæg underlagt AT bekendtgørelse nr.743 skal CE-mærkes.)
- **Procesanlæg og procesudstyr.** (Tryksatte procesanlæg og procesudstyr med et tryk større end 0,5 bar (g) og en dimension større end DN25, er som hovedregel underlagt Arbejdstilsynets (AT) bekendtgørelse nr. 743 af 23. september 1999. Bekendtgørelse om indretning af trykbærende udstyr. Se anvendelsesområde og definitioner mm i bekendtgørelsen. For tryksatte procesanlæg og procesudstyr med et tryk mindre end 0,5 bar (g) og en dimension på DN25 eller mindre, henvises til samme direktiv, artikel 3 – tekniske krav, stk. 3 NB. Artikel 3, stk.3 procesanlæg og procesudstyr må ikke CE-mærkes, øvrige procesanlæg og procesudstyr underlagt AT bekendtgørelse nr.743 skal CE-mærkes.)
- **Beholdere og tankanlæg.** (Tryksatte beholdere og enkelte tankanlæg med et tryk større end 0,5 bar (g) og rørtilslutninger større end DN25, er som hovedregel underlagt Arbejdstilsynets (AT) bekendtgørelse nr. 743 af 23. september 1999. Bekendtgørelse om indretning af trykbærende udstyr. Se anvendelsesområde og definitioner mm i bekendtgørelsen. For tryksatte beholdere og enkelte tankanlæg med et tryk mindre end 0,5 bar (g) og rørtilslutninger på DN25 eller mindre, henvises til samme direktiv, artikel 3 – tekniske krav, stk. 3 NB. Artikel 3, stk.3 beholdere og tankanlæg må ikke CE-mærkes, øvrige beholdere og tankanlæg underlagt AT bekendtgørelse nr.743 skal CE-mærkes.)

Vi henleder opmærksomheden på, at der til stadighed forskes i nye stålmaterialer med forbedrede egenskaber. Spørg derfor din stålgrossist til råds om nye materialer til specifikke formål.

#### 4. Dokumentationskrav

Kravene til dokumentation er de senere år vokset voldsomt, når der tales om produkter til bl.a. fødevarerbranchen, den farmaceutiske og kemiske industri. Kravene vil typisk dreje sig om certifikater på materialer, erklæringer vedr. maskindirektivet, overholdelse af standarder om hygiejne og rengøringsforhold.

<sup>3</sup> DN er betegnelsen for et emnets nominelle diameter og benyttes f.eks. i forbindelse med angivelse af størrelsen på rør og fittings. Bemærk, at materialegodstykkelsen kan variere.





Hvorfor al den godkendelse med dokumentation, hvor der mange gange er udpeget en tredje part til at forestå evalueringen, når et anlæg er bygget og installeret?

Helt enkelt kan det vel forklares med 'Vi vil sikre os, at vi får det mest optimale anlæg, med hensyn til holdbarhed og pris'. En anden ting kan også være at der bl.a. i USA har været nogle store sager med krav om kæmpe erstatninger til følge. Så vi forsøger at sikre os bedst muligt.

I mange tilfælde vil produktionslokaler, proceslinier, udstyr og maskiner være underlagt krav fra enten myndigheder, fabrikanter eller kunder. I den forbindelse er der en del dokumenter, hvor disse krav er beskrevet. Vi skelner mellem lovkrav, certificeringsstandarder og guidelines eller best practise / common practise.

#### 4.1. Lovkrav

*Lovkrav* er udformet af myndighederne og angiver krav, der **skal** opfyldes. Disse er beskrevet i love (danske, EU eller andre landes love).

I Danmark er der til disse love ofte tilknyttet cirkulærer, bekendtgørelser og vejledninger, der nærmere angiver hvorledes disse love skal tolkes. I Danmark kan lovkrav findes på [www.retsinfo.dk](http://www.retsinfo.dk) og delt op efter følgende hierarkiske retningslinjer: *Vedtagne love* (LOV nr.xxx). Hertil er knyttet en række *Bekendtgørelser* (BEKNr.XXX), der uddyber disse love, og til disse er der yderligere forklaringer at hente i de tilhørende *Vejledninger* (VEJnr.xxx) og *Cirkulærer* (Cir nr. XXX).

Materialer, der er i kontakt med fødevarer, er reguleret ved lov i stort set alle lande.

EU's lovmateriale kan søges på [www.europa.EU.int/eur-lex](http://www.europa.EU.int/eur-lex). "Alle" lovgivningsmæssige aspekter i de enkelte EU-lande omkring materialer med fødevarekontakt er samlet på flg. siden

[http://europa.eu.int/comm/food/food/chemicalsafety/foodcontact/eu\\_nat\\_laws\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/food/chemicalsafety/foodcontact/eu_nat_laws_en.pdf).

Lovgivning om kød, fjerkræ og æg udarbejdes i USA af USDA (U. S. Department of Agriculture), se [www.usda.gov](http://www.usda.gov). USDA godkender blandt andet også maskiner. USDA har overdraget kontrol af smøremidler og desinfektionsmidler mv. til NSF (National Sanitation Foundation). Se NSF White Book Listing of Non-food Compounds på siden

[http://www.nsf.org/business/nonfood\\_compounds/index.asp?program=NonFoodComReg](http://www.nsf.org/business/nonfood_compounds/index.asp?program=NonFoodComReg)

.

Lovgivning om mejeriprodukter og øvrige fødevarer (ej kød/æg) udarbejdes af **U.S. Food and Drug Administration (FDA)** [www.fda.gov](http://www.fda.gov). FDA godkender også konstruktionsmaterialer.

Canada opererer med et food inspection program der godkender fabrikker og herunder materialer der må anvendes, se mere på <http://www.inspection.gc.ca/english/toce.shtml>



### 4.2. Standarder

*Standarder* er løsninger beskrevet i et dokument "en standard". Når anvisninger følges, er det muligt, at man kan blive certificeret – dvs. et en uvildig part /certificerende organ kan auditere (kontrollere), at man har fulgt anvisningerne fra den pågældende standard og herefter udstede et dokument /et certifikat, der beviser, man har styr på det, der er angivet i denne standard. Eksempelvis ISO 9000 eller DS 3027.

ISO (International Organization for Standardization ) er et internationalt organ med formål at informere, måle, håndtere og eliminere risici ved produktionen, se mere [www.iso.com](http://www.iso.com). Standarden ISO 14159 gælder for både fødevarer, biotek og farmaceutisk industri og har inddraget både hygiejne, risikovurdering og sikkerhed.

Danske standarder har en nomenklatur, der starter med bogstaverne DS-XXX. Det er standarder vedtaget af Dansk standardiserings nævn. Se mere på [www.ds.dk](http://www.ds.dk)

EN-standarder er gældende i hele EU. Mange af dem kan købes gennem dansk standard [www.ds.dk](http://www.ds.dk)

ICH-standarder (specielt for farmaci) kan findes på [www.ich.org](http://www.ich.org)

3A Sanitary Standard / 3A Accepted Practices er ofte specifikke for en enkelt type af maskiner se mere [www.3-a.org](http://www.3-a.org)

ASME (American Society of Mechanical Engineers) dækker områder inden for trykbærende anlæg, hvor vi i Europa i dag er dækket ind ved EN 13445. Se mere på [www.ASME.org](http://www.ASME.org)

### 4.3. Guidelines og best practise

*Guidelines* er en samling af gode råd eller best practise, der angiver, hvordan det er mest hensigtsmæssigt at optræde. Mange guidelines er så anerkendte at de på linie med standarder kan være salgs- og sikkerhedsparameter i en handelssituation.

FDA guidances (vejledninger) og guidelines (retningslinier) kan findes på internettet CDER (Center for Drug Evaluation and Research):

<http://www.fda.gov/cder/guidance/index.htm>

CBER (Center for Biologics Evaluation and Research):

<http://www.fda.gov/cber/guidelines.htm>

Europæiske guidelines kan købes på [www.EHEDG.ORG](http://www.EHEDG.ORG). EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group) gør et stort arbejde med at bringe den hygiejniske standard ind allerede ved forberedelserne til et nybyggeri, både i bygningerne og maskiner der skal installeres. EHEDG har udarbejdet en række guidelines til fremstilling af sikre fødevarer.

Campden and Chorleywood Food Research Association Group, er en del af et institut i England. De har udgivet en del vejledninger/guidelines for specifikke maskiner, beskrivelser af krav til hygiejniske vægge, lofter, gulve og lignende. Se mere på <http://www.campden.co.uk>.



### 4.4. Udstedelse af certifikater

Et certifikat er et dokument udstedt af en fabrikant, der f.eks. producerer rustfrit stål.

Certifikaterne kan have forskellige betegnelser afhængigt af de aktuelle krav fra en evt. slutbruger.

Der kan henvises til DS/EN 10204 (10.91) for at få et overblik over de forskellige typer, inden for stål industrien.

Inden for plast industrien er kravet også øget inden for de sidste år, der er nu en standard kaldt

FDA § 177.2600 'Rubber articles for repeated use', som nu bliver meget anvendt inden for bl.a. fødevare- og medicinal industrien.

EHEDG m. fl. udsteder også certifikater, når et firma har bevist, at de er i stand til at overholde og dokumentere de stillede designkrav.

Et certifikat udstedes også til svejsere der har bevist, at de kan opfylde betingelserne i bl.a.

EN287-1, og procedure kravene i EN288-3.

Ud over de nævnte findes der en lang række andre mere eller mindre relevante standarder og krav til certifikater, udarbejdet forskellige steder i verden, men da globaliseringen for alvor er ved at slå igennem, anvendes ofte de samme krav fra lande som Danmark eksporterer til.

## **5. Valg af rustfrit stål**

### 5.1. Hvad er rustfrit stål?

Rustfrit stål er en jernlegering, hvori chromindholdet er minimum 12%. Chrom reagerer med den ilt, som er til stede i omgivelserne, og danner et meget tyndt og gennemsigtigt chromoxidholdigt lag på overfladen. Dette oxidlag, også kaldet passivlaget, yder beskyttelse mod korrosionsangreb og vil ved beskadigelse i luft eller vand gendannes spontant. Korrosionsbestandigheden ligger altså i metaloverfladen, og stabiliteten af passivlaget bliver derfor afgørende for det rustfrie ståls korrosionsbestandighed.

### 5.2. Kan rustfrit stål ruste?

Ja, det kan det, selv om det lyder lidt selvmodsigende!

Hvis passivlaget ved beskadigelse ikke gendannes, vil det rustfrie stål korrodere. Det kan ske i aggressive væsker (f. eks chlor- eller chloridholdige væsker og visse syrer), hvor passivlaget ikke er stabilt.



Stabiliteten af passivlaget på rustfrit stål afhænger ikke kun af den kemiske sammensætning (indhold af legeringselementer såsom chrom, nikkel og molybdæn), og af hvilken væske den udsættes for. De processer som rustfrit stål kan gennemgå fra råmateriale til færdigt produkt har også betydning.

De processer som rustfrit stål kan gennemgå fra råmateriale til færdigt produkt har betydning for korrosionsbestandigheden. Svejsning, formgivning, slibning og håndtering i produktionen kan beskadige passivlaget, og gøre det rustfrie stål mere følsomt for korrosionsangreb. Derfor er det meget vigtigt at fortage en vurdering af, hvilken konsekvens en aktuell fremstillingsproces har på det færdige produkts korrosionsbestandighed, og om en efterfølgende overfladebehandling (bejdsning, elektropolering) kan være påkrævet for at genetablere passivlagets egenskaber. Mange korrosionsskader er opstået netop fordi dette trin overses.

### 5.3. Faktorer som har betydning for korrosionsbestandighed

#### 5.3.1. Hvilken legering anvendes?

Rustfrit stål dækker over en hel familie af legeringer, som inddeles i følgende 4 hovedgrupper, der refererer til metallets mikrostruktur (se også tabel 2):

- Ferritisk
- Martensitisk
- Austenitisk
- Austenitisk-ferritisk (duplex)

Hver af disse hovedgrupper indeholder en række legeringer, som er defineret i henhold til den kemiske sammensætning og specificeret i europæiske og internationale standarder. Udover chrom, er legeringselementerne molybdæn, nikkel og nitrogen af stor betydning for korrosionsbestandigheden. Kulstof vil altid være til stede i større eller mindre mængde, og har betydning for svejseegenskaberne. Herudover bruges bl.a. kobber, mangan, svovl, titan og niob som legeringselementer for hermed at opnå særlige egenskaber.

Nedenfor gives en kort introduktion til hovedgrupperne med eksempler på nogle ofte benyttede legeringer med deres internationale betegnelser. Angivelsen af om metallet er magnetisk eller ej er kun for informationens skyld!

#### **Ferritisk rustfrit stål (magnetiske):**

Indeholder udover chrom kun små mængder nikkel. Har moderat korrosionsbestandighed og kan ikke hærdes ved varmebehandling. Slagsejheden falder betydeligt ved lave temperaturer. Typiske anvendelser er bestik, køkkenvaske og vaskemaskinetromler. Eksempler er: EN 1.4016/AISI 430

#### **Martensitisk rustfrit stål (magnetisk):**

Indeholder udover chrom kulstof i en mængde, der gør den hærdbar ved varmebehandling. Derved opnås høj styrke, og typiske anvendelser er knive, motor og pumpeaksler. Korrosionsbestandigheden er moderat. Eksempler er: EN 1.4057/AISI 431

**Austenitisk rustfrit stål (umagnetisk):**

Omfatter langt størstedelen af den totale rustfrie stålproduktion. Heraf udgør EN 1.4301(AISI 304) og EN 1.4401 (AISI 316) langt den største del. Udover chrom indeholder austenitisk rustfrit stål typisk fra 8% - 30% nikkel og varierende molybdænindhold. De har et lavt kulstofindhold og kan ikke hærdes ved varmebehandling. Ved kolddeformation vil der dog forekomme deformationshærdning.

Populariteten af de austenitiske rustfrie stål skyldes, at de er korrosionsbestandige og har gode svejse- og formgivningsegenskaber. Ligeledes har de typisk gode høj- og lavtemperaturegenskaber.

Eksempler er: EN 1.4301/AISI 304, EN 1.4401/AISI 316, EN 1.4547/254SMO

**Duplex rustfrie stål (ferritisk/austenitisk) (magnetisk):**

Mikrostrukturen i disse rustfrie stål består af en blanding af ferrit og austenit. Derved opnås højere styrke end i de austenitiske rustfrie stål. Korrosionsbestandigheden er sammenlignelig med de austenitiske rustfrie stål, men de har langt bedre bestandighed mod spændingskorrosion end EN 1.4301(AISI 304) og EN 1.4401 (AISI 316). På grund af to-fase-strukturen er specielle forholdsregler nødvendige i forbindelse med svejsning (varmeinputtet skal styres nøje og det anbefales at bruge en kvælstofholdig beskyttelsesgas).

Eksempler er: EN 1.4462/SAF 2205, EN 1.4410/SAF 2507

Rustfrit stål kan angribes af lokalkorrosion (pitting og spaltekorrosion) i chloridholdige miljøer. Det er en uønsket korrosionsform da den kan have et meget uforudsigeligt forløb og i løbet af kort tid føre til materialesvigt. De vigtigste legeringselementer til at forbedre korrosionsbestandigheden overfor lokalkorrosion er chrom, molybdæn og nitrogen. Et rustfrit stål bestandighed i en specifik applikation afhænger af flere parametre end blot chloridindhold og legeringssammensætning (som f.eks. driftsbetingelser og evt. rengøringsprocedurer).

Det har vist sig at "Pitting Resistance Equivalent number" (også kaldet PRE-tallet) giver en god indikation af et rustfrit ståls bestandighed mod pitting (grubetæring). Jo højere PRE-tal, jo højere korrosionsbestandighed mod lokalkorrosion. Det er vigtigt at bemærke, at PRE-tallet kun kan benyttes til rangering af de forskellige rustfrie ståltyper.

Ligeledes gælder det at de spåntagningsvenlige kvaliteter med højt svovlindhold ikke kan vurderes efter PRE-tallet. Eksempelvis vil EN 1.4305/AISI 303 have samme PRE-tal som EN 1.4301/AISI 304, men pga. det høje svovlindhold i EN 1.4305/AISI 303 er korrosionsbestandigheden for denne type betydeligt lavere. I dag er der derfor udviklet spåntagningsvenlige kvaliteter med en korrosionsbestandighed på niveau med standardkvaliteterne.

PRE-tallet beregnes på basis af følgende empiriske formel:

$$\text{PRE} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$$

I tabellen nedenfor er PRE-tallet angivet for en række rustfrie stål.



Rustfri ståltype	PRE
EN 1.4016/AISI 430	17
EN 1.4057/AISI 431	17
EN 1.4301/AISI 304	18
EN 1.4401/AISI 316	24
EN 1.4547/254SMO	43
EN 1.4462/SAF 2205	34
EN 1.4410/SAF 2507	43

### 5.3.2. Korrosionsformer

Afhængig af indholdet af legeringselementerne opnår man altså forskellige egenskaber med hensyn til spåntagning, formgivning, svejsning, korrosionsbestandighed osv. De aktuelle krav til konstruktionen / applikationen (omfattende både produktionsmiljø og rengøringsmiljø) skal derfor vurderes nøje, når legeringstypen skal udvælges.

Austenitiske rustfrie stål som EN 1.4301 og EN 1.4401 er følsomme for spændingskorrosion i chloridholdige medier og i medier, der samtidig har høj pH og høj temperatur, hvis der er spændinger til stede i emnet. Der kan være tale om både indre og ydre spændinger. De indre spændinger kan være restspændinger fra svejsning eller fra formgivning, og de ydre spændinger kan stamme fra den mekaniske sammenføjning af emner eller fra montage.

De indre spændinger kan til dels fjernes ved spændingsudglødning, men skal de fjernes helt er varmebehandling ved temperaturer over 1000C ofte nødvendigt. Varmebehandling kan dog give problemer med kast af emnet, og vil derfor i mange tilfælde være uegnet.

Eksempler på korrosionsformer:

1. Generel korrosion (fladetæring): I dette tilfælde nedbrydes passivlaget på metaloverfladen fuldstændigt, og korrosionen er derfor karakteriseret ved at den foregår jævnt over hele metaloverfladen. Generel korrosion forekommer typisk i reducerende syrer.
2. Pitting (grubetæring, punktkorrosion): Lokal korrosion, der fører til punktvis angreb, som ofte kan være af en betydelig dybde. Optræder i neutrale eller moderat sure opløsninger, som fortrinsvis indeholder klorider ( $\text{Cl}^-$ ), eller for eksempel havvand. Angrebet kommer, hvor oxidfilmen er svækket, f.eks. på grund af indeslutninger eller overfladedefekter.
3. Spaltekorrosion (tildækningskorrosion): Optræder i snævre spalter og hulrum. Jo snævrere spalte (dog kun til et vist minimum), jo større risiko for korrosion. Optræder hyppigst i kloridholdige opløsninger, f.eks. havvand. Som en tommelfingerregel kan man sige, at stål med god bestandighed mod grubetæring også har god spaltekorrosionsbestandighed.
4. Spændingskorrosion: Karakteriseret ved revnedannelse, og skyldes samtidig påvirkning af trækspændinger og korrosion. Optræder især for austenitiske rustfrie stål i chloridholdige væsker samt i alkaliske væsker (højt pH) ved høj temperatur.



5. Interkrystallinsk korrosion (korngrænsetæring): Et klassisk eksempel er udskillelser af chromcarbider i metallets korngrænser. Derved reduceres chromindholdet i det nærliggende område, med lavere korrosionsbestandighed til følge. Ses ofte i forbindelse med forkert varmebehandling og svejseprocedure.

### 5.3.3. Forholdsregler ved svejsning

De austenitiske rustfrie stål (såsom EN 1.4301 og EN 1.4401) er meget velegnede til svejsning. Dernæst kommer de duplex rustfrie stål (såsom SAF 2205) og mindst egnet er de ferritiske (såsom EN 1.4016) og martensitiske rustfrie stål (såsom EN 1.4057).

Udover den generelle egnethed af de forskellige rustfrie ståltyper, er det specielt kulstofindholdet, der fokuseres på. Det anbefales, at kulstofindholdet max. er 0,03 %. Der findes dog specielle rustfrie svejse kvaliteter med kulstofindhold over 0,03 %, nemlig de såkaldte stabiliserede rustfrie stål. Disse er tilsat små mængder af titan eller niob, som binder kulstof. Dermed reduceres risikoen for at udskille uønskede chromcarbider. De stabiliserede kvaliteter er dog på retur, idet der i dag ikke - som tidligere - er vanskeligheder med at fremstille rustfrie stål med lavt kulstofindhold.

#### Gasbeskyttelse:

Mangelfuld gasbeskyttelse vil medføre en oxidation af metaloverfladen. Hermed ændres passivlagets egenskaber. Den visuelle ændring af det rustfrie ståls overflade – fra usynlig til farvet - er en effekt af dette. Fra at være tynd og tæt, bliver passivlaget tykkere og mere chromholdigt, men uheldigvis også mere porøst, hvilket reducerer korrosionsbestandigheden. Ved meget kraftig farvning vil det rustfrie stål lige under passivlaget indeholde mindre chrom, og selvom det oxiderede passivlag fjernes, vil korrosionsbestandigheden være forringet.

#### Tilsatstråd:

Nogle legeringer kræver anvendelse af tilsatstråd (f. eks. duplexkvaliteterne såsom SAF 2205), men austenitiske legeringer såsom EN 1.4301 og EN 1.4401 kan svejses uden. Brug af tilsatstråd vil dog i alle tilfælde være med til at sikre, at korrosionsbestandigheden ikke forringes.

#### Overfladekvaliteten:

Hvis overfladen er farvet pga. svejsning, så bør overfladen efterfølgende bejdses. Til fødevarerapplikationer kræves i nogle tilfælde en efterfølgende elektropløring. Begge metoder (elektropløring er den mest optimale) vil opløse det oxiderede lag på overfladen samt det chromfattige lag i metallet lige underne. Herved genskabes passivlaget med de oprindelige egenskaber.

### 5.3.4. Design af konstruktionen

Tilstedeværelsen af spalter og områder med mulighed for aflejringer medfører risiko for spaltekorrosion. I mange applikationer indenfor fødevarerindustrien er der stillet specielle krav til konstruktionen, således at den er rengøringsvenlig. Det medfører samtidig krav om, at der er ikke må være spalter og "døde ender" til stede i konstruktionen.



Læs mere om rustfrit stål på [www.nickelinstitute.org/goodpractices/](http://www.nickelinstitute.org/goodpractices/) og i "Håndbog – Rustfrit Stål", Sandvik Materials Technology, Referencenummer S-003-DAN (260 sider) samt i lærebogen "Korrosionsbestandigt Rustfrit Stål, Hvordan? Af Ebbe Rislund m.fl., FORCE Technology, ISBN 87-600-0079-1 (358 sider).

## 6. Modtagelseskontrol

Modtagelseskontrollen skal bl.a. sikre:

- At der ikke er synlige defekter og urenheder på det leverede materiale. Dette kan senere give problemer i procesudstyret, hvor disse urenheder kan samle sig.
- At materialet er leveret i den aftalte kvalitet, og at der medfølger materialecertifikater, der dokumenterer dette.
- At overflader, der skal i kontakt med produktet er fri for ridser, huller, porøsitet og andre fejl der viser sig som fordybninger i overfalden.

Følgende teknikker kan benyttes til kontrol af modtaget materiale samt dokumentation af overfladebehandling og –finish.

- Optiske emissionsspektral-analyser (OES-analyser) til kontrol af kemisk sammensætning oplyst i med-
- følgende leveringscertifikater iht. EN 10204/3.1B (identisk med prEN 10204/3.1a),
- Lysoptisk mikroskopi (LOM) til kontrol af mikrostruktur,
- Skanning elektronmikroskopi (SEM) til kontrol og fotografisk dokumentation af overfladefinish (topografi),
- Ruhedsmålinger til dokumentation af Ra- og Rz-værdier samt optegnelse af overfladeprofiler, jf. DS/ISO 4288, DS/ISO 4287 og DS/ISO 3274.





## 7. Betegnelser for rustfrit stål

Nedenstående tabel angiver rustfrie stål i forskellige normangivelser opdelt i kvalitetsgrupper med prisindex, som det så ud 2004. Da priser på rustfrit stål er meget afhængig af priser på legeringselementerne, vil der over tid ske forskydning i prisindekstallene.

**Tabel 2. Rustfri stål i forskellige normangivelser opdelt i kvalitetsgrupper med prisindex anno 2004. Da priser på rustfrit stål er meget afhængig af priser på legeringselementerne, vil der over tid ske forskydning i prisindekstallene.**

	Ståltipe		C %	Cr %	Ni %	Mo %	P %	S %	N %	Pris-Index (relativ skala)
Alm. rustfri stål (austenitisk)	AISI 304	min. max.	0,08	18,0 20,0	8,0 10,5	-	0,045	0,030		100
	AISI 304 L EN 1.4306	min. max.	0,03	18,0 20,0	8,0 10,5	-	0,045	0,030		
	SS 2333	min. max.	0,05	17,0 19,0	8,0 11,0	-	0,045	0,030		
	EN1.4301	min. max.	0,07	17,0 19,0	8,5 10,5	-	0,045	0,030		
Syrefast rustfrit stål (austenitisk stål med molybdæn)	AISI 316	min. max.	0,08	16,0 18,0	10,0 14,0	2,0 3,0	0,045	0,030		130
	AISI 316 L EN 1.4404	min. max.	0,03	16,0 18,0	10,0 14,0	2,0 3,0	0,045	0,030		
	SS 2347	min. max.	0,05	16,5 18,5	10,5 14,0	2,0 2,5	0,045	0,030		
	SS2343	min. max.	0,05	16,5 18,5	10,5 14,0	2,5 3,0	0,045	0,030		
	EN 1.4401	min. max.	0,07	16,5 18,5	10,5 13,5	2,0 2,5	0,045	0,030		
	EN1.4436	min. max.	0,07	16,5 18,5	11,0 14,0	2,5 3,0	0,045	0,030		
	AISI 904 L		0,01	20,0	25,0	4,5	-	-		300
	AV 254 SMO		0,01	20,0	18,0	6,1				400
Duplex stål (austenitisk-ferritisk stål)	SAF 2304	min. max.	0,03	22,0 23,5	4,0 5,5				0,10	170
	SAF 2205 (EN1.4462)	min. max.	0,03	21,0 23,0	4,5 6,5	2,5 3,5			0,14	190
	SAF 2507	min. max.	0,03	24,0 26,0	6,0 8,0	3,0 5,0			0,30	400

Mange betragter AISI 304 og EN 1.4301 som identiske. Men bemærk, at der er små nuanceforskelle mellem dem.



## 8. Overfladebeskaffenhed

Ved anvendelse af rustfrit stål er der typisk tre årsager til at specificere overfladens beskaffenhed.

**Kosmetisk** Det vil sige, at overfladens beskaffenhed/topografi er valgt på baggrund af ønsket om en bestemt visuel fremtoning af overfladen. Eksempelvis kan nævnes "roset"-slibningen af tanke. Her påføres overfladen ridser lavet med en roterende børste, hvilket giver et mat mønster, som skjuler eksempelvis svejsninger og forskellige overfladedefekter.

**Hygiejnisk** Overfladen skal være let at rengøre. Sædvanligvis vil dette medføre, at der er stillet krav om en *Ra*-værdi, der ligger under et givet niveau.

I forbindelse med begrebet "hygiejniske overflader" skal det bemærkes, at der ikke nødvendigvis er en sammenhæng mellem hvad der ser rent ud og hvad der faktisk er hygiejnisk rent. Eksempelvis vil en rossetslebet overflade pga. nuancerne i slibningen og den reducerede refleksion lettere fremstå ren, hvorimod alle kalkpletter og lignende tydeligt ses på en elektropløret overflade. Til trods for denne visuelle forskel, bør der ikke være nogen tvivl om, at en bevidst ridset overflade er mindre hygiejnisk end en elektropløret.

**Korrosion** For at øge korrosionsbestandigheden kan man anvende eksempelvis en kemisk eller manuel behandling af overfladen, der fjerner eventuel kontaminering, oxider eller lignende.

Ved valg af overflade og overfladebehandling er det vigtigt at overveje hvilke parametre, der er vigtige for overfladen. Ofte vil det være sådan, at de overflader, der visuelt umiddelbart fremstår pæneste og mest homogene ikke nødvendigvis er de mest korrosionsbestandige og hygiejniske.

### 8.1. Bejdsning

Bejdsning er en kemisk overfladebehandling i en sædvanligvis 20% saltpetersyre og 5% flussyre, der har til hensigt at fjerne afsmitning, oxidlag efter svejsning og lignende for at genoprette overfladens passiverende og rustfrie egenskaber. Det er ved bejdsning i højere grad overfladens egenskaber end udseende, der er vigtig.

### 8.2. Elektropolering

Ligeledes giver korrekt udført elektropløring en overflade, der er fuldstændig dekontamineret uden mangansulfider i overfladen og uden ruheder, der kan rumme eksempelvis bakterier. Dette er en meget korrosionsbestandig overflade, og den er samtidig meget hygiejnisk. Da den er blank anvendes elektropløring også ofte pga. udseendet. Imidlertid



tid afslører den blanke overflade alle forskelle mellem forskellige materialer anvendt. Forskellige legeringer vil fremstå forskelligt efter elektroplering.

### 8.3. Glasblæsning og slyngblæsning

Glasblæsning og slyngblæsning er to andre overfladebehandlinger, der ofte anvendes. Glasblæsningen foretages med skarpkantede glaspartikler, som ved blæsningen fjerner det øverste af overfladen. Glasblæsning kan derfor i nogen tilfælde anvendes i stedet for bejdsning, men den efterlader en ru overflade, der ikke er specielt hygiejnisk. Slyngblæsningen foretages med runde stålkugler på omkring 10-15  $\mu\text{m}$  i diameter. Slyngblæsningen fjerner ikke materiale, men giver en ensartet semi-mat overflade. Slyngblæsningen kan let medføre en reduceret korrosionsbestandighed, da urenheder akkumuleres på stålkuglerne og overføres til de rustfrie overflader. Der kræves derfor en nøje kontrol med renheden af stålkuglerne.

### 8.4. Manuel polering

Som ved elektroplering kan der ved manuel polering opnås meget fine og glansfulde overflader. Til trods for den blanke overflade, vil manuel polering dog ikke i samme grad som elektroplering øge korrosionsbestandigheden og det hygiejniske niveau. Dette skyldes, at hvor elektroplering elektrokemisk fjerner toppene på overfladen, og derved reducerer ruheden, vil manuel polering i højere grad blot "lægge" toppene ned. Derved dannes en blank overflade med en lav Ra-værdi, men som kan være fuld af ganske små spalter og hulrum. Ved manuel polering er "kvaliteten" af overfladen derfor meget afhængig af personen, der polerer.

I det følgende er listet en række titler, der kan anbefales som læsning inden for de forskellige områder.

*"Bejdsning og passivering af rustfrit stål"*. Cleanodan a/s, 1999.

*"Passivation of stainless steel"*. Dairy, Food and Environmental Sanitation, vol. 18, may 1998.

*"Korrosionsbestandigt rustfrit stål"*, ISBN 87-600-0079-1, Industriens forlag 1996

*"Surface Modification and Passivation of Stainless Steel"*. ISBN 91-554-3375-8, C. Olsson 1994

ASTM A967-01. Standard Specification for Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts.

ASTM A380-99. Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems.

## **9. Værktøjsstål**

Værktøjsstål er et nicheprodukt, der skal løse problemer, og ikke et produkt man bygger et helt produktionsanlæg af.

Sammen med viden og rådgivning indgår værktøjsstål i koncepter: Selv det bedste produkts egenskaber giver intet udbytte, hvis det ikke anvendes på rette sted eller får den rigtige varmebehandling.



Værktøjsstål er egentlig en dårlig betegnelse, fordi mange udelukkende forbinder denne ståltipe med værktøjer som anvendes til fremstilling af stansede, bukkede, prægede eller støbte emner. Men egenskabsprofilen, der er i denne vifte af stål, kan anvendes til at løse mange problemer, som f. eks. knive til hakket kød, sliddele og maskinkomponenter. Det kræver blot, at man analyserer sit problem, og finder en egenskabsprofil der passer til løsning af problemet. Uddeholm A/S har udviklet visse generelle koncepter som f.eks. Stainless Concept for korrosionsbestandige emner, men ofte designes der en løsning på et specifikt problem sammen med den specifikke kunde.

Værktøjsstål er typebetegnelsen for en stålgruppe, der er legeret med kulstof, silicium, mangan, krom, nikkel, molybdæn, wolfram, vanadium og kobolt for blot at nævne de vigtigste. Med en kombination af disse legeringer opnår man en egenskabsprofil, der dækker tre stål-hovedgrupper (se nedenfor).

Værktøjsstål skal varmebehandles, det vil sige hærdes og anløbes, for at opnå sine egenskaber. For at gøre det så let som muligt, har bl.a. Uddeholm A/S udarbejdet et kodesystem, så man hurtigt og overskueligt kan bestemme sin varmebehandling, se Tabel 3.

**Tabel 3. Kodesystem for værktøjsstål. I eksemplet vises 6 af de i alt ca. 25 ståltyper, der findes, og deres tilhørende varmebehandlingskoder 1 og 2. De viste ståltyper hører til den første stål-hovedgruppe (se nedenfor).**

Koder → ↓		1		2	3	4	5
	Ståltyper	Afspænding °C	Hærde-temp. °C	Anløbning min. 2x °C / HRC*	Anløbning min. 2x °C / HRC*	Anløbning min. 2x °C / HRC*	Anløbning min. 3x °C / HRC*
<b>ARN</b>	Arne	650	820	200 / 60			
<b>ARN-B</b>	Arne	650	820	Bainithærdning ved 250 °C til 56 HRC			
<b>CAM</b>	Calmax	650	960	250 / 57			
<b>RIG</b>	Rigor	650	960	250 / 58			
<b>SV3</b>	Sverker 3	650	960	250 / 62			
<b>SV21-A</b>	Sverker 21	650	1030	180 / 61			

### 9.1. Tre stål-hovedgrupper

Den første gruppe fokuserer primært på slid og trykstyrke. Ved at legeres stålet med et højt indhold af kulstof, kan man opnå hårdheder på op til 68 HRC (Hardness Rockwell). Inden for denne gruppe er der mulighed for en kombination af både slidstyrke og trykstyrke og duktilitet / sejhed. Med denne gruppe kan man opnå længere levetider på maskinkomponenter og udstyr, der bliver slidt for hurtigt.

Den anden gruppe hører til de seje stål, som igen kan opdeles i to grupper. De sejhærdede stål, med en hårdhed på ca. 30 HRC, og de stål som leveres i blødgødet tilstand og derefter hærdes til en hårdhed på mellem 40 og 58 HRC. I denne gruppe findes også de korrosionsbestandige stål. Disse stål henvender sig primært til opgaver, hvor der kræves stor duktilitet / sejhed. Det kunne være aksler eller maskinkomponenter der kræver korrosionsbestandighed og trykstyrke, der er noget højere end rustfrit stål, f.eks. knive mm.



Den tredje gruppe hører også til de seje stål, med en meget høj duktilitet. Samtidig har disse stål evnen til ikke at blive bløde, når de arbejder ved høje temperaturer. Ved en varmpåvirkning på 500° C i mere end 100 timer vil et stål som Orvar Supreme ikke tabe sin hårdhed. Hårdhedsområdet er mellem 38 og 58 HRC.

### 9.1.1. Begreber

Til alle disse stål tilknyttes ord som: Abrasivt slid, adhesivt slid, duktilitet, sejhed, korrosionsbestandighed, og trykstyrke, ord som kræver en forklaring.

- Abrasivt slid er den slidtype, hvor der er slidende ting i emnematerialet, som f.eks. glas der er blandet i en plasttype, hårde ståltyper eller et andet slidende medie.
- Adhesivt slid er klæbende slid, det vil sige, at ved bearbejdning i bløde materialer, klæber emnematerialet sig til værktøjsstålet. For at undgå denne form for slid, skal stålet have en meget god duktilitet.
- Duktilitet er stålets evne til ikke at få den første revne ved belastning.
- Sejhed er den hastighed en revne udvikler sig på. Jo langsommere udvikling, jo bedre sejhed.
- Korrosionsbestandigheden for værktøjsstål er på et lavere niveau end AISI 316 typen, men der er værktøjsstål, der er på samme niveau som AISI 304. Derudover kan man forøge korrosionsbestandigheden med overfladebelægninger.
- Trykstyrke er udtryk for den hårdhed materialet har. Større hårdhed giver større trykstyrke.

## 10. Styrke og statik

Beregninger har primært til formål at dokumentere, at en given konstruktion kan modstå de påvirkninger og det miljø, som konstruktionen udsættes for i et givent tidsrum. Statik og styrkelære er de hjælpemidler, der tages i anvendelse ved teknisk dokumentation/beregninger.

Egentlige statiske beregninger vil ikke blive gennemgået her. Det vil dels føre for vidt og dels kun have relevans for en mindre gruppe mennesker. Statiske beregninger anvendes f.eks. ved dimensionering af maskinanlæg, stålkonstruktioner, trykbærende anlæg og udstyr mm.

Teknisk statik og styrkelære er et speciale. Statiske beregninger bør overlades til personer med dokumenteret kendskab til området. Det kræver stor erfaring at kunne bedømme konsekvenserne af eventuelt svigt i en konstruktion og omkostningerne kan være uoverskuelige.



### 10.1. Dimensionering

Viden om materialernes fysiske, kemiske og termiske egenskaber er en afgørende forudsætning for at kunne foretage dimensionering. Dimensionering foretages ved hjælp af statik og styrkelære

Styrkekrav og modstandsevne mod deformationer betyder, at de komponenter vi anvender i vore konstruktioner, skal kunne holde til de påvirkninger, vi udsætter dem for. For at kunne løse denne opgave, skal vi have hjælp af statikken, der indeholder læren om legemers ligevægt og sætter os i stand til at finde frem til det maksimalt påvirkede punkt i en konstruktionsdel. Når vi har fundet det maksimalt påvirkede punkt, bringer styrkelæren os videre og hjælper os med at finde de rigtige og nødvendige dimensioner.

### 10.2. Opstilling af statiske beregninger

Statiske beregninger skal opstilles klare og logiske, idet beregningerne skal kunne

- Kontrolleres ved intern kontrol
- Kontrolleres ved ekstern kontrol, f.eks. myndighedskontrol

Systematisk klarhed og logik er en stor hjælp for den, eller de, der udfører beregningerne, ikke mindst ved mere komplicerede og/eller omfattende projekter.

Det er naturligvis af afgørende betydning, at den eller de der udfører beregningerne ikke mister overblikket. Ved større projekter hvor flere statikere er involverede, er det nødvendigt at nedbryde beregningerne i overskuelige delberegninger.

Ud over de primære formål vil der være andre forhold, hvor der er behov for beregninger, f.eks. i forbindelse med selve byggefasen (indkøb, fremstilling og montage) kan der opstå projektændringer eller ønsker om sådanne. Her er det vigtigt med klare og overskuelige beregninger, der muliggør et hurtigt svar / beslutningsgrundlag, ikke mindst i de tilfælde hvor undersøgelserne må foretages af en anden person, end den der har foretaget de oprindelige beregninger. Ved eventuel senere ombygning vil beregningerne atter skulle anvendes og ofte af personer, der ikke har medvirket i den oprindelige projektering.

I det efterfølgende gives et eksempel på "opstilling/disponering af statiske beregninger", således som de eksempelvis kan disponeres, når de sendes til tredje parts kontrol, herunder myndigheder, samt gemmes i eget arkiv. Eksemplet er tænkt, men kunne f.eks. være en udendørs stålkonstruktion iht. DS412 Norm for stålkonstruktioner, eller DS446 Norm for tyndpladekonstruktioner af stål.

**Tabel 4. Et eksempel på, hvordan statiske beregninger kan disponeres**

<b>0</b>	<b>Indholdsfortegnelse</b> Sørg for en detaljeret indholdsfortegnelse. Det giver overblik og letter senere søgning af bestemte beregninger, husk sidehenvisning (side xx).
<b>1</b>	<b>Indledning</b> Indledningen skal fortælle, hvad opgaven omfatter og give en kort beskrivelse af projektet, dets anvendelse og eventuel særlige forhold.
<b>2</b>	<b>Beregningsforudsætninger</b>
2.1	Normer (der henvises til gældende normer som regulerer det aktuelle område) Her anføres alle normer, specifikationer, love, vedtægter mv.
2.2	Litteratur Her anføres evt. anvendt speciallitteratur
2.3	Andet Her anføres andre specielle referencer som f.eks. forsøgsrapporter, EDB-programmer etc.
<b>3</b>	<b>Materialer</b> (der henvises til gældende normer for de aktuelle materialer ) Her anføres de konstruktionsmaterialer, der anvendes i konstruktionen. De regningsmæssige værdier for styrke anføres. Her anføres materialegruppe, sikkerhedsklasse, sv. sømklasse, krav til certifikater, kontrolklasse mm.
<b>4</b>	<b>Laster</b> (DS409 Norm for sikkerhedsbestemmelser, DS 410 Norm for last på konstruktioner)
4.1	Egenlast Her anføres egenlast for de enkelte konstruktionsdele
4.2	Nyttelast Her anføres de nyttelaster der anvendes i beregningerne, f.eks. adgangsveje med personlast.
4.3	Naturlast
4.3.1	Vindlast
4.3.2	Snelast (is)
4.3.3	Ulykkeslast
4.3.4	Termisk last
4.3.5	Anden last F.eks. vandret masselast som ofte vil være dimensionsgivende for stabilitet på tværs af en konstruktion. Den vandrette masselast udgør som hovedregel 1,5% af den regningsmæssige vertikale last.
<b>5</b>	<b>Lastkombinationer</b> (DS 410 Norm for last på konstruktioner i DK)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruktionens sikkerhed mod brud kontrolleres i lastkombination 2.1 i normen</li> <li>• Konstruktionens sikkerhed mod løft og væltning (stabilitet) kontrolleres i lastkombination 2.2 i normen</li> <li>• Konstruktioner hvor egenvægten er dominerende kontrolleres i lastkombination 2.3 i normen</li> </ul>
	Særligt udsatte konstruktioner granskes i anvendelsesgrænsetilstanden.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruktioner med risiko for påkørsel eller nedstyrtningslast, undersøges for lastkombination 3.1 i normen</li> <li>• Konstruktioner der f.eks. kan være i risiko for eksplosion, eller henregnes til høj sikkerhedsklasse undersøges for lastkombination 3.2 i normen</li> <li>• Konstruktioner hvor der kan opstå risiko for brand og konstruktioner hvor der passerer eller opholder sig personer undersøges for brand lastkombination 3.3 i normen</li> </ul>
<b>6</b>	<b>Det bærende system</b> I dette afsnit beskrives det bærende system. Ved mere komplicerede konstruktioner beskrives kun det overordnede statiske system, idet detaljer kan beskrives under de enkelte beregninger. Læseren skal kunne få en overordnet forståelse for, hvordan kræfterne føres gennem konstruktionen. Brug gerne skitser for at lette forståelsen.
<b>7</b>	<b>Det afstivende system</b> (herunder robusthed) I dette afsnit beskrives det afstivende system. Brug gerne skitser til at illustrere systemet.
<b>8</b>	<b>Statiske beregninger</b> (der henvises til diverse lærebøger indenfor de enkelte områder/specialer) Her kommer så de egentlige beregninger. Man starter fra "oven" og følger lasterne ned gennem konstruktionen. Der præciseres, hvor tal i beregningerne kommer fra, d.v.s. henviser til de sider, hvor man har beregnet de værdierne, der indgår i beregningerne. Brug skitser, det letter også egen forståelse og overblik.
<b>9</b>	<b>Underskrift</b> Beregnet af: Yy yyyy Kontrolleret af: Xx xxxx  Beregningerne skal underskrives af den der har beregnet og af den der har kontrolleret beregningerne. Dato og sted anføres.
<b>10</b>	<b>Bilag</b> Som bilag indsættes f.eks. beregninger udført af andre, herunder leverandørberegninger, EDB-udskrifter og anden relevant dokumentation.



## **11. Relaterede vejledninger og links**

*EHEDG Doc. 8, 2004: Hygienic equipment design criteria.*

Dokumentet beskriver designkriterier, som skal opfyldes, for at udstyr der bruges ved produktion af fødevarer, bliver hygiejnisk og aseptisk. Der er givet en række generelle vejledninger til, hvordan udstyr kan designes og fremstilles, således at mikrobiel sikkerhed og produktkvalitet sikres. Bl.a. omtales rengøring, validering af hygiejnisk kvalitet, overflader, geometri, konstruktion og materialer.

Vejledningen kan købes hos EHEDG, <http://www.ehedg.org>.

*EHEDG Doc. 9, 1993: Welding stainless steel to meet hygienic requirements.*

Vejledningen beskriver teknikker der sikrer, at svejsninger bliver hygiejniske. Beskrivelserne er for rustfrit stål, tyndere end 3 mm. Vejledningen omtaler både manuelle og automatiske svejseteknikker. Desuden beskrives typiske fejl og metoder til kvalitetskontrol.

Vejledningen kan købes hos EHEDG, <http://www.ehedg.org>.

På videnportalen [www.staalcentrum.dk](http://www.staalcentrum.dk) er det muligt at danne sig et overblik over, hvilke guidelines, standarder, love mv. der er tilgængelige inden for specifikke områder/udstyr og lokationer. Det er nemt at søge i materialet og læse en kort beskrivelse af det konkrete indhold. De tilknyttede links giver mulighed for at rekvirere materialet fra kilden. Der er endvidere en lang række relevante links til myndigheder og organisationer mv.

Stahlschlüssel indeholder en oversigt over stålqualiteter fra mere end 20 lande. Du kan søge information om alverdens ståltyper, legeringer og stålmærker samt finde krydsreferencer mellem de forskellige landes standarder. Stahlschlüssel er udgivet både i bogform med spiralryg og på cdrom, <http://www.stahlschluessel.de/>

### **Stålleverandører**

Sandvik:	<a href="http://www.sandvik.com/">http://www.sandvik.com/</a>
Outokumpo:	<a href="http://www.outokumpu.com/">http://www.outokumpu.com/</a>
British Stainless Steel Association:	<a href="http://www.bssa.org.uk/index.htm">http://www.bssa.org.uk/index.htm</a>
Dockweiler:	<a href="http://www.dockweiler.com/ie/index.html">http://www.dockweiler.com/ie/index.html</a>
Edelstahl Rostfrei:	<a href="http://www.edelstahl-rostfrei.de/">http://www.edelstahl-rostfrei.de/</a>
Olympic Steel:	<a href="http://www.olysteel.com/">http://www.olysteel.com/</a>
Special Metals:	<a href="http://www.specialmetals.com/">http://www.specialmetals.com/</a>

### **Svejsning:**

American Welding Society:	<a href="http://www.aws.org/pr/jul10-99.html">http://www.aws.org/pr/jul10-99.html</a>
Huntingdon:	<a href="http://huntingdonfusion.com/HFT/">http://huntingdonfusion.com/HFT/</a>
Böhler Thyssen:	<a href="http://www.boehler-thyssen.com/">http://www.boehler-thyssen.com/</a>
ESAB:	<a href="http://www.esab.com/">http://www.esab.com/</a>

### **Organisationer mv.**

Dansk Standard:	<a href="http://www.ds.dk">www.ds.dk</a>
ASSDA:	<a href="http://www.assda.asn.au/asp/index.asp">http://www.assda.asn.au/asp/index.asp</a>
KCI Publishing BV:	<a href="http://home.pi.net/~kci/">http://home.pi.net/~kci/</a>
NIDI:	<a href="http://www.nickel-institute.org">http://www.nickel-institute.org</a>
SSIC:	<a href="http://www.ssina.com">http://www.ssina.com</a>





3A Sanitary Standards:	<a href="http://www.3-a.org/">http://www.3-a.org/</a>
EHEDG:	<a href="http://www.ehedg.org/">http://www.ehedg.org/</a>
Corrosion-doctors:	<a href="http://www.corrosion-doctors.org/">http://www.corrosion-doctors.org/</a>
Food and Drug Administration i USA	<a href="http://www.fda.gov">http://www.fda.gov</a>
Nickel Institute:	<a href="http://www.nickelinstitute.org/goodpractices/">www.nickelinstitute.org/goodpractices/</a>

### Bøger

"Håndbog – Rustfrit Stål", Sandvik Materials Technology, Referencenummer S-003-DAN (260 sider).

"Bejdsning og passivering af rustfrit stål". Cleanodan a/s, 1999.

"Passivation of stainless steel". Dairy, Food and Environmental Sanitation, vol. 18, may 1998.

"Korrosionsbestandigt rustfrit stål", ISBN 87-600-0079-1, Industriens forlag 1996

"Surface Modification and Passivation of Stainless Steel". ISBN 91-554-3375-8, C. Olsson 1994

ASTM A967-01. Standard Specification fro Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts.

ASTM A380-99. Standard Practice for Cleaning, Descaling and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems.

"Korrosionsbestandigt Rustfrit Stål, Hvordan? Af Ebbe Rislund m.fl., FORCE Technology, ISBN 87-600-0079-1 (358 sider).

## **12. Anvendte metoder**

Gruppemedlemmernes erfaringer og viden er samlet og struktureret i perioden 2003-2005.

## **13. Anvendte begreber / termer**

Der henvises til EHEDG Glossary (<http://www.ehedg.org>). Gå ind under Guidelines / Library / Glosary.

EHEDG	European Hygienic Engineering & Design Group
DS/EN	Dansk Standard / European Norm
AISI	American Iron and Steel Institute
USDA	United States Department of Agriculture
FDA	U.S. Food and Drug Administration
PED	Pressure Equipment Directive
ASME	American Society of Mechanical Engineers
GMP	Good Manufacturing Practice
Ra-værdi	Roughness Average
HRC	Hardness Rockwell
OES	Optiske emissionsspektral-analyser
LOM	Lysoptimisk Mikroskopi
SEM	Scanning Elektron Mikroskopi
ISO	International Organization for Standardization



---

#### **14. Ændringsprotokol**

Dette er 1. udgave. Fremtidige ændringer vil blive anført her.