

# SCHEEPSBOUW

## Deel 1

*Prof.ir. S. Hengst*



**QCA**

**199**

7191154

---

# SCHEEPSBOUW

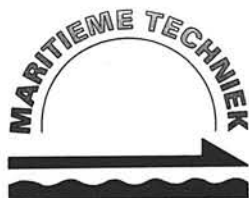
deel 1

S. Hengst  
februari, 1999

Bibliotheek TU Delft



C 3025744



### **SERIE DELFT MARITIEM**

1. Total Quality Management. Theorie of praktijk?
2. De toekomst van het vervoer over water.
3. Binnenvaart in beeld.
4. Scheepsbouw en technologie in Nederland.
5. 'Tekenen met bits en bytes.' Waar gaat het in de scheepsbouw naar toe?
6. De leerstoel scheepsbouw in perspectief. Jaarverslag 1996.
7. De concurrentiepositie van de maritieme sector.
8. Kansen en kenteringen in de scheepsbouw.
9. Scheepsbouw deel 1.

### **Te verschijnen delen van de serie Scheepsbouw van de SERIE DELFT MARITIEM**

Deel 2. Het tweede boek behandelt de inrichting, uitrusting en de lay-out van een scheepswerf. Daarbij komen de factoren die de indeling van het bedrijf beïnvloeden aan de orde evenals de invloed van de bouwstrategie en -methode op het vervaardigings- en assemblage proces op een scheepswerf in samenhang met de routing en de transportmiddelen. De uitgave is voorzien in 2000.

Deel 3. Het derde boek, waarvan de uitgave eveneens is voorzien in het begin van het jaar 2000 behandelt het te water laten van schepen met de daarvoor beschikbare gebruikte technieken en berekeningsmethoden. De uitgave is voorzien in 2000.

Deel 4. De organisatie van een scheepswerf. De werf en de toeleveranciers in de bedrijfskolom. Planning en organisatie van het proces op een scheepswerf. Technieken en -methoden. Theoretische modellen en de mogelijke toepassingen in de praktijk. Doorlooptijden en uren. Het meten van de productiviteit. De uitgave is voorzien in 2001.

Deel 5. De berekening van kosten. Tarieven, materialen, componenten en leveranciers. De effecten internationale markten en koerswisselingen. De financiering van schepen. Marktmechanismen en de factoren die de prijzen bepalen. De uitgave is voorzien in 2001.

---

# SCHEEPSBOUW

deel 1

Productiesystemen en Productieprocessen

De Maritieme Sector

Fabricage en Voorbewerking van Staal

S. Hengst  
Delft, 1999





---

**Uitgegeven door:**

Delft University Press  
Postbus 98  
2600 MG Delft  
tel. +31.15.2783254  
fax +31.15.2781661  
e-mail: dup@dup.tudelft.nl

**In opdracht van:**

Technische Universiteit Delft  
Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie  
Afdeling Maritieme Techniek  
Sectie Scheepsbouw

Delft University of Technology  
Faculty Design, Construction and Production  
Department of Marine Technology  
Section Shipbuilding

Mekelweg 2  
2628 CD Delft  
tel. +31.15.2783882  
fax +31.15.2784264  
e-mail: S.Hengst@wbmt.tudelft.nl

**Foto omslag:**

Het schip bij de tewaterlating. Het schip raakt net het water en komt net los van de sleden;  
Tille Shipyards, Kloostertille.

ISBN: 90-407-1850-4

Trefwoorden: scheepsbouw, productie, staal, bewerkingen

Copyright © S. Hengst, 1999

All rights reserved.

No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without written permission from the publisher:

Delft University Press.

Printed in The Netherlands

---

# INHOUD

## Voorwoord

<b>1 Productieprocessen</b> .....	1
1.1 Inleiding en doel .....	1
1.2 De scheepsbouwindustrie .....	2
Productiesystemen en -processen .....	2
1.3 Kenmerken van productieprocessen .....	8
1.3.1 Enkelproductie .....	10
1.3.2 Serie- en massa productie .....	11
1.3.3 De proces-industrie .....	12
1.4 Samenvatting en vergelijking .....	12
1.5 Conclusie .....	14
1.6 Aanbevolen literatuur .....	15
<b>2 Scheepsbouw</b> .....	17
2.1 Karakteristiek van de scheepsbouw. ....	17
2.1.1 Externe en interne factoren .....	17
2.1.2. Kenmerken .....	18
2.2 De scheepswerf .....	19
2.3 Het productiesysteem .....	22
2.3.1 Ontwerp, engineering en inkoop (fase 1) .....	24
2.3.2 Pre-fabricage (fase 2) .....	28
2.3.3 De Sub-assemblage (fase 3) .....	33
2.3.4 De eind-assemblage (fase 4) .....	36
2.3.5 De afbouw (fase 5) .....	38
2.3.6 Proefvaart (fase 6) .....	39
2.3.7 Toeleveren en uitbesteden .....	40
2.3.8 De logistiek en de integratie van het productieproces. ....	41
2.3.9 Samenvatting .....	45
2.4 Aanbevolen literatuur .....	46
<b>3 De Maritieme Infrastructuur</b> .....	47
3.1 De oorsprong .....	48
3.2 De maritieme sector in Nederland .....	51
3.2.1 De economische betekenis .....	51
3.3 De bedrijfstakken in de maritieme sector. ....	53
3.3.2 Baggerbedrijven en de industrie van baggerwerktuigen en -schepen. ....	57

3.3.3 Scheepvaart .....	61
3.3.4 Scheepsbouw .....	63
3.3.5 De binnenvaart .....	64
3.3.6 De maritiem gespecialiseerde leveranciers en onderaannemers .....	67
3.3.7 De maritieme dienstverlening .....	68
3.3.8 De winning van olie en gas op zee (de offshore industrie) .....	70
3.3.9 De visserij .....	72
3.3.10 De marine .....	76
3.3.11 De recreatie-vaart en de jachtwerven .....	77
3.3.12 De overheid .....	80
3.4 De toekomst .....	80
3.4.1 Veranderingen in de maritieme markten .....	81
3.4.2 Scheepvaart en havens .....	83
3.4.3 Binnenvaart, gecombineerd transport, multimodaal transport .....	86
3.4.4 Scheepsbouw .....	88
3.4.5 Scheepsreparatie .....	89
3.4.6 Overheid .....	89
3.5 Samenvatting en conclusies .....	90
3.6 Aanbevolen Literatuur .....	91
<b>4 Materialen en legeringen .....</b>	<b>93</b>
4.1 Het voorkomen van materialen .....	93
4.2 Fase-diagrammen .....	94
4.3 Het ijzer-koolstof diagram .....	100
4.4 Ongelegeerd, zwak gelegeerd en gelegeerd staal .....	103
4.5 De eigenschappen van staal .....	106
4.6 Samenvatting .....	111
4.7 Aanbevolen literatuur .....	112
<b>5 Van ijzererts naar plaat en profiel .....</b>	<b>113</b>
5.1 Het hoogovenproces .....	113
5.2 De productie van staal tot blokken of slabs .....	120
5.3 Het afgieten .....	126
5.4 Het walsen .....	135
5.5 De warmtebehandelingen .....	137
5.6 De rol van de classificatiebureaus .....	138
5.7 De producten van de walserij voor de scheepsbouw .....	141
5.8 Gietstukken .....	144
5.8.1 Soorten gietijzer .....	147
5.8.2 Vormen .....	148
5.8.3 Permanente vormen .....	149
5.9 Aanbevolen literatuur .....	157

---

<b>6 Verspanende bewerkingen</b> .....	163
6.1 Verspanend snijden .....	164
6.2 Verspanende bewerkingen .....	168
6.3 Aanbevolen literatuur .....	178
<b>7 De pre-fabricage (voorbewerking)</b> .....	179
7.1 De voorbereiding .....	179
7.2 CAD/CAM in de scheepsbouw .....	180
7.3 Gritten en stralen .....	181
7.3.1. Het reinigen van het staaloppervlak .....	182
7.3.2 Mechanische oppervlakte behandelingen .....	184
7.3.3 De kwaliteit van het oppervlak .....	185
7.4 Niet verspanende bewerkingen in de pre-fabricage .....	191
7.4.1 De brandsnijmachines .....	191
7.4.2 Kenmerken van platen .....	199
7.4.3 Het aftekenen van profielen .....	201
7.5 Het snijden .....	202
7.5.1 Autogeen brandsnijden .....	202
7.5.2 Het plasma-snijden .....	207
7.6 Knippen en ponsen .....	212
7.6.1. Het ponsen .....	213
7.6.2 Het knippen .....	213
7.7 Aanbevolen literatuur .....	216
<b>8 Het omvormen van staal</b> .....	219
8.1 Combinaties van spanningen .....	219
8.2 Methoden voor het omvormen van plaat, profiel en pijp .....	221
8.2.1 Walsen .....	221
8.2.2 Vouwen, zetten en drukken .....	228
8.2.3 Rekken, drukken en rollen .....	233
8.2.4 Richten en buigen .....	237
8.3 Aanbevolen literatuur .....	244

---

## Voorwoord

Dit boek is het eerste boek in een serie over het proces van het bouwen van schepen.

De serie beoogt inzicht te geven in de vele parameters dat bepalend zijn voor de prestaties van een scheepswerf zodat deze prestaties kunnen worden onderbouwd en geëvalueerd.

Het doel is de kenmerken van de scheepsbouw zichtbaar te maken en aan te geven hoe deze leiden tot een productiesysteem bestaand uit verschillende productie processen met vele technische disciplines. Gezien de verscheidenheid in sloopstypen en de afmetingen zijn er verschillen in omvang, inrichting en uitrusting van werven.

De scheepsbouw wordt gekarakteriseerd door een samenspel van verschillende productie processen met een verscheidenheid aan technische disciplines.

Het proces wordt *enkel-productie* genoemd. Werven gaan een *resultaat verplichting* aan.

Het schip moet voldoen aan de overeengekomen en in een contract vastgelegde prestaties.

Dit zijn onder meer draagvermogen, snelheid, hoofdafmetingen en brandstofverbruik.

Productieprocessen voor kapitaalgoederen als (drijvende) offshore eenheden -booreilanden, pijpenleggers en kraanschepen- hebben dezelfde kenmerken voor fabricage en assemblage. De verplichtingen ten aanzien van de prestaties zijn veelal beperkt tot de (juiste) werking van de geïnstalleerde systemen en hebben geen betrekking op de prestaties van het object (de snelheid van boren, pijpenleggen of werken op zee). De opdrachtgever levert zelf het equipment dat de prestaties van het schip of booreiland bepalen. Hetzelfde geldt voor marineschepen.

Voor productieplatforms levert de opdrachtgever de materialen en het equipment, met uitzondering van 'grijpvoorraden' en de verbruiksartikelen. De verantwoordelijkheid voor het ontwerp en de juiste werking van de installaties ligt bij de opdrachtgever. De *resultaat verplichting* van de bouwer is beperkt tot het samenbouwen van de geleverde materialen en het installeren van systemen en equipment voor de overeengekomen kwaliteit, prijs en tijd.

Deze serie boeken over de scheepsbouw heeft ook tot doel de leemte die er bestaat over dit type productieprocessen op te vullen.

Dit boek begint met een definiëring van een aantal begrippen van productiesystemen en processen. Het tweede hoofdstuk beschrijft het productieproces van de scheepswerf, het derde behandelt maatschappelijke aspecten, dat wil zeggen de maritieme infrastructuur:

- De partijen in de maritieme sector, activiteiten, rol en werkomgeving. Welke bedrijven zijn betrokken bij de bouw van (de onderdelen van) schepen. Wat is de rol van werven, reders, aannemers, classificatiebureaus, leveranciers. Wat is de rol van de overheid en andere instellingen, die bij het proces van bouwen, exploiteren en instandhouden van schepen zijn betrokken.

---

Vervolgens komt de productie van staal aan de orde, waarbij wordt ingegaan op de wijze waarop de kwaliteit van het staal, zowel tijdens de productie van het staal als de daarop volgende bewerkingen, wordt beïnvloed. Het doel is dat inzicht wordt verkregen in de productiefaciliteiten en de daarbij behorende voorzieningen.

Na de productie van staal worden de bewerkingen in de scheepsbouw behandeld waarbij onderscheid wordt gemaakt naar verspanende, scheidende en vervormende bewerkingen bij de vervaardiging, de machines, de voorbereiding van het productieproces, de relatie met het tekenen en construeren, normen en instructies op tekeningen die de produktie ondersteunen (CAD/CAM).

Dit boek kon tot stand komen dank zij het onderzoek van medewerkers, bedrijven en afstudeerprojecten van studenten. Het werk van dr. ir. K.J. Saurwalt mag niet onvermeld blijven.

De student assistenten Yuri Henderikse en Lodewijk van Os hebben de teksten aandachtig en nauwkeurig nagelezen, correcties aangebracht, de leesbaarheid verbeterd, de indeling en de figuren gemaakt en gezorgd dat alle plaatjes op de juiste plaats kwamen.

Zonder de inzet van Ria Nieuwland-Jobse was dit boek niet tot stand gekomen. Zij zorgde er voor dat het type-werk en de wijzigingen, vele veranderingen en herzieningen in de tekst werden verwerkt.

De volgende uitgave kan nog beter, onder meer als lezers commentaar leveren.

Voor diegenen die geïnteresseerd zijn in het vervolg is een overzicht van de planning van de serie opgenomen.

Prof. ir. S. Hengst

Delft, Januari 1999

# 1

## Productieprocessen

### 1.1 Inleiding en doel

Dit hoofdstuk behandelt een aantal basisbegrippen van productiesystemen.

Vervolgens komt het modelleren van productiesystemen aan de orde evenals de kenmerken van verschillende soorten productieprocessen.

Het doel is een begrippen kader te scheppen waarop in de volgende hoofdstukken kan worden voortgebouwd. Door het productiesysteem 'scheepswerf' in een breder kader te plaatsen kunnen de karakteristieken en kenmerken van dit productiesysteem herkenbaar worden gemaakt.

Het doel is eveneens duidelijk te maken dat productiesystemen veranderen en dat binnen de productiesystemen verschillende productieprocessen kunnen voorkomen.

Wie belangstelling heeft voor de archeo-antropologie, zal ontdekken dat de geschiedenis van de ontwikkeling van de mens samengaat met zijn vermogen om materialen te maken en gereedschappen te ontwikkelen voor het bewerken ervan.

Door de tijd heen is de mens steeds beter in staat te zijn lichtere en sterkere materialen te maken, terwijl de processen om de materialen te bewerken complexer werden.

Nog steeds worden nieuwe materialen ontwikkeld en de processen waarmee de materialen worden vervaardigd, veranderen.

Het maken en bewerken van materialen blijkt nauw samen te hangen met de vormgeving van het product, die weer afhankelijk is van het doel waarvoor het is bestemd (de functie).

De komst van de machinale bewerkingen heeft geleid tot standaardisatie van onderdelen die in grote aantallen konden worden gefabriceerd.

Gespecialiseerde bedrijven maakten het mogelijk dat de kosten van onderdelen en componenten drastisch werden teruggebracht. Het handwerk werd overgenomen door machines. Deze evolutie heeft geleid tot specialisaties die in alle technische opleidingen zijn terug te vinden.

In de scheepsbouw is deze ontwikkeling nog steeds zichtbaar.

Het ontwerpen, het maken van bouwtekeningen en het vervaardigen van een schip gaan hand in hand met de exploitatie (de functie).

### Enkele voorbeelden van specialisaties

De *ontwerper* dient rekening te houden met de mogelijkheden en beperkingen van het productieproces, de beschikbare materialen, de bewerkingen die de materialen kunnen ondergaan, de

## 1 Productieprocessen

---

ringen, communicatiesystemen etc. Hieruit is de conclusie te trekken dat een productieproces vrijwel niet mogelijk is zonder dienstverlening. In een bedrijf zijn transport, financiering, gezondheidszorg, communicatie etc. immers noodzakelijk om het productieproces uit te kunnen voeren.

Het bedrijf en de plaats van de werf (het productiesysteem) in de omgeving is schematisch in figuur 1.1 weergegeven.

Marketing is een voorbeeld van dienstverlening.

Het bedrijf verkent de markt en stelt de 'functionele eisen' die aan een product worden gesteld zo goed mogelijk vast. Op basis van deze eisen wordt het product (het schip) ontworpen en aangeboden. Indien de afnemer (reder) de offerte aantrekkelijk vindt (kwaliteit, prijs, levertijd, financiering) volgt een opdracht, nog steeds is sprake van dienstverlening.

Tijdens de productie - het maken van werktekeningen, inkoop van materialen en het fabricage- en assemblageproces - voegt de werf waarde toe aan de ingekochte materialen en 'vervaardigt' het product.

De rol van onderzoek en ontwikkeling (dienstverlening) is het voortdurende zoeken naar nieuwe producten, de toepassing van nieuwe materialen, het verbeteren van een ontwerp of het ontwikkelen van een geheel nieuw product.

Het *productiesysteem* is hier gedefinieerd als de verzameling van alle middelen die nodig zijn om het schip te kunnen bouwen, dat wil zeggen financiering, arbeid, productiemiddelen, de toegeleverde materialen, het management en alle bijbehorende dienstverleningen.

Het samenspel van alle activiteiten en processen om de onderdelen van het schip te maken en Het maken en bewerken van materialen hangt nauw samen met de vormgeving van het product, die weer afhankelijk is van het doel waarvoor het is bestemd (de functie).

assembleren is een deel van het productiesysteem en wordt gedefinieerd als het *fabricage-of productieproces*.

Er worden in de literatuur meerdere soorten productieprocessen onderscheiden.

De begrippen systeem, proces en productie (produceren) vragen enige toelichting. De productie of het produceren (maken, voortbrengen) is het maken en leveren van goederen en diensten. Om te kunnen produceren worden verschillende productieprocessen gebruikt die samen het productiesysteem vormen.

Voorbeelden van productiesystemen zijn ondernemingen, bijv. de werven maar ook de rederijen. Een productiesysteem 'maakt' dus niet alleen producten maar kan ook 'diensten verlenen'. Binnen de onderneming (het productiesysteem) is sprake van verschillende *productieprocessen*.

Productieprocessen zijn activiteiten waarbij mensen met behulp van machines of gereedschap-



pen een bewerking uitvoeren zoals bijvoorbeeld snijbranden, lassen, knippen, boren, persen, walsen etc.

Door een bedrijf in een model weer te geven en het niet als een systeem te beschrijven, tracht men inzicht te krijgen in het gedrag van *productiesysteem*.

Verondersteld wordt dat de grenzen van het systeem in de *omgeving* van het bedrijf bekend zijn (zie fig. 1.1) evenals de *processen in het bedrijf*. Het bedrijf (systeem) reageert dan op een min of meer voorspelbare wijze op de vraag uit de omgeving.

Van een scheepswerf weten we bijvoorbeeld dat er schepen gebouwd worden, welke bewerkingen dat eist en dat er veel *toeleveringen* nodig zijn om de bouw van een schip te kunnen realiseren. De vraag bepaalt het type schip (functie, afmetingen etc.). De werf koopt een groot deel (toeleveringen).

Met het bouwen van een 'model' wordt de suggestie gewekt dat het gedrag van een *productiesysteem* voorspelbaar is.

Een model is echter een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het wordt meestal gebouwd op grond van bepaalde veronderstellingen of theorieën, waarbij met behulp van algoritmen (wiskundige hulpmiddelen) wordt getracht het systeem te beschrijven. Er wordt aangenomen dat de grenzen bepaald zijn en dat de wiskundige formules die het gedrag van het model bepalen redelijk met de werkelijkheid overeenstemmen. Met behulp van *parametervariaties* kan dan worden onderzocht wat de prestaties van een bedrijf, onder verschillende omstandigheden, zullen zijn.

Het model (*productiesysteem*) is opgebouwd uit *deelsystemen en elementen*.

De deelsystemen worden in het vervolg productieprocessen genoemd. De elementen zijn de *machinale bewerkingen* of *groepen van bewerkingen*. Het uitgangspunt daarbij is dat binnen een *deelsysteem* de relaties tussen de *elementen* vast te leggen zijn.

Het gedrag van *deelsysteem* is dan een voorspelbaar.

Een tweede aanname is dat de relaties tussen de *elementen* van het *productieproces* (deelsysteem) niet veranderen. In de praktijk zal dit echter in de scheepsbouw niet het geval zijn.

Om het *productieproces* te kunnen besturen en beheersen is er voor een brandsnijmachine bijvoorbeeld een permanente aanvoer van platen nodig, die veelal verschillend van dikte en afmetingen zijn. Daarmee verandert de snijtijd van de machine die ook een functie is van de hoeveelheid meters die moeten worden gesneden.

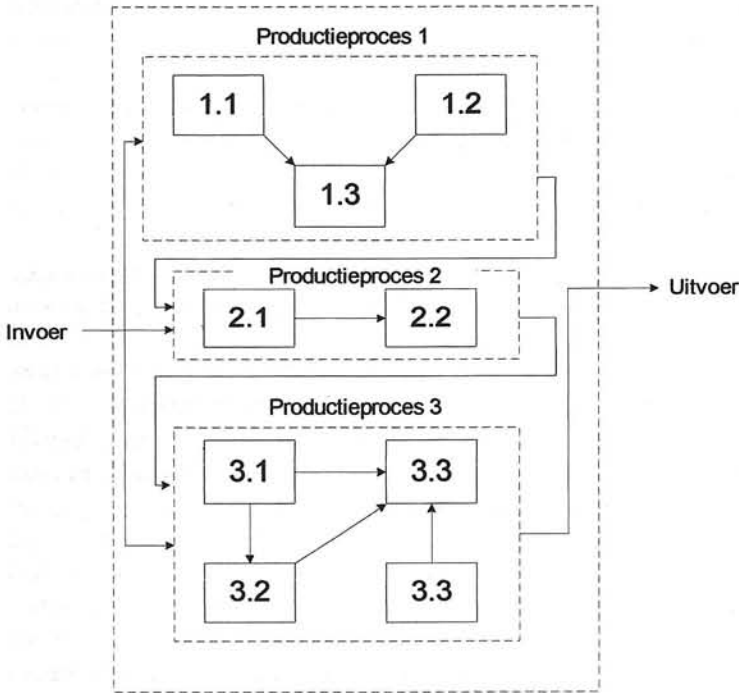
Het bestuur en beheer daarvan is opgebouwd uit 'aspect-systemen' (de deelverzameling van *relaties*) waarbij in het model de elementen niet veranderen.

Het begrip *systeem* wordt gehanteerd om het gebied van bedrijfsactiviteiten te beschrijven met behulp van *elementen*, die door meetbare gegevens (ook wel *parameters* genoemd) worden

## 1 Productieprocessen

bepaald en waartussen *relaties* zijn vast te leggen met behulp van (wiskundige) algoritmen of formules.

In figuur 1.2 is een *model* weergegeven.



*Figuur 1.2 Het productiesysteem*

Het productiesysteem is opgebouwd uit de productieprocessen (deelsystemen) 1, 2, 3 ..... n, die zijn samengesteld uit de elementen 1.1, 1.2, 1.3,..... 2.1, 2.2, 2.3,..... 3.1, 3.2, 3.3,..... etc.

De elementen kunnen worden verfijnd tot een individuele werkplek of machine en een deelsysteem is dan bijvoorbeeld het productieproces van een brandsnijmachine waarbij de machine, de operator, de kranen, het positioneer gereedschap en de te bewerken plaat de elementen van het productieproces zijn.

Elementen 1.1 (brandsnijden) is invoer voor 1.3 (vervormen), beide elementen voor 1.3 (sorteren) die de invoer voor 2.1 is.

Het modelleren van de activiteiten van een scheepswerf van marketing tot en met oplevering

van een schip leidt tot een complex geheel, waarbij de voorwaarde voor een betrouwbaar model is dat de wiskundige vergelijkingen (relaties tussen elementen) bekend zijn en stelen op een eveneens betrouwbare theorie, die het model toetsbaar en controleerbaar maakt.

Zelfs voor relatief eenvoudige productiesystemen waarbij alle gegevens parameters en relaties goed beschreven en vastgelegd kunnen worden, is het modelleren van het productiesysteem moeilijk.

Voor het scheepsbouwproces (enkelproductie) is het in detail modelleren vrijwel ondoenlijk omdat een groot aantal factoren het proces verstoort. Het proces is niet *stabiel*.

Dit is ondermeer het gevolg van:

1. De kleine aantallen identieke producten kan weinig 'ervaring' worden opgedaan aan de hand van identieke werkzaamheden.
2. De relatief grote afmetingen en 'slappe' constructies leiden tot vervormingen bij de assemblage en maken bijvoorbeeld een nauwkeurige maatvoering lastig. Het gehele proces steunt daarmee op de kwaliteit van de 'man op de vloer!'.
3. Doordat de verschillende fasen in het productieproces van een schip elkaar overlappen, worden werkzaamheden gestart op grond van nog niet geheel volledige informatie.
4. De doelstelling van een productieproces is vrijwel niet exact te definiëren. Naast de onder 2 en 3 genoemde aspecten kunnen sociale factoren 'verstrend' werken, immers de menselijke factor is niet in termen van wiskundige formules te beschrijven.
5. De relaties tussen 'elementen' van het proces kunnen meestal niet op een betrouwbare wijze in mathematische termen worden beschreven. In de scheepsbouw (enkelproductie) beschikt men bovendien niet over het benodigde statistische materiaal dat, op grond van zich regelmatig herhalende identieke processen, is verzameld.
6. Het beschrijven van het systeem kost onevenredig veel tijd in verhouding tot de uitvoering.
7. De beschikbare gegevens zijn meestal niet betrouwbaar omdat tijdens het productieproces correctieve maatregelen worden getroffen. De ervaring leert dat er mee-en tegenvallers zijn, maar deze zijn niet in detail op de onderdelen van het proces (de elementen) te voorzien.

Om inzicht in het 'productiesysteem' van de scheepswerf te krijgen, is gekozen voor een beschrijving waarbij het productiesysteem is verdeeld in *productieprocessen* (en delen daarvan), *machinale bewerkingen*, *groepen van samenhangende (al of niet machinale) bewerkingen* of *taken en individuen (mens-gebonden) opdrachten*,

De gereedschappen die nodig zijn om taken of bewerkingen uit te voeren, hebben betrekking op het bewerken, zoals (brand)snijden, schaven, boren-, vervormen - zoals buigen, persen of walsen en het ondersteunen, vasthouden of stellen - door middel van pennenbedden, klemmen, wiggen, of ogen van materialen.

In een productiesysteem kunnen verschillende soorten productieprocessen voorkomen.

### 1.3 Kenmerken van productieprocessen

Het vervaardigen van kapitaalgoederen als schepen en drijvende offshore eenheden wordt gekarakteriseerd als *enkelproductie*.

Hoe is vast te stellen dat er sprake is van enkelproductie of een ander productieproces, waarom zijn de processen vergelijkbaar of analoog?

Hoe worden de kenmerken van productie processen geïdentificeerd, waardoor worden deze bepaald? Zijn daarmee kenmerken van de scheepsbouw te bepalen? Op welke wijze wordt de toegevoegde waarde (of prijs) van een fabricageproces bepaald? Heeft een productieproces invloed op de methode van werken en organiseren?

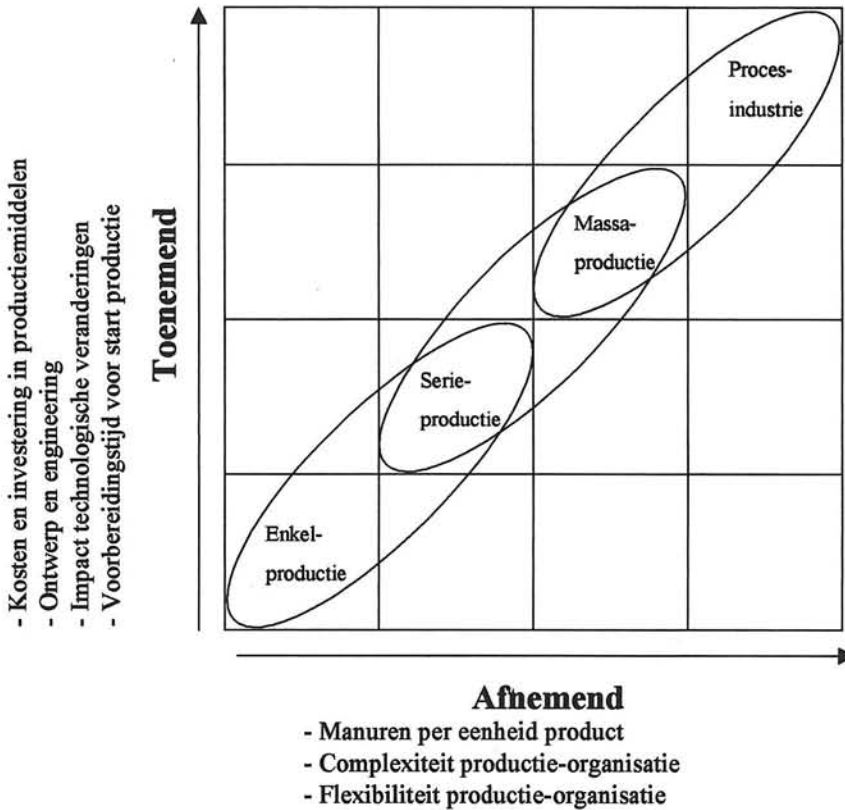
In de managementliteratuur wordt de indeling in productieprocessen soms vergaand verfijnd. Hier wordt een basis-indeling in vier categorieën gehanteerd: enkelproductie, serieproductie (waarin soms weer onderscheid wordt gemaakt tussen kleine series, een aantal tot 50, en grotere series, identieke producten), massa productie en procesindustrie (o.m. volgens P. Drucker)[2]

In de Engelse literatuur wordt gesproken over unique-, batch- mass- en flow production. Enkele kenmerken zijn weergegeven in figuur 1.3.

Het productieproces is in de eerste plaats marktgebonden, bijvoorbeeld door de aantallen identieke producten die door de markt worden gevraagd. De consumenten goederen zijn in het algemeen typische voorbeelden van massa producten worden gevonden in de consumenten industrie. Het betreft grote aantallen producten die volgens een norm of standaard in bepaalde uitvoeringen of afmetingen worden geleverd. In het algemeen zijn de producten eenvoudig van vorm en samenstelling en worden vrijwel uitsluitend procesmatig geproduceerd. De productie-eenheid is geheel ingericht voor het maken van specifieke onderdelen die meestal weer worden toegeleverd aan een bedrijf dat zich heeft gespecialiseerd in de assemblage. Sommige producten hebben zich ontwikkeld van een met eenvoudige middelen vervaardigd product (bijvoorbeeld de gesmede spijkers, bouten en pennen) tot het huidige massaproduct dat in gestandaardiseerde verpakkingen, voor verschillende aantallen, op de markt wordt gebracht.

De auto, die vrijwel vanaf het begin als serie-product op de markt werd gebracht, is nu een product geworden dat geheel volgens de principes van massaproductie wordt vervaardigd.

Een vliegtuig is een product dat volgens de principes van seriebouw wordt gemaakt. Naarmate de series kleiner worden is het ontwikkelen van speciale opstellingen of gereedschappen voor een product economisch minder interessant. Deze moeten immers worden afgeschreven op het aantal producten dat er mee kan worden gemaakt. Het bedrijf zal een technische en economische evaluatie moeten maken bij welke aantallen een investering in speciale, op het product gerichte, gereedschappen en machines gerechtvaardigd is.



*Figuur 1.3 Kenmerken van het productieproces*

In de enkelproductie is het nauwelijks verantwoord om specifieke gereedschappen voor de bouw van enkele producten te maken. Daardoor is enkelproductie vooral een assemblagebedrijf waar alleen die onderdelen worden vervaardigd die niet in de markt als serieproduct kunnen worden verkregen. (bijv. het casco van een schip).

Figuur 1.3 illustreert enkele algemene kenmerken die de verschillende productieprocessen hebben en geeft tevens aan welke ontwikkelingen hebben plaatsgevonden en mogelijk zijn.

In enkelproductie, bijv. schepen, zijn kleine series identieke (<15) schepen haalbaar maar de ontwikkeling naar grote series, vergelijkbaar met vliegtuigen, ligt vooralsnog niet voor de hand.

De randvoorwaarden voor het doelmatig functioneren van schepen (havens, lading, routes etc.)

lopen te ver uiteen.

Bepaalde producten die in serie worden gemaakt lenen zich weliswaar voor massaproductie, maar de realisatie daarvan is afhankelijk van het de grootte van de vraag.

De verschillen tussen massaproductie en proces-industrie worden kleiner naarmate het niveau van automatisering en robotisering in de massaproductie hoger wordt.

In het algemeen kan van de massa en proces-industrie gesteld worden dat

- de kosten van het ontwerp van het proces hoog zijn,
- de investering en de bedrijfsinstallatie hoog is,
- de voorbereidingstijd in verhouding tot de bouwtijd lang is,
- de impact van technologische innovaties hoog is (een nieuw product vraagt een nieuw proces).

Daarentegen zijn de manuren in de productie per eenheid product laag, evenals het niveau van het 'traditionele' vakmanschap (het assemblagewerk vraagt geen traditionele kennis), de flexibiliteit in de productie is beperkt evenals de flexibiliteit van de organisatie.

Enkelproductie en de productie kleine series kenmerken zich door

- kleine aantallen identieke producten,
- een hoog aantal manuren per eenheid product (arbeidsintensief),
- een hoog niveau van vakmanschap op de werkvloer.

Tengevolge van de kleine aantallen producten in het arbeidsintensieve karakter wordt een hoge flexibiliteit van de organisatie en de inzet van de arbeid verwacht. Daarmee ontstaat een beeld zoals dit in fig. 1.3 is weergegeven. De productiesystemen worden achtereenvolgens kort besproken.

### 1.3.1 Enkelproductie

Voorbeelden van enkelproductie zijn: schepen, kantoorgebouwen, offshore productie platforms, petro-chemische plants en centrales.

Een algemeen kenmerk van de enkelproductie is de organisatie van elkaar opvolgende fasen en productieprocessen.

De fasen volgen uit de samenstelling van het product en hebben een logische volgorde.

De organisatie van het werk vindt derhalve plaats volgens de indeling van de fasen en de logische volgorde die het product oplegt. De vakgroepen (lassen, bankwerken, etc.) kunnen in iedere fase van de bouw worden ingezet. Als de volgorde in de productie verandert, verandert ook het moment en de plaats waarop bewerkingsgroepen worden ingezet.

Het productieproces is samengesteld uit standaard bewerkingen, -machines en -materialen. Het proces is arbeidsintensief en leent zich moeilijk voor automatisering en robotisering.

Omdat het aantal producten klein is, treden schommelingen op de bezetting van mensen en machines. Van de kleine en middelgrote bedrijven (3 of 4 schepen per jaar) vraagt dat vermoeden tot aanpassing en flexibiliteit.

De manier waarop de flexibiliteit wordt gerealiseerd varieert. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld

het uitbesteden van werk.

### **Kenmerken van de arbeid**

De werkzaamheden stellen hoge eisen aan het vakmanschap op de werkvloer en in de voorbereiding (tekenkamer). Dit geldt voor alle (technische) onderdelen van de organisatie en de disciplines die bij de uitvoering zijn betrokken. De scheepsbouw stimuleert de ontwikkeling van het vakmanschap op een breed terrein en is daarom een aantrekkelijke industrie voor ontwikkelingslanden.

Het management dient over technische kennis te beschikken om het proces te kunnen beheersen en controleren.

### **1.3.2 Serie- en massa productie**

Het ontwerp en het gebruik van speciaal voor een product gemaakte opstellingen en hulpstukken doet zijn intrede bij serie-matige productie. De productie met standaard elementen naast de standaard bewerkingen, -machines en -materialen, wordt gekenmerkt door herhaling van identieke bewerkingen, waarbij de uitvoering van het proces vastligt en veranderingen komen tijdens de productie niet meer voor.

In de massaproductie liggen de risico's van het proces, bijvoorbeeld beoordelingsfouten, voornamelijk in het ontwerp van het productieproces (in relatie tot het product), deze fouten worden tijdens de fabricage van een prototype gecorrigeerd. De prototypen zijn bestemd voor het beoordelen van het ontwerp op functionaliteit en prestaties. Product en productieproces zijn als het ware geïntegreerd.

Kwaliteit van output en de productie wordt bepaald door de betrouwbaarheid van de productiemiddelen en het productontwerp.

In het algemeen wordt een serie gekenmerkt door 50 of meer identieke producten. Bij massaproductie gaat het over miljoenen. In dit fabricageproces vinden, onder invloed van computergestuurde technieken, voortdurend nieuwe ontwikkelingen plaats. Van vaste plaatsen, vaste bewerkingen en beperkte speciale gereedschappen ('tooling') gaat het proces naar productiesystemen bestaande uit computer gestuurde assemblagetechnieken.

In het productieproces zijn de verliezen geminimaliseerd. Door bijvoorbeeld bezetting van machines en mensen te maximaliseren, maar het productieproces is rigide en vrijwel een proces-industrie geworden.

De producten worden gevarieerd door gebruik te maken van standaard elementen en door variatie in de uitvoering van de elementen.

Het ontwerp en de besturing van het productieproces vraagt hooggeschoold personeel.

De productie vraagt weinig geschoold personeel en is waar mogelijk geautomatiseerd en gerobotiseerd.



### 1.3.3 De proces-industrie

In de proces-industrie zijn product en proces als het ware 'samengesmolten'. Meestal is de invoer van het proces uniform 'materiaal', bijvoorbeeld de ruwe olie in een raffinaderij of erts voor een hoogovenproces.

Tegelijkertijd kan een verscheidenheid aan eindproducten worden voortgebracht. Met het productieproces liggen de eindproducten vast. Het resultaat is een hoog productievolume. Het rendement van een investering is gebaseerd op de (minimale) omzet of bezettingsgraad van de productie. Er is sprake van een 'break-even-point'. Als de omzet onder dit punt daalt, is de productie niet meer rendabel. Het proces eist kennis voor het ontwerp, het instandhouden van het onderhoud.

De voorbereiding van een investering vraagt een combinatie van kennis van de markt (de vraag naar een product) en het productieproces en begint soms jaren voor de start van de bouw van de productie-eenheid. De investeringen zijn omvangrijk, de risico's zijn hoog. Het ontwerp van het proces is bepalend voor de kosten van de productie en van het onderhoud. Het productieproces is volledig geautomatiseerd.

### 1.4 Samenvatting en vergelijking

De technologie van het productontwerp en productieproces zijn volledig geïntegreerd. Bij massaproductie zijn de technologie die in het ontwerp van het product wordt toegepast en de technologie van het productieproces verschillend van aard. In het productieproces worden grote hoeveelheden van meer of minder complexe producten in grote hoeveelheden gemaakt. (>10). De technologie die toegepast wordt in het productieproces is afhankelijk van het type product, maar er zijn meerdere productie-technologieën mogelijk die eenzelfde product kunnen opleveren.

In serieproductie wordt het productieproces een combinatie van assemblageprocessen en op de componenten afgestemde productietechnieken. Het productiesysteem is samengesteld uit meerdere productieprocessen.

In enkelproductieprocessen leiden verschillende bewerkingen en productieprocessen tot één eindproduct. Er is een groot aantal uiteenlopende productietechnologieën vereist om het eindproduct te kunnen vervaardigen.

Het laatste komt tot uiting in een aantal onderdelen dat nodig is om een enkelproduct te kunnen vervaardigen. Voor een schip ligt dit aantal in de orde van grootte van 100.000 tot één miljoen. Voor een massaproduct kan dit aantal variëren van één (een bout, moer, spijker of mes) tot 5.000 - 10.000. (een auto) Voor een serieproduct als een vliegtuig kan dit 50.000 tot 100.000 zijn. Met het aantal onderdelen neemt de complexiteit van de samenstelling van het product toe.

De toename van de complexiteit wordt onder meer veroorzaakt door de toename van het aantal technische systemen dat in een product moet worden ingebouwd.

Een schip is een voorbeeld van een product waarin naast de installatie voor de mechanische voortstuwing, bijvoorbeeld een dieselmotor met alle daarbij behorende hulpsystemen voor



koeling, smering, brandstof en lucht, ook systemen voor de opwekking van elektrische energie, de voorzieningen voor warm en koud stromend water, air-conditioning, accommodatie, een keuken, navigatiesystemen, communicatiesystemen (telefoon-en radiosystemen) etc. etc. moeten worden ingebouwd.

Daarnaast zijn, afhankelijk van het type lading, meestal ook nog voorzieningen nodig voor het laden en lossen van schepen, het behandelen van de lading tijdens het transport, bijvoorbeeld installaties voor het koel houden van de lading (fruitschepen) of het verwarmen van de lading (asfalttanker).

In vergelijking met de relatief eenvoudige samenstelling van consumentengoederen, die in grote hoeveelheden worden gemaakt (meer dan 10 miljoen), vraagt het ontwikkelen en ontwerpen van een complex product als een auto, vliegtuig of schip in verhouding met het productieprocesduur, weinig tijd.

In alle gevallen zal de ontwerper of ontwikkelaar rekening moeten houden met de productieprocessen, beschikbare fabricagemethoden en levertijden van onderdelen.

Tabel 1.1 illustreert hoe groot de verschillen tussen de producten zijn. Als gevolg daarvan zijn de productieprocessen om de producten te vervaardigen niet hetzelfde. In alle voorbeelden is sprake van een groot aandeel van de toeleveranciers.

Product	Tijd nodig voor ontwerpen	Tijd nodig voor bouw of assemblage	Levensduur	Aantal onderdelen per product	Aantal leveranciers*	Producten
Schip	0,2-0,5 jaar	12-18 maanden	30 jaar	100.000 tot 1.000.000	300 tot 600	3 tot 6
Vliegtuig	2-4 jaar	6-8 maanden	20 jaar	50.000 tot 100.000	100 tot 300	500 tot 700
Auto	1-3 jaar	20 uur	12 jaar	5.000 tot 10.000	50 tot 100	1·10 <sup>6</sup>
Zaklantaarn	0,5 jaar	2 minuten	2 jaar	10 tot 15	5 tot 6	2·10 <sup>7</sup>
Staalplaat	1-2 uur	2-3 uur	36 jaar	1	10 tot 20	>1·10 <sup>6</sup>

Tabel 1.1 Tijd en aantallen als kenmerken van producten

\* Met het aantal leveranciers wordt hier bedoeld de bedrijven die direct aan de producent leveren. In feite is er een keten van toeleverende bedrijven van halfproducten tot de basismaterialen waardoor het aantal leveranciers toeneemt.

## 1 Productieprocessen

Product	Typering v/h productie proces	Tijd nodig voor ontwerp en ontwikkeling v/h proces	Aantal producten (serie)	Type product	Levensduur proces (jaren)	Gevolgen nieuw product
Schip	Enkel productie	0,5 - 1 jaar	3 tot 6	Variabel	30	Beperkt
Vliegtuig	Serie productie	1 tot 2 jaar	500 tot 600	Beperkt variabel	20	Aanpassing middelen
Auto	Massa Productie	2 tot 3 jaar	$1 \cdot 10^6$	Standaard variaties	10	Nieuw proces
Zaklantaarn	Proces (flow) prod.	1 tot 2 jaar	$2 \cdot 10^7$	Standaard variaties	10	Nieuw proces
Staalplaat	Proces (flow) prod.	2 tot 3 jaar	$1 \cdot 10^4$	Beperkt variabel	30	Nieuw proces

Tabel 1.2

Het is duidelijk dat de ontwerp- en ontwikkelingspanning voor een zaklantaarn zeer gedetailleerd zal moeten zijn. De functionaliteit en vormgeving zijn bepalend voor de keuze van het materiaal.

Bij het bouwen van een schip gelden geheel andere maatstaven. Gezien het aantal toeleverende bedrijven is een industriële infrastructuur van groot belang. De scheepswerf lijkt in hoofdzaak een assemblagebedrijf te zijn.

### 1.5 Conclusie

Ieder productiesysteem heeft kennelijk een eigen toepassingsgebied en de daarbij passende producten.

Door een product, in samenhang met, en het productiesysteem te analyseren is het mogelijk de productie en een product op elkaar af te stemmen en te verbeteren.

De bovengenoemde kenmerken zeggen vrijwel niets over het gebruik van de technologie in het productieproces. De technologie van een proces-industrie (in de Engels-Amerikaanse literatuur vaak aangeduid als 'continuous process' zit als het ware ingebakken in het ontwerp van het proces en het 'ontwerp' van het product. Het product kan (volgens het ontwerp) volgens één proces worden geproduceerd.

**1.6 Aanbevolen literatuur**

- 1 'De concurrentiepositie van de Scheepsbouwindustrie in Nederland 1984-1992', van Holst L.B. en Koppies. J.D.M., 1993.
- 2 Peter F. Drucker, Management, ISBN 0-330-256-386, 1979.
- 3 Peter F. Drucker, Managing in turbulent times, ISBN 0-06-011094-5.
- 4 Analysis of competitiveness in commercial shipbuilding, Sjoerd Hengst en J.D.M. Koppies, Journal of Ship Production, vol.12, no 2, may 1996 pp. 73-84.
- 5 G.A. van Os, Productie en Operation Management, Eburon, Delft, 1993.
- 6 T.B. Klimp, Effectief investeren in een scheepswerf, in opdracht van Niestern Sander BV en Pattje Shipyard B.V., Delft 1996.
- 7 H.R. Maliepaard, Simulatiemodel van het scheepsnieuwbouw- staalproces. In opdracht van B.V. Scheepswerf en Machinefabriek de Biesbosch, Delft augustus 1993.
- 8 W.S. Ganzinga, simulatie van het scheepsbouwproductieproces in zes stappen. In opdracht van scheepswerf 'De Kaap', Delft 1993.
- 9 B.N.M.P. van den Biggelaar, een diagnose model voor een engineer-to-order productiebedrijf, in opdracht van Recon, Groningen, Delft 1990
- 10 A.F.G. Hanker, H.A. Reuver, Inleiding tot de systeemleer, Stenfert Kroese, Leiden 1976, ISBN 90-207-0588-1
- 11 Chris Peters, e.a., De Nederlandse Scheepsbouw en toeleveringsindustrie, D.U.P. 1998, ISBN 90-407-1768-0

## 2

**Scheepsbouw**

Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens

- de kenmerken van de scheepsbouw
- een indeling van de werven
- het productiesysteem van een scheepswerf

met het doel de lezer inzicht te geven in de productieprocessen die op een scheepswerf voorkomen en de achtergrond ervan.

Tevens worden de rol van de toeleveranciers en het belang van de logistieke organisatie van het productiesysteem uiteengezet. De mogelijkheden om de doorlooptijden in de productie te reduceren en de levertijden van de schepen te verkorten worden besproken evenals de gevolgen voor de organisatie van de werf, met het doel aan te geven waar het productiesysteem van een werf aan veranderingen onderhevig is. Het aantal variabelen, dat het productiesysteem van een werf beïnvloedt, is groot waardoor het vergelijken onderling van werven met behulp van modellen van productiesystemen niet goed mogelijk is.

**2.1 Karakteristiek van de scheepsbouw.**

Scheepsbouw behelst de ontwikkeling van kennis, methoden en technieken voor het (op een efficiënte wijze) verkrijgen en realiseren van een opdracht voor de bouw van een schip.

Gemiddeld bestaat ongeveer 70% van de kostprijs van een schip uit de toelevering van materialen, equipment en de uitbesteding van het werk aan onderaannemers. De toegevoegde waarde van het werk dat de werf in eigen beheer uitvoert, bedraagt ongeveer 30%.

Het inkoopbeleid en de efficiënte uitvoering van de niet werf-gebonden activiteiten bepalen voor een groot deel de concurrentiepositie van een scheepswerf dat wil zeggen prijs, levertijd en kwaliteit van een schip.

**2.1.1 Externe en interne factoren**

De 'omgeving' van de scheepswerf wordt onder meer bepaald door de afnemers (reders) als de onderaannemers en de toeleveranciers. Bedrijfsactiviteiten als marketing, verkoop, +inkoop, kostprijs-analyse, begroten, de financiering e.d. zijn *bedrijfs-externe aspecten*. Zij zijn extern gericht op de economische infrastructuur die het bestaan van een scheepswerf mogelijk maakt. Het zijn de *bedrijfs-externe* aspect systemen van de scheepswerf.

De *interne bedrijfsfactoren* hebben betrekking op de wijze waarop het bedrijf het werk (ontwerpen, tekenen en werkvoorbereiding, intern transport, te water laten, bewerkingen,

assemblage, de installatie van technische 'systemen', de organisatie van de productie met begrippen als informatie-beheersing, planning, productiviteit, kwaliteitszorg, de voor-uitrusting van secties) uitvoert. Daartoe behoort eveneens de verkenning, analyse en evaluatie van nieuwe technieken voor bijvoorbeeld tekenen, bewerkingen, nieuwe materialen, robotisering, methoden voor de assemblage, etc.

Bovendien blijken er bij nadere beschouwing verschillen te zijn tussen de productie-processen van de bouw-stadia: de bewerkingen voor de te maken onderdelen van de stalen romp, de pre-fabricage en de assemblage processen van de enkelproductie. De voorbereiding en ondersteuning daarvan, het productie tekenwerk, is daarop afgestemd.

### 2.1.2. Kenmerken

De *kenmerken van de productieprocessen* zijn, zoals in Hoofdstuk 1 is aangegeven, te identificeren. In de loop van de tijd zijn de kenmerken van respectievelijk serieproductie, massaproductie en proces industrieën in beeld gebracht en zijn theorieën opgesteld om de verschillen te verklaren. In de praktijk is de theorie terug te vinden in bijvoorbeeld de arbeidsintensiteit, organisatie, lay-out en logistiek van het productieproces.

### Project-organisatie

Over de enkelproductie als 'productieproces' is weinig gepubliceerd. In het algemeen wordt het onderwerp in de literatuur afgedaan met de karakteristiek 'project-matige' organisatie. Over project-management is veel gepubliceerd. Meestal betreft dit echter methoden en technieken waarmee organisaties, die projecten moeten uitvoeren waarvan het ontwerp volledig is uitgewerkt tot en met de detaillering voordat met de realisering wordt gestart.

### Resultaat verplichting

In de scheepsbouw is dit niet voldoende het geval.

Een werf gaat een *resultaat verplichting* aan voor het ontwerp waardoor een vrijwel niet vergelijkbare situatie ontstaat. De werf combineert het ontwerpen, voordat een contract wordt getekend, met het tekenen en uitwerken van de details, de voorbereiding van de productie, de fabricage, assemblage en beproeving. Tijdens de beproevingen wordt nagegaan of het schip voldoet aan de in het contract vastgelegde prestaties en kenmerken.

Het bouwproces wordt, onder meer, gekenmerkt door een voortdurende confrontatie tussen een niet tot in alle details uitgewerkt ontwerp en de noodzaak om tijdig met de fabricage te kunnen beginnen om de levertijd te kunnen realiseren. Dit houdt in dat de definitieve werktekeningen en materialen vóór de start van de fabricage beschikbaar moeten zijn.

### Meerdere soorten productieprocessen

De bouw van een schip houdt de organisatie van meerdere soorten productieprocessen in die met de voortschrijdende technologie veranderen.

Naar de verschillen tussen de processen (pre-fabricage, de sectie-bouw, de assemblage van

blokken en de samenbouw van een schip op de helling) en de wijze waarop de processen kunnen worden verbeterd is vooral in de Japanse scheepsbouw onderzoek gedaan.

### Technische disciplines

Bij het bouwen van een schip zijn veel technische disciplines betrokken. De complexiteit neemt toe met het aantal installaties. Tijdens de voorbereiding en uitvoering is het tegelijkertijd in uitvoering brengen en integreren van activiteiten (parallel schakelen) een voorwaarde om de doorlooptijden te realiseren.

In het proces van de enkelproductie zijn de lay-out van de werf, de beschikbare productie middelen, transportmiddelen, de hijscapaciteit van kranen etc. gegeven grootheden die meestal niet veranderen als een nieuw ontwerp gemaakt moet worden. De samenstelling van het schip uit de geïntegreerde blokken of secties wordt afgestemd op de beschikbare middelen, in tegenstelling tot productie processen waarbij proces en producten soms volledig zijn geïntegreerd (procesindustrie) of het proces en de middelen op het product worden afgestemd (massaproductie).

### Dienstverlenende activiteiten

Ook in de dienstverlenende activiteiten: marketing, verkoop, begroting, ontwerpen, engineering, oplevering en nazorg zijn de kenmerken van enkelproductie in de scheepsbouw terug te vinden.

Het werk van de ontwerpers, tekenaars en constructeurs heeft een directe invloed op de inkoop, doorlooptijd en de bezettingsgraad van mensen en middelen van de productie afdelingen van een scheepswerf en daarmee op planning en de levertijd van de toeleveranciers, installatiebedrijven en het overige uitbestede werk.

In de literatuur van de jaren negentig over serie- en massaproductie wordt deze werkwijze als 'concurrent engineering' betiteld, een innovatieve aanpak die de ontwerpcyclus aanzienlijk verkort en door de geïntegreerde aanpak met de toeleveranciers eveneens de doorlooptijden in de fabricage en assemblage. De scheepsbouw kent de methode van werken sinds lang.

De combinatie van een *vaste prijs*, en *levertijd* met een *resultaat verplichting* op basis van een niet tot in detail uitgewerkte specificatie is kenmerkend. Het op te leveren schip moet voldoen aan de contractueel vastgelegde en overeengekomen prestaties met betrekking tot snelheid, vermogen, brandstofverbruik, waterverplaatsing, draagvermogen, hoofdafmetingen etc..

Voor de scheepsbouw is dit een extra complicerende factor omdat binnen de overeengekomen levertijd alle tekeningen voorafgaand aan de start van de fabricage door de keurende instanties, inclusief de reder, moeten worden goedgekeurd.

## 2.2 De scheepswerf

Traditioneel zijn scheepswerven gevestigd in havenplaatsen, aan de mondingen van grote rivieren die de verbinding naar het achterland verzorgen. Er is meestal sprake van een combina-

## 2 Scheepsbouw

---

tie van handel en transport, vestigingen van rederijen en de goede verbindingen over het water, de weg, het spoor en via pijpleidingen, naar industriële en dichtbevolkte gebieden.

De verbindingen over water wordt verdeeld in:

- intercontinentale zeevaart (deep-sea)
- kustvaart, soms samengaand met binnenvaart (short-sea)
- binnenvaart (inland waterway transportation).

Werven zijn gevestigd bij de knooppunten van verbindingen over water.

### Indeling naar grootte

De scheepswerven kunnen worden ingedeeld naar het aantal werknemers, bijvoorbeeld:

- kleine werven met een bezetting van minder dan 50 werknemers.
- middelgrote werven met een bezetting tussen 50 en 500 werknemers.
- grote werven met een bezetting van 500 tot 1000 werknemers.
- zeer grote werven met meer dan 1000 werknemers.

Deze indeling is arbitrair en geeft weliswaar enig inzicht in de omvang en omzet maar zegt weinig over de aard en het karakter van de bedrijven.

Bovendien is door de veranderende structuur in de scheepsbouw (bedrijven besteden meer en meer werk uit), de toenemende productiviteit per werknemer, een meer efficiënte organisatie en de technologische vernieuwingen van de productiesystemen, het aantal werknemers niet de enige parameter die de capaciteit van een werf bepaalt omdat het aantal uren dat op een werf nodig is om een schip te bouwen gestaag afneemt.

### Indeling naar de marktgerichtheid

Een indeling die enig inzicht geeft in het type bedrijf is gebaseerd op de wijze waarop het bedrijf in de markt opereert.

De hieronder volgende indeling is daar een voorbeeld van:

- Bedrijven die zich uitsluitend richten op het leveren van manuren tegen de laagst mogelijke kosten. Het zijn 'uitgeknepen' organisaties met weinig of geen ontwerp mogelijkheden. Daardoor zijn de algemene of 'overhead' kosten beperkt.
- Bedrijven die zich gespecialiseerd hebben in bepaalde productiemethoden of processen, bijvoorbeeld de verwerking van aluminium, kunststoffen of roestvrijstaal. De kennis van het specifieke productieproces is bepalend voor het bedrijf.
- Bedrijven die zich gespecialiseerd hebben in de bouw van onderdelen van schepen, bijvoorbeeld pre-fabricage, vlakke panelen of secties voor het voor- of achterschip.
- Bedrijven die het accent hebben gelegd op marketing en verkoop van bepaalde scheepstypen of producten en dit seriematig hebben opgezet.
- Bedrijven die zich gespecialiseerd hebben in de organisatie van projecten, bijvoorbeeld offshore -en constructie bedrijven.
- Kennis-intensieve bedrijven, meestal gericht op een hoogwaardig product in een specifieke markt, bijvoorbeeld de baggerindustrie of defensiematerieel (marine).

- De 'klassieke', complete scheepswerf die vrijwel alle vakgroepen die nodig zijn voor de bouw van een schip, in het eigen bedrijf heeft.
- De scheepswerf, gericht op het onderhouden en repareren van schepen of offshore eenheden.

Alhoewel alle basis activiteiten (construeren, ijzerwerken, branden, lassen, pijpfiten etc.) hetzelfde zijn, blijken zowel de organisatie, als lay-out en middelen zodanig te verschillen door de marktgerichte instelling dat de productieprocessen niet te vergelijken zijn.

Daarnaast varieert de grootte van de werven, zowel met betrekking tot de middelen als het aantal werknemers.

### **Export**

In Nederland waren in 1998 bij de Kamers van Koophandel meer dan 250 bedrijven ingeschreven die zich 'scheepswerf' noemen. Ongeveer 90 daarvan zijn lid van de VNSI, de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie. De bedrijven behoren alle tot de categorie klein of middelgroot.

Alle bovengenoemde typen werven, behalve de 'zeer grote' komen in Nederland voor en combineren soms meerdere activiteiten, bijvoorbeeld nieuwbouw en reparatie.

Door de grote verscheidenheid aan werven noemt men de industrie als geheel 'gefragmenteerd'. De bedrijven zijn echter marktgericht en gespecialiseerd en kunnen daardoor overleven.

De Nederlandse scheepsbouw is voor ca. 50% van de omzet gericht op export. Dit betekent dat subsidies in andere landen, ondanks de hoge productiviteit voor de werven een probleem vormen voor de werven.

De zgn. relaties met omgeving en de leveranciers (zie fig. 1.1 in hoofdstuk 1) vormen de infrastructuur van de sector. De infrastructuur versterkt de concurrentiepositie en stimuleert de (technologische) ontwikkelingen bij de toeleveranciers.

### **Concurrentiepositie**

Voor de overleving op lange termijn is het voortdurend werken aan verbetering van producten, productie-processen, aan verlaging van de productiekosten, innovatie in producten en processen een noodzaak.

Dit vraagt bij voortdurende vergelijkende analyses van de concurrentiepositie, met betrekking tot de kostprijs en de technologie. Maar ook onderzoek naar veranderingen in de transportsystemen, laad- en lossystemen, gecombineerd inter-modaal vervoer en de effecten daarvan op het systeem 'schip'. Voorstellen voor verbetering moeten worden geanalyseerd op prijs, tijd en kwaliteit (veiligheid en milieu) voor het transport.

Bedrijven zullen voortdurend moeten nagaan voor welke scheepstypen de verbetering van de productiviteit en de kwaliteit zinvol is en beoordelen welke productiemiddelen op een werf de



productiviteit verbeteren en welke investeringen de beste resultaten opleveren.

### 2.3 Het productiesysteem

Aansluitend op het in hoofdstuk 1 beschreven productiesysteem wordt het bouwproces op een scheepswerf beschreven. Niet alle fasen komen op een bedrijf voor. Middelen, grootte en organisatie kunnen sterk verschillen. De mate van uitbesteding kan betrekking hebben op zowel bedrijfseigen werk (het parallel schakelen van activiteiten) als op volledige fasen als bijvoorbeeld ontwerp, engineering, pre-fabricage, sub-assemblage etc.

#### De orderverwerving.

Voorafgaand aan het bouwen van een schip moet een opdracht worden verkregen.

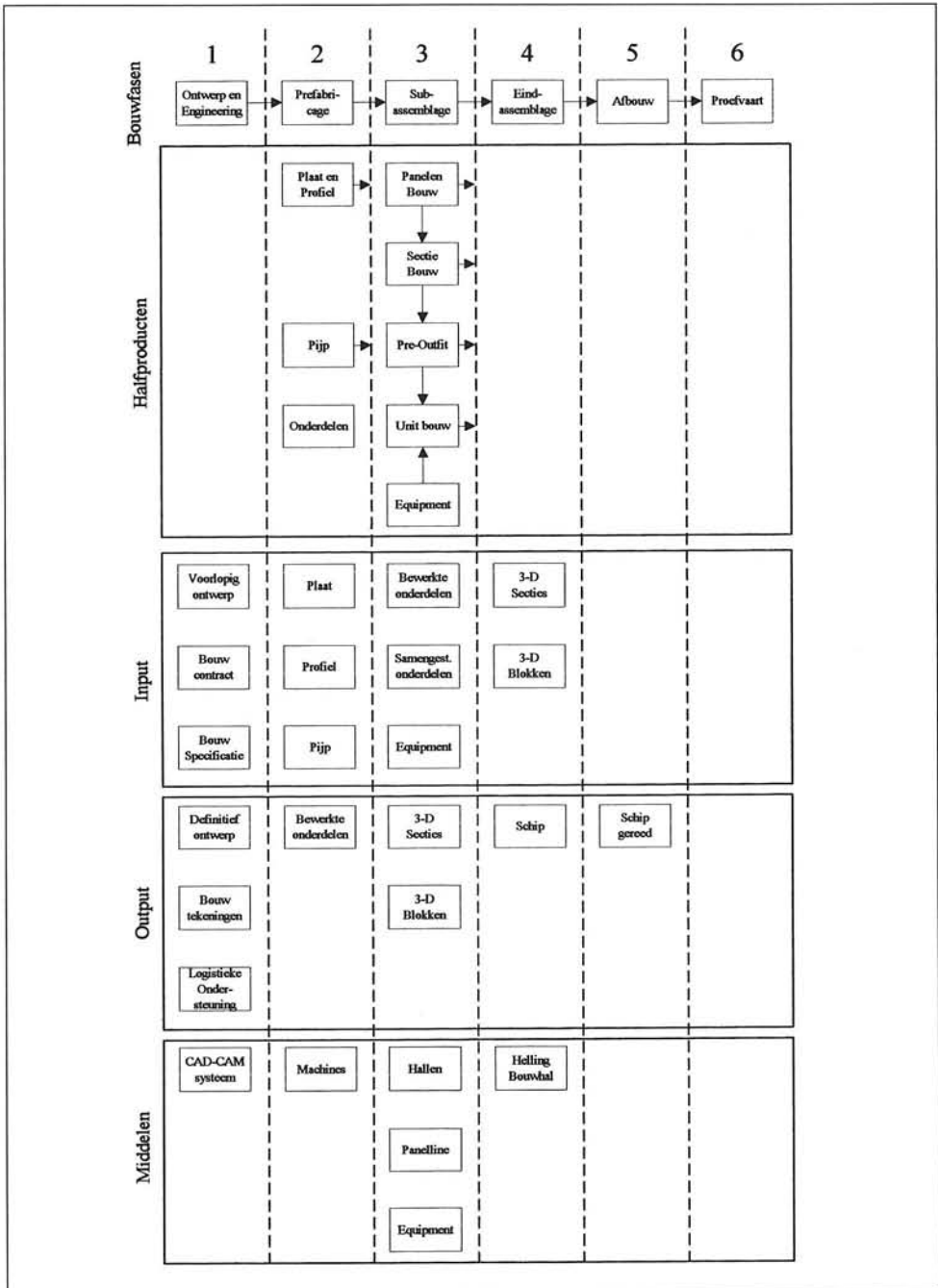
Naast de financiële en juridische aspecten (financiering, contract) zorgt de werf voor een technische specificatie waarin het te bouwen object wordt omschreven. Daarin worden naast de prestaties (snelheid, draagvermogen, voortstuwingsvermogen, brandstofverbruik e.d.), ook de hoofdafmetingen (lengte, holte, breedte en diepgang), de te installeren installaties, voorzieningen, inrichting en uitrusting, vastgelegd. De basis voor de prijs van een offerte-ontwerp is een offerte-bestek.

Het bouwen van het schip, conform de kenmerken van de enkelproductie, is een proces van opeenvolgende activiteiten die onderling samenhangen en een logische volgorde hebben.

Per type werf verschillen de werkwijze, beschikbare middelen, personeelsbezetting etc., afhankelijk van de markt waar de werf zich op richt.

De nu volgende indeling van het productieproces is derhalve algemeen en de aard en omvang kan per fase verschillen.

In fig. 2.1 is het bouwproces van een schip schematisch weergegeven.



Figuur 2.1 Productieproces op een scheepswerf

Het schema geeft zes fasen weer die tijdens de productieprocessen worden doorlopen.

De fasen 1 t/m 6 zijn de productieprocessen zoals deze schematisch in fig. 1.1 van hoofdstuk 1 zijn aangegeven.

Op de verticale as zijn weergegeven:

- de producten die een productieproces levert.
- de 'input' aan 'materiaal' voor een productieproces.
- de 'output' die een proces oplevert. De bovengenoemde halfproducten zijn een nadere detaillering van de deel-processen.
- een aanduiding van de benodigde middelen.

De gegevens in figuur 2.1 zijn niet volledig en hebben tot doel een indruk te geven hoe het productieproces is opgebouwd.

### 2.3.1 Ontwerp, engineering en inkoop (fase 1)

Tijdens deze fase wordt het ontwerp van het schip zoals het in het contract is vastgelegd nader uitgewerkt in constructie- en werktekeningen en worden bijvoorbeeld specifieke wensen van de opdrachtgever in het definitieve ontwerp verwerkt.

De tekeningen voor de productie worden zodanig gedetailleerd dat de uitvoering geschikt is voor het productieproces op een werf. Dat wil zeggen dat afmetingen van het ruwe plaatmateriaal afgestemd moet zijn op de bewerkingsmachines in de pre-fabricage, de sectiegewichten overeenstemmen met de capaciteiten van de beschikbare kranen op een werf en de afmetingen van de secties zodanig zijn dat onbelemmerd transport mogelijk is. Daarbij moet rekening worden gehouden met de door de classificatiemaatschappijen voorgeschreven plaatdiktes, materiaalafmetingen en met de voorzieningen die getroffen moeten worden voor de inrichting en uitrusting van het schip, zoals fundaties voor machines en equipment, aansluitingen en doorvoeringen voor pijpleidingen, kabelwerk e.d. De onderdelen worden niet alleen getekend, maar ook zodanig gespecificeerd dat de benodigde materialen en onderdelen kunnen worden gekocht en gefabriceerd.

Dat wil zeggen dat er stuklijsten (onderdelen lijsten) per tekening worden toegevoegd, bewerkingscodes, de bouw-en assemblage methode worden vastgelegd en wordt zorggedragen voor de goede toegankelijkheid voor de uitvoering van het werk.

De tekeningen worden ter keuring naar de reder, het classificatiebureau en andere instanties, zoals bijvoorbeeld scheepvaartinspectie gestuurd en bevatten de informatie die nodig is voor het bouwen van het schip, dat wil zeggen het fabriceren en samenstellen van onderdelen.

### Productievoorbereiding

De eerste stappen zijn het tekenkamerwerk en de voorbereiding van het productieproces van het construeren van het casco.

De stalen romp wordt meestal computer-ondersteund getekend. (zie fig. 2.2)



*Figuur 2.2 Het proces van computer-ondersteund tekenen van de romp (Bron: Numeriek Centrum, Groningen)*

Het 3-D construeren van de romp en haar constructiedelen is een werkwijze waarbij de ontwikkeling van de romp - van de eerste vorm (conceptueel) voor de productie van de onderdelen in een drie dimensionale (3-D) omgeving plaatsvindt.

Naast geïmporteerde pakketten beschikken Nederlandse werven daartoe over het door het Numeriek Centrum Groningen ontwikkelde NUPAS-systeem. De constructeur tekent in NUPAS 2-dimensionaal op het beeldscherm.

De computer legt de constructie 3-dimensionaal vast in een 'ware grootte massieve' constructie. Dit is een 3-dimensionaal exact productmodel. De onderdelen in dit productmodel zijn direct geschikt voor bewerking in de pre-fabricage.

Voor het maken van bouwtekeningen worden de verschillende aanzichten en doorsneden van

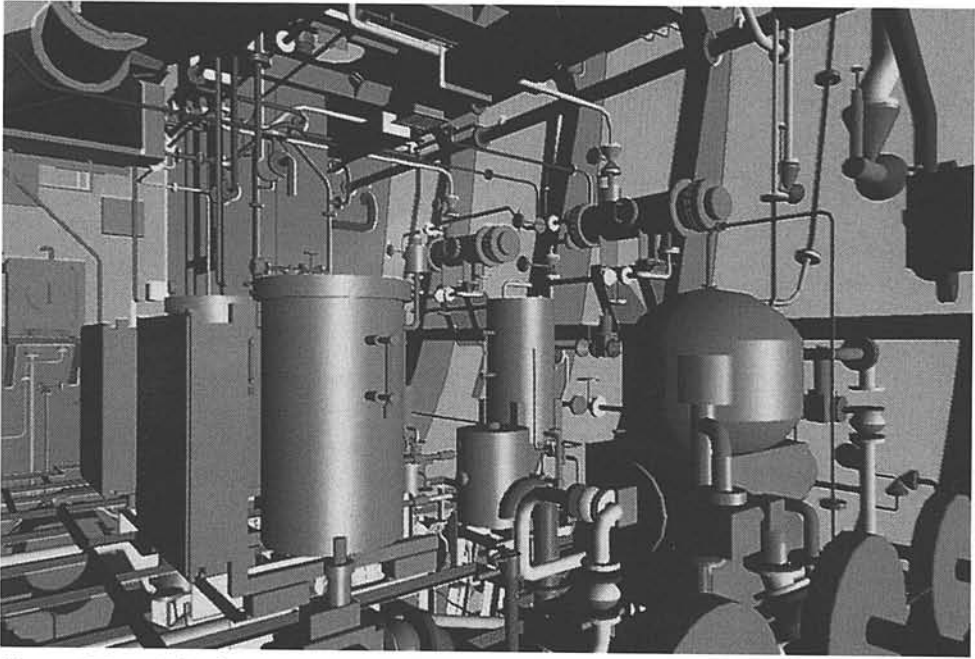
het productmodel door het systeem geproduceerd. Dit bevordert de kwaliteit van het tekenwerk. Het vormt de basis voor het computerondersteund tekenen, toevoegen en integreren van de verschillende technische systemen in de romp.

De meeste van de systemen zijn "bottom-up", d.w.z. vanuit de ontwikkelingen in het fabricage proces opgebouwd. Naarmate meer "organiserende functies" worden gevraagd kan dit oorspronkelijke voordeel omslaan in een nadeel. Dit kan de reden zijn waarom bijvoorbeeld een werf als Odense in Denemarken heeft gekozen voor Hicadec (Japans), dat door de werf zelf is uitgebreid en toegespitst op eigen eisen. Er wordt daarbij geïntegreerd 3-D getekend (scheepsbouw, werktuigkundige installatie, elektrische installaties etc.), het resultaat is gekoppeld aan planning (manuren en specificaties van materialen worden vanuit de tekening gegenereerd). Het bedrijf heeft daartoe de beschikking over een zogenaamd Electronic Data Processing (E.D.P.) -pakket. De productie is gestroomlijnd en flexibel gehouden waardoor de bezetting van de werkplaatsen kan variëren. Het resultaat is dat de schepen efficiënt worden gebouwd, waarbij veel aandacht is geschonken aan precision engineering (het nauwkeurig maken van onderdelen en assemblages).

### **De systemen (pijpleidingen etc.)**

Het drie dimensionaal construeren van (pijp) systemen met behulp van de computer wordt in de chemische industrie reeds lang toegepast.

In de scheepsbouw was de integratie met de constructie van de romp een probleem vanwege de gecompliceerde vormgeving en constructie. De 3-D software van de romp met de pijpen is nu geïntegreerd. De daadwerkelijke, gedetailleerde en betrouwbare integratie van de machiniekamerinstallatie in het schip kan nu in een vroeg stadium van het tekenkamerwerk plaats vinden. (zie fig. 2.3).



*Figuur 2.3 3-D tekening van machinekamer*

Voor kleine werven zijn de bestaande systemen echter (nog) te kostbaar en zal een eenvoudiger systeem moeten worden ontwikkeld.

### **De inkoop**

Een groot deel van het werk wordt door een scheepswerf uitbesteed aan gespecialiseerde toeleveranciers. Met de belangrijkste leveranciers zullen in een vroeg stadium van de bouw afspraken moeten worden gemaakt omdat de levertijden van het equipment (bijv. een hoofdmotor) bepalend kunnen zijn voor de levertijd van het schip.

Tevens dient de tekenkamer in een zo vroeg mogelijk stadium over gegevens van het te leveren equipment te beschikken om de tekeningen te maken. Dit betreft bijvoorbeeld informatie voor fundaties, aansluitpunten van installaties voor pijpleidingen, motoren en koel- en vries installaties.

Het samenspel tussen inkoop en tekenkamer is dus in vele opzichten van belang voor een soepel verloop van de bouw en de tijdige oplevering. Meestal maakt een werf afspraken met een aantal vertrouwde (min of meer vaste) leveranciers, met het doel betere prijzen en snel betrouwbare informatie te krijgen.

De tekenkamer bereidt de technische informatie voor, in overleg met de ontwerper, voor de aan te schaffen installaties en equipment.

Het inkopen van staal is voor de werf een belangrijke activiteit.

Definitieve afmetingen van plaat en profiel zijn pas definitief als de tekeningen door een classificatiebureau zijn goedgekeurd.

Het aanleggen van een standaard voorraad staal is voor een werf vrijwel onmogelijk en vraagt bovendien een grote investering, zowel in opslagruimte als materiaal. Bovendien is er het risico van teruglopende kwaliteit als de staalplaten langdurig in de voorraad liggen. Het materiaal kan corroderen of mechanische beschadigingen oplopen bij langdurige opslag.

Veel werven hebben daarom een voorkeur voor het specificeren van het materiaal aan de hand van de werktekeningen. Bovendien kan daarmee het afvalpercentage worden beperkt.

### **Logistieke voorbereiding voor afnemers en leveranciers.**

Het logistieke proces, bijvoorbeeld voor het voorbereide bouw pakket voor een scheepsromp kan geheel geautomatiseerd worden verzorgd.

De stapelvolgorde en de nummering van de constructiedelen van de te leveren pakketten kan worden afgestemd op de bouwmethode van een specifieke werf (dus voor iedere werf verschillend).

In het buitenland (Japan, Denemarken) wordt Electronic Data Processing (EDP) toegepast, als onderdeel van een Document Management Systeem dat de work-flow in het totale productie proces ondersteunt en de productieprocessen van de werf met de bijbehorende documenten die het productie proces voorbereiden en begeleiden, dynamisch beheerst, zowel financieel als technisch en administratief.

### **2.3.2 Pre-fabricage (fase 2)**

De voorbereiding of pre-fabricage op een werf beslaat de bewerking van staalplaten en profielen.

De bewerkingen worden onderscheiden in:

- niet verspanende bewerkingstechnieken en
- verspanende bewerkingstechnieken.

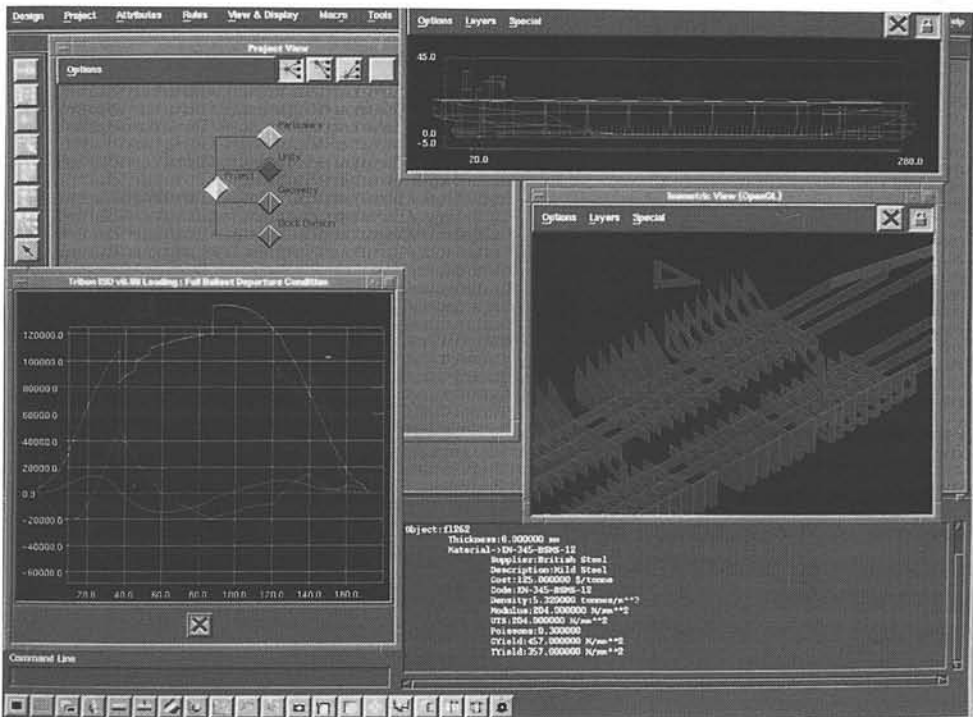
Het grootste deel van de voorbereiding bestaat uit niet verspanende bewerkingen.

De fabricage van onderdelen uit stalen plaat en profiel houdt in dat de platen en profielen in de voor de onderdelen gewenste afmetingen en vorm worden gebracht. De machines in de pre-fabricage zijn (brand)snijmachines en vervormingsmachines (persen, walsen) en specifieke machines voor het afkorten of snijden van materiaal (slagschaar) of het afronden van kleine onderdelen (knabberschaar).

Hieronder valt ook de voorbereiding van pijpmateriaal, strippen etc. die de werf maakt voor de inrichting en uitrusting van het schip.

De voorbereiding daarvan vond vroeger plaats op de uitslagzolder, waar het spantenraam (en de huiduitslag) van het schip op ware grootte werden 'getekend'. De basis hiervoor vormde het lijnenplan van het schip.

Met de huidige technieken worden de lijnenplannen met behulp van computers eveneens schaal 1:1 getekend en kunnen met grote nauwkeurigheid (binnen millimeters) de afmetingen en vorm van de platen worden bepaald. De afmetingen van de vlakke, nog niet vervormde platen, kunnen daardoor met kleine marges worden vastgelegd en de platen binnen nauwe grenzen besteld, (zie fig 2.4).



Figuur 2.4 Ontwikkeling van een ontwerp in een CAD pakket (Bron KCS Malmo, Zweden)

Alhoewel platen met standaard afmetingen (lengte, breedte) goedkoper zijn, kan nu een afweging worden gemaakt tussen de beperking van afval en de extra kosten die voor niet standaard platen moeten worden betaald. Standaard platen hebben echter een kortere levertijd



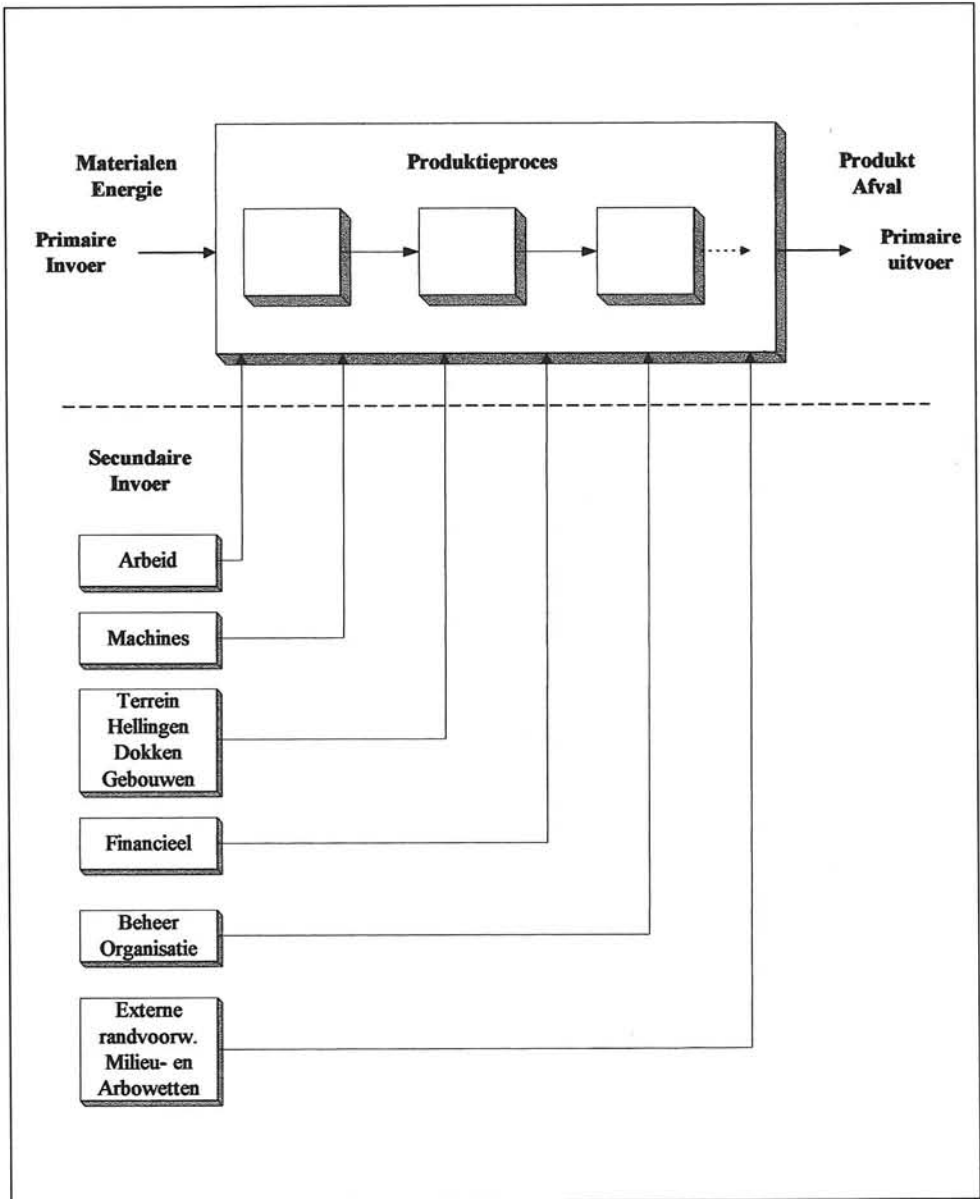
en een keuze is bij de bestelling van plaatmateriaal is afhankelijk van meerdere factoren. De onderdelen die van plaat worden gemaakt, zoals vrangen, zijzaathouten en de platen voor de constructies van het voor-en achterschip, worden 'genest'. Meerdere onderdelen worden uit één plaat gemaakt. Bij de voorbereiding van brand-en snij programma's moet worden gelet op factoren als minimum afval en het kleinste aantal snij-meters zodat de kosten van de productie zo laag mogelijk blijven. Omdat in de latere stadia van het bouwproces secties worden samengesteld en gelast uit de onderdelen wordt rekening gehouden met 'overlengte', nodig voor krimp. Tengevolge van het lassen of vervormingen kunnen tijdens het samenstellen maatafwijkingen voorkomen.

Profielen worden in de voorbewerking op de juiste lengte gebracht, van eindvormen (ten behoeve van het lassen) voorzien en in de juiste vorm gebogen, bijvoorbeeld de spanten.

### **Invoer en uitvoer van een productieproces**

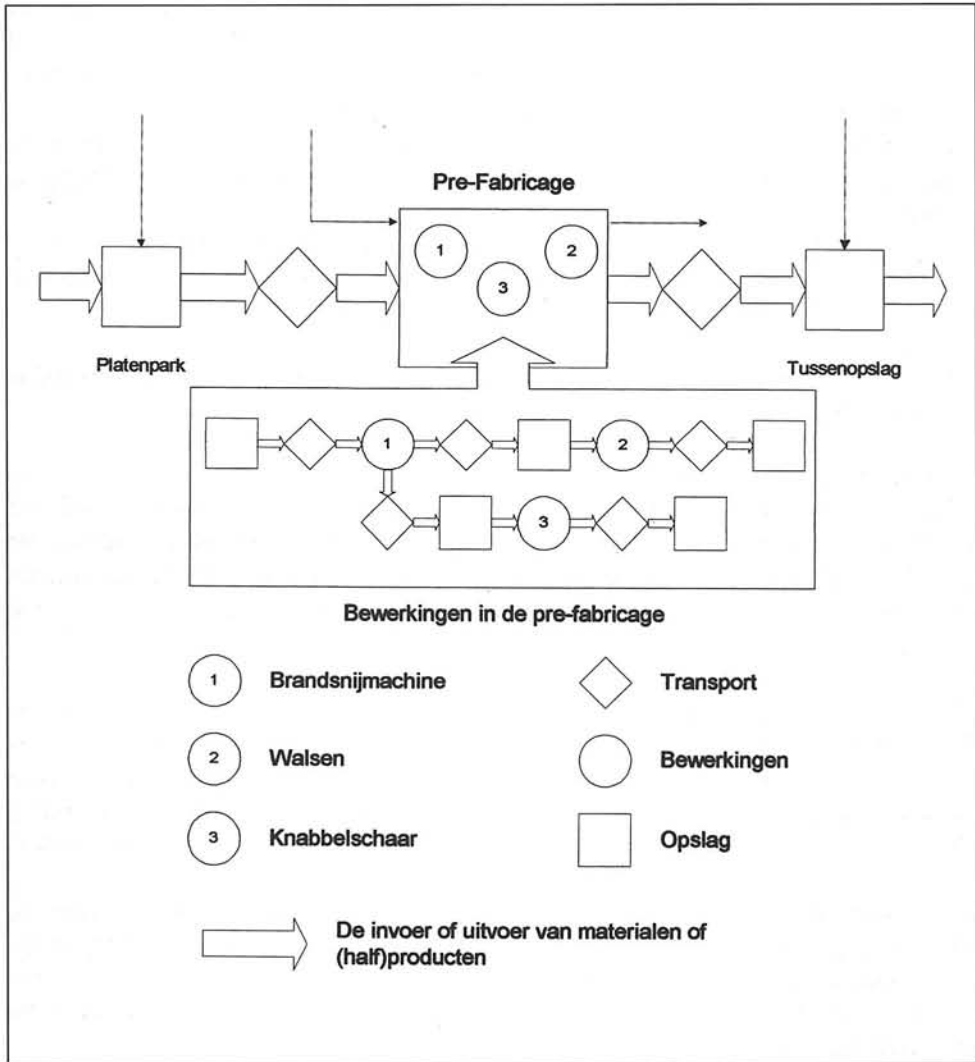
De primaire invoer (input) van het productieproces bestaat uit grondstoffen, voor de pre-fabricage plaat en profiel, hulpmaterialen en energie. Het productieproces levert een aantal producten op, die via verschillende bewerkingen tot stand komen. (primaire, uitvoer of output). Men spreekt ook wel over de primaire invoer, die via een transformatieproces leidt tot primaire uitvoer. Om het transformatieproces mogelijk te maken is ook de secundaire invoer nodig. Dit zijn bijvoorbeeld mensen, grond, machines, gereedschappen, gebouwen etc. Dit is schematisch weergegeven in fig. 2.5 en is gebaseerd op Lemmens en Smeets.

De fabricage van stalen onderdelen bestaat uit verschillende bewerkingen die naast elkaar (parallel) of achtereenvolgens (in serie) worden uitgevoerd. Het materiaal wordt ingevoerd vanuit de opslag en via de bewerkingen afgeleverd in een volgende bewerking of gaat weer in opslag. Er is derhalve altijd sprake van drie soorten activiteiten die elkaar voortdurend opvolgen, te weten opslag, transport en bewerking.



*Figuur 2.5 Invoer en uitvoer van een productieproces*

In fig. 2.6 is een vereenvoudigd model van de pre-fabricage weergegeven.



Figuur 2.6 Een model van het productieproces van de pre-fabricage

Een bewerking staat derhalve niet op zichzelf maar is onderdeel van een proces en iedere afzonderlijke bewerking brengt de bovengenoemde activiteiten met zich mee. Er is vrijwel altijd sprake van de volgorde opslag - transport - bewerking - transport - opslag.

### Het computergestuurd voorbereiden van onderdelen voor de romp

De kennis omtrent het computerondersteund ontwerpen en construeren, het voorbereiden van de productie en het fabriceren van vrijwel alle onderdelen van het casco van het schip is vergaand ontwikkeld. De productie kan vanaf lijnenplan tot en met de pre-fabricage van plaat, profiel en onderdelen met geavanceerde technieken worden uitgevoerd:

- Het buigen van spanten wordt volledig computergestuurd gerealiseerd worden. Deze ontwikkeling vormt een uitgangspunt voor een volledig geïndustrialiseerde voorbereiding van profielen voor de scheepsbouw.
- Het vervormen van huidplaten is gemechaniseerd en geschiedt met behulp van computer-gegenereerde informatie. In het buitenland worden ook andere technieken toegepast, zoals 'line heating' in Japan.

Na de fabricage van de onderdelen worden deze in twee of drie stappen samengevoegd in grote delen (secties) die voor de eindassemblage op de helling worden geplaatst.

#### 2.3.3 De Sub-assemblage (fase 3)

Tijdens de (sub)assemblage worden de geprefabriceerde onderdelen samengebouwd. Dit betreft het samenstellen en aflassen van plaatvelden, het aanbrengen van de profielen, het assembleren van fundaties etc. In een tweede stap worden deze onderdelen samengebouwd tot drie dimensionale secties die vervolgens worden ingericht en uitgerust met pijpsystemen, fundaties, equipment, modules etc. (pre-outfitting), (zie fig. 2.7).

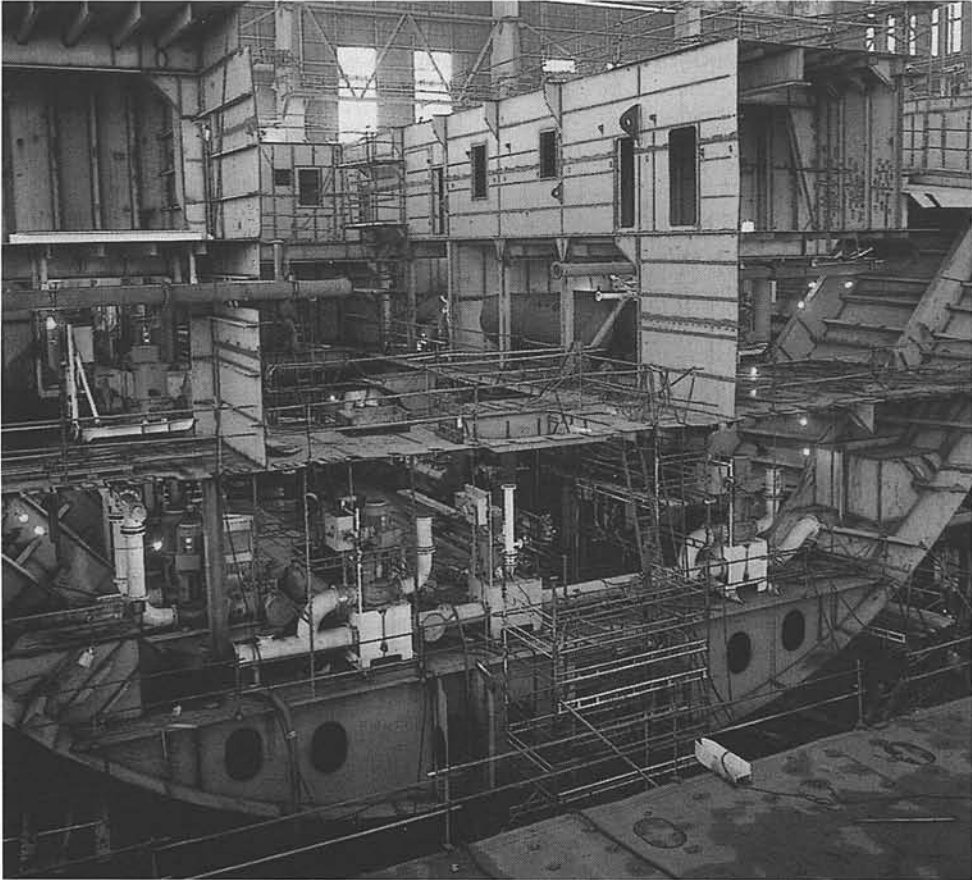
De stappen in de assemblage zijn afhankelijk van de plaats van de (sub)sectie of het onderdeel daarvan in het schip en de vorm, zijn afhankelijk van de installaties waarover een werf beschikt en het type en afmetingen van het schip. Zo beperkt de capaciteit van de kranen in een werkplaats het maximale gewicht van een assemblage en zullen vloeroppervlak de aantallen secties die tegelijkertijd kunnen worden bewerkt en deuren de afmetingen van de (sub)secties bepalen.

Het aantal uren dat nodig is om een (sub)sectie samen te stellen en af te lassen beïnvloedt de doorlooptijd van de assemblage. Wil de werf bovendien de sectie nog voorzien van pijpleidingen en installaties zal na het samenstellen en aflassen van de stalen constructie tijd moeten worden gereserveerd voor deze activiteiten, terwijl eveneens rekening moet worden gehouden met de capaciteit van de kranen.

Er zijn meerdere factoren die de assemblage beïnvloeden. De constructeur of tekenaar stemt hier de indeling van de constructietekening (afmetingen en aantal van de (sub)secties) op af en gaat na welke bouwwijze het beste past bij de beschikbare installaties op een werf, de gevraagde doorlooptijd en gewenste bouwmethode. Afmetingen en gewichten van platen en assemblages worden bepaald door de bouwstrategie van de werf. Bovendien zal tijdens het assembleren en aflassen rekening moeten worden gehouden met aspecten als vervorming en krimp. De gekozen samenstelling van de constructie, de volgorde van assembleren en het lassen heeft invloed op de 'vormvastheid' van een (sub)sectie, die bovendien tijdens het proces

ook nog moeten kunnen worden gemanipuleerd en verplaatst. Ook hier kan de constructeur door de constructieve oplossingen het proces beïnvloeden.

De bovengenoemde factoren maken de assemblage en de uitrusting complex en daarmee één van de cruciale activiteiten op een werf.

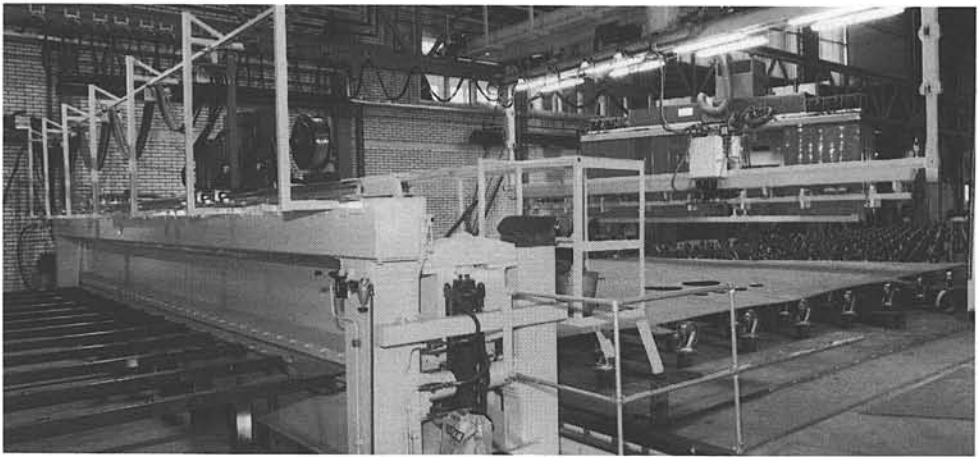


*Figuur 2.7 Sectie met pijpen, machines en bekabeling*

### **De fabricage van panelen**

De productie van panelen (verstijfde plaatvelden) in panelenstraten is vergaand gemechaniseerd. Door deze wijze van fabriceren zijn aanzienlijke besparingen in kosten en manuren

gerealiseerd. In sommige panelenstraten worden eveneens mangaten, pijpen, ladders, pijpsteunen e.d. gemonteerd, (zie fig. 2.8).



*Figuur 2.8 Panelenstraat (Bron: YVC, Capelle aan den IJssel)*

#### **De fabricage van secties en unitbouw**

De afmetingen en gewichten van de secties zijn zoals reeds is opgemerkt, afhankelijk van ruimte, kraancapaciteiten en toegankelijkheid. De secties zijn vergaand uitgerust, ingericht en afgewerkt, vóórdat assemblage plaatsvindt. De afbouw is efficiënter en korter, de bereikbaarheid tijdens uitrusting en inrichting beter. Er zijn minder aan- en afloopverliezen, minder uren voor het transport.

Het vergaand voor-uitrusten van secties (pre-outfitting) vraagt een grondige en tijdige voorbereiding van het werk.

Een krachtig hulpmiddel om dit te realiseren is een Document Management Systeem, dat vanaf het begin van het proces (het ontwerp en de tekenkamer) de informatie per sectie registreert en bijhoudt, bijvoorbeeld als voor één sectie meerdere tekeningen nodig zijn of ingekochte onderdelen moeten worden geïnstalleerd.

Een andere techniek is het werken met geprefabriceerde eenheden (modules) voor de machinekamer en pompkamer.

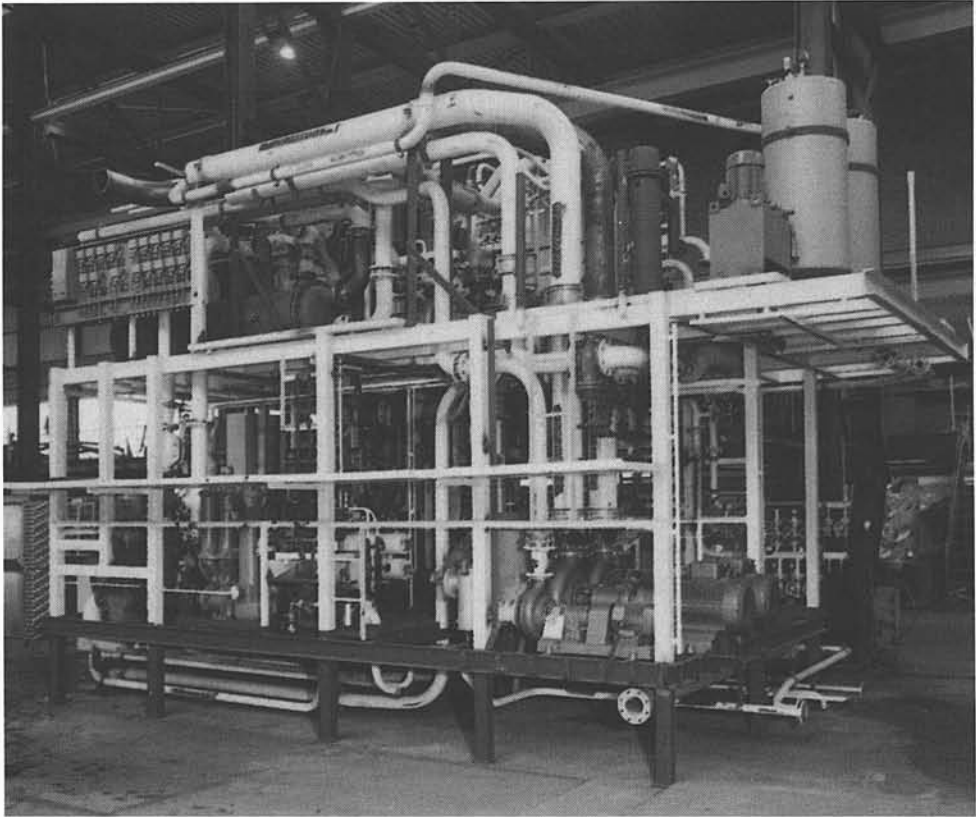
In Japan worden deze technieken vergaand, en met succes, toegepast op kleine en grote werven.

#### **Het voorbereiden en -monteren van pijpen en het bouwen van modules of units.**

De werkvoorbereiding op het buigen en (voor)bewerken van kant en klare sets van pijpleidingen voor inbouw in machinekamers en in units op basis van 3-D CAD geconstrueerde

machiniekamers en de engineering zijn geheel geïntegreerd.

Door de doorlooptijd van machinekamer inbouw en afbouw te verkorten kan ook de bouwtijd van het gehele schip worden gereduceerd. Een bedrijf dat gespecialiseerd is in de bouw van units voor machinekamers maakt eenheden (units of modules) waarmee een machinekamer geheel wordt ingericht, (zie fig. 2.9).



*Figuur 2.9 Koelwaterbehandelingsunit voor trawler (Bron: YVC, Capelle aan den IJssel)*

### 2.3.4 De eind-assemblage (fase 4)

De secties worden op een helling of in een bouwdok samengebouwd tot een geheel schip.

Afhankelijk van de filosofie van een scheepswerf worden verschillende methodes voor de eind-assemblage gehanteerd.

De extremen zijn:

- Het volledige (laten) maken van een stalen casco dat vrijwel 'leeg' aan een afbouwkade wordt gelegd en vervolgens wordt ingericht en uitgerust.
- Het samenbouwen van zoveel mogelijk ingerichte en uitgeruste secties, waardoor de afbouwperiode sterk wordt gereduceerd, maar equipment leveringen eerder moeten plaatsvinden, de zogenaamde 'pre-outfit'.



*Figuur 2.10* Schip in aanbouw op de helling (Bron: IHC Holland, Sliedrecht)



De afmetingen en gewichten van de secties in fase 3 en 4 zijn onder meer afhankelijk van de capaciteiten van de transportmiddelen en de kranen. Tijdens fase 4 kunnen ook nog modules en units worden gemonteerd zodat het schip voor de tewaterlating volledig is ingericht en uitgerust, (zie fig. 2.10). De assemblage van een schip op een helling of een bouwdok is een 'knooppunt' dat veel invloed heeft op de totale bouwtijd.

De duur van de eind-assemblage bepaalt de randvoorwaarden voor de voorliggende stappen van het productieproces. Als een werf over één helling of bouwdok beschikt wordt de kortst mogelijke levertijd van volgende schepen onder meer bepaald door de datum van de tewaterlating van het in aanbouw zijnde schip. De 'bezetting' van de helling bepaalt voor een deel de levertijd en daarmee de concurrentiepositie. Dit verklaart het streven van werven naar een grote kraan-of hefcapaciteit voor een bouwdok of helling. Het doel is de assemblagetijd te verkorten. De eindassemblage is een 'flessehals' waar alle schepen doorheen moeten.

De volgorde van de aanbouw van de secties beïnvloedt de doorlooptijd eveneens omdat bepaalde werkzaamheden pas kunnen worden uitgevoerd als het casco voor een belangrijk deel is samengebouwd en afgelast. Als deze werkzaamheden bovendien uitsluitend op een 'vaste' basis, die niet vervormt tijdens het toevoegen van gewichten (een onderheide helling of bouwdok) en alleen op het droge plaats kunnen vinden, is de werf gedwongen veel werk 'in serie' (na elkaar, met tussenliggende controles) uit te voeren.

Dit geldt bijvoorbeeld voor het kottieren van de schroefasleiding, het uitlijnen van de schroefas, niet de hoofdmotor en eventueel een tandwielkast, de maatvoering van celgeleidingen voor containerguides of het uitlijnen van de rails voor verrijdbare kranen, afdichtingen van boeg en zijdeuren etc.

Alle buitenboord openingen moeten gereed en getest zijn. Dokpluggen, die het aftappen van tanks in het dok bij onderhoud mogelijk maken, zijn geplaatst en getest op waterdichtheid, schroefassen moeten zijn aangebracht.

Afhankelijk van de werkzaamheden die nog voor de proefvaart moeten worden uitgevoerd (bepaald door de gevolgde bouwstrategie) zal de werf het buitenboord schilderwerk gereed willen hebben om een dokbeurt vóór de proeftocht te voorkomen.

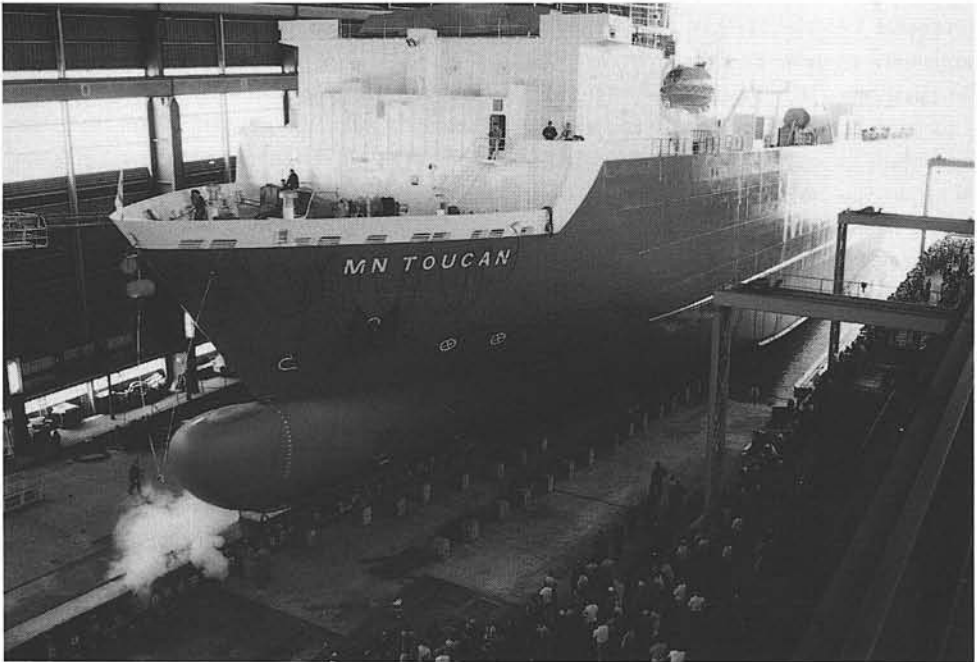
Het bouwproces op de helling wordt gekenmerkt door een combinatie van de werkzaamheden die tegelijkertijd worden uitgevoerd (parallel schakeling) en werkzaamheden die na elkaar uitgevoerd moeten worden (serie-schakeling). De eindassemblage bepaalt niet alleen in belangrijke mate de levertijden voor de productieprocessen die eraan voorafgaan, maar ook de kwaliteit van de schepen die worden samen-of ingebouwd.

### 2.3.5 De afbouw (fase 5)

De omvang van de afbouwfase is eveneens afhankelijk van de gevolgde bouwstrategie. Een ver doorgevoerd systeem van vooruitrusting (pre-outfitting) biedt de mogelijkheid (delen van) technische systemen voor een deel reeds tijdens eerdere fasen van de bouw te testen. In het

geval dat een werf een 'leeg' casco heeft gekocht, zal de afbouwperiode meer tijd in beslag nemen dan wanneer sprake is van vooruitrusting.

De doorlooptijd kan dan worden bekort door een goed voorbereide en gemodulariseerd inbouwprogramma. Voor de proeftocht van een schip zijn alle technische systemen getest en beproefd, (zie fig. 2.11).



*Figuur 2.11 Schip op helling tijdens tewaterlating (Bron: IHC Holland, Sliedrecht)*

De technische systemen, voor zover deze in fase 4 nog niet zijn afgebouwd, worden gecompliceerd en getest. Tijdens deze periode worden installaties en equipment in bedrijf gesteld en, voor zover mogelijk, beproefd op het juiste functioneren. Het schip wordt geheel ingericht en vaarklaar gemaakt.

### **2.3.6 Proefvaart (fase 6)**

Het schip voert een beproevingsprogramma uit, waarbij de contractueel overeengekomen prestaties (bijvoorbeeld snelheid, vermogen, brandstofverbruik) worden gecontroleerd.

Na de proeftocht vindt de overdracht aan de opdrachtgever plaats.

Van de hierboven beschreven fasen van het productieproces overlappen de deelprocessen elkaar tijdens de bouw. Dat wil zeggen dat de pre-fabricage begint voordat alle werktekeningen van het stalen casco gereed zijn.

De elkaar overlappende deelprocessen verschillen van karakter en worden bovendien niet altijd door de werf zelf uitgevoerd. Om de levertijd te verkorten wordt een deel van het werk uitbesteed bij derden, zodat delen van het productieproces parallel kunnen worden uitgevoerd. Een aantal werven in het noorden van Nederland besteedt het ontwerp uit, doet zelf maar een beperkt deel van de engineering, bestelt de pre-fabricage bij gespecialiseerde bedrijven (bijvoorbeeld Centraal Staal of IHC Nu-Be staal) evenals een deel van de voor-assemblage, de sectiebouw en de in- en afbouw van het schip.

De eigen capaciteit in manuren, zowel voor de staalbouw als de in- en uitrusting van het schip, is te beperkt om de gevraagde levertijd te realiseren. In sommige gevallen wordt de gehele cascobouw uitbesteed en verzorgt de werf uitsluitend een deel van de in- en afbouw. De kracht en kennis van het bedrijf ligt dan in het projectmanagement. De inkoop, een betrouwbare planning, gecombineerd met een goede organisatie en afstemming van de verschillende activiteiten bepalen dan het karakter van het bedrijf.

Anderzijds zijn er echter ook werven die zoveel mogelijk werk in eigen beheer uitvoeren. Eigen capaciteiten van manuren en machines bepalen dan de doorlooptijd van de productie. De bezetting per afdeling kan fluctueren, evenals de bezettingsgraad van de machines. Om leegloop te voorkomen kan het personeel in verschillende afdelingen worden ingezet: het bedrijf zal 'flexibel' op de vraag van de markt moeten uitbesteden. De toegevoegde waarde van het bedrijf neemt toe, maar het risico van leegloop neemt toe als de vraag in de markt niet voldoende continuïteit biedt.

### 2.3.7 Toeleveren en uitbesteden

De werkzaamheden van een volgende fase worden beïnvloed door de voorgaande fasen. Het is gebruikelijk dat werkzaamheden door de werf worden uitbesteed omdat de werf zelf over onvoldoende capaciteit (mankracht of bewerkingsmachines) beschikt om het werk binnen de daarvoor beschikbare tijd uit te voeren. (zie de voorgaande beschrijving van enkelproductie). De uitbestedingen vinden tijdens alle fasen plaats.

De werf houdt de coördinatie van het werk in handen en heeft de verantwoordelijkheid tegenover de opdrachtgever (het project management). De werkzaamheden tijdens de verschillende fasen zijn onderling verweven.

#### **De rol van de leverancier.**

De uitbesteding geschiedt op basis van een specificatie bestaande uit een deel van het bouwbestek waarin levering is omschreven.

Onderaannemers zijn de bedrijven die met gespecialiseerde leveringen bijdragen aan de activiteiten die de werf zelf niet doet. Tegenwoordig betreft dat tot 70% van de totale kostprijs van

het schip en soms meer.

De samenwerking is projectmatig en in een specificatie van het werk vastgelegd en overeengekomen. De prestaties van een scheepswerf zijn derhalve sterk afhankelijk van de samenwerking met de toeleveranciers.

De samenwerking op project-basis is, met het toenemen van de complexiteit van schepen bij steeds kortere bouw tijden, aan het veranderen. De inrichting van het schip is vrijwel niet te verbeteren, indien een gezamenlijke (integrale) ontwerp, constructie en voorbereiding van het werk ontbreekt, ondanks de aanwezigheid van een technicus van de toeleverancier op de tekenkamer. Hetzelfde geldt voor het bouwproces; met name de pre-outfit is afhankelijk van vroegtijdige en intensieve samenwerking tussen de partners.

Er is dan een gemeenschappelijk belang om te komen tot een intensievere samenwerking en een verandering van de verhoudingen tussen partijen ook wel het werken in een 'co-makership' verhouding genoemd.

De verhouding tussen de werf en de leveranciers en installatiebedrijven verandert daarmee. De leveranciers worden vroegtijdig bij het ontwerp van het product betrokken, maar met stringente eisen voor prijs, levertijd, kwaliteit, installatie procedures en -informatie en nazorg. Daarbij wordt de concurrentie niet uitgeschakeld. De winst van het betrokken zijn komt tot uiting in een beter product, een lagere prijs, kortere levertijd en betere condities.

Ook de werf moet de voordelen voor het eigen productieproces zichtbaar kunnen maken: minder tekenkamer uren, lagere productiekosten, kortere doorlooptijden. De leverancier moet investeren in de relatie om deze te kunnen behouden en wordt regelmatig getoetst op de geleverde prestaties.

### **2.3.8 De logistiek en de integratie van het productieproces.**

Door de integratie van de technische voorbereiding kan de werkvoorbereiding en de logistiek voor de bouw van het schip optimaliseren.

Daarmee wordt het mogelijk afbouwkosten en doorlooptijd door pre-outfit te verlagen,

De effecten van grotere sectiebouw verhogen de efficiency van het proces, er is meer te behalen dan alleen het voordeel van snellere assemblage door minder koppeladen.

Door unitbouw toe te passen en uit te buiten is bijvoorbeeld de installatietijd van machinekammers aanzienlijk te bekorten.

De eerste randvoorwaarde is het betrouwbaar en gedetailleerd integreren van het schip en de systemen op de tekenkamer. Deze randvoorwaarde is realiseerbaar met integreerbare 3-D software -casco, pijpen en installaties- in combinatie met de software voor betrouwbare document management systemen en standaardisatie.

Een tweede randvoorwaarde ligt in de organisatie van de bouw.

De grootste voordelen komen uit betere voorbereiding, afstemming en integratie van de

ontwerp-, teken- en bouwprocessen. Een beter beheer en onderlinge afstemming begint bij het vormgeven en nakomen van de afspraken.

Een ondersteunend Document Management System kwantificeert de te behalen voordelen van de integrale aanpak en biedt de mogelijkheid om de productietechnieken te verbeteren.

De organisatorische en logistieke randvoorwaarden maken de toepassing van op industrialisatie gebaseerde productietechnieken zinvol. Verbeteringen dienen echter meetbaar te zijn.

Betrouwbare metingen zullen echter onder 'realistische' omstandigheden moeten worden uitgevoerd. Een 'laboratorium opstelling' of een model levert onvoldoende betrouwbare resultaten op om:

- De technische risico's in de werkomgeving te kunnen beoordelen.
- De integratie tussen partijen betrokken bij nieuwe technologieën binnen scenario's met een beperkt risico, duidelijk geformuleerd en meetbaar, vorm te geven.
- Nieuwe technieken als robotisering te evalueren.

### **Verkorting van de doorlooptijd**

De vooruitgang in het productieproces in de scheepsbouw begon met bedrijven die kans zagen om series van relatief eenvoudige schepen het productieproces te industrialiseren (tankers en bulkcarriers). Er zijn nu ontwikkelingen gaande die de rationalisering binnen het bereik van de enkelproductie van de complexere schepen brengen.

De bouw van relatief eenvoudige schepen is in Nederland in mindere mate aan de orde. Kenmerken van de huidige (en waarschijnlijk toekomstige marktsituatie) voor de Nederlandse scheepswerven zijn (zie ook Van Holst & Koppies):

- De bouw van unieke op de klant toegesneden schepen.
- Hoge eisen ten aanzien van kwaliteit.
- Korte levertijden.

Deze drie factoren gaan gepaard met een hevige prijsconcurrentie.

Waarschijnlijke gevolgen hiervan zijn:

- a. Het aandeel toelieferingen/uitbestedingen neemt toe.
- b. Er ontstaat een druk op de fasen ontwerp, engineering, werkvoorbereiding en inkoop, die omvangrijker, meer gedetailleerd en daardoor complexer worden.
- c. Als gevolg van (a) en (b) neemt de werkdruk op tekenkamer en inkoop toe. Een deel van de werkzaamheden verschuift naar de toelieferende bedrijven.
- d. Het laatstgenoemde verschijnsel heeft effect op de productie- en assemblageactiviteiten en kan leiden tot een situatie waarbij discipline 'scheepsbouw' (staal) voor de constructie-details in een vroegtijdig stadium over de informatie van werktuigbouw moet beschikken. De disciplines hebben zelf deze gegevens, tekeningen, maatschetsen, etc. voor de eigen engineering en productie nog niet nodig.
- e. Mogelijke gevolgen van (d) kunnen zijn:
  - Een steeds grotere discrepantie tussen de tijdstippen waarop de vraag naar informatie voor scheepsbouw en werktuigbouw voor alle productiefasen beschikbaar moet zijn.

De eisen die pre-outfitting stelt, dienen beter te worden gedetailleerd.

- Het risico bestaat dat werktuigbouw gebonden/gerichte werkzaamheden 'onrijp' in de uitvoering komen waardoor nakomende wijzigingen veel herstelwerk, verstoring van de planning en verspillingen veroorzaken.

Uit het bovenstaande zijn de volgende kenmerken voor het productieproces in de scheepsbouw af te leiden:

1. De engineering- en inkoopfase is een omvangrijk en complex voortraject, dat binnen een steeds korter wordende levertijd moet worden gerealiseerd.
2. Het productieproces wordt meer en meer bepaald door de 'overige' disciplines (niet staal) waardoor, terwille van kostenbesparingen en beheersbaarheid, het belang van pre-outfitting blijft toenemen.
3. Als gevolg van (1) en (2) neemt de druk op de engineering ten opzichte van de fabricage toe.
4. Als gevolg van (3), wijzigen van het verloop van de bezettingskromme in de tijd en het productie profiel als volgt:
  - een langere engineeringfase,
  - een kortere doorlooptijd met piekbezetting, en (onderdelenfabricage t/m aanbouw),
  - inbedrijfstelling, beproeving en oplevering domineren de afbouw.

De langere engineering-fase heeft een verkorting van de doorlooptijd tot gevolg bij een gelijkblijvende output.

De geleidelijke veranderingen die plaatsvinden in het productieproces hebben invloed op de continuïteit en de concurrentie-positie van de Nederlandse scheepsbouw.

De vraag naar kortere levertijden en de noodzaak om lagere kostenniveaus is uitsluitend te bereiken door productiviteitsverhogingen van alle betrokken partijen.

Mogelijkheden om tot versnelling van het proces te komen, zijn onder meer:

1. Het verkorten van de doorlooptijd van ontwerp en engineering, bijvoorbeeld door een intensief gebruik van CAD- en tekensystemen.
2. Incidentele of tijdelijke capaciteitsverhoging om doorlooptijden te verkorten door:
  - werkzaamheden parallel te schakelen,
  - uitbesteding aan secties bij andere bedrijven, inclusief de uitvoering van aan- en afbouw werkzaamheden,
  - de bouw van secties bij gespecialiseerde bedrijven, de aan- en afbouw gebeurt op een afzonderlijke locatie,
  - inlenen van personeel en het uitvoeren van het werk op het eigen bedrijf.

Werkzaamheden die in serie moeten worden uitgevoerd kunnen worden versneld door de inzet per activiteit te verhogen (meer mensen), of door het aantal bedrijfsuren per dag en bedrijfs-

dagen per week te verhogen.

Het gevolg is dat de constructiebureaus meer werk tegelijkertijd of in een kortere tijd moeten opleveren.

3. Verkorting van doorlooptijden vraagt een capaciteitsverhoging in de tekenkamers en veroorzaakt eveneens piekverschijnselen in de bezetting. Het streven is naar een verhoging van de productiviteit door dezelfde hoeveelheid werk in minder (doorloop)tijd te verrichten, zonder tijdelijke capaciteitsverhogingen en eveneens een verlaging van de kostprijs bewerkstelligen.

Daarbij valt te denken aan:

- Een betere werkorganisatie zodat bedrijfstoelagen worden gereduceerd; dat wil zeggen het terugdringen van wachttijden, insteltijden, afstemmingsverliezen e.d. die vaak 30 - 50 % van de normtijden bij de bewerkingen uitmaken.
- Het introduceren van een benadering van het productieproces, door:
  - ▶ De opbouw van de scheepsconstructie uit gelijksoortige constructies (modulen), of gelijksoortige structuur.
  - ▶ Verhoging van de productiviteit als gevolg van leereffecten door fabricage van kleine series.
  - ▶ Mechanisering, automatisering en robotisering bij de onderdelen fabricage en las- en assemblage activiteiten.

Het gebruik van lasrobots is anno 1998 in Nederland in een begin-stadium (lassen). Het mechaniseren en automatiseren van lasprocessen komt voor bij het tegelijkertijd leggen van 4 verticale hoeklassen voor staande kruisverbanden in bijvoorbeeld een dubbele bodem en het verticaal lassen van stuiknaden.

De robot is veelbelovend, maar de aansluiting op de digitale informatie uit de met behulp van de computer gemaakte tekeningen laat nog veel te wensen over. De kleine en middelgrote scheepsbouw stelt hoge eisen aan de robotisering, gezien de complexe constructies.

Op sommige werven (in Europa) wordt de robot in de 3-D tekening opgeroepen om op 'ware grootte' de inzet van de robot te 'simuleren' en te controleren, de constructie waar nodig aan te passen en vervolgens de las-robot off-line te programmeren. Meerdere robots worden door één operator bediend, de lassnelheid per robot is ongeveer 5 maal zo hoog als de semi-automaat.

Een andere ontwikkeling die in Europa en Japan kan worden gesignaleerd is het introduceren van automaten of robots in het 'klein ijzerwerk'. Werven halen de productie van trappen, ladders, bordessen, kleine fundaties, railingwerk etc. terug naar het eigen bedrijf om ervaring op te doen met robots en automaten, een cultuur van high-tech te kweken en de mogelijkheden voor andere toepassingen in grotere assemblages te onderzoeken.



De hierboven genoemde mogelijkheden richten zich op een meer industriële productiewijze. Ontwerp, engineering, inkoop, productie en leveranciers zullen met behulp van de informatie en communicatie technologieën meer en meer tot 'concurrent design en engineering' moeten komen. De noodzaak tot logistieke afstemming van de productieprocessen, op verschillende locaties, zal toenemen. Daar neemt de 'omgeving' van de werf een steeds belangrijker plaats in. In de maritieme industriële infrastructuur verandert daarmee de positie van de scheepswerf. De werf zal echter kritisch de kosten en baten van vernieuwingen moeten afwegen.

### 2.3.9 Samenvatting

De scheepsbouw wordt gekenmerkt door:

- De organisatie van de enkelproductie.
- Een deel van het productieproces dat vergaand geïndustrialiseerd is, de voorbereiding van voor-assemblage (panelen en profielbewerking).
- Het productieproces in de assemblage, de inrichting en uitrusting van het schip.

Scheepsbouw is een assemblageproces met een toenemende complexiteit bij de voortgang van het proces. Het korter maken van doorlooptijden en het verlagen van de kosten van de productie, vraagt een doelmatige aanpak om de werkzaamheden efficiënt te laten verlopen. Verbeteringen liggen vooral op organisatorisch gebied, ondersteund door mechanisering, robotisering en informatisering. Deze rationalisering komt tot nu toe voornamelijk tot uiting in het gedeeltelijk mechaniseren van las- en assemblage activiteiten bij vlakke panelenstraten en lichtgekromde panelen.

Deze ontwikkelingen leiden niet tot een fundamentele wijziging van het assemblage-achtige karakter van de scheepsbouw. In bedrijfstakken als de automobielenindustrie, vliegtuigbouw en drukvaten/ketelbouw, zijn assemblage processen ingrijpend veranderd, voornamelijk door de seriegrootte en de standaardisering van het product of onderdelen daarvan. Dit maakt het gebruik van geautomatiseerde en gerobotiseerde productiemiddelen mogelijk. De bouw van prototypes maakt bovendien een vergaande analyse mogelijk voordat met de daadwerkelijke productie wordt begonnen.

De uitbestedingen en de constructie en bouw van het casco beslaan een groot deel van de kosten van de werf.

De besparingen in kosten en verkorting van de bouwtijd moeten komen uit de casco bouw en de rationalisatie van het afbouwproces. Door integraal ontwerpen, tekenen, werkvoorbereiding en logistiek (dynamisch document beheer, het ontwikkelen van gelijksoortige constructies, het gebruik van kennis systemen etc.) moet de afbouw in het ontwerp-, teken -en bouwproces van het schip tegelijkertijd met het casco tekenwerk plaatsvinden.

Dit leidt tot een vroegtijdige inrichting en uitrusting van secties (pre-outfit) en eist tijdens alle stadia van de bouw een goed gedefinieerde en relatie tussen werven en toeleveranciers.



De technische mogelijkheden voor een versnelling van het bouwproces liggen op het gebied van de informatica en Electronic Data Processing door het computergestuurd ontwikkelen en voorbereiden van de onderdelen van de romp.

Te integreren met de engineering voor de inrichting en uitrusting om de vergaande 'pre-outfitting' van grote secties, het modulair inbouwen van machinekamers en het in ontwerp optimaliseren van systemen mogelijk te maken.

Om dit te kunnen realiseren is het nodig om:

- Het ontwerp- en bouwproces van het schip en haar systemen organisatorisch bij de werf en haar leveranciers te integreren,
- In een 3-D omgeving geïntegreerd te ontwerpen en productie-tekeningen te maken. De systemen van de leveranciers moeten aansluiten op het systeem van de werf en passen in het 'Management System' van de werf.

Daarmee komt het gereedschap tot beschikking om de verhoudingen tussen de werf en de leveranciers aan te scherpen en te verbeteren.

Het zijn organisatorische maatregelen, met behulp van geïntegreerde CAD-CAM systemen, die de relatie tussen werf en leverancier veranderen.

### 2.4 Aanbevolen literatuur

- 1 'Scheepsbouw en Technologie in Nederland', S.Hengst R.W.F.Kortenhorst, D.U.P., Delft.
- 2 'Ship Production', Richard Lee Storch, Colin P. Hammon, Howard Bunch, Cornell Maritime Press, ISBN 0-87033-357-7, 1988.
- 3 'Scheepbouwkundige bewerkingen', Dr.ir.K.J.Saurwalt, Delft 1989.
- 4 'Tekenen met bits en bytes', S. Hengst D.U.P. ISBN 90-407-1469-X, 1997
- 5 'Assemblage volgorde scheepswerf "Merwede", C. Dirkse, S. Hengst, R.J.J.F. Takken, Rapport aan "Merwede", e.a., Delft 1997, Rapportnr. MT 97020.
- 6 'Sectie-ontleding scheepswerf, 'Merwede', C.Dirkse, S.Hengst, R.J.J.F.Takken, Rapport aan "Merwede", e.a., Delft 1997, Rapportnr. MT 97021
- 7 'Maatvoering scheepsnieuwbouw', Rapport aan de 'Koninklijke Schelde Groep', 1997 Rapportnr. MT 97.0203/04/05.
- 8 'Productontwikkeling en robotisering in de pre-fabricage', R.G. Smits, Rapport aan IHC NuBe + Staal', Rapportnr. 95.3.04, Delft 1997.
- 9 'Handbuch des Werftbetriebs, Anlage von Werften', L.Tetzlaff, E.Stoebe, Friedrig Vieweg und Sohn, ISBN 3-528-08303-4, 1972

### 3

## De Maritieme Infrastructuur

Dit hoofdstuk behandelt de omgeving van de scheepswerf. De geografische positie van Nederland, op een kruispunt van internationale handelsroutes over zee en binnenwateren, aan de monding van Rijn en Maas, bevorderde de groei van de maritieme activiteiten.

Een kort overzicht van de scheepvaart en scheepsbouw sinds de vijfde eeuw laat zien dat scheepvaart en scheepsbouw al ca. 1500 jaar in deze regio gevestigd zijn.

Het tweede deel behandelt de maritieme sectoren en de economische betekenis daarvan voor Nederland.

Te onderscheiden zijn:

- de infrastructuur ten behoeve van handel, scheepvaart en industrie (bijvoorbeeld de havens en waterwegen)
- markten van de scheepsbouw, zoals zeevaart, marine, binnenvaart, offshore, visserij e.d., de bouwers van de 'natte' infrastructuur - baggerbedrijven -
- de industriële infrastructuur van toeleverende bedrijven aan scheepsbouw, offshore, baggerbedrijven, binnenvaart etc.
- de dienstverlenende sectoren - veem - en pakhuizen, expeditie, classificatiemaatschappijen, banken, verzekeringen, expertisebureaus - de recreatievaart, zowel jachten als cruisevaart op de binnenwateren en
- 'last but not least' de overheid die met een goed voorwaarden scheppend beleid de 'natte' infrastructuur kan helpen ontwikkelen, regelgeving tot stand brengt op gebieden als veiligheid, milieu, arbeidsomstandigheden en toeziet op de correcte uitvoering van wetten, voorschriften en richtlijnen.

Daartoe behoort ook het in stand houden van de gespecialiseerde maritieme opleidingen.

De bovengenoemde maritieme sectoren hebben een samenhang. De economische drijfveren kunnen weliswaar verschillen maar de keten haven-baggerbedrijven - havengebonden industrie - transport - scheepvaart - scheepsbouw - industriële infrastructuur - dienstverlening is onmiskenbaar zichtbaar in de Nederlandse samenleving.

Bovendien heeft Nederland door de opgebouwde kennis en expertise internationaal een sterke positie op kunnen bouwen op een aantal onderdelen in de keten.

In het derde deel worden de bedrijfstakken in de maritieme sector kort beschreven, waarmee

een beeld van de 'omgeving' van de scheepswerf is geschetst tegen de achtergrond van de historische ontwikkelingen van het eerste deel van dit hoofdstuk.

Het hoofdstuk sluit af met de te verwachten ontwikkelingen in de scheepvaart.

Tenslotte wordt een beeld van de te verwachten maritieme ontwikkelingen geschetst.

#### 3.1 De oorsprong

De 'lage landen' in Noordwest Europa hebben een rijke maritieme geschiedenis die grofweg in vijf perioden kan worden ingedeeld.

Twee 'regionale' periodes:

- De ontwikkeling van de scheepvaart door Vikingen, Friezen en Vlamingen vanaf de vijfde tot de twaalfde eeuw.
- De concentratie en verstedelijking door de vorming van de Hanze van het midden van de twaalfde eeuw tot ca 1600.

Drie 'intercontinentale' periodes:

- De periode van de vaart op de Oostzee en de V.O.C. tot ca 1800, gekenmerkt door een onstuimige groei van de handel en het verdwijnen van lange transport-routes over land.
- De passagiers- en vrachtvaart naar Indië en landverhuizingen naar Noord Amerika.
- De periode na de tweede wereldoorlog, gekenmerkt door veranderingen in de machtsverhoudingen (het einde van het koloniale tijdperk), die gepaard gaat met de economische ontwikkeling en groei van geïndustrialiseerde landen en een daarmee samenhangende groei van de wereldhandel en economie.

In de eerste regionale periode waren de Vikingen, de Friezen en de Vlamingen actief in Noord-West Europa en de Oostzee. Tiel was in die periode een belangrijke stapelplaats. De handel was internationaal en de goederen kwamen, vaak voor een deel over land, uit geheel Europa en zelfs het midden-oosten.

Omstreeks 900 begon de Hanze, een handelsverband in noordwest Europa, de handel te beheersen. Steden als Bremen, Hamburg en Brugge groeiden dankzij de handel.

Het hoogtepunt van de Hanze heeft in de tweede helft van de 14<sup>e</sup> eeuw gelegen.

In de Nederlanden was de kogge één van de eerste handelsschepen. De kogge was een ontwerp van ca. 30 x 7 meter, stak 3 meter diep, had een draagvermogen van ca 200 ton (100 last) en voerde één zeil.

Het eerste Hanzeatische schip was vermoedelijk de hulk die ca. 300 ton draagvermogen had. De hulk is o.m. verdrongen door de 400 ton metende, snellere (drie mast) karveel, van Italiaanse oorsprong, en de (Nederlandse) fluit.

Een nieuwe economische ontwikkeling ging vaak gepaard met de komst van een nieuw type schip, meestal groter en sneller.

Handel en scheepvaart stimuleerden de scheepsbouw en industriële activiteiten. De schepen openden markten en verscherpten de concurrentie. De Hanze steden Gdansk (Danzig) en Lübeck bouwden schepen voor Engelsen, Hollanders en Italianen. Dit leidde tot protesten van

de eigen reders die meer en meer buitenlandse schepen zagen verschijnen. Een verbod op de export stimuleerde vervolgens de scheepsbouw in Engeland en de Nederlanden. De beschermende maatregelen die werden geïntroduceerd, verhinderden de opkomst van de nieuwe concurrentie niet.

Alhoewel de Hanze vooral een Duits verband was, bleven de steden aan de Noordzeekust van de Nederlanden belangrijke stapelplaatsen. Brugge was in het midden van de 13<sup>e</sup> eeuw de wereldmarkt van het westen. Brugge heeft deze positie onder meer door het dichtslibben van Het Zwin verloren.

Om de belangen van de Hanze te beschermen, werd ook de blokkade gebruikt en de handel stopgezet. Overigens nooit met blijvend succes.

Na de 14<sup>e</sup> eeuw concentreerde de Hanze zich vooral op het behoud van de verworven voordelen en begon onder meer met het opstellen van een gedetailleerde reglementen. De concurrentie richtte zich op het bestrijden van de positie die de Hanze had bereikt. De Hanze zag geen kans met protectionistische maatregelen het handelsmonopolie te handhaven. De vrije handel, gestimuleerd door Hollanders en Zeeuwen ondergroef de positie van de Hanze.

De invoering van contributies en heffingen aan de deelnemende steden voor het instandhouden van een 'organisatorische overhead', de toenemende concurrentie uit de Nederlanden, de opening van nieuwe markten in het verre-oosten en politieke instabiliteit versnelden de neergang van de Hanze.

Dollinger noemt de Hollanders, met lagere vrachtprijzen en snellere schepen, 'een nachtmerrie voor de Hanzeaten'.

Soortgelijke ontwikkelingen vonden later plaats bij de V.O.C. en de W.I.C.

Tijdens de bloeiperiode van de V.O.C. in de 16e en 17e eeuw werd de basis voor de internationale en intercontinentale handel voor Nederland gelegd, die ertoe leidde dat Nederland bijvoorbeeld gedurende meer dan twee eeuwen een exclusieve handelsrelatie met Japan had.

Het monopoliseren van de handel heeft, na aanvankelijk succes, ook bij de V.O.C., de vernieuwing geremd omdat reders en de scheepsbouwers niet tot vernieuwing werden gedwongen. Omdat de ontwikkeling van een nieuw type schip in nauwe samenwerking tussen bouwers en gebruikers plaatsvond, leidde het gebrek aan concurrentie scheepvaart en scheepsbouw uiteindelijk tot een achterstand.

De handel met de landen aan de Oostzee (Rusland, de Baltische landen, Polen, Finland, Scandinavië) vormde de basis waarop de Nederlandse scheepvaart en scheepsbouw zich konden ontwikkelen en heeft aanzichtelijk meer dan de intercontinentale handel, bijgedragen aan de welvaart van Nederland in de 16e en 17e eeuw.

Pogingen tot bescherming bleken op de langere termijn geen medicijn voor blijvend succes.

De negentiende en twintigste eeuw wordt gekenmerkt door verdergaande schaalvergroting, specialisatie en technologische vernieuwingen. De overgang van hout naar ijzer als constructie-

materiaal van de romp was een technologische vernieuwing die tot schaalvergroting leidde in de negentiende eeuw.

De zeilvaart voer met schepen van 4500 ton tot in de twintigste eeuw, meer dan een eeuw nadat de eerste raderboot in de Verenigde Staten zijn proeftocht maakte en de mechanische voortstuwing werd geïntroduceerd. Hout en staal worden ook meer dan een eeuw naast elkaar als bouw materiaal in de zeevaart gebruikt. De oude en nieuwe technologieën blijven lang naast elkaar bestaan.

De vraag naar transport van nieuwe producten (olie) leidde tot nieuwe scheepstypen. Scheepsontwerpen worden afgestemd op het te vervoeren produkt. Het draagvermogen van tankers wordt in een periode van ongeveer 10 jaar (1960-1970) met een factor 10 vergroot.

Na een aanvankelijk sterke groei van de scheepsbouw en scheepvaart nemen, in de tweede helft van de twintigste eeuw aan het eind van de zeventiger jaren, veel Europese werven afscheid van de 'grote' scheepsbouw en maken Japanse en Koreaanse werven zich meester van de markt van bulkcarriers, tankers en grote containerschepen. Bestaande banden tussen reders en werven worden losser of soms geheel verbroken. In Europa handhaaft slechts een enkele werf, meestal een combinatie met een reder, zich in deze markt. De scheepsbouw is een wereldmarkt geworden. De verschuiving van het zwaartepunt van de bouw grote schepen van West-Europa naar Japan voltrekt zich in ongeveer twintig jaar vanaf 1955. De grote, intercontinentaal opererende, reders zijn niet meer regio of land gebonden omdat de handel globaliseert en daarmee de handelsrelaties en het verwerven van lading.

In 1997 wordt Japan als wereldleider in de scheepsbouw door Zuid-Korea gepasseerd.

Duitsland heeft dan (met grote steun van de overheid) de derde positie en China als opkomend scheepsbouwland de vierde. De overige West-Europese landen volgen op afstand. Duitsland bekleedt dan dankzij de beschermende maatregelen van de overheid, sinds de samenvoeging van Oost- en West-Duitsland, een leidende positie in Europa. In 1998 bekleedt Nederland de achtste plaats op de wereldranglijst.

Met de veranderingen verplaatsten de vernieuwing en het zwaartepunt van scheepsbouw en scheepvaart zich naar nieuwe economische centra.

Van de Friezen en de Vlamingen naar de Hanze, van de Hanze naar Nederland, van Nederland naar Engeland, van Engeland naar de Verenigde Staten, van de V.S. terug naar Europa, van Europa naar het Verre Oosten. Scheepvaart en de scheepsbouw hebben zich echter, in Noord-West Europa, ondanks vele recessies, gehandhaafd en aan de nieuwe ontwikkelingen bijgedragen.

De kennis van ontwerp, bouw en exploitatie van schepen bleef in Nederland, in vele toepassingen, door de eeuwen heen aanwezig en werd met wisselend succes verbeterd en uitgebreid.

Het begrip maritiem wordt vaak geassocieerd met het transport over zee. Dit ligt voor de hand want de oceanen beslaan meer dan 70% van het aardoppervlak en mondiaal wordt meer dan 80% van de goederen (in volume en tonnen) over het water vervoerd.

Scheepvaart en scheepsbouw zijn cruciaal voor de wereldhandel en -economie.

In de tweede helft van de twintigste eeuw veroorzaken de opkomst van nieuwe industrielanden, de 'Newly Industrializing Countries' (NIC's) en de groei van de economie in de derde wereldlanden met relatief lage lonen de 'globalisering' van de 'globalisering' van de productie van goederen, waardoor de wereldhandel gestaag blijft stijgen.

Maritiem georiënteerde landen die het groeiende belang van scheepsbouw en scheepvaart zien, beschermen deze belangen in de transportsector.

Een markant voorbeeld is Japan, een land dat over weinig of geen grondstoffen als mineralen, fossiele brandstoffen en ertsen beschikt en als eilandrijk deze producten per schip moet importeren. Scheepvaart en scheepsbouw vertegenwoordigen in Japan een nationaal belang dat een integraal onderdeel vormt van de export en import van producten.

De Europese Unie (E.U.) vormt, met meer dan 300 miljoen inwoners, een grote markt voor transport en distributie. Een aanzienlijk deel van het transport gaat over water. De royaal beschikbare infrastructuur, het milieuvriendelijke karakter van het transport over water en de toenemende druk op de infrastructuur voor het transport over land, zijn factoren die de vraag naar scheepsruimte op de middellange en lange termijn positief zullen beïnvloeden.

### 3.2 De maritieme sector in Nederland

Nederland heeft in de wereld van het transport een internationale oriëntatie. De redenen zijn voor een deel te vinden in de historie van Nederland, zoals in 3.1 is beschreven.

De handelstraditie van Nederland heeft geleid tot internationaal opererende rederijen.

De maritieme oriëntatie is te herkennen in:

- De snelle groei van de Rotterdamse haven na de tweede wereldoorlog. Rotterdam bouwde een wereldhaven die een 'Gate to Europe' is geworden met een aanmerkelijk economisch belang voor Nederland. De haven stimuleerde de groei van de industrie.
- De ontwikkeling, sinds 1955 van de Noordzee voor de winning van olie en gas was een stimulans voor de maritieme activiteiten.

Door de ligging van Nederland aan een druk bevaren routes voor zeeschepen, de infrastructuur van kanalen en rivieren in en om Nederland, het 'hinterland' met bevaarbare rivieren, waardoor het transport over de binnenwateren een goede aansluiting op de zeevaart biedt en de aanleg van een infrastructuur van wegen en rail met aansluiting op het Europese netwerk bestaat de maritieme sector uit ondernemingen die vrijwel zonder uitzondering in een internationale markt opereren.

#### 3.2.1 De economische betekenis

Wat is de omvang en betekenis van de maritieme sector voor de Nederlandse economie ?

Een studie uitgevoerd in opdracht van de V.N.S.I. (Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie), door van Holst & Koppies [1] geeft inzicht in de maritieme sector in Nederland.

### 3 De Maritieme Infrastructuur

Tabel 1, ontleend aan het rapport, toont de bruto toegevoegde waarde (BTW) van de sector, verdeeld over drie clusters.

Cluster (1) vertegenwoordigt de activiteiten op zee, cluster (2) de directe ondersteuning op het land voor de zeegaande activiteiten, de derde cluster de typisch maritieme toeleveringsindustrie, de binnenvaart en de maritiem gebonden expeditie.

In 1992 bedroeg de BTW van de maritieme sector 16,7 miljard gulden, ofwel 3,1% van het Bruto Binnenlandse Product (BBP) tegen marktprijzen.

In dit overzicht zijn havenbedrijven en de havengebonden industrieën niet opgenomen.

<b>Raming btw van de maritieme sector</b>			
<i>(in miljoenen gulden)</i>	<i>1987</i>	<i>1991</i>	<i>1999</i>
Zeevisserij	636	698	875
Zeevaart	1.447	1.318	1.905
Aardolie- en gaswinning op zee	3.39	4.267	4.967
Baggerindustrie	282	354	525
<b>Totaal cluster 1</b>	<b>5.755</b>	<b>6.637</b>	<b>8.827</b>
Scheepsbouw en -reparatie	1.018	1.132	1.589
Zeehavens	2.019	2.182	3.153
Veem- en Pakhuizen	383	452	634
<b>Totaal cluster 2</b>	<b>3.420</b>	<b>3.766</b>	<b>5.376</b>
Binnenvaart	970	1.093	1.622
Binnenvaart verwante bedrijven	100	146	217
Expeditie	662	751	1.055
Maritieme toeleveringsindustrie			
- scheepsbouw	1.018	1.132	1.589
- offshore	1.300	3.155	3.673
<b>Totaal cluster 3</b>	<b>4.050</b>	<b>6.277</b>	<b>8.156</b>
<b>Totaal maritieme sector</b>	<b>13.23</b>	<b>16.68</b>	<b>21.804</b>

Tabel 3.1. Bron: Van Holst & Koppies, 1992

Op basis van de cijfers van het Centraal Plan Bureau (CPB) en het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) werd de groei voor de totale sector geschat op 5,2% voor de periode '95-'99.

De onderlinge verwevenheid van de sub-sectoren komt tot uiting in de zogenaamde productiemultiplier. Dit is een factor die de 'spinn-off' van bijvoorbeeld de scheepsbouw aangeeft voor toelieferingen en uitbestedingen. Deze is voor de scheepsbouw en scheepsreparatie het hoogst (2,26), varieert voor de meeste sectoren tussen 1.66 en 1,57 en is het laagst voor de zeevaart en offshore (1,38 resp. 1,25).

SECTOR	Productie multiplier	Indirecte economische effecten		
		binnenland	w.v. maritiem	buitenland
Visserij	1,66	0,43	0,09	0,23
Aardolie- en aardgaswinning	1,25	0,18	0,06	0,07
Scheepsbouw en reparatie	2,26	0,87	0,17	0,39
Zeevaart	1,38	0,33	0,15	0,05
Zeevaartverwante bedrijven	1,57	0,48	0,15	0,09
Binnevaart	1,63	0,48	0,17	0,15
Binnevaarverwante bedrijven	1,59	0,50	0,18	0,09
Expiditie e.d.	1,60	0,53	0,03	0,07
Veem- en pakhuizen	1,66	0,58	0,04	0,08

Tabel 3.2 *Productiemultipliers van de maritieme subsectoren, uitgesplitst naar de binnenlandse productie- en invoercomponent, 1990 (uit van Holst en Koppies)*

De Nederlandse maritieme sector is pluriform en veelzijdig.

Volgens studies uitgevoerd door het Nederlands Economisch Instituut (NEI) genereren de havens en havengebonden bedrijven een bijdrage van ca. 15% aan het BBP.

Het totaal aantal direct en indirect in Nederland gegenereerde arbeidsplaatsen wordt geraamd op ca. 380.000.

De maritieme bedrijfstakken hebben de laatste decennia, in tegenstelling tot de periode '45-'65, veel te kampen gehad met een beeldvorming die soms negatief was door kwalificaties als ambachtelijk, geen high-tech, 'sunset' industrieën, e.d..

De bijdrage aan de Nederlandse economie geeft een ander beeld. De maritieme sector blijkt nog steeds een motor voor de Nederlandse economie te zijn.

### 3.3 De bedrijfstakken in de maritieme sector.

De mogelijkheden van een haven hebben invloed op de keuze van de reder voor de inzet van



### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

een schip. De kosten, verbindingen met het achterland, de geografische positie, het niveau van faciliteiten en voorzieningen maken een haven meer of minder aantrekkelijk.

Havens dienen ook als stapelplaatsen voor goederen. Het zijn knooppunten waar goederen in ontvangst worden genomen, opgeslagen, gesorteerd en opnieuw gedistribueerd, b.v. het 'strippen en stufen' van containers.

De havens bieden ondernemingen echter meerdere mogelijkheden. Naast de ontvangst, het laden en lossen van schepen en het huisvesten van de ondernemingen die werkzaam zijn ten behoeve van de op- en overslag van goederen, vestigen zich ook industrieën in havens. Bedrijven zijn soms gebaat bij een vestiging in een haven om b.v. de kosten van het transport en de op- en overslag te reduceren. Havens zijn aantrekkelijke vestigingsplaatsen voor industrieën die massa-transport vragen zoals raffinaderijen, hoogovens en chemische industrieën. De locatie van een haven kan ook om logistieke redenen aantrekkelijk zijn. Transport, opslag, verwerking en distributie van goederen gaan hand in hand.

Om dezelfde redenen kunnen assemblage bedrijven zich in de naaste omgeving van een haven vestigen. Nederland is in dit opzicht als de 'omgeving' van de haven van Rotterdam te zien, evenals sommige industriegebieden in het westen van Duitsland.



*Figuur 3.1 Industrie in de haven*

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de goederen overslag in 1994 en 1995 in Rotterdam. Uit de tabel blijkt dat het natte massagoed het grootste deel van de overslag voor zijn rekening neemt. De haven van Rotterdam biedt alle noodzakelijke achterlandverbindingen, bestaande uit binnenvaart, wegvervoer, kustvaart, pijpleidingen en het spoor. De geanticipeerde aanleg van de Betuwelijn is een voorbeeld van de verbetering van deze verbindingen waarmee het multi-modale transport en daarmee de bereikbaarheid van het achterland in geheel Europa vanuit Rotterdam wordt verbeterd.

### 3 De Maritieme Infrastructuur

AAN-& AFVOER	1994	1995	Afwijking in %
Agribulk	16.822	15.800	-6.1
Ertsen en schroot	45.952	47.300	2.9
Kolen	17.622	17.700	0.4
Overig massagoed. droog	8.576	9.900	15.4
<b>TOTAAL MASSAGOED, DROOG</b>	<b>88.973</b>	<b>90.7</b>	<b>1.9</b>
Ruwe olie	96.953	95.700	-1.3
Aardolieproducten en petcokes	19.596	16.900	-13.8
Overig massagoed. nat	18.973	20.000	5.4
<b>TOTAAL MASSAGOED, NAT</b>	<b>135.521</b>	<b>132.600</b>	<b>-2.2</b>
Roll on/Roll off	8.092	8.200	1.3
Containers en flats	50.050	52.500	4.9
Overig stukgoed en lash	11.237	10.600	-5.7
<b>TOTAAL STUKGOED</b>	<b>69.379</b>	<b>71.300</b>	<b>2.8</b>
<b>TOTAAL AAN-&amp; AFVOER</b>	<b>293.873</b>	<b>294.600</b>	<b>0.2</b>
Bron: GHR/Haveninformatiebank;			
Eenheid: Brutowicht x 1000 ton.			

Tabel 3.2 Goederenoverslag in Rotterdam Zeevaart, Periode januari t/m december 1994 en 1995

Uit het bovenstaande blijkt dat het begrip 'knooppunt goederenstromen' een kenmerk is van een haven als Rotterdam. Gespecialiseerde bedrijven behandelen olie, ertsen en kolen, fruit, droog massagoed, roll-on/roll-off en containers. Deze bedrijven zijn gevestigd in bepaalde havengebieden en geven Rotterdam het karakter van een verzameling gespecialiseerde havens.

Rotterdam is de toegangspoort tot een markt van 350 miljoen consumenten. De 40 km lange haven heeft meerdere functies: overslag en transport, verwerking (industrie) en distributie. De haven biedt, direct en indirect, werkgelegenheid aan 300.000 mensen. De Rotterdamse bijdrage aan het Bruto Binnenlands Produkt van Nederland is 50 miljard gulden, zo'n 12 % van het totale BBP.

Circa 32.000 schepen vervoeren jaarlijks goederen van en naar Rotterdam.



*Figuur 3.2 De Eemhaven, Delfzijl*

Zoals uit tabel 3.2 blijkt, maken ruwe olie, olieproducten en vloeibare chemicaliën bijna de helft uit van de totale Rotterdamse overslag. Ontvangers en verschepers zijn de raffinaderijen en de chemische industrie in het havengebied. De relatief goedkope aanvoer van ruwe olie in super-tankers of Very Large Crude Carriers (VLCC's) maakt de vestiging van petrochemische industrieën in Rotterdam aantrekkelijk. De meeste ruwe olie wordt op de Maasvlakte gelost en wordt - al of niet na opslag - via pijpleidingen doorgevoerd naar de olieraffinaderijen, in het

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

Rotterdamse havengebied en in België en Frankrijk. Ook de afvoer van chemische halfproducten naar het achterland geschiedt voor een groot deel door pijpleidingen.

In totaal wordt er van alle vloeibare bulk één derde deel door de pijpleidingen afgevoerd.

Voor de overslag van olieproducten en chemicaliën beschikt Rotterdam over een aantal gespecialiseerde tankterminals. Hier laden en lossen niet alleen schepen en vrachtauto's maar houden de terminals chemicaliën in voorraad, ook voor de eigenaar.

De totale capaciteit aan opslag bedraagt meer dan 2 miljoen kubieke meter.

De Duitse staalindustrie voert het ijzererts via Rotterdam in. De aanvoer met bulkcarriers met een draagvermogen (dead weight) tot 300.000 ton en de afvoer over de Rijn in duweenheden met zes bakken maken het transport goedkoop.

Kolen worden uitsluitend aangevoerd en gedistribueerd via de Maasvlakte, vooral naar Nederlandse elektriciteitscentrales. Naast ertsen en kolen slaat Rotterdam agribulk, zoals graan en veevoedergrondstoffen en droge massagoederen, zoals fosfaten voor de kunstmestindustrie, over.

Per jaar worden in Rotterdam ca. 30 miljoen ton voedsel producten overgeslagen, waarvan 60 procent een Europese bestemming heeft. Behalve agrigrondstoffen zijn dit producten als vlees, vis, conserven, graanproducten, fruit, groente en vruchtesappen.

Rotterdam is de grootste containerhaven van Europa. Door de ligging dicht bij zee en de toegankelijkheid voor zeer grote containerschepen is de Maasvlakte een ideale locatie voor zee-zee en zee-binnenvaart distributie van containers. Containerdiensten lopen Rotterdam aan als een distributiepunt en bedienen de andere havens met feedersschepen vanuit Rotterdam. Behalve op de Maasvlakte worden in Rotterdam containers overgeslagen in het Eem-Waalhavengebied waar veel shortsea-vervoer van containers is geconcentreerd.

De concentratie van de goederenstromen heeft in Rotterdam een centrumfunctie gegeven waarmee de Europese handel naar Rotterdam is verschoven. De aanwezigheid van industriële bedrijven, met name op chemisch en petro-chemisch gebied heeft deze ontwikkeling ondersteund.

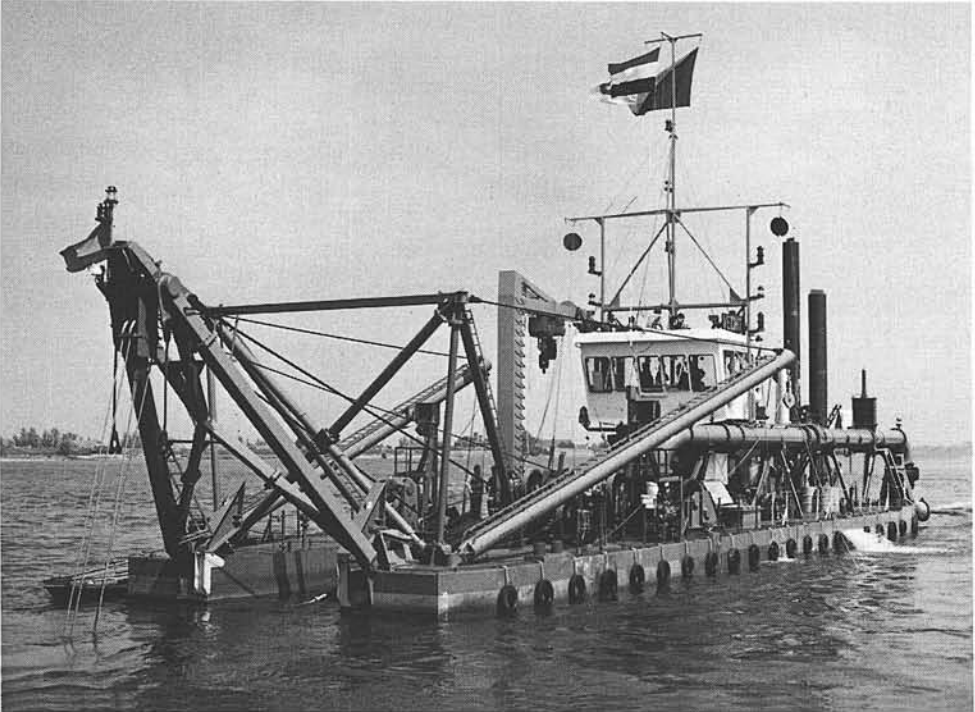
#### 3.3.2 Baggerbedrijven en de industrie van baggerwerktuigen en -schepen.

De baggerbedrijven en de daarbij behorende toeleverende industrieën hebben Nederland een wereldnaam bezorgd op het gebied van het 'natte grondverzet'. In deze industrie is sprake van een unieke combinatie van civiele techniek (bijv. grondmechanica), werktuigbouwkunde (de bagger-installaties), electronica en automatisering (de efficiency van het baggerproces) en maritieme techniek (het ontwerp en de bouw van schepen).

De combinatie van een thuismarkt (havenaanleg, zandsuppletie, deltaplan etc.) en de groei van de wereldmarkt, met name de infrastructurele werken (o.a. vliegvelden) boden Nederlandse

bedrijven kansen die niet onbenut zijn gebleven.

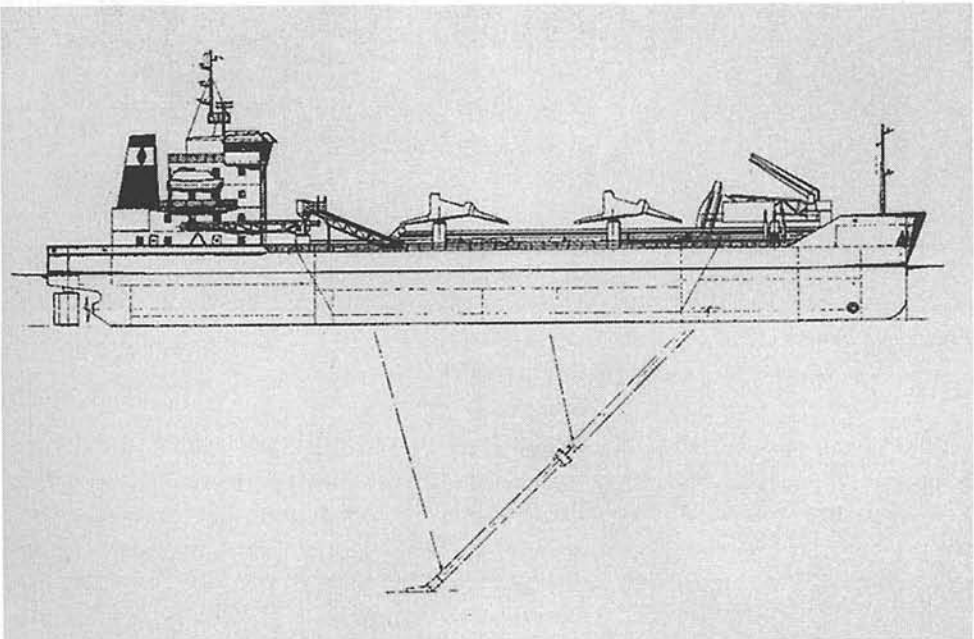
De baggerbedrijven en de industrie van baggerwerktuigen, die verenigd zijn in de Vereniging van Bedrijven voor Kust en Oeverwerken (VBKO), hebben een groot aandeel in de wereldmarkt die stoelt op kennis van zaken en een geavanceerde vloot waarvan de schepen tot de grootste ter wereld behoren qua capaciteit.



*Figuur 3.3 Beaver*



*Figuur 3.4 11.570 m<sup>3</sup> sleepzuiger*



*Figuur 3.5 5715 ton DWT Sleephopper*



*Figuur 3.6 Snijkopzuiger*

### 3.3.3 Scheepvaart

Sinds 1996 groeit het aantal schepen dat onder Nederlandse vlag vaart. Een groeiend aantal schepen, onder Nederlands management of gefinancierd met Nederlands kapitaal, keert terug onder de Nederlandse vlag. Het nieuwe zeescheepvaartbeleid van de Nederlandse overheid trekt eveneens buitenlandse reders aan.

Een deel van de schepen is, evenals in de binnenvaart, het bezit van een kapitein-eigenaar en is actief in de kustvaart, in het engels 'Short Sea Shipping' genoemd.

Op de wereldzeeën varen ca. 75.000 schepen met tonnenmaat groter dan 500 BRT. (het Bruto Register Tonnage is een maat voor de ruime inhoud van het schip, geschikt voor het vervoer van lading). Het draagvermogen is een maat voor het gewicht dat een schip kan vervoeren. Het draagvermogen is het verschil tussen de waterverplaatsing bij de maximaal toegelaten diepgang en het leeggewicht van het schip. De schepen variëren in grootte en type, die onder meer afhankelijk zijn van de lading, de route waarop wordt gevaren, het aanbod van de lading en de toegankelijkheid van de havens. De schaalvergroting in de scheepvaart leidde tot gespecialiseerde schepen, gericht op specifieke vormen van vervoer en massatransport. De grootste



### 3 De Maritieme Infrastructuur

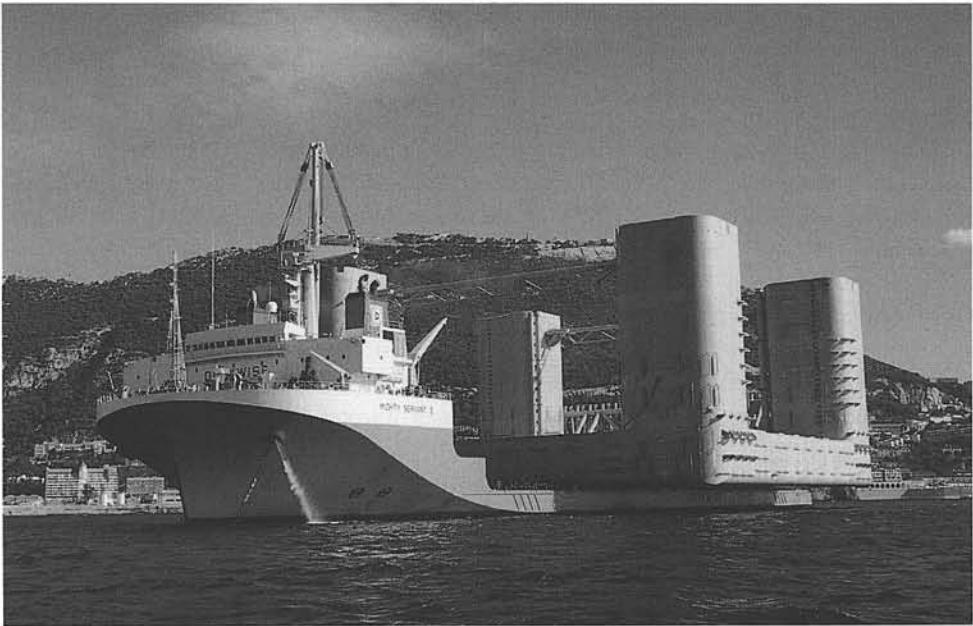
---

schepen die ooit gebouwd zijn, waren tankers voor het transport van ruwe olie, die meer dan 500.000 ton draagvermogen hadden.

Zeegaande schepen vertonen niet alleen variatie in afmetingen, maar ook in functie. Schepen met dezelfde functie en draagvermogen kunnen verschillend zijn omdat de omstandigheden waaronder de schepen varen anders zijn (vaargebied, beperkingen in havens bijvoorbeeld de diepgang, beschikbare doorvaart zoals kanalen e.d.). De reder zoekt de lading, dat wil zeggen de transportmarkt, bepaalt het vaargebied en de eisen die aan het schip worden gesteld om aan de vraag uit de markt te kunnen voldoen tegen concurrerende voorwaarden.



*Figuur 3.7 Container Feeder voor de kustvaart*



*Figuur 3.8 Het zware ladingsschip; Mighty Servant 3. Onderweg met 14.000 ton lading van Korea naar Noorwegen; Gibraltar 2 januari 1999 (Bron: Dockwise N.V., Hoogstraten (België))*

### **3.3.4 Scheepsbouw.**

Scheepswerven ontwerpen, bouwen en repareren schepen voor zeevaart en binnenvaart. In Nederland zijn ongeveer 90 werven lid van de Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie (de V.N.S.I.), daarnaast telt Nederland een beperkt aantal grote en veel kleine jachtwerven.

De meeste grotere werven bouwen voor de kust- en binnenvaart. Een enkele werf bouwt schepen voor de Koninklijke Marine. Andere werven zijn gespecialiseerd in de bouw van ferry's of vissersschepen. De variatie in scheepstypen is terug te vinden in de afmetingen en specialisaties van de scheepswerven.

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

Schepen en offshore eenheden worden onderhouden, gerepareerd of verbouwd. De bedrijven beschikken over faciliteiten om de schepen droog te zetten (vaste of drijvende dokken) en omvangrijke schades te kunnen herstellen.

De werven die zeegaande schepen repareren zijn gevestigd in havens of liggen op strategisch aantrekkelijke punten voor de scheepvaart.

#### 3.3.5 De binnenvaart.

De binnenvaart, in West-Europa bestaande uit een vloot van meer dan 20.000 schepen met een totaal tonnage van meer dan 1.300.000 ton draagvermogen, waarvan ongeveer de helft onder Nederlandse vlag vaart. Meer dan 70% van de (Nederlandse) schepen zijn het eigendom van een schipper-eigenaar.

De binnenvaart is van groot belang voor de haven van Rotterdam omdat stortladingen (kolen, erts en droog massagoed of droge bulk genaamd), vloeistoffen (olie of chemische producten, natte bulk genaamd) en andere producten die zich voor massa transport lenen, in grote hoeveelheden goedkoop per binnenvaartschip kunnen worden af- en aangevoerd.



*Figuur 3.9 ULCC (Ultra Large Crude Carrier)*



*Figuur 3.10 Van der Giessen de Noord*

De positie van de binnenvaart en de kustvaart in het regional-internationale goederenvervoer is sterk. Ongeveer 60 % van de goederen gaat over water. De snelste groei is in het vervoer van containers. Meer dan 35 % van de containers worden na aankomst in Rotterdam over water vervoerd. De ligging van Rotterdam aan de monding van de Rijn, de lage kosten van het vervoer over water, een steeds betere positie in het intermodale vervoer en de ruime infrastructuur op het water maken die groei, in combinatie met goed ondernemerschap, mogelijk. Binnenvaartschepen onderhouden lijndiensten met behulp van geavanceerde Ro-Ro schepen, containerschepen en duweenheden voor massagoederen. Op de knooppunten worden de

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

goederen overgeslagen voor natransport over de weg of het spoor. Het aantal knooppunten langs de Rijn is nog steeds groeiende.



*Figuur 3.11 Frisian Shipyard Welgelegen B.V., Harlingen*

Maar ook op de kortere afstanden neemt in Nederland het vervoer over water toe en sluit het transport over water uitstekend aan op de weg.

In de tankvaart varen uiteenlopende typen schepen met verschillende soorten lading, eetbare oliën, chemische stoffen, minerale brandstoffen en ruwe olie worden per schip vervoerd. Van de aan-en afvoer van aardolie en chemische producten gaat meer dan 36 % over water ( $\pm$  45 % gaat per pijpleiding). Chemicalieëntankers zijn bijvoorbeeld uitgerust met de nieuwste technieken het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Het transport is niet alleen veilig, maar bovendien milieuvriendelijk.



*Figuur 3.12 Binnenvaarttanker*

### **3.3.6 De maritiem gespecialiseerde leveranciers en onderaannemers.**

De bovengenoemde branches hebben een infrastructuur van bedrijven nodig die producten leveren die aan de eisen voor zeegaande installaties en systemen voldoen. De corrosieve omgeving, de scheepsbewegingen en de gevraagde bedrijfszekerheid stellen hoge eisen. Dit vraagt om leveranciers met kennis van voorschriften, die aan de eisen van maritieme installaties worden gesteld.

De bedrijven zijn verenigd in H.M.E. (Holland Marine Equipment).

De industrie en dienstverlening zijn op maritiem gebied in Nederland veelzijdig. Er is daardoor in Nederland een maritieme kennis-structuur die vele facetten van de maritieme markt behelst. Het is een kenmerk van de regio's waar de economische ontwikkeling nauw verbonden is met 'het water'.

Het gevolg is dat in Nederland een maritieme know-how is opgebouwd die bij sommige industrieën in marktleiderschap resulteerde. De combinatie van kennis van de exploitatie, het ontwerp en de bouw, (in de bedrijfskolom) een goede thuismarkt en een internationale markt leidt tot de export van hoogwaardige producten.



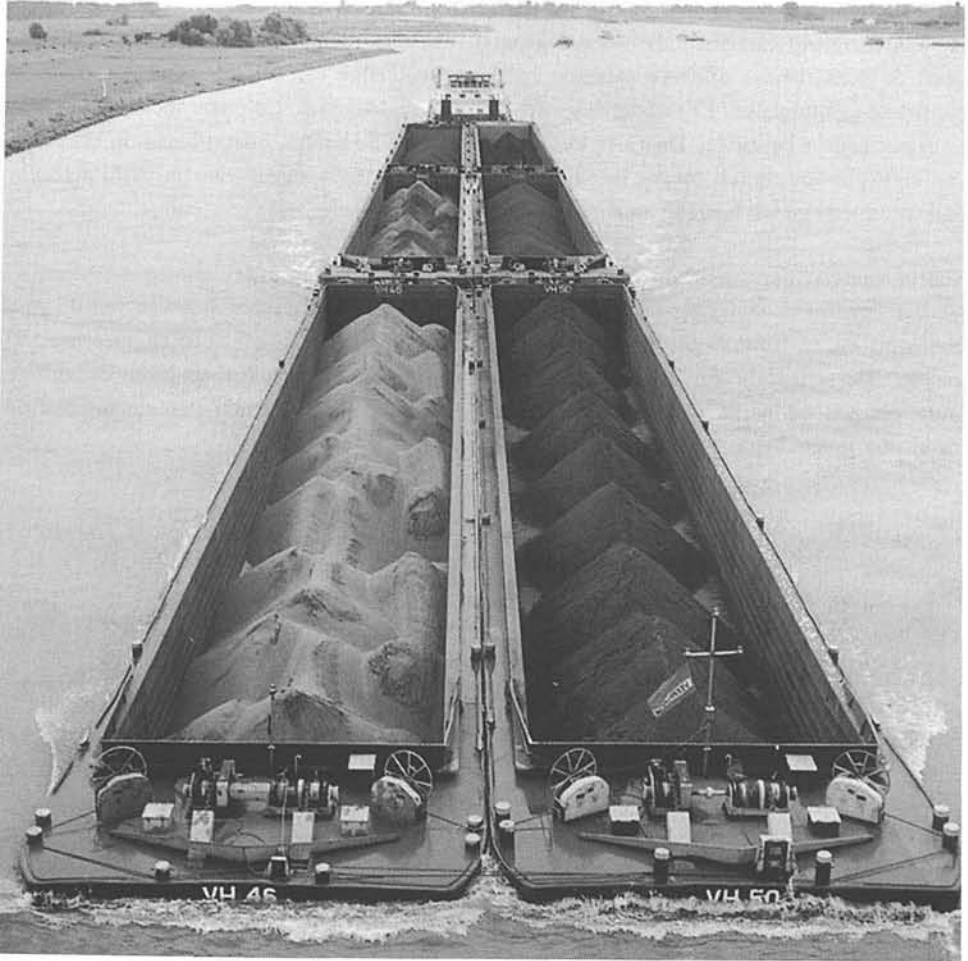
*Figuur 3.13 Binnenvaartcontainerschip*

### **3.3.7 De maritieme dienstverlening.**

De classificatie maatschappijen verzorgen de regelgeving voor de constructie en bouw van schepen. De regelgeving is toegespitst op sloopstypen, meestal bepaald door de lading, met bijzondere eisen voor bepaalde gebieden waar een schip opereert, bijvoorbeeld in ijs. De technische eisen waaraan een schip moet voldoen zijn vastgelegd in de voorschriften. Het keuren van tekeningen, inspecties en keus van materialen, equipment en de werkzaamheden



tijdens bouw van een schip leidt voor de reder tot een certificaat dat vereist is voor de verzekering van het schip. Tijdens de exploitatie wordt het schip op regelmatige tijden geïnspecteerd.



*Figuur 3.14 6-baks duwcombinatie*

De dienstverlening is een groeiende sector waarin zich in de loop der tijd ook specialismen hebben ontwikkeld. Bij banken verzorgen speciale afdelingen scheepsfinancieringen. Ontwerpingenieursbureaus zijn werkzaam op alle maritieme markten.



### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

Voor het afwickelen van schadegevallen aan schepen en lading zijn expertise bureaus werkzaam voor de verzekeringen. Gespecialiseerde advocatenkantoren behandelen maritiem-juridische zaken.

#### 3.3.8 De winning van olie en gas op zee (de offshore industrie).

De aanwezigheid van Shell als één van grootste oliemaatschappijen ter wereld in Nederland, heeft de Nederlandse offshore industrie bij de ontwikkeling van olie- en gasvelden onder de Noordzee gestimuleerd. Er ontstonden internationale combinaties van onder meer Nederlandse en Amerikaanse bedrijven. Daarmee kwam gespecialiseerde kennis, bijvoorbeeld op het gebied van de exploratie (boren op zee met behulp van booreilanden), installatie van vaste platforms voor productie en het leggen van pijpleidingen in zee naar Nederland.

Scheepswerven bouwden booreilanden, kraanschepen en pijpenleggers die op de Noordzee werden ingezet. Constructie bedrijven gingen de 'jackets' en 'topsides' bouwen van de vaste platforms en er werden gespecialiseerde ingenieursbureaus voor 'offshore engineering' opgericht. De scheepsbouw- en de constructie-industrie kregen, aan het eind van de vijftiger jaren, een nieuwe markt. Daarmee werd een belangrijke economische activiteit aan het maritieme cluster toegevoegd.



*Figuur 3.15 Semi-Submersible*



*Figuur 3.16 Semi-Submersible kraanschip*



*Figuur 3.17 2 Heerema kraanschepen (semi submersible)*



*Figuur 3.18 Platform voor plaatsing*

#### **3.3.9 De visserij.**

De Noordzee heeft rijke visgronden.

Nederland heeft als gevolg daarvan hoogwaardige visserijen met de daarbij behorende industrieën voor de verwerking van de vis.

Gespecialiseerde bedrijven ontwerpen en maken de inrichting en uitrusting voor vissersschepen, zoals tuigage, netten, koelinstallaties voor het bewaren van de vis en complexe installaties voor de verwerking en verpakking van vis aan boord van visfabriekschepen.

Met het Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek (R.I.V.O.) beschikt Nederland over een vooraanstaand onderzoeksinstituut voor de visserij.

De activiteiten van het RIVO hebben tot doel door toegepast wetenschappelijk onderzoek op het gebied van biologie, milieu, microbiologie, techniek en technologie bij te dragen tot het oplossen van problemen bij de exploitatie en het beheer van zee, kust- en binnenwateren.

Het Nederlandse visserijonderzoek neemt deel aan het werk van de Internationale Raad voor Onderzoek van de Zee (ICES) te Kopenhagen, die het wetenschappelijk visserijonderzoek in de Noord-Atlantische Oceaan, inclusief de Noordzee coördineert en participeert ook actief in

het Scientific, Technological and Economic Committee for Fisheries (STECF) van de Europese Unie. Dit comité adviseert de EU betreffende het Europese visserijbeleid (quota, technische maatregelen en bedrijfseconomische aspecten).

Het RIVO-DLO beschikt over het grote zeegaande visserijonderzoeksvaartuig Tridens en het kleinere onderzoeksvaartuig Isis voor de kustwateren, alsmede over twee kleine onderzoeksvaartuigen voor de estuaria en de binnenwateren.

Naast de faciliteiten voor onderzoek op het gebied van milieu, kwaliteit, voeding, aquacultuur en het biologisch onderzoek beschikt het RIVO ook over een afdeling techniek en technologie. De ontwikkeling en toepassing van nieuwe technieken in de visserij gaat snel, zowel visserij technisch als de verwerking van de vis aan de wal.



*Figuur 3.19 Het onderzoeksschip Tridens*

Door de weerstand van het visserij equipment te reduceren en de verbetering van de efficiency van de voortstuwing van de schepen worden de onderhouds- en exploitatiekosten van de

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

schepen verlaagd. Nieuwe ontwerpen van schepen, in samenwerking met werven en reders, leiden tot een verbetering van de rentabiliteit van schepen, de veiligheid en arbeidsomstandigheden aan boord. RIVO ingenieurs waren betrokken bij het ontwerp van een Remotely Operated Vehicle (ROV) voor waarnemingen onder water.

Het schip is afgestemd op de Nederlandse pelagische, bodem-trawl- en boomkorvisserij en beschikt daartoe over de nieuwste onder water observatie-en akoestisch surveytechnieken.



*Figuur 3.20 Boomkor-kotter*



*Figuur 3.21 Trawler*



*Figuur 3.22 M-fregat van de Karel Doorman klasse (Bron: Ministerie van Defensie)*

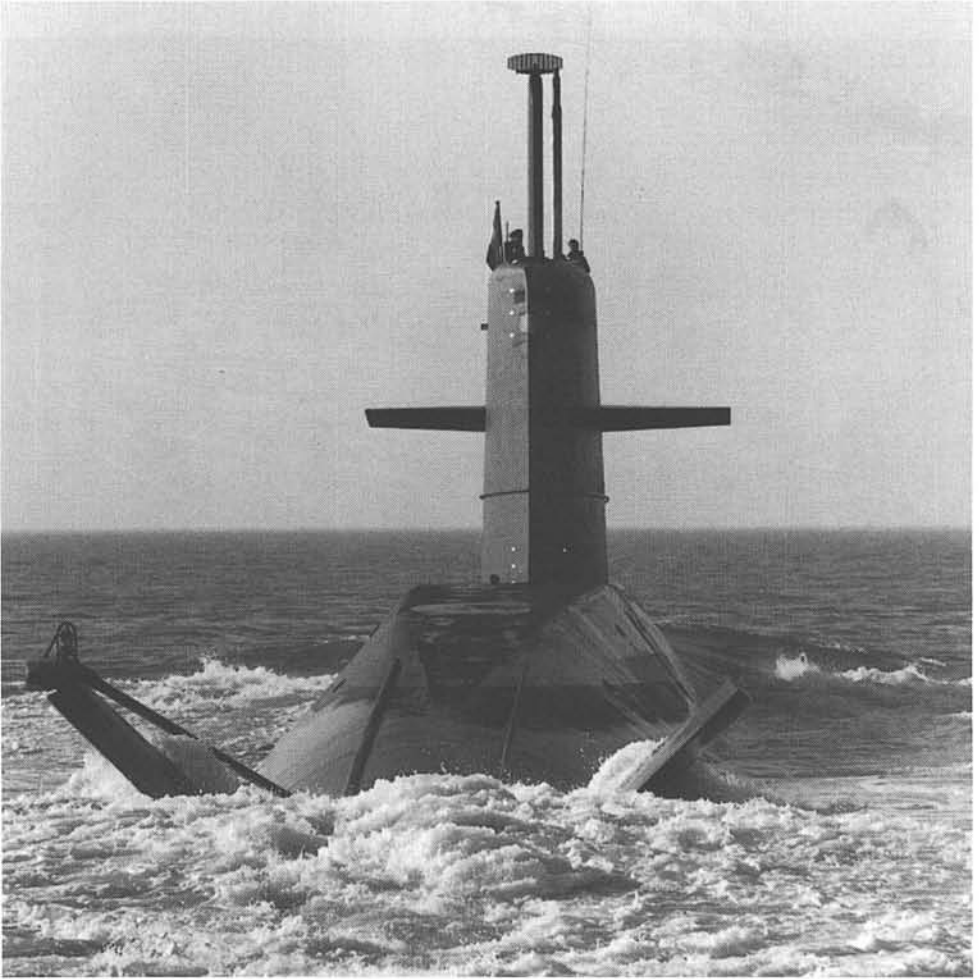
#### 3.3.10 De marine.

In Nederland ontwerpt de Koninklijke Marine verschillende soorten schepen die voor een scala aan activiteiten van defensie tot hulpverlening worden ingezet. De marine laat de schepen in Nederland bouwen en is verantwoordelijk voor de exploitatie. Het marineschip is voor de scheepsbouw een technisch hoogwaardig produkt dat onder extreem moeilijke omstandigheden operationeel moet blijven. Marineschepen zijn daardoor complexe schepen die aan hoge eisen moeten voldoen. De marine is het enige onderdeel van de defensie in Nederland dat de eigen 'bedrijfsmiddelen' ontwerpt, bouwt en gebruikt en daarmee de operationele ervaring in een ontwerp kan inbrengen. De marine beschikt bovendien over eigen onderhoudsbedrijf met een werf in Den Helder.



*Figuur 3.23 Bevoorradingsschip Hr.Ms.Zuiderkruis (Bron: Ministerie van Defensie)*



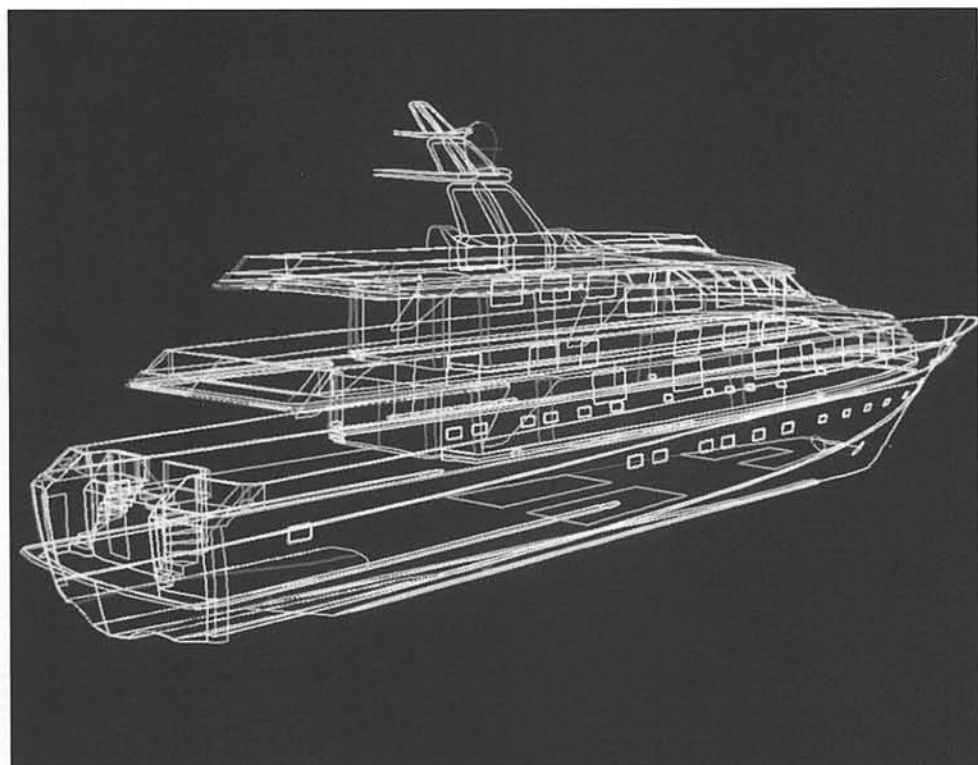


*Figuur 3.24 Onderzeeër (Bron: Ministerie van Defensie)*

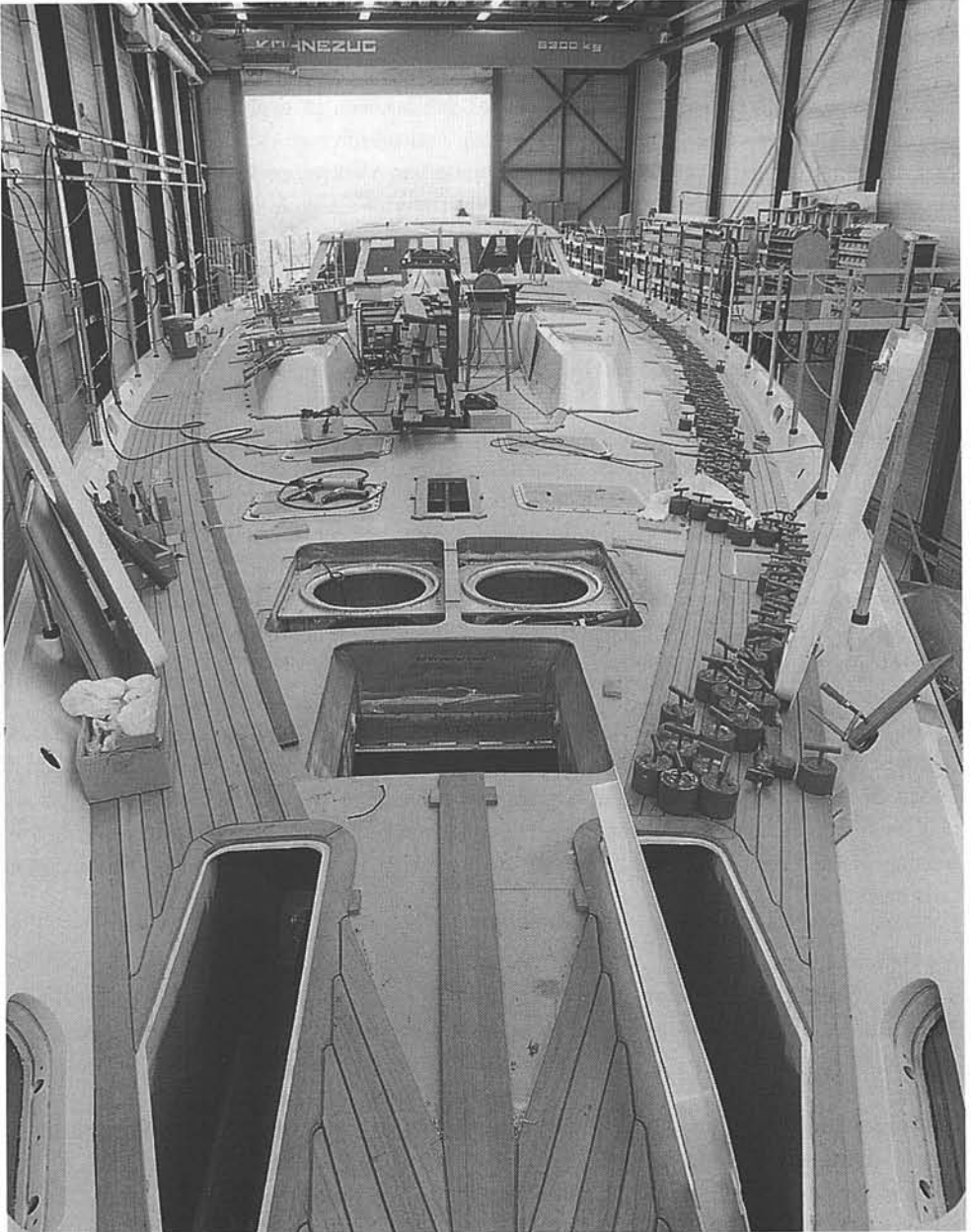
### **3.3.11 De recreatie-vaart en de jachtwerven.**

Nederland heeft een aantal toonaangevende jachtwerven met een wereldnaam, zowel op het gebied van zeegaande luxe zeilschepen als motorjachten.





*Figuur 3.25 3-D doorsnede van een Mega jacht*



*Figuur 3.26 Een veertig meter lang zeiljacht in aanbouw (bron: Royal Huisman Shipyard, Vollenhove)*

#### 3.3.12 De overheid.

Afdelingen die zich met de maritieme sectoren bezighouden zijn bij meerdere ministeries te vinden en beschikken over specialistische kennis om de toegewezen taken uit te voeren.

Overheden stellen eisen aan de veiligheid van schip en bemanning. Tevens oefent de overheid toezicht uit op de correcte uitvoering van de regelgeving door reders, werven en overige instanties en dienstverleners, die bij het proces van bouwen en exploiteren van schepen zijn betrokken. Daartoe vaardigt de overheid wetten, voorschriften en richtlijnen uit. Het Directoraat Generaal Goederenvervoer van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is één van die departementen. Scheepvaartinspectie (SI) is belast met de controle op de correcte uitvoering van de voorschriften.

De International Maritime Organization (I.M.O.) waarin vrijwel alle zeevarende naties zijn vertegenwoordigd, stelt de internationale regelgeving op en zorgt voor de onderlinge afstemming tussen de deelnemende naties. IMO bestrijkt veiligheid en milieu.

#### Opleidingen

De maritieme sector kent een groot aantal (meer dan 60) gespecialiseerde opleidingen van het beroepsonderwijs tot de academische opleidingen.

De universitaire als maritiem-technische opleiding verzorgt een specifiek pakket aan de basis-kennis en technologie toegespitst op het zich in water bewegende werking zijn de (veelzijdige) toepassingen meestal hetzelfde. De veelzijdigheid leidt echter tot verschillende benamingen voor het vak dat de maritiem ingenieur, vroeger scheepsbouwkundig ingenieur, uitoefent: naval architecture, shipbuilder, marine technologist, ocean engineer etc.

'Maritieme Techniek' bij de TU Delft richt zich op de dienstverlening aan de bovengenoemde sectoren door in een breed georiënteerde academische opleiding gespecialiseerde technici op te leiden en onderzoek uit te voeren in samenwerking met instituten als TNO en MARIN, dat wil zeggen de ontwikkeling van wetenschap, het opbouwen van kennis en 'technology', en de toepassing van de kennis in het ontwerpen van de producten, de productie-systemen en de exploitatie daarvan.

#### 3.4 De toekomst.

Nederland heeft een, 'zichtbare', maritieme basis, die stoelt op een rijke historie. Internationale marktposities zijn met ondernemerschap en kennis van zaken bevochten. Vernieuwingen en innovaties waren er ruimschoots en zullen een kenmerk moeten blijven van de maritieme sector.

Een ander kenmerk van de maritieme activiteiten lijkt te zijn dat 'het doen' voorloopt op de theoretische onderbouwing van de kennis.

De laatste twee eeuwen namen kennis en technologie toe en leidden tot inzicht, naast durf en ondernemerschap. Kennis en technologie zijn mede de basis gaan vormen voor het 'doen'. Thans stelt de regelgeving eisen aan een betrouwbare technische voorbereiding. De toene-

mende aansprakelijkheid van de leverancier en gebruiker voor de kwaliteit van het product laat ook de maritieme wereld niet onberoerd.

Mede gezien het verschijnsel van een toenemend protectionisme in de wereld van de scheepsbouw (de geschiedenis herhaalt zich) en de te grote productiecapaciteit (o.m. het gevolg van sterk verbeterde productie technologieën) is er aanleiding tot bezinning op de mogelijkheden die de positie van het Nederlandse maritieme bedrijfsleven kunnen versterken.

Waardoor ontstaan veranderingen in de transportketens en hoe speelt het bedrijfsleven daar op in?

Verschuift de productie van halffabrikaten naar lokaties waar grondstoffen en basis-materialen beschikbaar zijn?

Verplaatst de eindassemblage van producten zich naar plaatsen dicht bij de grote bevolkingscentra?

Wat zijn de gevolgen voor het transport over zee en een haven als Rotterdam?

Leidt de toename van het transport per container tot een nieuwe vorm van massa-transport?

Het 'transport over water' maakt bulk-transport mogelijk. Wat zijn de voordelen daarvan? Andere modaliteiten hebben dit voordeel niet en vragen naast, soms hoge, investeringen ten behoeve van de infrastructuur, een groot ruimtebeslag. Echter, havens hebben voor- en na-transport met op- en overslag nodig.

Worden tijd, kwaliteit en kosten van het transport meer en meer op de integrale transportketen betrokken? Bijvoorbeeld omdat het transport in toenemende mate een onderdeel van over de gehele wereld verspreide productieprocessen begint te worden?

Transport en distributie, energie, voedsel, civiele werken, recreatie etc. leveren een permanente vraag naar vaartuigen en diensten op. Scheepvaart en scheepsbouw zijn geen 'sunset' industrieën. Naast de opleiding van hoogwaardig vakmanschap over een breed gebied is sprake van een nog steeds groeiende markt voor de vraag naar transport op langere termijn. De industrie kan hierop inspelen.

#### 3.4.1 Veranderingen in de maritieme markten

Veranderingen vragen een dynamische instelling, dat wil zeggen het anticiperen op veranderingen door een pro-actieve opstelling. Zoeken naar de kansen die door de markt worden geboden. Een onderneming overleeft door het concurrerend vermogen en het herkennen van de nieuwe ontwikkelingen in de markt.

Maatschappelijke ontwikkelingen kunnen de kans op de realisatie van de doelstellingen van een onderneming positief of negatief beïnvloeden.

#### Externe en interne bedrijfsfactoren.

Het succes van een onderneming (de 'rentabiliteit op geïnvesteerd vermogen' of 'winstge-

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

vendheid') en de mogelijkheden tot continuïteit op langere termijn worden bepaald door externe en interne bedrijfsfactoren.

In de voorgaande tekst is 'het bedrijf' en 'de omgeving' enkele malen aan de orde geweest.

Veranderingen, verschijnselen of omstandigheden in de 'omgeving' van een bedrijf worden 'externe factoren' genoemd. Een bedrijf moet beoordelen welke gevolgen de veranderende omstandigheden voor de onderneming betekenen. Voorbeelden van externe factoren zijn:

- De (infra)structuur van een industrie, de aanwezigheid van leveranciers, concurrenten, kennis e.d.;
- De geografische ligging van een regio, locatie en bereikbaarheid;
- De maatschappelijke 'omgeving', beschikbaarheid van geschoolde arbeid, de arbeidsrust (stakingen), de loonkosten.
- Politieke veranderingen, oorlog of oorlogsdreiging, protectionistische maatregelen etc.

De condities die de onderneming zelf kan beïnvloeden, worden 'interne factoren' genoemd en bepalen de sterke en zwakke zijden van een bedrijf. Voorbeelden zijn:

- De dynamiek of flexibiliteit om veranderingen te volgen en vernieuwingen door te voeren;
- Is het bedrijf kennis intensief, een aannemer (jobber) of een gespecialiseerd productiebedrijf;
- De keuze van de producten en productiemiddelen;
- De kwaliteit van het personeel;
- De wijze waarop het bedrijf op veranderingen inspeelt etc..

De 'omgeving' dwingt een bedrijf om bij voortduring te onderzoeken of de organisatie (mensen en middelen) concurrerend presteert.

Is er zicht op veranderingen in de (maritieme) markten ?

Waardoor worden ze veroorzaakt?

Economische verschuivingen hebben invloed op transport- en distributiefuncties.

Een voorbeeld: de grootste groei van economie en handel was in de zeventiger en tachtiger jaren van deze eeuw niet meer in de landen om de Noord Atlantische oceaan maar de gebieden rond de Pacific te vinden.

De 'grote' scheepsbouw in West-Europa ondervond daarvan reeds in de jaren '60 als eerste de gevolgen en vervolgens werden vrijwel alle industrieën in West-Europa met de opkomst van het verre oosten geconfronteerd. De reacties waren protectionistische maatregelen en subsidies. De eerste oliecrisis in 1972 leidde tot een stagnerende wereldhandel en, gedurende een korte periode, een teruglopende vraag naar transport.

Bescherming en subsidie veroorzaakten dat de capaciteit van de scheepsbouw in de wereld op hetzelfde niveau bleef. Het gevolg was een overcapaciteit aan scheepsruimte, een verder terugvallende vraag naar schepen en een totale ineenstorting van markten en de prijzen.

Tegelijkertijd werden de West-Europese industrie en scheepvaart geconfronteerd met de

concurrentie uit de N.I.C.'s (de New Industrializing Countries), die met lage loonkosten de capaciteit konden vergroten. Bedrijven in deze landen zagen kans een aandeel in de wereldmarkten te veroveren en tot nu toe te behouden. De opkomst van nieuwe scheepsbouwlanden als Korea, Singapore en China zijn daarvan voorbeelden.

### **3.4.2 Scheepvaart en havens**

De Nederlandse vlootsamenstelling is (tot nu toe) gericht op vervoersstromen die op langere termijn potentie hebben voor groei. Deze zogenaamde niche-markten hebben minder concurrentie uit het verre oosten en onder meer daardoor kon de scheepsbouw die regionaal is georiënteerd zich handhaven.

In de handelsvaart is voortdurend sprake van concurrentie op prijs en tijd, terwijl de kwaliteit door 'externe eisen' wordt bepaald. Ook de niche-markten ontkomen niet aan prijsbederf van tijd tot tijd, omdat een evenwicht tussen vraag en aanbod in de vrije markt moeilijk bereikbaar is.

De scherpe concurrentie en de fluctuaties in de markt dwingen ondernemingen tot beheersing van kosten. Scheepvaart en scheepsbouw lijken door de eeuwen heen 'cost-driven industries' te zijn.

De concurrentie heeft niet alleen geleid tot een proces van schaalvergroting, maar ook tot vernieuwing en specialisatie.

Intercontinentaal wordt de scheepvaart geconfronteerd met een verdergaande globalisering die tot samenwerking en schaalvergroting leidt. (Berndsen, Verolme lezing)<sup>1</sup>. Het beheersen van de informatiestromen krijgt een groter belang. De kracht van de Nederlandse positie zal gevonden moeten worden in de ontwikkeling van de integrale dienstverlening in het vervoer, dat wil zeggen de scheepvaart in de havens intermodaal bedienen: schip - schip (zee- en binnenvaart), schip - weg, schip - rail, schip - pijpleiding.

Koersfluctuaties beïnvloeden de opbrengsten (vracht wordt tot nu toe intercontinentaal in dollars afgerekend) in de scheepvaart. Als de capaciteit (het aanbod van ladingruimte) groter wordt dan de vraag naar lading is een blijvende concurrentievervalsing met subsidies, protectie en kwaliteitsverschillen het gevolg.

Het anticiperen op de verwachte groei naar 'mainports' gegeven is een voorbeeld van een dynamische benadering. Overheid en bedrijfsleven streven in samenwerking naar een positie van Rotterdam als 'mainport' in Europa. Er wordt pro-actief op de markt ingespeeld.

De geografische ligging aan de Europese westkust aan de monding van Rijn en Maas, kan de strategische betekenis van de Rotterdamse haven voor het intercontinentale en regionale trans-

---

<sup>1</sup>De toekomst van het Vervoer over water, 2e Verolme lezing. Delft 1995 (ISBN 90-407-1059-7)

port in Europa versterken.

De geografische ligging alleen is echter onvoldoende om een dergelijke doelstelling te realiseren.

Meerdere factoren zullen het onderscheid met andere havengebieden moeten vergroten. Zowel in Europees als in breder internationaal verband.

Voor de versterking van de infrastructuur is medewerking van de overheid nodig.

Eenzijds biedt het transport over water een aanvaardbare oplossing voor de dichtbevolkte gebieden omdat het transport over water een laag energieverbruik per ton/km vraagt in vergelijking met andere transportmiddelen, relatief milieuvriendelijk en goedkoop is, het landschap vrijwel niet verstoort en het transportmiddel in de natuurlijke omgeving past.

Anderzijds zijn de op- en overslagkosten in de transportketen in verhouding met de kosten van het transport over water hoog en creëert het aanbod van alternatieven voor transport naar het achterland. Onvoldoende aanbod in de andere transportmodaliteiten, omdat de op- en overslagkosten te hoog worden, verzwakt de positie van een haven.

De transportbedrijven in West-Europa worden o.m. geconfronteerd met:

- scherpere eisen ten aanzien van veiligheid,
- overbelasting van de transportwegen over land,
- het beslag op de middelen voor investeringen in de uitbreiding van de capaciteit van de infrastructuur,
- strenge regels voor de bescherming van het milieu, bijvoorbeeld op het gebied van energie en afval.

Daarmee verandert de positie van het transport over water ten opzichte van andere modaliteiten van transport. Een verdergaande specialisatie in scheepstypen verbetert de dienstverlening.

De samenstelling van de vloot verandert daarmee.

De concentratie van grote hoeveelheden lading, een snelle en efficiënte overslag (korte ligtijden), de bereikbaarheid (diepgang) en de verbindingen met het achterland bepalen de (concurrentie) positie van een 'mainport'.

De verwachting is dat door de schaalvergroting, een hoge beladingsgraad en een betere logistiek, de intercontinentale scheepvaart zich op een beperkt aantal mainports (de hubs) gaat richten.

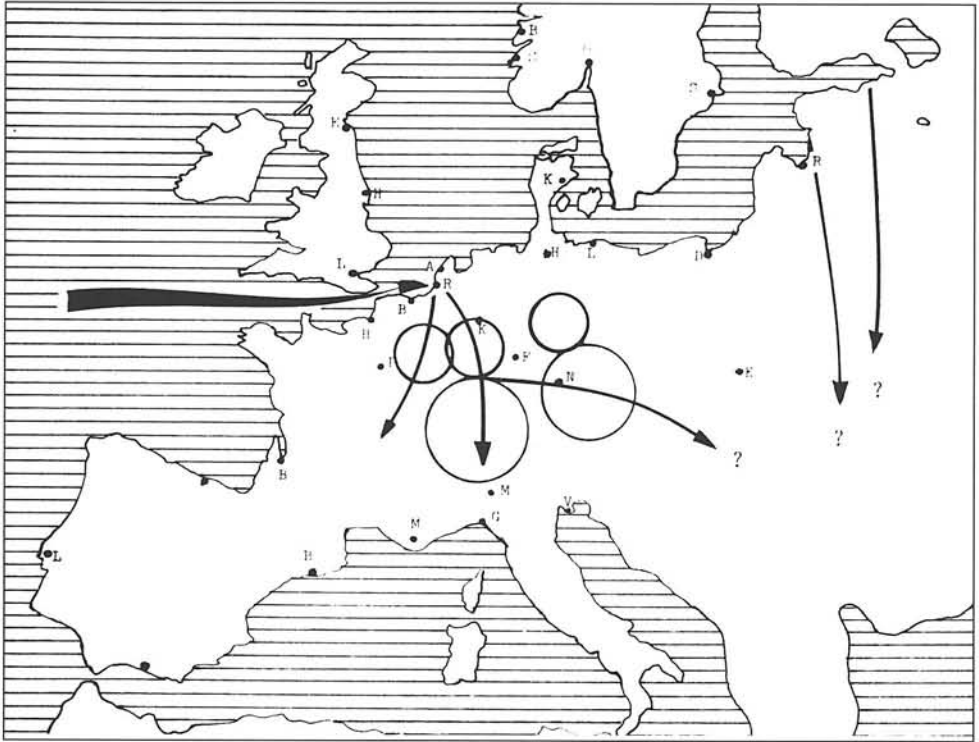
De voordelen van het vervoer over water leiden, bij beperking van de kosten van op-en-overslag, tot een toename van regionale (feeder) diensten (de spokes).

De opkomst van 'mainports' beïnvloedt de regionale scheepvaart en dit biedt kansen voor de scheepsbouw.

Dankzij de diep in Europa stekende achterland verbindingen over water kan de binnenvaart zijn positie versterken door in te spelen op de eisen die aan de 'spokes' van het intercontinentale



transport wordt gesteld. Dit betekent dat het overslagpunt naar het transport over de weg dieper in het binnenland komt te liggen. (zie fig 3.28)



3.27 *Gecombineerd waterweg- en wegtransport (2 keer overslaan)*

De op- en overslag en distributie eisen, zoals gezegd, een relatief groot aandeel van de kosten in de transportketen op. Dit stelt nieuwe eisen aan het ontwerp van de schepen en de laad- en los systemen.

De toenemende vraag naar specialisatie en de veranderende eisen zijn een uitdaging voor een inventieve en goed uitgeruste scheepsbouw-industrie, als dienstverlener voor de regionale scheepvaart, en vraagt om kennis op het gebied van ontwerp, bouw en gebruik van de schepen.

Zonder scheepvaart en binnenvaart geen haven van Rotterdam en zonder de (zee)havens van Rotterdam geen (petro) chemische en andere haven-gebonden industrieën.

De 'logistieke beheersing' van de goederenstroom (van deur tot deur) kan eveneens tijd en



kosten besparen. De druk op de efficiency van op-en overslag neemt toe. Met het 'indikken' van de intercontinentale goederen stromen wordt het al of niet aanlopen van 'mainports' bepaald door de combinatie van kosten, tijd (snelheid) en kwaliteit in dienstverlening. Het 'feederen' van en naar de mainport neemt dan toe.

Het inter-continentale transport bepaalt de mate waarin, en de wijze waarop dit gaat gebeuren. De grenzen van de schaalvergroting worden dan bepaald door factoren als 'het risico op één kiel', veiligheid en milieu.

Het 'openbreken' van de markt in het Oost-Europa is voor de komende decennia eveneens een uitdaging. Echter, zowel de Russische binnenvaartvloot, die voor een groot deel eveneens zeegaand is en uit meer dan 18.000 schepen bestaat, als de zeegaande vloot is anno 1996 gemiddeld bijna 20 jaar oud en technologisch verouderd. Het transport over land is in Rusland en de andere landen van de voormalige Sovjet-Unie nog niet ontwikkeld. Er zijn in Rusland goede waterwegen waarmee vracht ver landinwaarts kan worden gebracht. De verbinding tussen de Oostzee en de Zwarte Zee biedt, zodra de verbinding voor de zeevaart wordt opengesteld, een alternatief voor de route naar de oostelijke Middellandse Zee.

#### 3.4.3 Binnenvaart, gecombineerd transport, multimodaal transport

De binnenvaart is één van de troeven voor de transport- en transitopositie van Rotterdam dat zijn kansen voor een belangrijk deel ontleent aan de mogelijkheden van het transport over binnenwateren en de kustvaart. De binnenvaart kan inspelen op de veranderingen die zich bij de geïntegreerde transportsystemen voordoen.

Ontwikkelingen van belang voor de binnenvaart zijn:

- a. Het chemicaliën vervoer, met het oog op de veiligheid. Dit betreft niet alleen de regelgeving, maar vooral het ontwerp en de constructie, bijvoorbeeld de (binnen/buiten) tanker voor producten.
- b. Het containervervoer in de binnenvaart.
- c. Het openbaar vervoer over water.
- d. Het binnen-buiten transport vanuit de mainports, waarbij met name overslag en (het vermijden van) opslag de aandacht vragen.

Een vergroting van de capaciteit van het schip als transporteenheid is om verschillende redenen aantrekkelijk:

- De kosten per ton-km vervoerde lading dalen.
- Het ruimtebeslag op de infrastructuur vermindert.
- Het aantal transporteenheden wordt beperkt.
- De benodigde energie per ton-km vervoerde lading wordt gereduceerd met als gevolg een beperking van de belasting van het milieu.

Meerdere containerterminals en verschillende bestemmingen van de lading leidt tot een grotere

variëteit aan schepen, waarbij de point-to-point dienstverlening toeneemt.

De groei van het aandeel van de binnenvaart in de 'modal split', dit is de verdeling over weg, water (kust-en binnenvaart) en spoor illustreert de aantrekkelijkheid van vervoer over water. De massagoederen voeren nog steeds de boventoon (olie en olieproducten, ertsen, ruwe mineralen en bouwmaterialen).

#### **Te verwachten ontwikkelingen.**

De ontwikkeling van mainports, liberalisering van de handel in Europa (en wellicht de ontwikkelingen in Oost-Europa) zullen leiden tot een toename van lading die in containers, pallets of op een andere wijze is samengevoegd (geünitiseerd).

Alleen al in de containers wordt een verdrievoudiging van het aantal containers via de Mainport Rotterdam verwacht (van 2 miljoen naar 6 miljoen) in de komende 10 jaar.

#### **De beperkingen van het containertransport over water.**

Problemen die de ontwikkelingen van het containertransport kunnen remmen zijn:

- Extra op- en overslag en de kosten van het natransport beperken de aantrekkelijkheid van het vervoer over water.
- Het transport over water is niet geschikt voor hoge snelheden.
- Grotere capaciteitseenheden verhogen de complexiteit bij het sorteren en combineren van units of containers in havens of op terminals.
- De bestaande concepten zijn onvoldoende afgestemd op de combinatie voor intermodaal transport (water-weg, water-rail, weg-rail).

Dit vraagt nieuwe concepten op het gebied van het transport over water en het laden, lossen en overslaan. Tijden voor laden en lossen en overslag (in combinatie met de wachttijden) zijn lang voor de binnenvaart.

Gecombineerd water-weg en water-rail vervoer heeft betrekking op de combinatie van het vervoer per schip, per vrachtwagen en per trein.

Uit onderzoek (zie bijv. 'Vaart in de Keten') blijkt dat de toepassing van weg-water vervoer eerder aanslaat bij zogenaamde maritieme laadeenheden (intercontinentaal) dan continentale laadeenheden.

Het ontbreken van standaard continentale laadeenheden en stapelbare continentale laadeenheden leidt tot een trage inpassing van het transport over water in het geïntegreerde door-to-door transport over de weg.

Het Ro-Ro transport zou mogelijkheden moeten bieden om de continentale laadeenheden op chassis over het water te vervoeren.

De gemiddelde snelheid van het schip bedraagt echter slechts 15 km/uur. De truck haalt gemiddeld 50-60 km per uur.

Een schip zal in een etmaal ca. 300 km kunnen halen.

Planning en logistiek van het transport over water bepalen daarmee de positie.

#### 3.4.4 Scheepsbouw.

Op grond van haar concurrerend vermogen (Van Holst & Koppies, 1994)<sup>2</sup> heeft de Nederlandse scheepsbouw een goede uitgangspositie.

Een onverminderde aandacht voor de verbetering van productie (technologie, organisatie, specialisatie) en productontwikkeling blijft nodig.

Dit betekent aandacht voor de beheersing van kwaliteit en proces, de ontwikkeling van methoden voor het beoordelen van de effecten van maatregelen tot verbetering zoals een verandering van de organisatie, productie methoden en technologieën e.d..

Door het kleine aandeel in de wereldmarkt is de Nederlandse scheepsbouw geen beïnvloeder van de markt aan de aanbodzijde. Gespecialiseerde reders bieden kansen, zolang deze niet in het buitenland (verre oosten) kopen. De toename van de capaciteit van werven (Korea) kan weer tot concurrentievervalsing leiden (subsidies, protectie etc.).

Een aantal omstandigheden biedt de scheepvaart en scheepsbouw in Nederland een redelijke uitgangspositie.

- De specialisatie in sloopstypen blijft toenemen.
- De eisen ten aanzien van veiligheid en milieu nemen toe.
- De wegen raken in West-Europa overbelast.

Het transport over water beschikt over een gereedliggende infrastructuur met ruime capaciteit, vraagt een laag energieverbruik per ton/km, is goedkoop en milieuvriendelijk.

De kansen liggen derhalve in specialisatie en verbetering van de concurrentiepositie door productontwikkeling, toepassing van nieuwe technieken in productiefaciliteiten en het versnellen van het productieproces.

Voor de scheepsbouw neemt het belang van de industriële infrastructuur toe.

De werven krijgen het karakter van assemblage bedrijven die in nauwe samenwerking met gespecialiseerde toeleveringsbedrijven, in een vorm van 'co-makership', producten samenstellen. Het product wordt 'project management', d.w.z. de perfecte beheersing van organisatie en de daarbij behorende logistiek. De bouwplaats verschuift in die opstelling naar het tweede plan en wordt afhankelijk van de eisen die de contractpartner stelt ten aanzien van kosten, levertijd en goede kwaliteit.

In Nederland zijn de ontwikkelingen zichtbaar in de introductie van nieuwe sloopstypen en de verbeteringen die in de productieprocessen zijn doorgevoerd.

---

<sup>2</sup>Van Holst & Koppies. De concurrentiepositie van de Nederlandse scheepsbouw. (1994)

In sommige niche-markten heeft de Nederlandse scheepsbouw een sterke positie verworven. Het is een kenmerk van de combinatie van specialisatie en innovatie. De specialisatie is gericht op het te vervoeren product, bijvoorbeeld chemie. De innovatie is zichtbaar in creatieve ontwerpen.

Voorbeelden van specialisaties zijn bijv. de bagger, chemisch transport, koel- en vriesvaart, zware lading, jachtbouw en visserij.

De scheepsbouw bestaat uit een verscheidenheid aan kleine en middelgrote bedrijven, die specialist zijn of efficiënte 'low-cost builders', reparatie en onderhoud uitvoeren, de binnenvaart bedienen, seriebouwer van kleine schepen zijn etc.

De scheepsbouw in Nederland is daardoor pluriform en moeilijk onder één gemeenschappelijke noemer te brengen.

De pluriformiteit, flexibiliteit en gevarieerdheid maakt de scheepsbouw als totaal minder kwetsbaar voor schommelingen in de markt en dit is een krachtig aspect van de industrie.

#### 3.4.5 Scheepsreparatie.

Scheepsreparatie is van vitaal belang voor een zeehaven. De vorm waarin de reparatie in Nederland zich zal ontwikkelen is onder meer afhankelijk van een aantal (externe niet bedrijfsgebonden) factoren. De bedrijfstak wordt onder meer gekenmerkt door sterke fluctuaties in het aanbod van werk. De bedrijfsvoering zal daarop moeten kunnen inspelen. In het bijzonder zal door de bedrijven aandacht aan de productiviteit (in de ruimste betekenis van het woord) moeten worden geschonken. Lage lonen in Oost-Europa, het afnemend aantal dokkingen, doordat de periodes tussen de verplichte dokkingen langer worden, veranderen de reparatiemarkt en de verhoudingen van vraag en aanbod.

#### 3.4.6 Overheid

De maritieme bedrijfstak is van strategisch en economisch belang voor landen of regio's.

In Europa heeft de scheepsbouw in vergelijking met Japan en Korea een andere structuur gefragmenteerd. De scheepswerven in het Verre Oosten zijn meestal een onderdeel uit van grote industriële concerns, met onder meer scheepvaart, staalbouw, automobiel industrie (Mitsui, Mitsubishi, I.H.I., Hyundai, Samsung e.d.).

Voor de scheepsbouw betekent dit bijvoorbeeld dat in Japan 7 groepen 92 % van de markt beheersen en in Korea 4 groepen 90 %.

Het vormgeven van een beleid gericht op de langere termijn, vraagt van bedrijfsleven en overheid een benadering die sterke strategische elementen uitbuit. Dit dient te worden herkend door alle betrokken beleidsmakers, en daarmee dringt een vergelijking met Japan zich op.

### 3 De Maritieme Infrastructuur

---

Zowel voor de structuur van de bedrijfstakken, de technologische ontwikkeling met inzicht in de sterke en zwakke zijden van de maritieme cluster.

De Japanse industrie heeft voortdurend gewerkt aan de verbetering van kwaliteit en productiviteit in samenwerking met de overheid.

De groei van de Japanse en Koreaanse scheepsbouw stoelt op een beleid met de volgende kenmerken:

- De bescherming van de eigen markt, de Japanse vloot wordt vrijwel geheel door Japanse werven gebouwd.
- Het uitbuiten van het gegeven dat Japan over weinig grondstoffen beschikt. Het transport wordt door de eigen vloot verzorgd.
- Het stimuleren van de export door zowel nieuw te bouwen schepen als lading in de wederzijdse handel te betrekken. (de zgn. barteldeals).
- Het stimuleren van de ontwikkeling van kapitaalkrachtige industriële organisaties, bestaande uit scheepseigenaars, charterers, scheepsbouwers, toeleveranciers, banken en handelshuizen. Deze voeren niet alleen het beleid uit, maar beschikken bovendien over middelen voor onderzoek en ontwikkeling.
- Het maximaal benutten en verbeteren van beschikbare technologieën en methodieken ten behoeve van verbetering van organisatie en kwaliteit.

Dit beleid wordt door de Japanse en Koreaanse overheid gestimuleerd.

De overheid in Nederland herkent echter ook het belang van de scheepvaart, scheepsbouw en andere maritieme bedrijfstakken. Zowel van ambtelijke als van politieke zijde bestaat de bereidheid om de concurrentiekracht van de scheepsbouw te vergroten.

De overheid geeft tevens de uitgangspunten aan waarop het beleid is gebaseerd. Financiële faciliteiten van overheidswege zullen bij voorkeur niet defensief, maar offensief gericht moeten zijn: geen ondersteuning zonder perspectief, maar een versterking van de concurrentiekracht, d.w.z. investeren in het vermogen om op geavanceerde en efficiënte wijze te concurreren.

#### 3.5 Samenvatting en conclusies.

Uit dit beknopte overzicht kunnen enkele conclusies worden getrokken voor de maritieme bedrijfstak.

Alle sectoren vertonen een meer of minder gelijk patroon, fluctuerende markten onder invloed van internationale economische (bijv. valuta) en politieke ontwikkelingen.

De nog steeds toenemende productie- capaciteit leidt tot een felle concurrentie met een scherp prijsniveau.

De oorzaken van de overcapaciteit zijn voor een deel dezelfde voor alle sectoren.

- Schaalvergroting, de toename van de capaciteit per eenheid (grotere schepen en werven).
- Rendementsverbetering, grotere capaciteit per eenheid (betere schepen en werven), voor

een deel het gevolg van nieuwe technieken en betere organisaties.

- Eerdere vervanging dan economisch of bedrijfstechnisch noodzakelijk is, vaak als gevolg van subsidies, hetgeen bijvoorbeeld in de scheepvaart tot een groter aanbod in de tweedehands markt leidt.
- Incidentele oplevingen beïnvloeden in de vrachtprijzen de vervoerscapaciteit, met als gevolg soms overijlde bestellingen.
- Nieuwe technologieën leiden niet snel tot nieuwe bestellingen. De levensduur van schepen is lang en nieuwe technologie kan meestal in een bestaand schip worden ingebouwd. Verbetering van de 'earning capacity' of nieuwe ontwikkelingen bij de concurrentie leiden wel tot nieuwe bestellingen.

Voorbeelden:

- ▶ groei van de ruwe olie tanker.
- ▶ groei van de intercontinentaal varende containerschepen.
- ▶ snelle ferries.

### **3.6 Aanbevolen Literatuur**

- 1 'De Hanze', Philippe Doelingen, opkomst bloei en ondergang van een handelsverbond, Het Spectrum, 1964.
- 2 'The Dutch Seaborne Empire', 1600-1800, C.R.Boxer, Penguin Books, ISBN 0-14-021600-6, 1988
- 3 'De toekomst van het vervoer over water', S.Hengst e.a., Delftse Universitaire Pers, ISBN 90-407-1059-7, 1995
- 4 'Scheepsbouw en technologie in Nederland', S.Hengst, P.W.F.Kortenhorst, Delftse Universitaire Pers, ISBN 90-407-1967-3, 1997
- 5 'De concurrentie positie van de Nederlandse Scheepsbouw 1984-1992', van Holst en Koppies, 1993
- 6 'Maritiem Nederland', Van Holst en Koppies, CMO Projectcode 6.4.65, 1994
- 7 'De concurrentie positie van de maritieme sector', S.Hengst e.a., Delftse Universitaire Pers, ISBN 90-407-1506-8
- 8 'De Nederlandse scheepsbouw en de toeleveringsindustrie', Chris Peeters, Harry Webers, Anja Lefever, Jan van der Linden.
- 9 De studies 'Goederenstroommodellen', van het havenbedrijf Rotterdam.
- 10 Diverse publicaties van Lloyd's register en de VNSI over opdrachten en afleveringen door de nederlandse werven.
- 11 Smeerolie voor de scheepsbouw, Menso de Jong in opdracht van NESEC, ISBN 90-901-709-1, 1988.



## 4

**Materialen en legeringen**

De prijs, eigenschappen en kwaliteit van het materiaal dat gebruikt wordt voor een product worden bepaald door factoren die afhankelijk zijn van de vind plaats, de kosten die gepaard gaan met fabricage van het basismateriaal en de mogelijkheden die samenstellingen (legeringen) van materialen bieden.

Dit hoofdstuk schetst de samenhang van deze factoren.

De benodigde energie voor de productie van het materiaal, het gedrag van mogelijke samenstellingen door middel van fase-diagrammen en het ijzer-koolstof diagram beogen inzicht te geven hoe de (productie)methoden de eigenschappen van het materiaal, in het bijzonder staal, kunnen beïnvloeden.

**4.1 Het voorkomen van materialen**

Het fabriceren, samenstellen en lassen van de stalen romp is bij de meeste scheepswerven een omvangrijk deel van de toegevoegde waarde.

De toepassing van andere basis materialen door staal zoals bijvoorbeeld aluminium en kunststoffen vindt ook langzaam maar zeker in de scheepsbouwtoepassing met name in de jachtbouw en voor bijzondere scheepstypen zoals snelle catamarans.

De eigenschappen van het materiaal en de in verhouding lage kosten van het materiaal en de vergaande gemechaniseerde en geautomatiseerde voorbewerking in de pre-fabricage maken dat het staal als materiaal voor de bouw van schepen nog steeds vele voordelen biedt.

De vorm waarin het materiaal wordt aangeleverd, de bewerkingen en de methode van samenbouwen, maatvoeren en lassen van de stalen romp bepalen voor een belangrijk deel de kosten van de werf.

De eigenschappen van het materiaal zijn bepalend voor de bewerkingen. De keuze van een staalsoort (legering) vooral bepaald door de prijs en de voorschriften van de klassebureaus die de eigenschappen van het materiaal voorschrijven. De prijs wordt bepaald door de plaats en het voorkomen van erts in de aardkorst. De aardkorst bevat ongeveer 5% ijzer en meer dan 8% aluminium. Koper komt bijvoorbeeld veel minder voor, ongeveer 0,007% . IJzer komt achter de elementen zuurstof, silicium en aluminium op de vierde plaats. IJzer en staal zijn goedkoper dan andere metalen omdat ijzer vrij eenvoudig is te raffineren door middel van een reductieproces uit ijzererts. In vergelijking met aluminium is voor ijzererts slechts een kwart van de energie benodigd (tabel 4.1).



#### 4 Materialen en legeringen

Materiaal	Benodigde energie in kwh/ton
Aluminium	34000
Staal	8200
Baksteen	5700
Glas	1200
Beton	200
Zand, grint	9
Hout	7

*Tabel 4.1 Energie in kwh/ton voor de productie van het materiaal.*

Staal heeft gunstige mechanische eigenschappen die bovendien door (warmte) behandeling kunnen worden verbeterd.

De gunstige technische eigenschappen maakt staal een aantrekkelijk materiaal voor de scheepsbouw, alhoewel het materiaal corrosiegevoelig is, in het bijzonder in zeewater.

Voor de toepassing van materialen zijn de eigenschappen (vloei grens, breeksterkte, hardheid, corrosiebestendigheid etc.) van belang, in het bijzonder wanneer de constructie in een omgeving van zeewater moet functioneren. De samenstelling van het materiaal heeft veel invloed.

In de volgende paragrafen zal kort worden toegelicht op welke wijze de eigenschappen van materialen, in het bijzonder staal, kunnen worden beïnvloed.

#### 4.2 Fase-diagrammen

De samenstellingen van metalen worden legeringen genoemd. Zuivere metalen van ijzer, nikkel, koper, lood etc. zijn moeilijk te maken en daardoor kostbaar.

Een fase is te definiëren als een (mechanisch) af te scheiden (metallurgisch) homogeen, te onderscheiden deel van een samenstelling van een stof.

Een fase komt voor als een vaste stof, vloeistof of gas. Fasen kunnen uit één of meer componenten bestaan zijn. Olie en water scheiden zich als ze bij elkaar worden gevoegd. De samenstelling heeft dus 2 fasen.

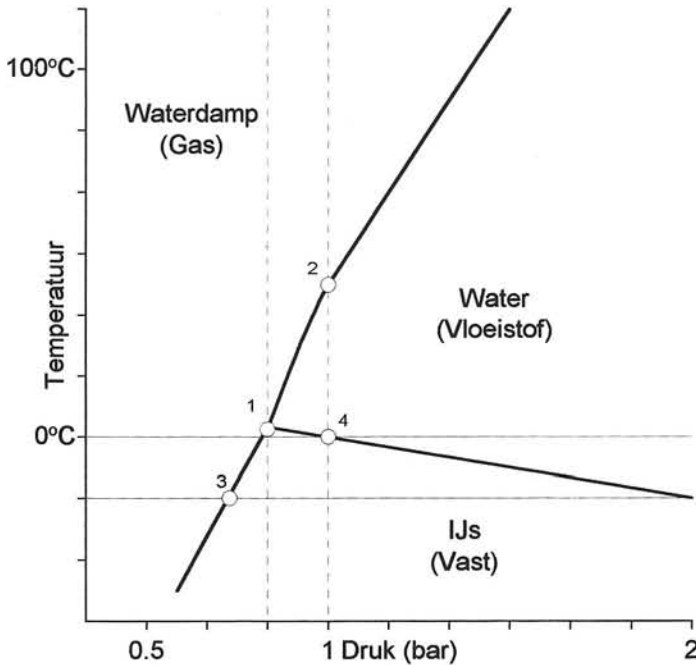
Alcohol en water mengen zich volledig, de samenstelling bestaat uit één fase.

Zuivere metalen (één fase) worden gebruikt in toepassingen waarbij bijzondere eisen worden gesteld m.b.t. bijvoorbeeld magnetische eigenschappen, (electrische) geleiding of weerstand tegen corrosie.

In de scheepsbouw worden vooral zwak gelegerd staal gebruikt, bijvoorbeeld voor het fabriceren van de romp. Een fase (evenwichts) diagram is een grafische weergave van de natuurlijke eigenschappen van een samenstelling van de materialen, waaruit bijvoorbeeld een legering is opgebouwd.

De variabelen die het gedrag beïnvloeden zijn naast de samenstelling (van de legering), de temperatuur, de druk en de tijd. Om de invloed van de temperatuur en de druk te illustreren is water als voorbeeld genomen.

In fig. 4.1 wordt het gedrag van water weergegeven bij verschillende drukken en temperaturen.



Figuur 4.1 Temperatuur -druk (zuiver water)

Bij een constante atmosferische druk en een variabele temperatuur zal water bij  $0^{\circ}\text{C}$  bevriezen en boven  $0^{\circ}\text{C}$  verdampen (gasvorming worden). De lijnen in de figuren geven, bij een bepaalde druk, weer wanneer het water befrist of verdamp.

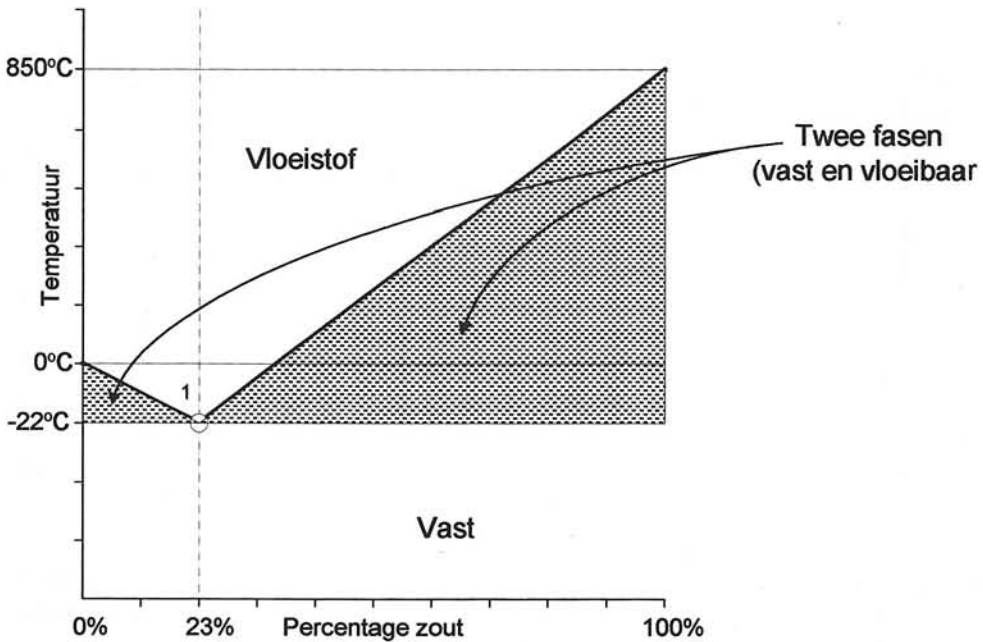
Wanneer in een stabiele fase (vloeibaar) de druk daalt, is er een toestand aan te wijzen waarin de vloeibare fase overgaat in de vaste fase (ijs) en vervolgens in de gasvormige fase. Dit verschijnsel wordt in bepaalde processen gehanteerd om producten te kunnen drogen. Met behulp van het diagram kunnen daartoe bijvoorbeeld de laagste druk en de hoogste temperatuur voor het drogen worden bepaald.

#### 4 Materialen en legeringen

Bij toename van de druk verdampt het water bij een hogere temperatuur, punten (1) en (2), en daalt de temperatuur waarbij het water bevroert. Het punt waarbij de lijnen van de overgangen van vloeistof naar gas en vloeistof naar vast elkaar kruisen, geeft weer dat bij dalende temperatuur en druk de vaste fase direct overgaat in een gasvormige fase.

Bij de fabricage en verwerking van materialen wordt in het meestal gewerkt bij atmosferische drukken. De variabelen die het proces bepalen, zijn de samenstelling van de legering, de temperatuur en de tijd dan de factoren. De invloed van de samenstellende componenten kan worden weergegeven in een diagram dat wordt samengesteld met behulp van waarnemingen van het gedrag van verschillende mengsels bij verschillende temperaturen.

Door zout in water op te lossen verandert het gedrag van het mengsel. Door verschillende percentages zout in water op te lossen en het mengsel af te koelen kan het diagram in figuur 4.2 worden gemaakt.



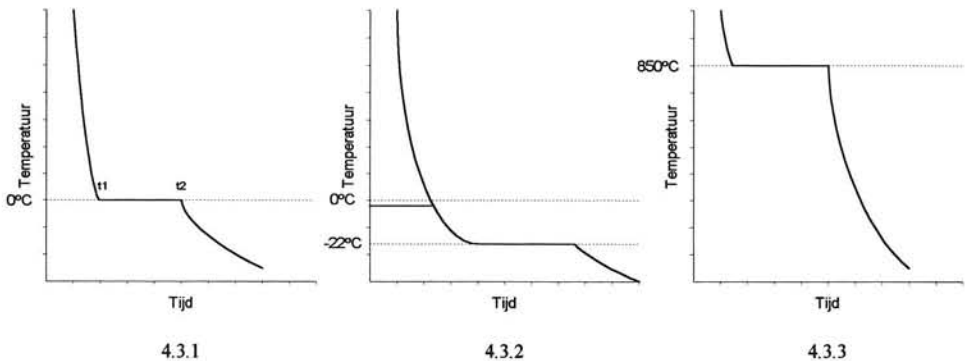
Figuur 4.2 Fasen diagram voor water

In figuur 4.2 is aan de linker zijde (0% zout) aangegeven dat water bevroest (overgaat in de vaste fase) bij  $0^{\circ}\text{C}$ . We weten ook dat zout bij  $850^{\circ}\text{C}$  smelt. Dit is in de rechter zijde van het diagram aangegeven. Door het toevoegen van zout daalt de temperatuur waarbij het mengsel bevroest. Tot een samenstelling met ongeveer 23% zout in water daalt deze temperatuur tot  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Bij een hoger zoutgehalte stijgt deze temperatuur weer. Boven de getrokken lijn is het mengsel vloeibaar. De onderste (gestippelde lijn) geeft de situatie weer, waarbij het mengsel geheel vast is. De twee driehoeken tussen de lijnen zijn twee-fase gebieden. In de linkerkzijde van het laagste punt stolt het water eerst en neemt de concentratie zout in de oplossing toe, terwijl de temperatuur daalt.

Rechts van het laagste punt stolt bij dalende temperatuur eerst het zout. In de twee fasen gebieden komen de vaste en vloeibare mutaties beide voor.

Het effect van de toename van de concentratie van zout bij een dalende temperatuur is zichtbaar in de figuren 4.3.1, 4.3.2 en 4.3.3.



*Figuur 4.3 Stollingsdiagram*  
 4.3.1 Zuiverwater  
 4.3.2 Zeewater  
 4.3.3 Zout

In figuur 4.3.1 is te zien dat enige tijd zal verstrijken voordat het (zuivere) water geheel is bevroren. In het geval dat het water is vermengd met zout bevroert de samenstelling bij een

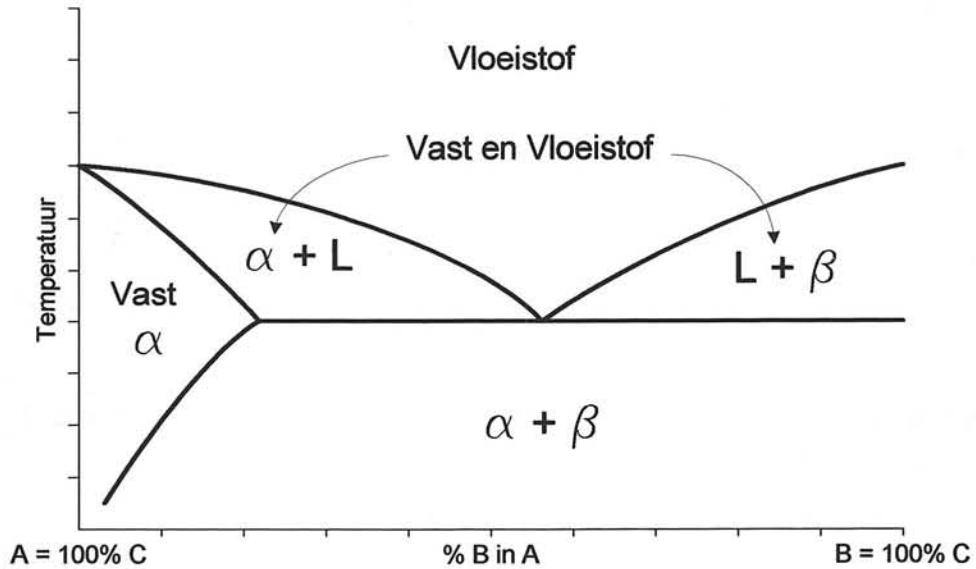
#### 4 Materialen en legeringen

lagere temperatuur, zie figuur 4.3.2. Omdat bij een zoutgehalte van minder dan 23% het water het eerst stolt wordt het resterende mengsel steeds rijker aan zout en daalt de stollingstemperatuur van het mengsel. Bij  $-22^{\circ}\text{C}$ , is het gehele mengsel vast.

Met een toenemend percentage zout in het mengsel van water en zout, daalt de temperatuur waarbij de stolling van het mengsel begint. In het diagram is het gebied tot 23% zout in de oplossing tot  $-22^{\circ}\text{C}$  te zien. Bij hogere percentages zout stijgt de temperatuur waarbij de oplossing gaat stollen.

Het bovenstaande laat het gedrag van de samenstelling zien, maar zegt weinig over de structuur en de oplosbaarheid van zout in water bij een bepaalde temperatuur en de structuur van de samenstelling in de vaste vorm.

De punten (1) in de figuren 4.1 en 4.2 geven het drie fasen evenwichtspunt aan, in de literatuur wordt dit weergegeven als het *eutectische* punt. Bij legeringen van metalen doet zich hetzelfde verschijnsel voor.



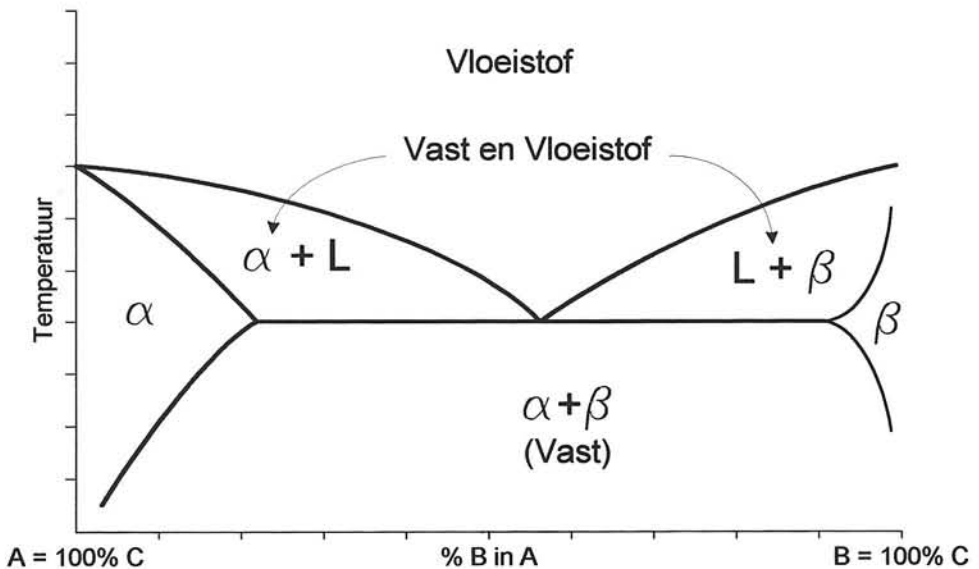
Figuur 4.4 Fase diagram component 'A' is onoplosbaar in 'B'

Bij koper, tin, lood, nikkel, ijzer en koolstof wordt onderscheid gemaakt naar de oplosbaarheid:

- Onoplosbare legeringen, dat wil zeggen dat de componenten niet in elkaar oplosbaar zijn.
- Gedeeltelijke oplosbare legeringen, dat wil zeggen: er treedt een verzadigingspunt op, waarbij een component niet meer oplost in een andere. Dit verschijnsel is meestal afhankelijk van de samenstelling en de temperatuur.
- Beide componenten zijn geheel in elkaar oplosbaar, zowel in vaste als in vloeibare vorm.

Dit is in de figuren 4.4, 4.5 en 4.6 weergegeven.

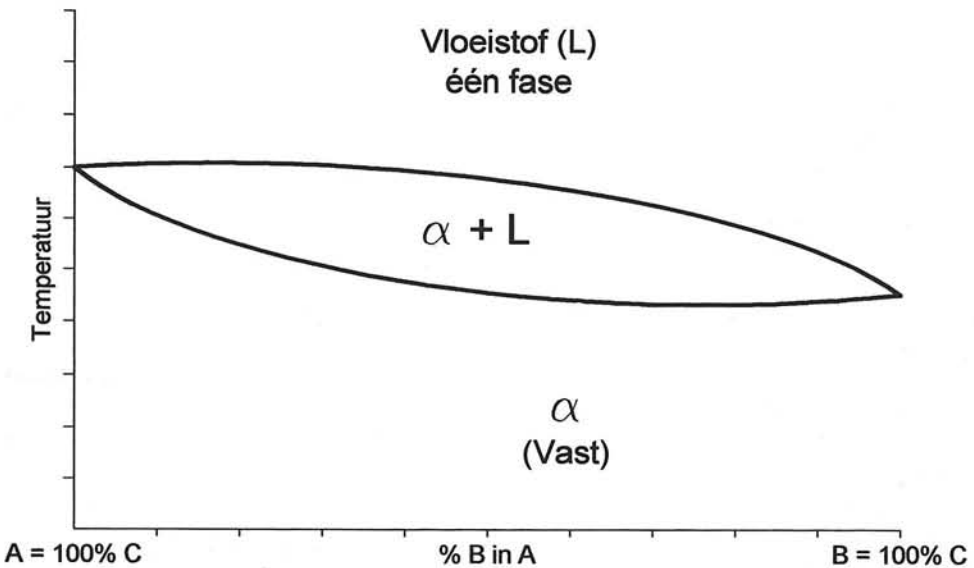
De meeste materialen vallen in de tweede categorie. In figuur 4.4 is component B gedeeltelijk oplosbaar in component A in de vaste vorm. A is echter niet oplosbaar in B ( $\alpha$  is de aanduiding van het zuivere materiaal).



Figuur 4.5 Fase diagram componenten 'A' en 'B' zijn gedeeltelijk oplosbaar in elkaar.

In figuur 4.5 is materiaal B oplosbaar in materiaal A tot een maximum percentage weergegeven in punt (1) in de vaste vorm. In punt (2) is de maximumoplossing van A in B aangegeven.

Daalt de temperatuur dan gaat het materiaal van één fase over in twee fasen. In figuur 4.6 is aangegeven dat A altijd volledig in oplost B.



Figuur 4.6 Fase diagram componenten 'A' en 'B' zijn geheel oplosbaar in elkaar.

#### 4.3 Het ijzer-koolstof diagram

Bij het produceren en verwerken van staal wordt het materiaal verwarmd en verhit tot ver boven de normale gebruikstemperaturen, zowel bij het fabriceren van staal als het lassen wordt het materiaal vloeibaar gemaakt. Daarmee worden niet alleen de eigenschappen van het materiaal beïnvloed. Ook de structuur, de chemische samenstelling en de vorm veranderen.

Het fase-diagram is een hulpmiddel om inzicht te krijgen in de veranderingen die optreden en de wijze waarop de samenstelling van het materiaal verandert.

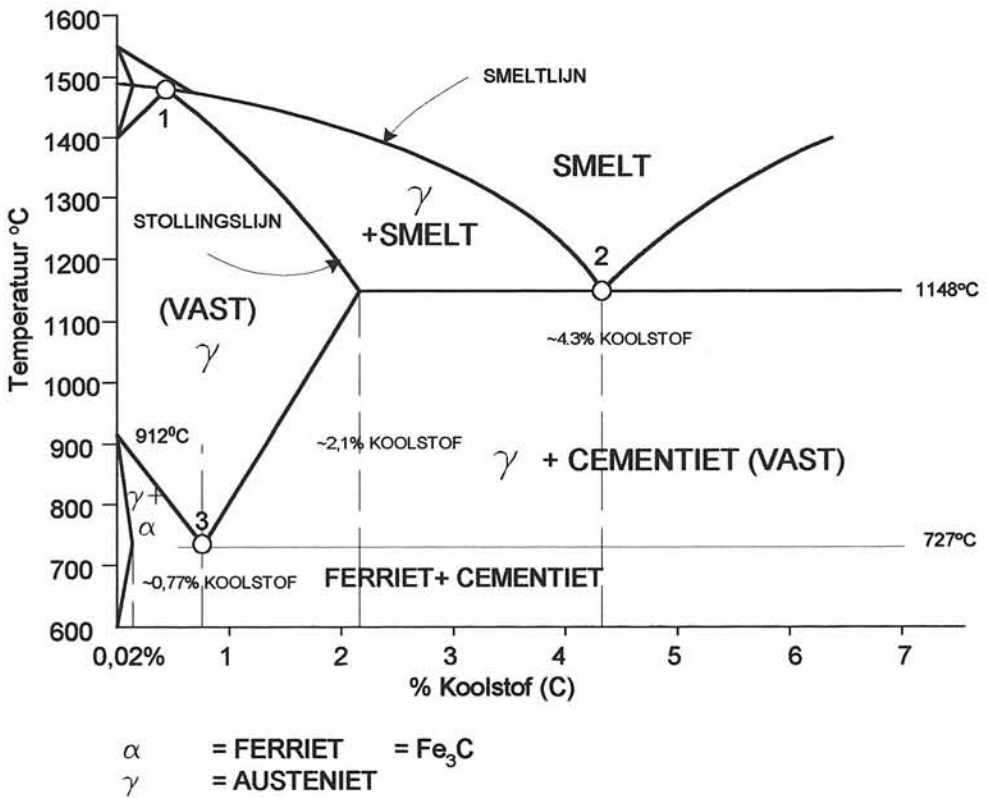
Bij het beschouwen van fig. 4.5 zal duidelijk zijn dat de horizontale lijn tussen de punten (1) en (2) een overgang is waarbij het minimale percentage van B in A in de vloeibare samenstelling bepaald wordt door het percentage in punt (3).

In punt (1) is het aandeel van A in de *vaste fase* maximaal. In punt (2) is het aandeel van B in A in de vaste fase maximaal. Samenstellingen van materialen hebben in punt (3), het eucti-

sche punt, het laagste smeltpunt van de legeringen tussen punt (1) en punt (2).

Er komen meerdere soorten drie fasen reacties voor. Het ijzer-koolstof diagram geeft weer dat het gedrag van ijzer en koolstof complex is onder meer omdat het ijzer de eigenschap heeft dat het *ijzerrooster* (structuur) kan verandert tijdens de afkoeling.

Door het toevoegen van kleine hoeveelheden andere elementen kan staal worden vervaardigd met uiteenlopende eigenschappen voor verschillende toepassingen.



Figuur 4.7 IJzer- Koolstof diagram

In figuur 4.7 is het ijzer-koolstof diagram weergegeven voor een koolstof percentage van 0% tot 6% en temperaturen van 600°C tot 1600°C.

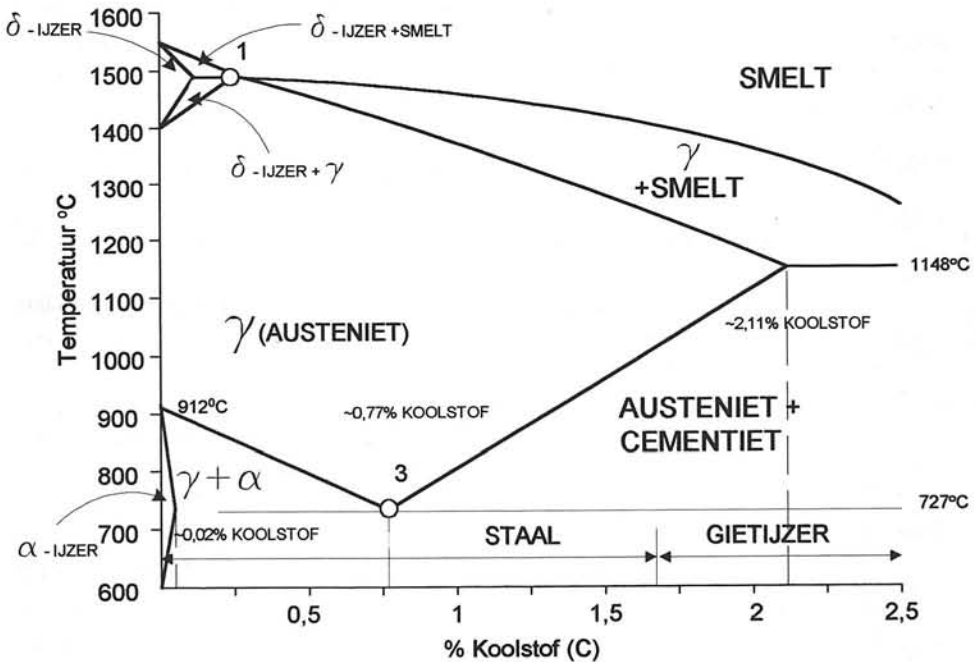
Aan de linkerrand van het diagram komt tussen 600°C en 912°C 'zuiver' ijzer voor, gedefi-



#### 4 Materialen en legeringen

nieerd als ijzer met een koolstof gehalte van max. 0,02%.

Bij temperaturen van boven de 1400°C komt eveneens zuiver ijzer voor, het zogenaamde  $\delta$ -ferriet. (zie fig. 4.8)



Figuur 4.8 IJzer - Koolstof diagram

Gezien de hoge temperatuur en het lage koolstofgehalte is de toepassing ervan beperkt.

Tussen 995°C en 727°C vormt zich austeniet ( $\gamma$ ).

Tussen 912°C en 727°C en bij minder dan 0,75% koolstof gaat het ijzerrooster bij langzame afkoeling over in  $\alpha$ -ijzer, *ferriet* en *austeniet* en vervolgens beneden 727°C in *ferriet* met *cementiet*, ook wel *perliet* genoemd.

Bij toenemende koolstofgehalten daalt de smelttemperatuur van ca 1500°C tot 1148°C bij ongeveer 4,3% koolstof.

In het ijzer-koolstof diagram laat zien dat verschillende soorten (drie) fase reacties voorkomen. Bij 1495°C en een laag (< 0,25%) koolstofgehalte zien we een zogenaamde *peritectische* reactie. (punt (1) in fig. 4.8 en 4.7).

De vloeistof (smelt) waarin de vaste stof ( $\delta$ -ijzer) voorkomt, gaat over in een vaste stof  $\gamma$ . (austeniet) (Het peritectische punt is gedefinieerd als  $L + S_1 \rightarrow S_2$  een vloeistof waarin een vaste stof ( $S_1$ ) voorkomt, geeft bij dalende temperatuur een vaste stof  $S_2$ ).

Bij 1148°C en 4.3% koolstof komt een eutectische punt voor. (punt (2) in figuur 4.7).

De vloeistof (smelt) gaat bij dalende temperatuur over in 2 vaste stoffen austeniet en cementiet. ( $L \rightarrow S_1 + S_2$ ).

De derde drie fase reactie komt voor als een eutectische vaste stof reactie  $S_1 \rightarrow S_2 + S_3$  waarbij bij 0,77% koolstof en een (langzaam) dalende temperatuur austeniet ( $\gamma$ ) overgaat in ferriet ( $\alpha$ ) en cementiet.

Bij meer dan 2.11% koolstof wordt de samenstelling *gietijzer* genoemd, beneden 2.11% koolstof staal. De meeste, in de scheepsbouw en offshore constructies toegepaste staalsoorten komen voor in een gebied dat ligt tussen 0,16% en 0,25% koolstof omdat austenitisch staal kan goed worden vervormd, bewerkt en gelast. Met het gehalte aan koolstof verandert de samenstelling van het staal en daarmee de eigenschappen.

De toename van de koolstof leidt tot de vorming van ander cementiet waarmee de broosheid van het materiaal toeneemt.

De mechanische eigenschappen van het staal kunnen worden beïnvloed door het afkoelen te versnellen of vertragen.

Door een snelle afkoeling in het autemitische gebied veranderen de evenwichtscondities voor de overgang naar ferriet en cementiet en kan de oplossing van koolstof in ferriet sterk toenemen. Er wordt dan martensiet gevormd, een samenstelling die extreem hard en bros is.

Koolstof komt in alle ijzerlegeringen voor en wordt daarom niet als een legeringselement beschouwd. Staalsoorten waarin geen andere elementen zijn toegevoegd, heten ongelegeerd staal.

#### 4.4 Ongelegeerd, zwak gelegeerd en gelegeerd staal

Wanneer legeringselementen worden toegevoegd, is er onderscheid naar zwak gelegeerd staal en gelegeerd staal. Zwak gelegeerd staal is gedefinieerd als staal dat minder dan 5% van elk legeringselement bevat.

Door het toevoegen van legeringselementen verandert de chemische samenstelling en worden de *mechanische eigenschappen* beïnvloed.

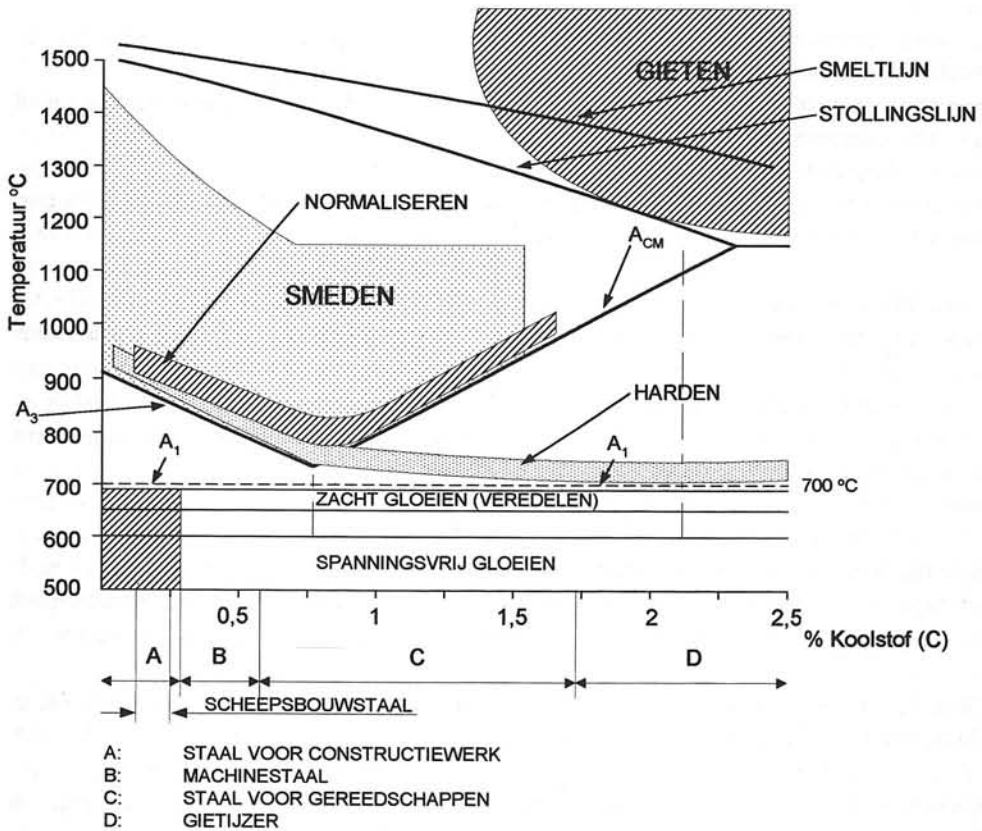
#### Ongelegeerd staal

Ongelegeerde staalsoorten worden ook onderscheiden naar de vaste stoffen fasen perliet, austeniet en martensiet.

De eigenschappen zijn te beïnvloeden door warmtebehandelingen en de snelheid van afkoelen. Zoals is aangegeven gaat boven 723°C bij 0,77% koolstof het ijzerrooster over van ferriet in austeniet. ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ). Koolstof lost alleen bij lage temperaturen op in ijzer. Zoals eerder is aangegeven ontstaat bij snelle afkoeling martensiet, omdat de koolstof zich niet uit kan scheiden om  $Fe_3C$  verbindingen te vormen. Door onmiddellijk hierna het materiaal te gloeien tussen 450°C en 600°C kan de taaheid worden verbeterd door de vorming van perliet en cementiet.

#### 4 Materialen en legeringen

Dit proces wordt ontlaten genoemd. Met behulp van het ijzer-koolstof diagram kunnen een aantal bewerkingen en processen worden verklaard. Dit is aangegeven in fig. 4.9



Figuur 4.9 Bewerkingen in het ijzer - Koolstof diagram

Uit het diagram is af te lezen dat zuiver ijzer bij ongeveer 1530°C smelt. Bij een koolstofpercentage van 4.3% smelt de samenstelling van ijzer en koolstof bij 1148°C.

In het gebied dat tussen een laag koolstofgehalte ( 0,02%) en 4.3% koolstof ligt, daalt de

smelttemperatuur (smeltlijn).

Dit maakt het aantrekkelijk om voor bepaalde toepassingen het koolstofgehalte te verhogen om daarmee de smelttemperatuur (en de daarvoor benodigde energie) te verlagen.

Met een hoger koolstofgehalte worden betere giettechnische eigenschappen verkregen.

Door het koolstofgehalte in de smelt te variëren kan de basis voor staal of gietijzer worden gelegd.

Tussen de temperaturen van 1495°C en 1148°C daalt bij een toenemend koolstofgehalte de stollingstemperatuur (stollingslijn).

In deze fase zijn in fig. 4.9 enkele bewerkingen en behandelingen aangegeven. Afhankelijk van het koolstofgehalte kan staal tussen 850°C en 1200°C worden gesmeed.

Het koolstofgehalte bepaalt eveneens de temperatuur waarbij het staal spanningsvrij wordt gegloeid, genormaliseerd of gehard.

Uit het diagram blijkt dat de beoogde functie van het staal bepalend is voor het koolstofgehalte en de behandeling. Met behulp van processen als normaal gloeien, spanningsvrij gloeien, harden en veredelen, kunnen de mechanische eigenschappen op de functie worden afgestemd.

Het symbool A-3 geeft daarbij de overgang aan van austeniet naar ferriet en cementiet. De A-3 lijn ligt op het eutectische punt. De Acm lijn geeft de overgang weer van austeniet naar austeniet en ferriet.

Voor constructiestaal wordt het materiaal 30°C-60°C boven de A-3 lijn verhit, gedurende langere tijd op deze temperatuur gehouden en vervolgens (beheerst) afgekoeld tot circa onder de A-1 lijn. (in een oven).

Bij het normaliseren wordt de temperatuur ca. 60°C boven de A-3 lijn gebracht en vervolgens in kamertemperatuur afgekoeld. Het proces is niet beheerst in de tijd en bijvoorbeeld niet geschikt voor constructies met variabele afmetingen omdat dit kan leiden tot verschillen in de afkoelingsperiode van de constructie. Dit heeft tot gevolg dat de mechanische eigenschappen per locatie kunnen verschillen, afhankelijk van de dikte en de geometrie van de constructie.

Wanneer de structuur van het materiaal door koud vervormen zodanig is veranderd dat er sprake is van verharding, kan het materiaal door een warmtebehandeling tot ca. 700°C (vlak onder de A-1 lijn) worden verbeterd. Door het materiaal enige tijd op temperatuur te houden en vervolgens te laten afkoelen, wordt weliswaar geen austeniet gevormd, maar de vorm van de samenstelling, de afmeting en verdeling van de structuur verandert.

De veranderingen in de structuur van het materiaal worden zowel door de temperatuur als de tijd beïnvloed. Dit verschijnsel wordt in de zgn T-T-T- diagrammen weergegeven, waarbij de transformatie van de structuur in relatie tot de temperatuur en de tijd worden weergegeven, die hier niet worden besproken.

De mechanische eigenschappen van het materiaal kunnen worden verbeterd zonder de chemische samenstelling te veranderen. Hiervan wordt bij het produceren van plaat en profiel gebruik gemaakt.

### Legeringen

Zwak gelegeerd of gelegeerd staal wordt verkregen door elementen aan staal toe te voegen. Daarmee verandert de structuur. De elementen beïnvloeden de temperatuur waarbij de structuur verandert, en daarmee de mechanische eigenschappen van het staal. De elementen moeten tijdens het hoogovenproces van het staal worden toegevoegd. Dit houdt in dat vóór de fabricage van staal de gewenste eigenschappen en chemische samenstelling bekend moeten zijn.

De meest voorkomende elementen in scheepsbouw staal zijn mangaan (Mn), Silicium (Si), Nikkel (Ni), Chroom (Cr), Molybdeen (Mo), Koper (Cu), Niobium (Nb), Vanadium (Vn), fosfor (P) en zwavel (S).

De effecten op de eigenschappen van het materiaal verschillen.

Mangaan en silicium verhogen de treksterkte en de rekgrens maar verlagen de rek, evenals chroom en molybdeen en verbeteren de lasbaarheid mangaan bindt stikstof dat de kwaliteit van de las negatief beïnvloedt). Zwavel en fosfor verminderen de lasbaarheid van het materiaal evenals koolstof. De samenstelling van het materiaal heeft eveneens grote invloed op de brosheid, krimpsterkte en de scheurgevoeligheid.

Het lassen van staal is gedurende een lange periode een probleem geweest omdat vaak brosse breuk optrad de brosheid van de staallegering wordt bepaald met behulp van de kerfslagwaarde, die afhankelijk is van onder meer de temperatuur en de samenstelling van het materiaal).

Brosse breuken kunnen meerdere oorzaken hebben zoals de (lage) temperatuur, de aard van de belasting en onvolkomenheden in het materiaal. Omdat er een relatie is tussen de brosse breuk en lage temperaturen wordt voor de bepaling van de vereiste kerfslagwaarde van het staal gebruik gemaakt van het overgangsgebied waarin bij een dalende temperatuur de breuk verandert van een vervormingsbreuk in een brosse breuk (zie figuur 4.12)

### 4.5 De eigenschappen van staal

Uit het bovenstaande blijkt dat de eigenschappen van staal bepaald worden door meerdere factoren die afhankelijk zijn van de fabricage van staal, de warmte behandeling, de bewerkingen (koud vervormen, branden, snijden en lassen) en de omstandigheden waarin het staal wordt gebruikt (soort van de belasting, omgevingstemperatuur etc.).

Gedurende het proces van staalfabricage, warmtebehandeling en de bouw van een schip is het derhalve van belang dat door middel van controles tijdens het proces wordt nagegaan of het staal aan de eisen blijft voldoen.

Voor de toepassing in de scheepsbouw en offshore worden daartoe de eigenschappen van staal kort besproken.

## Mechanische eigenschappen

Van belang zijn:

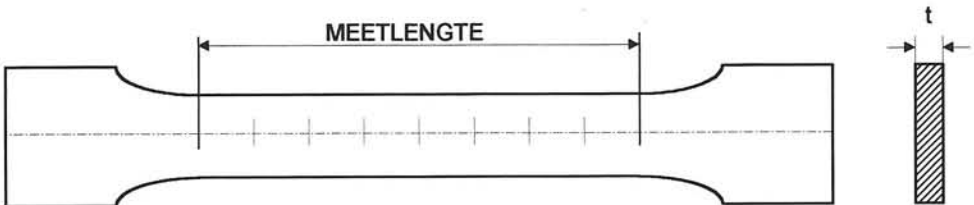
- de sterkte
- de kerfslagwaarde
- de vermoeingssterkte.

### Sterkte

Zoals eerder is opgemerkt worden deze eigenschappen bepaald tijdens de productie van staal (de hoogovens en de oven- processen), de samenstelling, de warmte behandeling en de bewerkingen tijdens het fabricageproces.

De standaard trekproef levert informatie op over de sterkte eigenschappen van het materiaal. Door het aanbrengen van een belasting kan het gedrag van het materiaal in het *elastische* en *plastische* gebied worden bepaald.

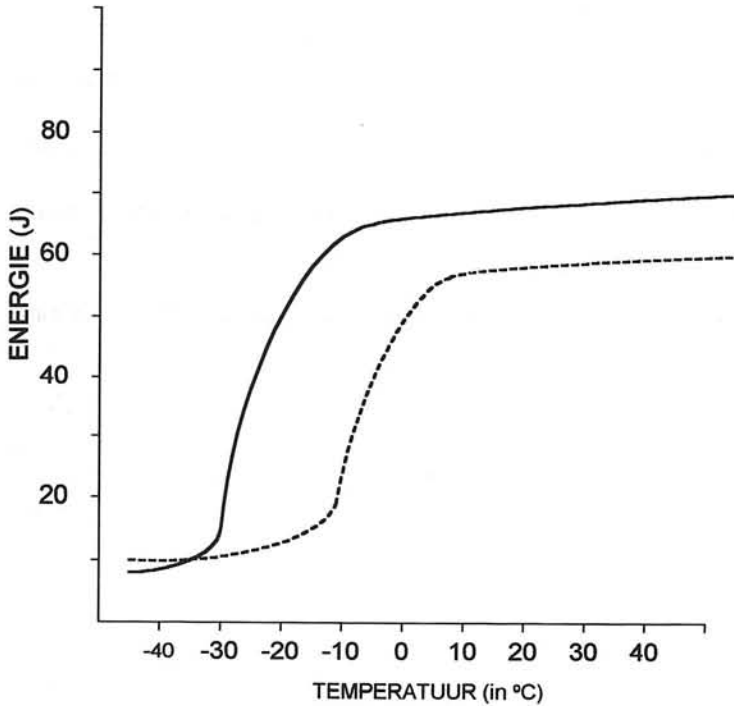
Het resultaat van de proef is een kromme waarin de relatie tussen de belasting en de verlenging is weergegeven. Door de belasting te delen door de oorspronkelijke dwarsdoorsnede van de staaf en de verlenging door de oorspronkelijke lengte (zie fig. 4.10 en 4.11) worden de spanningen van de vloeigrens, de breukgrens en de rek bepaald.



Figuur 4.10 Proefstaaf

Tot punt (1) in fig. 4.11 is de spanning recht evenredig met de rek. Punt (1) wordt dan ook de proportionaliteits- of evenredigheids punt genoemd. Het materiaal voldoet aan de wet van Hooke die zegt dat de spanning recht evenredig is met de rek.

De verhouding van spanning en rek in dit gebied wordt de elasticiteits modulus genoemd. (E). Bij belastingen boven de elasticiteitsgrens treedt plastische vervorming op. Bij het koude vervormen (walsen, persen en buigen) wordt hiervan gebruik gemaakt. Er zijn dus middelen nodig om de overgang van heet staal van het elastische naar het plastische gebied vast te kunnen stellen.



Figuur 4.11 Trekkromme

Staal met een laag koolstofgehalte, zoals voor de scheepsbouw, heeft een vloeigrens (yield point). Er wordt onderscheid gemaakt tussen de bovenste vloeigrens (2), waar de rek toeneemt, maar de spanning daalt en de onderste vloeigrens (3) waarbij toenemende rek de spanning weer toeneemt. Punt (4) in fig. 4.11 geeft de treksterkte (tensile strength) weer. De maximale belasting gedeeld door de oorspronkelijke doorsnede.

Punt (5) is het breekpunt.

In de tabellen waarin de (vereiste) eigenschappen worden vermeld, geeft men de onderste vloeigrens (yield stress) en de treksterkte (tensile strength) weer.

Bij relatief taaie materialen als scheepsbouwstaal is de breekssterkte lager dan de treksterkte, na punt (4) snoert het materiaal van de trekstaaf in en breekt vervolgens.

Bij brose materialen zoals gietijzer treedt meestal breuk op voor dat insnoering plaatsvindt.

### Kerfslagwaarde

Naast de trekproef worden ook hardheids-, buig- en torsieproeven uitgevoerd. Dit zijn proeven die de statische mechanische eigenschappen bepalen.

Bij slag- of stootbelastingen kunnen andere eigenschappen van het materiaal vragen.

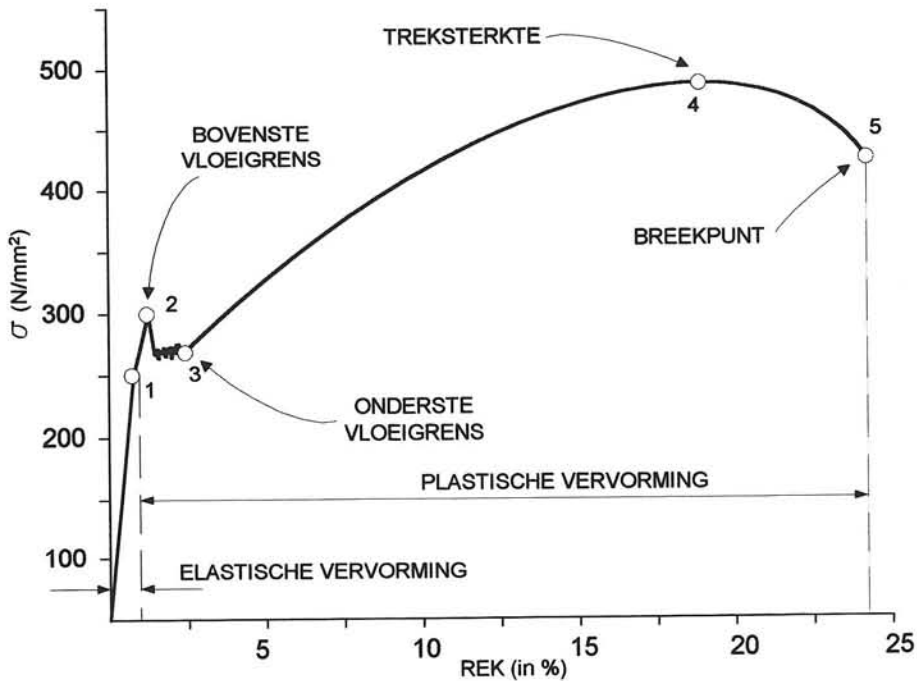
De methode die gebruikt wordt om de kerfslagwaarde van het materiaal te bepalen is de *kerfslagwaarde* volgens Charpy (Charpy V-notch impact test).

Bij een kerfslagproef bepaalt men de energie die nodig is om met één slag een ingekerfde proefstaaf te breken.

Bij een brose breuk (een breuk zonder deformatie) is het oppervlak van het breukvlak van het proefstuk (staal) vlak en glinsterend. Bij een vervormingsbreuk is de plastische deformatie zichtbaar.

Bij dalende temperaturen treedt bij scheepsbouwstaal een abrupte overgang op bij een klein temperatuursverschil.

De opname van energie neemt plotseling af. Het gedrag van het materiaal hangt nauw samen met de legeringselementen en de warmtebehandeling.



Figuur 4.12



In figuur 4.12 zijn twee staalsoorten van ongeveer gelijke samenstelling weergegeven. Het materiaal dat weergegeven is met de gestippelde lijn wordt bros tussen 0°C en - 5°C, het andere materiaal tussen - 25°C en - 30°C. Dit verschijnsel is van belang voor de toepassing van staal dat voor lage temperaturen geschikt moet zijn.

#### **De vermoeiingssterkte**

Wanneer een constructie is onderworpen aan wisselende belastingen, kan breuk optreden. Dit kan voorkomen zonder dat de vloeigrens of treksterkte wordt overschreden. Om dit verschijnsel te onderzoeken worden vermoeiingsproeven uitgevoerd, waarbij gelijke proefstaven aan wisselende belastingen worden onderworpen, waarbij de proefstaven steeds lager worden belast.

Op deze wijze zijn de zogenaamde Wöhlerkrommen geconstrueerd, waarbij men vast heeft kunnen stellen dat onder een bepaalde belasting bij een toenemend aantal wisselingen geen breuk meer optreedt. Dit verschijnsel is van belang voor *dynamisch belaste constructies*.

#### **Chemische eigenschappen**

De chemische eigenschappen zijn bijvoorbeeld van belang voor de corrosievastheid van een materiaal. Onbehandeld (niet geschilderd) scheepsbouwstaal is corrosiegevoelig omdat zich roest vormt dat na enige tijd de mechanische eigenschappen kan beïnvloeden.

Corrosie preventie is daarom zowel tijdens het productieproces op de werf belangrijk.

Om een stalen schip tegen het agressieve zeemilieu te beschermen is een goed verfsysteem, in combinatie met kathodische bescherming van groot belang voor de levensduur.

Door het toevoegen van bepaalde elementen (Cr, Ni, etc.) kan de *corrosie vastheid* worden verbeterd.

#### **Technologische eigenschappen en bewerkingen**

Onder bewerkingen worden hier verstaan machinale bewerkingen, vervormen, branden, snijden en lassen. De technologische eigenschappen van het materiaal bepalen de wijze waarop de bewerkingen kunnen worden uitgevoerd.

Gietijzer is goed machinaal te bewerken, niet te vervormen en slecht lasbaar.

De keuze van het materiaal beïnvloedt de kosten van de bewerkingen. De eisen die vanuit productie overwegingen (kwaliteit en kosten) aan het constructiestaal voor scheepsbouw en offshore worden gesteld zijn.:

- goed koud te vervormen
- goed te branden en te snijden
- goed lasbaar.

De eigenschappen van het materiaal mogen als gevolg van de bewerkingen niet negatief worden beïnvloed. Met koud vervormen en lassen zullen de eigenschappen veranderen. Bij het koud vervormen kan het materiaal harder en brosser worden waardoor het risico van scheurvorming kan ontstaan. Bij het lassen wordt het moedermateriaal vloeibaar en worden nieuwe

elementen aan het vloeibare materiaal toegevoegd. Dit zijn redenen om bij het construeren en bewerken aandacht te schenken aan de vormgeving van de constructie en rekening te houden met de bewerkingen die voor het realiseren van de constructie nodig zijn.

#### **4.6 Samenvatting**

In het dagelijks gebruik worden de begrippen ijzer en staal vaak verwisseld. Het woord ijzer wordt in de techniek vrijwel alleen gebruikt om het element Ferrum aan te duiden. Zuiver ijzer komt in de praktijk vrijwel niet voor omdat in ijzer bijna altijd en ijzerlegeringen koolstof aanwezig is. Het metaal is 'verontreinigd' met koolstof en andere elementen. Koolstof beïnvloedt de eigenschappen van het ijzer.

Het koolstofgehalte geeft het onderscheid aan tussen ijzer en staal. Is er 1,75% of meer koolstof aanwezig, dan spreekt men wel van gietijzer of ruwijzer. De naam gietijzer is echter enigszins misleidend.

Koolstof beïnvloedt de eigenschappen van het materiaal.

Gietijzer onderscheidt zich van gietstaal dat veel minder koolstof bevat (max. 0,4% C). Wanneer ijzer minder dan 1,75% bevat, spreekt men van staal.

Gietijzer en ruw ijzer zijn in het algemeen bros en hebben een naar verhouding laag smeltpunt van b.v. 1148 graden Celsius bij 4,3 % koolstof. Het kan daarom vrij gemakkelijk vloeibaar in vormen gegoten worden.

Het smeltpunt van staal ligt veel hoger. Het lage koolstof gehalte maakt dat het staal smeedbaar, walsbaar en lasbaar en ook taai en sterk is. 'Ijzeren voorwerpen' zijn vrijwel allen van 'staal' en niet van ijzer. Men dient dan ook te spreken van betonstaal, staaldraad en staalhandel.

De eigenschappen van het staal veranderen bovendien door de aanwezigheid van andere elementen in het materiaal. Sommige elementen verbeteren de eigenschappen en worden daarom toegevoegd tijdens het productieproces van het staal, andere elementen hebben een ongunstige invloed omdat bijvoorbeeld de lasbaarheid afneemt.

De diverse staalsoorten worden niet alleen onderscheiden naar de chemische samenstelling, maar ook naar de kristalstructuur, kristalvorm en kristalgrootte met de daaruit voortvloeiende eigenschappen. Bij de chemische samenstelling zijn naast het koolstofgehalte de aanwezigheid van gewenste elementen, zoals mangaan (Mn), silicium (Si), nikkel (Ni), chroom (Cr), molybdeen (Mo) en vanadium (Va) en ongewenste elementen, zoals fosfor (P), zwavel (S), zuurstof (O), stikstof (N), waterstof (H) en koper (Cu) van belang.

Staalsoorten worden ingedeeld in groepen naar de mate waarin zij gelegeerd zijn of het toepassingsgebied van de staalsoort.

De indeling van staalsoorten ligt vast in normen. Ongelegeerde staalsoorten vragen naast koolstof geen grotere gehalten aan elementen dan de norm voorschrijft. Het materiaal wordt meestal vastgelegd aan de hand van de mechanische eigenschappen of toepassingsgebieden.

Gelegeerd staal is onderverdeeld in zwak gelegeerd staal, de elementen hebben alle een gehalte van minder dan 5% en gelegeerd staal. Het materiaal wordt vastgelegd op grond van de chemische samenstelling en de nabehandeling, een proces van afkoelen en warmtebehandelingen.

De materiaalaanduidingen, met behulp van de chemische samenstelling, geschiedt volgens vastgestelde normen en regels.

Koolstof lost alleen bij hoge temperaturen in ijzer op. Het ijzerrooster gaat bij een bepaalde temperatuur over van ferriet in austeniet, voor ongelegeerd staal met 0,77% koolstof is dit bij 727°C. Het staal krijgt met behulp van een warmtebehandeling dus andere eigenschappen.

Bij bepaalde bewerkingen gebruikt men dit verschijnsel, bijvoorbeeld bij het smeden of normaal gloeien. Het is eveneens mogelijk de hardheid te beïnvloeden of het harde materiaal taai te maken (uitlaten).

De warmtebehandelingen kunnen worden aangegeven in een ijzer-koolstof diagram, samen met de invloed van de behandelingen op de eigenschappen van het materiaal.

#### 4.7 Aanbevolen literatuur

- 1 'Introduction to Material Science for Engineers', James F. Shackelford, Mac Millan, 1985
- 2 'Manufacturing Engineering', Kenneth C. Ludeman, R.M. Caddell, A.G. Atkins, Practice Hall, 1987
- 3 'Ship Production', Richard Lee Storch, Collin P. Hammon, Howard M. Bunch, Cornell Maritime Press, 1988
- 4 'Engineering Properties of Steel', ASM, Metal Park, Ohio, 1982
- 5 'Materials and Processing in Manufacturing', E. Paul De Garmo, J. Temple Black, Ronald Kohser MacMillan, Publishing Company, 1998

## 5

### Van ijzererts naar plaat en profiel

De productie van staal is een voorbeeld van een proces-industrie (zie hoofdstuk 1). Dit hoofdstuk behandelt de in drie elkaar opvolgende fasen van de productie van staal, te weten:

- de vervaardiging van ruwijzer in hoogovens,
- de bereiding van staal uit ruwijzer en schroot in staalovens of convertors,
- het walsen van het staal tot platen, profielen en staafmateriaal en
- het gieten.

#### 5.1 Het hoogovenproces

In een hoogoven wordt met behulp van koolstof, cokes, het ijzererts gereduceerd tot brosjijzer dat voor direct gebruik te veel koolstof bevat.

Om een deel van de aanwezige koolstof en zoveel mogelijk zwavel en fosfor te verbranden, wordt het ruwijzer gemengd met staalschroot in convertors of staalovens en in vloeibare toestand weer intensief met zuurstof in contact gebracht. Gelijktijdig optimaliseert men het mangaan en silicium gehalte.

Tijdens en direct na het aftappen van het staal voegt men voor het verbeteren van de staalkwaliteit additionele elementen toe, het zogenaamde corrigeren. Bij het aftappen en tijdens het afkoelen van het staal neemt men maatregelen om ongewenste elementen in gasvorm af te voeren, of deze elementen in het afkoelende materiaal op een zodanige plaats te laten stollen dat deze kunnen worden verwijderd. Een andere methode is de elementen homogeen in het materiaal te verdelen, om daarmee de schadelijke invloed te beperken.

#### De grondstoffen (primaire invoer)

De primaire invoer van het proces bestaat uit ijzererts, cokes en toeslag.

Cokes, benodigd voor het reduceren van het erts, wordt vervaardigd in cokesfabrieken uit fijnkool.

De toeslag, bestaande o.a. uit kalksteen ( $\text{CaO}$ ), mangaanerts ( $\text{MnO}_2$ ) en dolomiet, wordt toegevoegd voor de vorming van een dun vloeibare slak die ongewenste elementen als zwavel en fosfor opneemt.

Het geheel van erts, cokes en toeslag wordt in een zodanige vorm in de oven gebracht dat de reducerende gasstroom, 'wind', gelijkmatig door de gehele massa van onderaf naar de top van de oven kan stromen. Dit vermindert stofvorming, bespaart grondstof, versnelt de productie en vergroot de regelbaarheid van het proces. Daarom worden de grondstoffen in de 'erts-voorbereiding' gemengd en in de juiste vorm en samenstelling gebracht.

**De erts-voorbereiding**

De erts-voorbereiding bestaat uit het op maat breken van erts, cokes en toeslag, het gedeeltematig sinteren (elementen die een begin van smelten vertonen en daardoor aaneenklitten) in een sinterfabriek of het tot pellets verwerken in een pelletfabriek. Tijdens het sinterproces worden fijngemalen erts, cokes en toeslag in de juiste verhouding gemengd, op een lange transportband (circa 50 meter) met een kettingrooster tot grote harde stukken samengesteld, die vervolgens op maat worden gebroken.

Pellets, ronde gesinterde knikkers van ongeveer 12 mm diameter, bestaan uit zeer fijn gemalen erts, cokes en toeslag, die met behulp van roterende trommels in vorm worden gebracht en daarna worden gebrand. Door ertsen van verschillende herkomst en samenstelling te mengen ontstaat een toevoer die de hoge interne gewichtsdruk in de oven zonder te vergruizen kan opnemen.

	Sinter	Pellets
<b>Fe</b>	57.0	65.0
<b>FeO</b>	10.0	0.3
<b>CaO</b>	11.5	0.3
<b>SiO<sub>2</sub></b>	5.1	3.5
<b>MgO</b>	1.8	1.8
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.2	0.002
<b>CaO/SiO<sub>2</sub></b>	2.25	0.06

Tabel 5.1. Samenstelling Sinter en Pellets in procenten bij de Hoogovens IJmuiden.

**De fabricage van cokes**

Daar steenkool in een hoogoven gemakkelijk verpulvert en de bruikbare grote stukken tot de duurste soorten steenkool behoren, wordt voor het reductieproces in een hoogoven gewoonlijk cokes gebruikt, gemaakt uit fijnkool. Door de fijnkool te verhitten tot ongeveer 1000° C, onder afsluiting van lucht, ontstaat vrijwel zuivere koolstof en cokesgas. Het asgehalte van cokes is rond de 8 procent.

**De hoogovens**

In figuur 5.2 zijn de afmetingen van een hoogoven te zien. De oven is meer dan 40 meter hoog, heeft een maximale diameter van meer dan 10meter. Met de constructies er omheen voor de aanvoer van erts, materialen en de afvoer van het ruwijzer beslaat één oven een oppervlak van ongeveer 45 x 45 meter en een hoogte van meer dan 45 meter.

De activiteiten van het hoogoven proces bestaan uit de aanvoer en bereiding van de grondstoffen en het hoogovenproces zelf.



*Figuur 5.1 De Hoogovens te IJmuiden*

De belangrijkste installaties van en rond een hoogoven zijn:

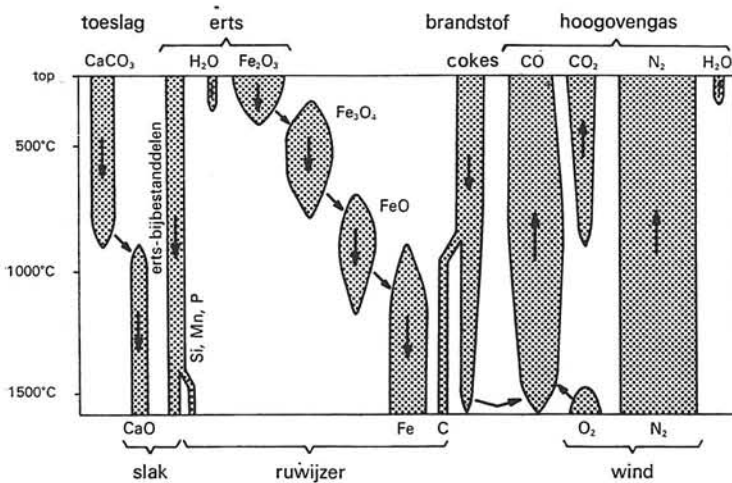
- het fundament
- het ovenhuis
- de klok-installatie
- de opgaande lift
- de toevoerbunkers
- de windtoevoer en windverhitters
- de gietbrug
- de granulatie
- de gasreiniging.

De belangrijkste delen van de eigenlijke hoogoven zijn:

- boven de eigenlijke oven, de gasafvoer en grondstoftoevoer via de klok-installatie.



ven. De breedte van de kolommen is evenredig met de per tijdseenheid doorstromende gewichtshoeveelheid. Op de verticale as is de temperatuur aangegeven.



Figuur 5.3 Verloop hoogovenproces

Voor het reductieproces is veel zuurstof nodig die met behulp van voor verhitte perslucht, 'wind', in de oven wordt gebracht. Deze wind wordt voorverwarmd met behulp van drie of vier windverhitters waarvan om beurten steeds twee met hoogovengas warm gestookt worden terwijl een derde de wind verwarmt.

Het windverbruik is circa 2 ton wind per ton ruwijzer en varieert van 1600 tot 2600 m<sup>3</sup>/min.

Het reductieproces komt op gang wanneer de wind 500° à 600° C is.

Daar aanvankelijk elke verhoging van de windtemperatuur met 100° C een cokesbesparing van 4% geeft, houdt men een windtemperatuur rond de 800° C aan. Bij hogere temperaturen neemt het cokesverbruik namelijk weer toe.

Een verhoging van de productie kan worden gerealiseerd door:

- naast de wind olie te injecteren,
- de wind met zuurstof te verrijken en
- poederkool te injecteren.

De chemische processen die in de hoogoven plaats vinden zijn:

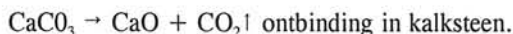
Het continue reductieproces:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$

Bij 1000° C:  $\text{CO} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2\uparrow$



Bij 1400° C: De directe reductie:  $C + FeO \rightarrow Fe + CO$

Bij 1600° C: De vorming van slak en de ontbinding in kalksteen:



Bij 2000° C:  $O_2 + 2C \rightarrow 2CO + \text{warmte}$

Er treedt ten gevolge van de voorverhitte windtoevoer, die de toename van de temperatuurtoename veroorzaakt, een verbrandingsproces op.

Bij alle temperaturen speelt het evenwicht:  $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$ .

### De elementen fosfor, zwavel, silicium en mangaan

Fosfor, zwavel, silicium en mangaan zijn belangrijke elementen in staal. Vandaar dat er bij het hoogovenproces naar gestreefd wordt de in het ruwijzer aanwezige hoeveelheden af te stemmen op de daarop volgende staalfabricage.

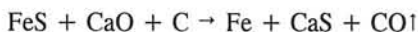
Zwavel en fosfor zijn daarbij niet gewenste elementen en silicium en mangaan, binnen zekere grenzen, gewenste elementen.

### Fosfor

Het fosfor in het calciumfosfaat uit het erts wordt geoxydeerd tot  $P_2O_5$ . Na de reductie door de koolstof lost het fosfaat in het ijzer op. Slechts een gedeelte gaat in de slak weer over tot calciumfosfaat. Fosfor kan dus niet in de slak vastgehouden worden. Het fosfor-gehalte van ruwijzer is in grote mate afhankelijk van het fosfor-gehalte van het erts.

### Zwavel

De zwavel, afkomstig uit het erts en de cokes, kan men met behulp van een basische slak met een zeer hoog CaO gehalte verwijderen.



Men dient echter te voorkomen dat in de slak teveel FeO voorkomt omdat dan



Wanneer een hoog mangaan-gehalte in het ijzer aanwezig is, wordt een gedeelte van de zwavel in de vorm van MnS met de slak afgevoerd.

### **Silicium**

Silicium in de vorm van  $\text{SiO}_2$ , afkomstig uit het erts, wordt bij een hoge temperatuur gereduceerd tot Si dat in ruwijzer oplost. Het oxyde lost in de slak op. Naarmate de temperatuur wordt opgevoerd, stijgt ook het silicium-gehalte in het ruwijzer.

### **Mangaan**

Het in het erts aanwezige  $\text{MnO}_3$  is moeilijker te reduceren dan de ijzeroxyden. Dit heeft tot gevolg dat slechts  $2/3$  van de toegevoerde hoeveelheden mangaan wordt gereduceerd en in het ruwijzer overgaat terwijl  $1/3$  deel met de slak wordt afgevoerd.

### **De eindproducten van een hoogoven**

De producten van een hoogoven zijn ruwijzer, gas en slak.

### **Ruwijzer**

Om de 4 à 6 uur wordt een hoogoven afgestoken en het ruwijzer opgevangen in een mengewagen. Door het ruwijzer met behulp van een continue gietmachine, een lopende band van gietvormen, tot gietelingen, broodjes te gieten, verkrijgt men een gemakkelijk naar de loongietereien te vervoeren eindproduct. Het grootste gedeelte van het ruwijzer gebruikt men voor de staalfabricage, zodat men dit deel met behulp van mengewagens voor verdere verwerking naar de staalfabricage rijdt. Tijdens het verblijf van het ruwijzer in de mengewagen neemt het zwavel-gehalte in het ruwijzer af, doordat mangaansulfide-delen opstijgen en in de slak overgaan. Vandaar dat men mengewagens niet direct naar de staalfabricage doorrijdt.

### **Hoogovengas**

Het hoogovengas kan na voldoende gereinigd te zijn voor verhitting worden gebruikt voor o.a. de windverhitters.

### **Hoogovenslak**

Door de slak af te koelen, te granuleren, ontstaat een korrelvormig slakzand dat als grondstof voor de cement-fabricage dienst kan doen.

### **Samenvatting**

In het hoogovenproces worden de ongewenste bestanddelen zo veel mogelijk verwijderd door middel van het reductieproces.

Fosfor en mangaan worden opgenomen in het ijzer. De oxyden van zwavel en silicium worden slechts gedeeltelijk gereduceerd en worden ook opgenomen door het ijzer.

Magnesium, aluminium en calcium worden door de slak opgenomen.

In de samenstelling van het ruwe ijzer worden alle genoemde bestanddelen teruggevonden:

- Koolstof (tussen de 3,0% en 4,5%)

## 5 Van ijzererts naar plaat en profiel

---

- Mangaan (tussen de 0,2% en 2,5%)
- Silicium (tussen de 1,0% en 3,0%)
- Fosfor (tussen de 0,2% en 2,0%)
- Zwavel (tussen de 0,0% en 0,1%)

### 5.2 De productie van staal tot blokken of slabs

Voor het bereiden van staal zijn in de loop der tijden veel processen toegepast.

Vroeger was er het puddelen, waarvan het converterproces van Bessemer (1855) en het converterproces van Thomas (1878) en de Martin-ovens (1864) de bekendste zijn.

De processen die nu gebruikt worden, zijn onder meer het *oxystaal proces* en het *electro-oven proces*.

Het hoofddoel van deze processen is het koolstof-, zwavel-en fosforgehalte te verminderen met behoud van het gewenste Si en Mn gehalte. Tevens worden (gewenste) extra legerings elementen toegevoegd en de (niet gewenste) in kleine hoeveelheden aanwezige elementen, die de kwaliteit verlagen, verminderd.

#### Converterprocessen

Kenmerkend voor de converterprocessen is dat, zonder directe brandstof toevoeging, slechts door het persen van lucht door de ruwijzerlading van een convertor (het zogenaamde frissen) oxydatie van Si, C, P en Mn plaats vindt waardoor voldoende warmte vrijkomt voor de, voor het afgieten, noodzakelijke temperaturen.

Tijdens het proces stijgt de temperatuur van de smelt, doordat het koolstofgehalte afneemt. De temperatuur neemt toe van 1200° C à 1400° C tot 1540° C.

De toename van de temperatuur van de smelt bij verbranding van 1% Si, C, P of Mn bedraagt respectievelijk: 190° C, 6° C, 120° C en 46° C.

C verbrandt in de converter tot CO en boven de mond van de converter tot CO<sub>2</sub>. De verbrandingsvolgorde is Si, C, P, terwijl Mn gedurende het gehele proces oxydeert.

#### Het Bessemer proces

Bij het oudste converterproces, het Bessemer proces, ging men uit van ruwijzer met een hoog Si en Mn gehalte. Men kende slechts een zuur reagerende silicaat converterbekleding, zodat men genoodzaakt was een zure slak toe te passen, welke geen P en S op kon nemen. Vandaar dat staal uit die tijd een hoog gehalte P en S had en daardoor niet te lassen was.

#### Het Thomas proces

Thomas verving de zure converterbekleding door het basische dolomiet, magnesium-calciumcarbonaat. Een basische slak neemt P en S op. De fosforhoudende slak werd als Thomas-slakkenmeel als kunstmest toegepast.

De nadelen van deze processen waren:

- door de korte duur van het proces, ongeveer 20 minuten, kon men het proces weinig beïnvloeden.
- door het gebruik van lucht als oxydatiemiddel wordt het N en O gehalte van het staal hinderlijk groot.
- er blijven slakdelen in het afgegoten staal achter.

### **De ovenprocessen**

#### **Het Martinproces (Open hearth)**

Het Martinproces is genoemd naar de uitvinders, de gebroeders Martin. Gestimuleerd door grote hoeveelheden schrot pasten de Martins het Siemensstelsel, voor het smelten van glas, toe voor het oxyderen van ruwijzer gemengd met schrot. Daarbij was kenmerkend het langzame verbranden van koolstof met behulp van een oxyderende vlam die over het oppervlak van de smelt strijkt.

Daar dit proces langzaam verloopt (6 à 10 uur) heeft men de gelegenheid het verloop van het proces te volgen en bij te sturen met behulp van toevoegingen en door het vernieuwen van de slak. Het nadeel was dat de vlam een toename van het zwavelgehalte kan veroorzaken.



5.4.1

5.4.2

5.4.3

*Figuur 5.4 Het Siemens-Martin proces*

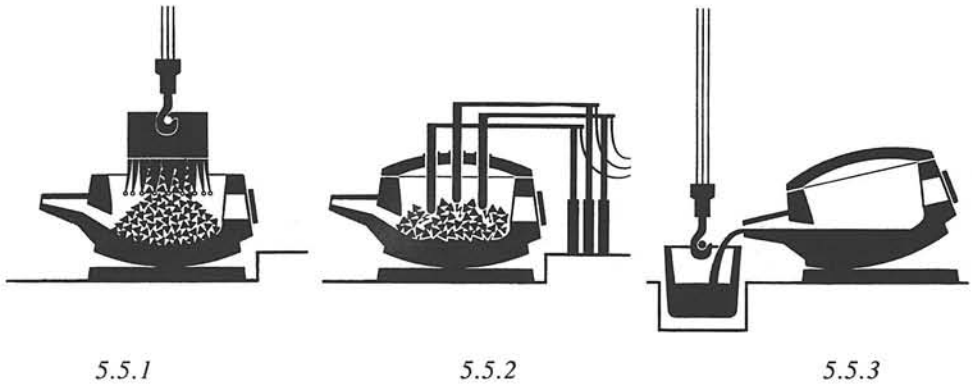
*5.4.1 De lading van Siemens-Martinoven bestaat uit schrot, dat met een laadmachine wordt toegevoerd, en uit vloeibaar ruwijzer; de gewichtsverhouding van schrot en ruwijzer kan sterk variëren.*

*5.4.2 Oliebranders of gasbranders zorgen voor de toevoer van de benodigde warmte; in een stelsel van onder de oven geplaatste kamers wordt de warmte van de afvoergassen benut voor het verhitten van de verbrandingslucht.*

*5.4.3 Tijdens het aftappen van de oven kunnen toeslagstoffen worden toegevoegd; de slak wordt in een slakkenpan opgevangen.*

### **Electro-ovens (Electric process)**

Bij het gebruik van electro-ovens gaat men op dezelfde wijze te werk als bij het Martinproces, alleen de verhitting wordt verkregen door vlambogen die met behulp van grote elektroden tussen de slak en smelt en de elektroden getrokken worden of door het opwekken van inductieve elektrische stromen in de smelt. Bij deze wijze van verhitting kan men met behulp van toevoegingen en wisselen van de slak het gehele proces nauwkeurig regelen. Vandaar dat dit proces voor staalsoorten die aan hoge kwaliteitseisen moeten voldoen, gelegerde staalsoorten, wordt toegepast.



5.5.1

5.5.2

5.5.3

**Figuur 5.5** *De electro-oven*

5.5.1 *Het schrot wordt in de electro-oven geladen met behulp van een stalen mand; de bodemsegmenten daarvan zijn samengebonden door een touw dat verbrandt door de hitte van de oven.*

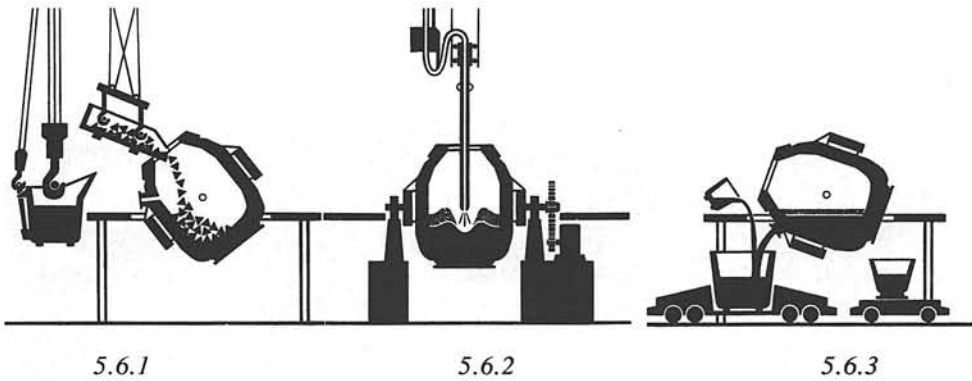
5.5.2 *De benodigde warmte wordt toegevoerd met behulp van elektrische lichtbogen die zich vormen tussen de drie elektroden (die in de oven worden neergelaten) en de lading.*

5.5.3 *De slak is reeds afgeschonken in een slakkenpan (door de oven naar rechts te laten kippen); de tekening laat zien hoe het staal wordt afgetaapt in de gietpan.*

**Het oxystaalproces (Oxygen process)**

Het oxystaalproces werd ontwikkeld door Voest in Oostenrijk en wordt daarom ook wel L.D.-proces, of Linz-Donawitz of Linzer Düsen proces genoemd. Het kenmerkende van het proces is dat een watergekoelde lans de zuurstof op het smeltoppervlak blaast. De zuurstofstraal voorkomt grotendeels de opname van stikstof door het staal.

Het proces is te intensiveren door via poreuze bodemstenen argongas toe te voegen, het bodemkorrelen of spelen, waardoor een intensievere circulatie in het bad en daardoor een intensivering van de chemische processen plaatsvindt. Zie ook de figuren 5.7 en 5.8 van de Oxystaalafabriek van de Hoogovens Staal in IJmuiden

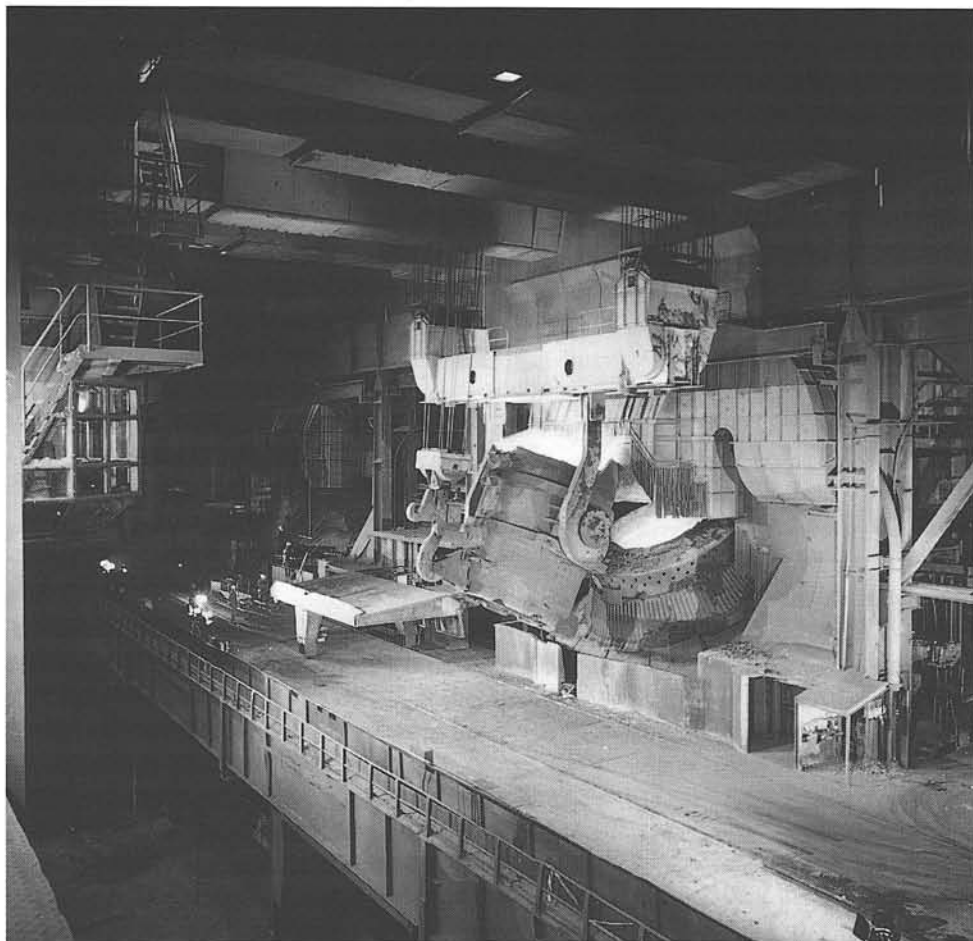


*Figuur 5.6 Het oxystaalproces*

- 5.6.1 De lading van een converter bestaat voor een deel (en ten hoogste 25%) uit schrot en verder uit vloeibaar ruwijzer.*
- 5.6.2 Zuivere zuurstof wordt op het bad geblazen waarbij het uiteinde van de zuurstoflans op ongeveer 0,75 meter boven de oppervlakte van het bad blijft.*
- 5.6.3 Het staal wordt na het raffinageproces in een gietpan gegoten. Afhankelijk van de gewenste staalsoort worden toelagstoffen bijgevoegd zoals silicium en aluminium; de slak wordt in een slakkenpan opgevangen.*

**Samenvatting**

Om het koolstofpercentage naar een aanvaardbaar niveau te brengen (tussen de 0,15% en 0,25%) zijn sinds de tweede helft van de negentiende eeuw verschillende processen toegepast. In de meeste hedendaagse ovenprocessen wordt zuurstof, of met zuurstof verrijkte lucht, over het gesmolten metaal geblazen om de koolstof te laten oxyderen tot kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en koolmonoxyde (CO) die uit het gesmolten materiaal ontsnappen. De andere bestanddelen worden eveneens geoxydeerd en worden in de slak opgenomen of lossen op in het gesmolten metaal.



*Figuur 5.7 Gietpan Oxystaalafabriek Hoogovens Staal te IJmuiden*



### 5.3 Het afgieten

Na het ovenproces moet het staal van de vloeibare in een vaste vorm worden gebracht om het geschikt te maken voor een volgende bewerking.

Het vloeibare staal kan daartoe in een meer of minder definitieve vorm worden gegoten (als gietijzer) of in een vorm die geschikt is voor verdere behandeling.

Het staal kan in blokken (ingots) worden gegoten of via een continu gietproces worden gegoten.

Na het ovenproces wordt het gietijzer afgetapt in een gietpan. Tijdens het afgieten in de gietpan kunnen nog stoffen worden toegevoegd. Na het aftappen kan de smelt in de gietpan nog worden verbeterd door middel van verhitten, ontgassen, roeren en het toevoegen van elementen om de gewenste samenstelling, zuiverheid en materiaaleigenschappen te bewerkstelligen.

Wanneer het vloeibare staal uit de gietpan wordt afgegoten, blijft de (drijvende) slak achter in de gietpan.

De smelt in de gietpan kan op verschillende manieren verder worden behandeld. De oudste methode is het afgieten van de pan in kokilles waardoor grote blokken staal ontstaan die later weer opnieuw opgewarmd en uitgewalst of gesmeed kunnen worden. Tegenwoordig vindt het continue staalgiet-proces de meeste toepassing.

#### Het blok-gieten

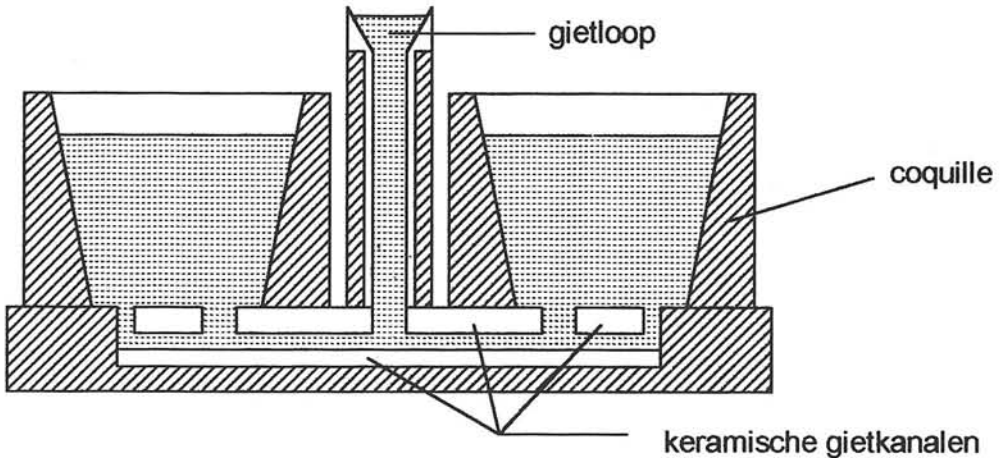
Bij het blok-gieten wordt het vloeibare staal in een gietvorm, de kokille (of ingot moulds), gegoten die van boven en van onderen open is.

Doordat de gietvorm los op een bekleed bodemvlak staat, kan het vloeibare staal van onderen niet uit de vorm weglopen. Nadat het staal is afgekoeld, kan men de vorm met het gestolde staal van het bodemvlak aftillen en het blok, de ingot, met behulp van speciale kranen uit de kokille drukken. Dit laatste is mogelijk omdat de kokilles naar onderen toe lossend (taps) worden uitgevoerd.

Ook na het gieten in de kokille kan het staal doorkoken. Heeft men echter het vloeibare staal gekalmeerd dan kunnen zowel in de pan als in de kokille slak en desoxydatiedelen opstijgen en in een slak overgaan.

De mate van desoxydatie, het stijgend of vallend blok-gieten en het al dan niet dekselen tijdens het afkoelen, bepalen de vorm, de kristalstructuur en de segregatie van het afgekoelde blok en daarmee de staalkwaliteit en het soort staal.

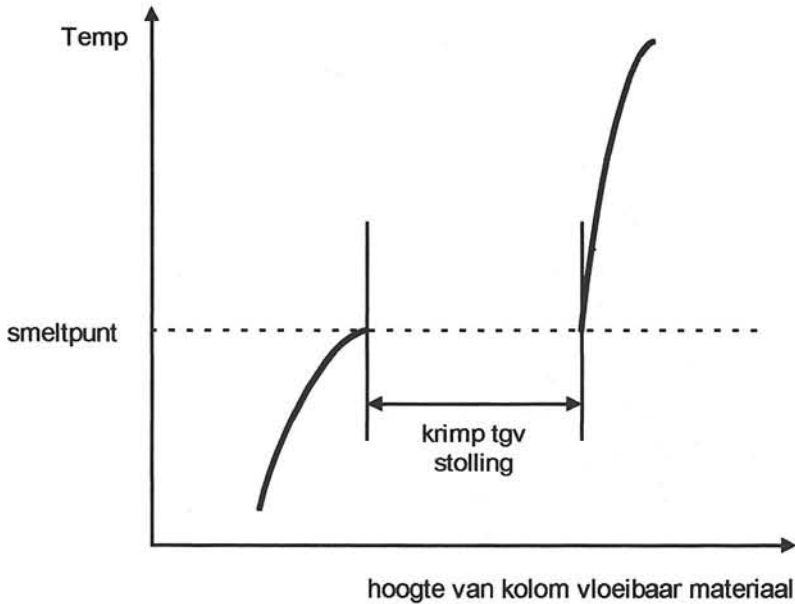
Omdat de slak en andere ongewenste stoffen stijgen, wordt de beste kwaliteit van de ingots bereikt door het afgegoten materiaal via de onderzijde in het gietblok te brengen. Keramische kanalen verbinden de gietloop met de ingots (zie figuur 5.8).



*Figuur 5.8*

Uit fig. 5.9 is de gelijktijdige stolling en krimp van het staal te zien. De figuur laat zien dat gedurende het stollingsproces verwacht mag worden dat krimpholtes daar ontstaan waar het laatste materiaal nog vloeibaar is tijdens het proces van het stollen. Op deze wijze ontstaan in het hart van de ingot holtes. In de krimpholte verzamelen zich alle resten van slak en in het materiaal treedt de zogenaamde segregatie op. De ingot bevat veel ongerechtigheden en de kop is onbruikbaar voor verdere bewerking. Het krimpen van het materiaal is niet te voorkomen, maar om de plaats en vorm te beïnvloeden zijn verschillende methoden ontwikkeld. Door de pot af te dekken (dekselen) en bovenzijde warm te houden, kan het staal aan de bovenzijde langzamer afkoelen waardoor de stolling naar de bovenzijde langzamer verloopt en over het gehele gelijkmatiger oppervlak plaatsvindt.

Gedurende de ovenprocessen en het afgieten wordt zuurstof in de smelt opgenomen. Tijdens het stollingsproces neemt de oplosbaarheid van de zuurstof en andere gassen (o.m. waterstof) in het materiaal af. De zuurstof bindt dan met de koolstof koolmonoxyde, waardoor een poreuze structuur ontstaat. Bij verdere verwerking van de ingot tot platen en profielen kan dit tot scheurtjes en andere (interne) onvolkomenheden in het materiaal leiden. Dit kan voorkomen worden door de ingots te desoxyderen door het toevoegen aan de smelt van aluminium, mangaan of silicium. Afhankelijk van het koolstofgehalte spreekt men van 'rimming steel', 'semi-killed steel' of 'killed steel'. De kwaliteit van de ingots kan verder worden verbeterd door het ontgassen van de smelt met elementen die de oplosbaarheid van de gassen verhogen. Om de opname van gassen te voorkomen zijn verschillende methoden ontwikkeld (vacuümtechnieken in combinatie met verwarmen).



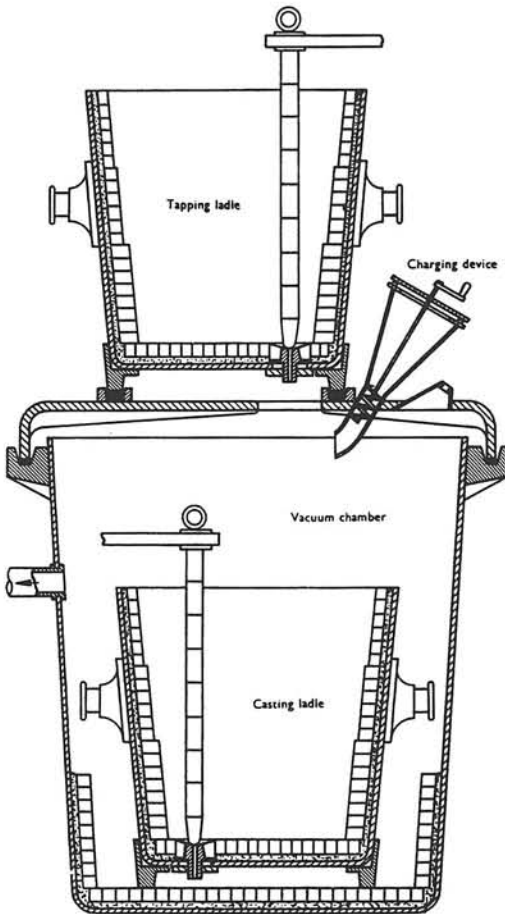
Figuur 5.9 Stolling en krimp

**Het corrigeren door middel van toevoeging van elementen.**

Nadat het staal in een gietpan afgegoten is, voegt men meestal stoffen toe om ongewenste gassen en stoffen gasvormig te laten ontwijken. Het staal in de gietpan kookt na, waarbij de nog aanwezige hoeveelheden zuurstof oxydatieprocessen doen plaatsvinden, waarbij een sterke gasontwikkeling plaatsvindt. Voegt men in de gietpan stoffen toe die de aanwezige zuurstof binden, b.v. ferrosilicium of aluminium, dan stopt het koken.

Men noemt dit kalmeren en het afgetapte staal noemt men dan ook gekalmeerd staal.

Men kan de kwaliteit van het staal nog meer verhogen door de smelt na het oxystaalproces na te behandelen in een gietpan waarbij men allerlei legeringselementen toevoegt en ongewenste aanwezige gassen uit de smelt zuigt door boven het smeltoppervlak vacuüm aan te brengen, de zogenaamde vacuümpanbehandeling. Ook bij dit proces kan men op allerlei wijzen de intensiteit van de chemische reacties beïnvloeden.



*Figuur 5.10 Het vacuüm ontgassingsstelsel*

**Effecten van het toevoegen van legeringselementen.**

De belangrijkste factoren bij het bepalen van de keuze van een staalsoort zijn:

- de prijs
- de kwaliteit, meestal bepaald door de eisen van de classificatiemaatschappijen.
- de levertijd
- de mogelijkheden van bewerken, vervormen en lassen waarmee bij een scheepswerf een belangrijk deel van de kosten gemoeid is.

## 5 Van ijzererts naar plaat en profiel

---

Deze factoren worden meer of minder beïnvloed door de eisen die aan het fabricageproces van staal worden gesteld en de elementen die aan het materiaal worden toegevoegd.

Voor een goede lasbaarheid is een laag koolstofgehalte gewenst en wordt gebruik gemaakt van legeringselementen om de gewenste treksterkte te verkrijgen en de problemen van bijvoorbeeld brose breuk, die samengaan met een hoger koolstofgehalte, te vermijden. De belangrijkste eisen zijn een hoge treksterkte, goede lasbaarheid, goed koud te vervormen (walsen, buigen, persen), goede vermoeiingseigenschappen, hoge kerfslag waarden bij lage temperaturen etc.

Daarom een kort overzicht van de effecten van de legeringselementen:

- zoals al is opgemerkt zijn mangaan, silicium en aluminium goed bruikbaar voor het desoxyderen.
- de structuur kan fijner van korrel worden gemaakt door de toevoeging van aluminium en vanadium.
- de sterkte kan worden verbeterd door de toevoeging van mangaan, silicium, nikkel en koper omdat deze legeringselementen vaste oplossingen vormen in het ferriet (raffineren).

Ieder legeringselement kan het staal bepaalde eigenschappen geven:

- mangaan wordt in alle scheepsbouwstalen aangetroffen. Het verbetert de sterkte eigenschappen en lost op met zwavel. Dit voorkomt de vorming van ijzer-sulfides die het materiaal bros en slecht lasbaar maken. Mangaan verhoogt de treksterkte zonder de rek te verminderen.
- Nikkel verhoogt de taaheid en de kerfslagwaarde, vooral bij lagere temperaturen. Evenals koper verhoogt nikkel de weerstand tegen corrosie.
- Chroom in kleine hoeveelheden verhoogt de sterkte, het geeft het materiaal een fijnere structuur.
- Molybdeen wordt ook gebruikt om de sterkte eigenschappen te verbeteren. Het materiaal krijgt een fijnere structuur en is daardoor minder bros.
- Vanadium is eveneens een legeringselement dat de sterkte eigenschappen van het staal verbetert, met name de elasticiteitsgrens en vloeigrens verhoogt en de kerfslagwaarde verbetert.
- Silicium verbetert evenals nikkel en chroom de sterkte eigenschappen zonder de taaheid van het materiaal al te zeer te verminderen.
- Koper verbetert evenals chroom en nikkel de weerstand tegen corrosie. De eigenschappen van het staal worden derhalve tijdens het fabricageproces bepaald. Een verdere verbetering van het materiaal is mogelijk door warmtebehandelingen.

### Staalgieten

Tijdens het stollen kan de kwaliteit van het staal worden beïnvloed door het proces.

De volgende staalsoorten worden onderscheiden:

- volledig gekalmeerd staal (Killed steel)
- onrustig staal (Rimming steel)
- halfrustig staal (Semi killed steel of Balanced steel).

### **Volledig gekalmeerd staal (Killed steel)**

Een staal is volledig gekalmeerd wanneer zoveel desoxydatiemiddel is toegevoegd dat ook tijdens het afkoelen het kookproces niet meer optreedt. De stolling begint vanaf de bodem en vanuit de blokwand, waarbij zich naaldvormige kristallen in de richting van het stolproces vormen. Bij de overgang van de vloeibare naar de vaste vorm neemt de oplosbaarheid van C, O, S, P, H en N in staal af, zodat gedurende het stollen de concentratie van deze elementen in het aanwezige nog vloeibare staal sterk toeneemt en daar aanleiding is tot stolpuntsverlaging.

Daar verder geen stroming van betekenis in het gekalmeerde staal optreedt, groeien de kristallen ook in de laatste vloeibare kern uit, zodat na het stollen van deze kern ten gevolge van krimp een grote slinkholte (lunker) boven in het blok ontstaat die verbonden is, tussen kristalnaalden door, met veel open ruimten boven in het blok. Daar dit gatenstelsel in de kop van het blok direct inwendig roest, is dit gedeelte niet meer aaneen te walsen, voor de verdere staalfabricage onbruikbaar en moet van het blok worden verwijderd. Het gevolg van deze werkwijze is dat het verloop van de chemische samenstelling van de voet naar de kop van het blok, de segregatie groot is.

### **Onrustig staal (Rimming steel)**

Wanneer men in mindere mate kalmeert, ontstaat ten gevolge van het koken een vloeistofstroming tijdens het afkoelen waardoor elementen vonkend kunnen ontsnappen. Waar de stolling snel plaats vindt, blijven gasresten achter waardoor het blok minder krimpt. Aan de bovenrand ontstaat een gestolde rand, de rim, met daarin een ronddraaiende slak. Ook bij deze wijze van afkoelen blijft in de top van het blok veel verontreiniging achter.

### **Halfrustig staal (Semi killed steel, balanced steel)**

De segregatie wordt tegengegaan door het afkoelende blok na enige tijd met een koud deksel af te sluiten, het zogenaamde dekselen. Hierdoor stolt de top van het blok en raken gassen en verontreinigingen inwendig opgesloten.

Door de toenemende druk tijdens het stollen ontstaan midden in het blok onregelmatig gevormde poriën. Het staal wordt bij dit proces vooraf vrijwel geheel gedesoxydeerd.

### **Staal afwijkingen die ontstaan bij het gieten van blokken.**

Het staalgieten in blokvormen vereist een grote deskundigheid ten aanzien van de keuze van de giettemperatuur, de gietsnelheid, de corrigerende bijmengsels en de afkoelsnelheid. De kop en de voet van een blok worden gewoonlijk verwijderd en niet gewalst. Daar segregatie en poreusiteit echter in het gehele blok voor kunnen komen, vindt men deze ook en dan

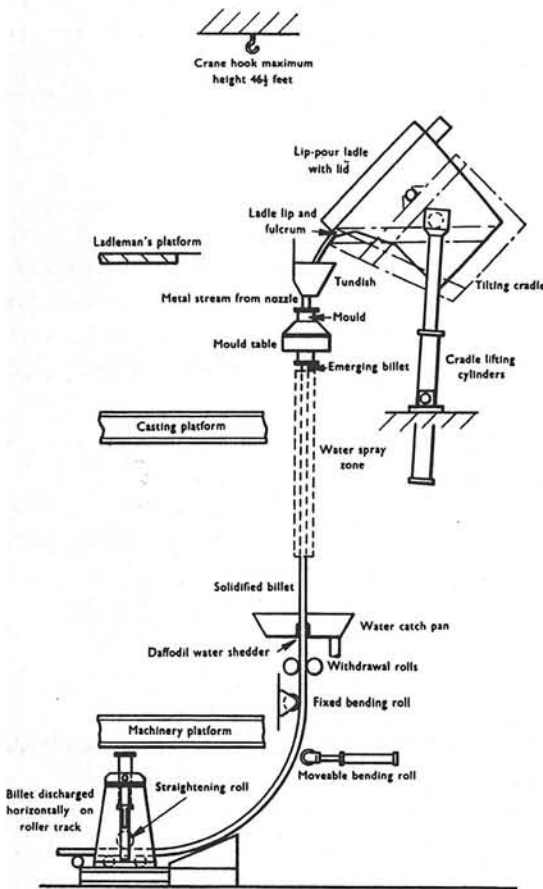
ongewenst in de walsproducten terug.

**Continu gieten (Continuous casting)**

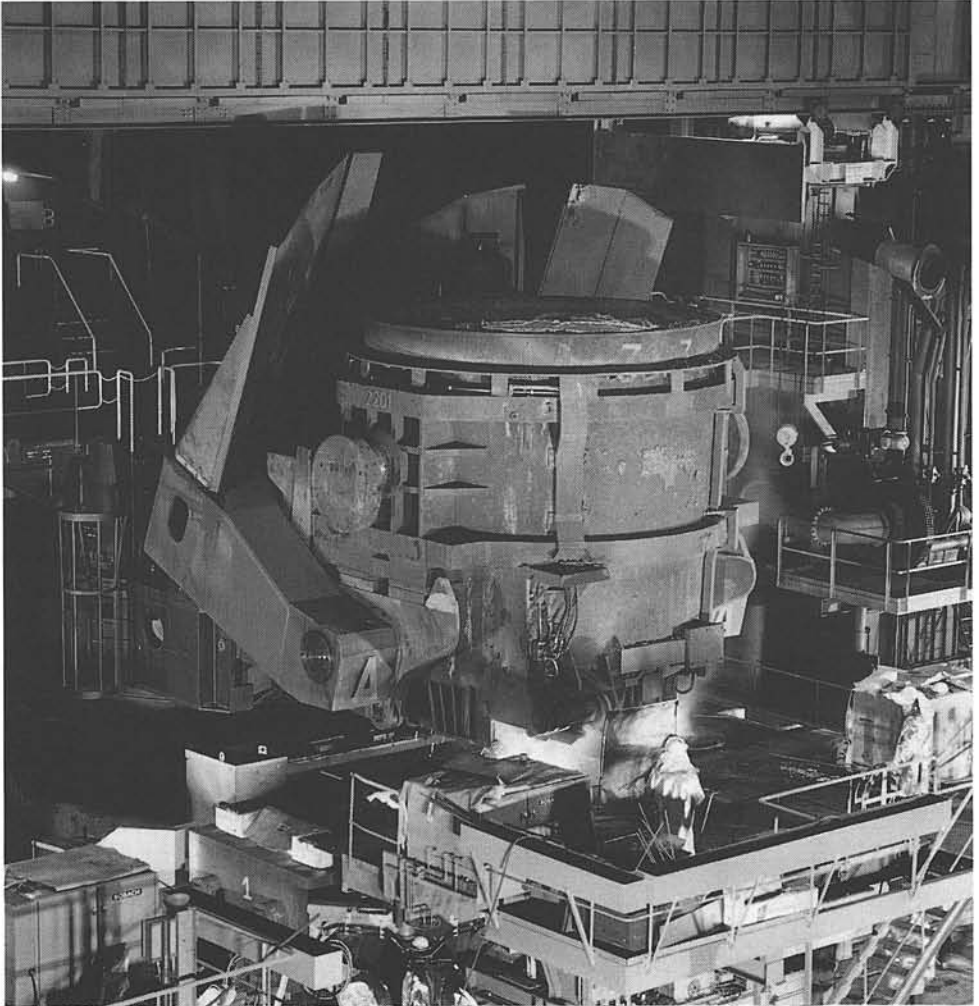
Bij het continu gieten wordt de smelt in de pan afgetapt in een hoog in een gebouw aangebrachte verdeelbak, vanwaar het vloeibare staal naar de gietvorm, bestaande uit koperen watergekoelde platen, geleid wordt. Door de opening in de onderkant van de gietvorm stroomt het staal al koelend verticaal naar beneden, wordt afgebogen en op een horizontale rollenbaan geleid.

De gestolde dikke plaatstrook, de streng, wordt met behulp van een brandsnijmachine in lange plakken, slabs, gesneden die verder met staalwalsen tot de gewenste platen of stafmateriaal kan worden uitgewalst.

In de verdeelbak kan men corrigerende bijmengsels toevoegen.



*Figuur 5.11 Continue staalgietinstallatie ontwikkeld door de Barrow Steel Works Ltd*



*Figuur 5.12 Continu Gietmachine Oxystaalafabriek 2 Koninklijke Hoogovens IJmuiden*





*Figuur 5.13 Continu Gietmachine Oxystaalfabriek 2 Koninklijke Hoogovens IJmuiden*

#### 5.4 Het walsen

Blokken worden in een afzonderlijke blokwalserij tot plakken gewalst. De gewalste plakken vormen met de continue gegoten plakken het basismateriaal voor de walserijen die de plakken uitwalsen tot producten voor de staalverwerkende industrie.

Door het verstellen en wisselen van de walsen kan een verscheidenheid in afmetingen en vormen van de verschillende walserij-producten worden bereikt. De producten worden gewoonlijk in twee hoofdgroepen verdeeld, namelijk de *vlakke* en de *niet-vlakke gekalibreerde of geprofileerde* producten.

##### De vlakke walserijproducten

De moderne eindwalserijen voor vlakke producten met een grote productiecapaciteit kan men onderscheiden in een aantal groepen, namelijk:

- dikke-plaat-walserijen,
- warmband-walserijen,
- koudband-walserijen en
- bandstaal-walserijen.

Dit in tegenstelling tot de speciaal en edelstaalwalserijen, die een geringe tot een matige capaciteit hebben.

##### De dikke-plaat-walserijen

In deze walserijen worden plakken uitgewalst tot middeldikke en dikke platen van circa 5 tot 500 mm dik. Soms worden in een verdere bewerking de platen voorzien van een bepaalde oppervlaktestructuur, bijvoorbeeld de ruiten of de tranen plaat.

Ook worden de materiaaleigenschappen van de platen vaak verbeterd door een afzonderlijke warmtebehandeling, zoals het normaliseren en veredelen.

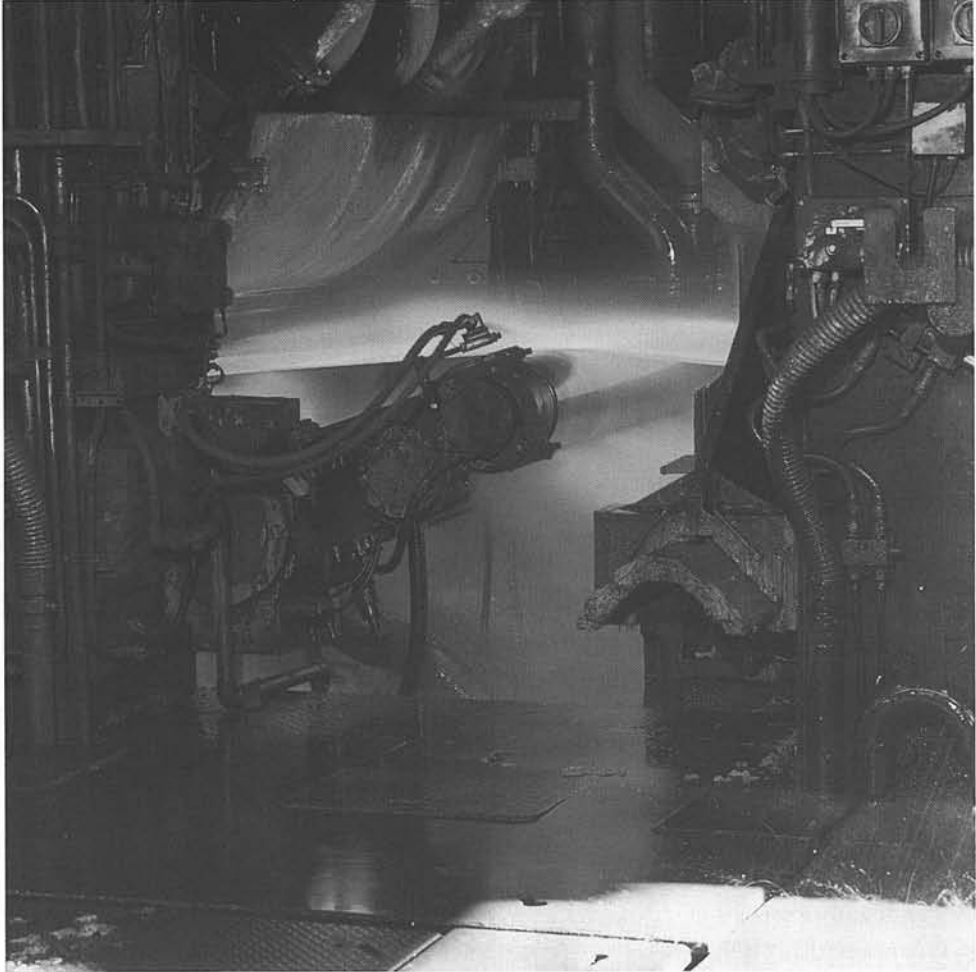
Bij zowel normaliseren en veredelen wordt de hardheid van het staal verhoogd door het staal vanaf de hardingstemperatuur (tussen de 750 à 900 C°) langzaam of sneller af te koelen (annealing of normalizing). Bij het langzaam afkoelen is sprake van een voorbehandeling, het spannings vrij gloeien. Het sneller afkoelen produceert harder en sterker staal met een fijnere structuur.

##### De koudbandwalserijen

In deze walserijen wordt breedband, brede stroken plaat, koud uitgewalst tot een minimale dikte van ongeveer 0,2 mm en als eindproduct geleverd in de vorm van platen, rollen of band. Speciale nawals behandelingen geven aan het product hardheid en de vereiste structuur van het oppervlak. Tevens worden lagen ter bescherming en verfraaiing aangebracht. In vertinnerijen wordt de dunste koudband (0,15 tot 0,50 mm) met een laagje tin bedekt. Dit product heet vertind blik en dient tot grondstof voor conservenbussen.

Ook kan zink worden opgebracht, waarmee verzinkte plaat ontstaat. Bedekking met kunststof of verf komt eveneens voor, waarbij deze lagen veelal op verzinkte plaat worden

aangebracht.



*Figuur 5.14 Eindwals Warmbandwalserij Koninklijke Hoogovens IJmuiden*

**De bandstaalwalserijen**

Deze walserijen zijn speciaal ingericht voor het walsen van warm-en koudgewalst smalband, smalle stroken plaat.

### **De geprofileerde walserijproducten**

Eindwalserijen voor geprofileerde producten zijn te onderscheiden in:

- walserijen voor breedflensbalken, meestal gecombineerd met walserijen voor zware profielen en rails,
- walserijen voor middelzware profielen,
- walserijen voor lichte profielen en staafstaal en
- walserijen voor walsdraad, kleine maten vierkant, rondstaal en dun betonstaal.

Het aantal combinaties is groot. De producten worden in vele maten en vormen op de markt gebracht.

### **Afwijkingen die in het staal ontstaan tijdens het walsen.**

Het walsen dient om het materiaal in de vorm van het gewenste eindproduct te brengen, de eventuele aanwezige, niet sterke, netkristalstructuur zodanig te vervormen dat het net om de kristalkorrels geheel verbroken wordt en om de kristallen zo sterk te vervormen dat deze vervorming bij een aansluitende warmtebehandeling of afkoeling tot korrelverfijning leidt.

Naast een nauwkeurige vormgeving en het aanhouden van de gewenste eindmaten is een goede doorsmeding van groot belang. Het materiaal dient voldoende en niet te koud te worden gewalst. De oxydehuid die tijdens het walsen ontstaat, wordt verwijderd omdat, wanneer deze huid wordt ingewalst, er zeer zwakke plekken in het walsmateriaal, de zogenaamde dubbelingen, ontstaan.

### **5.5 De warmtebehandelingen**

De eigenschappen van het staal kunnen door warmtebehandelingen tijdens en na het walsen sterk worden beïnvloed. De mechanische eigenschappen worden veranderd door de structuur van het staal te wijzigen. Deze processen worden veel bij scheepsbouwstaal toegepast. Er wordt onderscheid gemaakt tussen bijvoorbeeld:

- Spanningsvrij gloeien (annealing), het staal wordt tot 850° C of 950° C verwarmd en daarna langzaam afgekoeld. Inwendige spanningen worden daarmee verwijderd en het staal moet geschikt gemaakt voor een volgende warmtebehandeling.
- Bij normaliseren (normalizing) moet het staal sneller afgekoeld en gehard omdat de structuur (grain size) wordt verfijnd.
- Bij het harden (quenching) van staal wordt de afkoeling versneld door water.
- Een andere behandeling is het verwarmen tot 68° C en een nog snellere afkoeling in olie of water (tempering).

Smeedstukken zoals asmateriaal en tandwielbandages krijgen een warmtebehandeling om de effecten van het smeden en een niet uniforme afkoeling te niet te doen en de structuur te verfijnen.

### **Niet economische aspecten van de staalbereiding**

- In een hoogoven wordt stof uit het erts verwijderd en komt te veel koolstof in het staal.

Bij de staalfabricage wordt het teveel aan koolstof er weer met behulp van zuurstof uitgehaald. Gecombineerde processen zoals het Converted Blast Furnace systeem waarbij alle processen tot het blok-of continue gieten in een productie eenheid zijn ondergebracht verbeteren het proces.

- Nadat het materiaal in de hoogoven op temperatuur is gebracht, wordt het soms als ruwijzer weer afgekoeld om het later in een staaloven van een ander bedrijf weer vloeibaar te maken. Het warmteverlies door het stollen en weer opwarmen na een hoogoven wordt voorkomen door het ruwijzer met een mengwagen naar een nabij gelegen staalfabriek te vervoeren en daarna direct tot de staalfabricage over te gaan.
- Wanneer men het staal in kokilles afgiet tot blokken laat men de blokken afkoelen. Deze blokken worden verhandeld aan andere walsen en smederijen. Voor verdere verwerking moeten deze blokken weer opnieuw op smeed-, wals-temperatuur worden gebracht wat veel extra energie vergt. Het continue gieten, waarbij het vormen van blokken wordt overgeslagen, vindt meer ingang omdat dit energie bespaart en het walsen tot plakken in een blokwalserij niet meer nodig is. Door de blokken te verpakken in isolerend materiaal wordt tijdens het transport warmteverlies voorkomen.

### De normalisatie

In internationale normalisatiebladen, b.v. in de Euronormen, zijn de minimale materiaaleisen ten aanzien van sterke eigenschappen, chemische samenstelling en de warmtebehandeling waaraan bepaalde staalsoorten moeten voldoen vastgelegd.

Tevens bestaan normalisatiebladen voor de maatgeving van gewalste profielen met de verschilwaarden die de diverse profielen mogen afwijken van het voorgeschreven theoretische profiel. Daarin vindt men ook de toegestane afwijkingen voor buiging en torsie.

Daarnaast levert ieder staalwerk (hoogoven) onder eigen namen en volgens eigen voorschriften, een aantal staalsoorten die verschillen van een concurrerend staalwerk.

Tijdens de productie van staal zullen zowel de chemische samenstelling, de mechanische eigenschappen, de kristalstructuur en de uiterlijke vormgeving van de nagestreefde eisen afwijken. Een gevolg van deze productieafwijkingen is dat niet alleen de producent tijdens het productieproces onderzoek verricht, maar dat ook de grote afnemers bepaalde proeven en keuringen verrichten of laten verrichten door onafhankelijke keurende instanties.

### 5.6 De rol van de classificatiebureaus

Gezien de variatie in de staalproductie en de diversiteit van de aangeboden producten hebben de classificatiebureaus eigen voorschriften waaraan de in de scheepsbouw te gebruiken materialen moeten voldoen.

De voorschriften betreffen de chemische samenstelling, de warmtebehandeling, de sterkte eigenschappen, de vormnauwkeurigheid, de afmetingen en de controle van deze aspecten die men tijdens en na de productie met behulp van allerlei proeven dient uit te voeren. Daar de werven dit zelf niet bij een staalwerk kunnen doen, zijn van de classificatiebureaus dagelijks bij de grote staalwerken controleurs aanwezig voor de keuring van de voor scheeps-

bouw en ook voor andere takken van de staalverwerkende industrie de te vervaardigen producten. Een werf bestelt het staal onder keur van één van deze bureaus en bij voorkeur onder de keur van het bureau waaronder ook de classificatie van het nieuw te bouwen schip valt. De werf ontvangt dan bij de levering van het staal bij elk afzonderlijke deel, of soms bij een groep van delen, een certificaat waarin het classificatiebureau zijn bevindingen heeft vastgelegd en aangeeft dat product voldoet aan de gestelde eisen. Omdat de extra keuringskosten gewoonlijk ruim opwegen tegen de kosten van de problemen die kunnen ontstaan bij de toepassing van niet door een onafhankelijk bureau gekeurd staal, wordt ook door grote bedrijven die producten buiten de maritieme industrie leveren, veelvuldig gebruik van de diensten van classificatiebureaus gemaakt.

### **De voorschriften van de classificatiebureaus**

Bij de classificatiebureaus zijn de materiaalvoorschriften in het algemeen vastgelegd in de 'Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials'.

Een voorbeeld van de voorschriften voor het staal dat voor de bouw van een schip wordt gebruikt, vindt men aan het einde van dit hoofdstuk, waar een overdruk van de voorschriften van Lloyds's Register of Shipping wordt gegeven.

Er worden vier kwaliteiten Mildsteel en een negental kwaliteiten High Tensile steel onderscheiden.

### **Mild steel**

De eisen ten aanzien van de chemische samenstelling voor Mild steel zijn samengevat in tabel 5.2, waarbij vier kwaliteiten (grades) worden onderscheiden, te weten de grades A, B, D en E.

Voor alle soorten geldt dat het C gehalte plus een kwart van het mangaangehalte kleiner of gelijk moet zijn dan 0,40. ( $C + 1/4 \text{ Mn} \leq 0,40$ ).

Voor alle soorten geldt een minimale rekgrens (yieldstress) van 235 N/mm<sup>2</sup> en een treksterkte (tensile strength) van 400 - 490 N/mm<sup>2</sup>.

De voorschriften gelden voor materiaal dat niet dikker is dan 50 mm.

## 5 Van ijzererts naar plaat en profiel

GRADE		A (1)	B (2)	D (3)	E (4)
C	gehalte maximaal	0,23	0,21	0,21	0,18
Mn	gehalte minstens	(5)	0,80	0,60	0,70
Si	gehalte maximaal	0,50	0,50		
	gelegen tussen			0,10-0,05	0,10-0,50
S	gehalte maximaal	0,04	0,04	0,04	0,04
P	gehalte maximaal	0,04	0,04	0,04	0,04
Al	minstens				0,015

(1) Elke methode inclusief rimmed steel  
 (2) Elke methode behalve rimmed steel  
 (3) Killed steel  
 (4) Killed and fine grain treated with aluminium  
 (5) The manganese content is to be not less 2,5 times the carbon content.

Tabel 5.2

### High tensile steel

De voorschriften voor de high tensile steels zijn samengevat in de voorschriften van de classificatie maatschappijen.

Met het oog op de lasbaarheid wenst men ook dat de totaal aanwezige hoeveelheid koolstof en legeringselementen een bepaalde waarde niet overschrijden. Men noemt deze waarde het koolstofequivalent.

Het koolstofequivalent wordt als volgt berekend:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Voor de mechanische eigenschappen zijn minimale eisen voorgeschreven:

Het verschil tussen de treksterkte en de rekgrens neemt af bij een hogere rekgrens. Ook de rek wordt iets kleiner. (zie tabel 5.3).

GRADE	Treksterkte M/mm <sup>2</sup>	Rekgrens N/mm <sup>2</sup>	Rek minstens %
AH32, DH32, EH32	440 - 590	315	22
AH34S, DH34S, EH34S	450 - 610	340	22
AH36, DH36, EH36	490 - 620	355	21

Tabel 5.3

### Andere staalsoorten

In de werktuigbouwkunde en bij de civiele bouw worden voor staalconstructies andere staalsoorten gebruikt die elk hun eigen voorschriften kennen en ook in de praktijk aan een heel ander soort belastingen worden onderworpen dan schepen. Karakteristiek voor de staalsoorten voor staalconstructies is dat ze een vrij laag gehalte aan legeringselementen bevatten.

Staalsoorten die in de machinebouw, bijvoorbeeld voor de vervaardiging van tandwielen gebruikt worden of bij de roestvrije staalsoorten hebben een hoger gehalte aan legeringselementen.

### 5.7 De producten van de walserij voor de scheepsbouw

Het staal in de vorm van platen, profielen, strippen, giet-en smeedstukken is de primaire invoer voor de pre-fabricage van de stalen romp.

Het walsmateriaal voor de scheepsbouw is te verdelen in twee hoofdgroepen, plaat en profiel. De producten zijn in Nederland, in overeenstemming met de normen van de ISO, genormaliseerd in de normen van het Nederlands Normalisatie Instituut. (NNI)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Plaat (breedte  $\geq 1000$  mm)
- Strip (breedte  $\geq 150$  mm, maar  $1000 < \text{mm}$ )
- Plat (breedte  $\leq 150$  mm)
- Staf (rond, half rond, plathalf rond)
- Balken (U-balken, I-balken, H-balken, geconstrueerde balken) en
- Profielen (Gelijkzijdig en ongelijkzijdig hoekstaal, bulkprofielen enz.).

#### Plaat

Plaatmateriaal wordt gekenmerkt door dikte, lengte en breedte.

Naar dikte is plaat ingedeeld in drie categorieën:

- Dunne plaat, met een dikte van  $\leq 5$  mm.
- Plaat, met een dikte van  $> 5$  mm maar  $\leq 25,5$  mm en
- Dikke plaat, met een dikte van  $> 25,5$  mm.

De plaatdikte is door de walserijen op halve millimeters gestandaardiseerd. De plaatwalserijen kunnen echter elke gewenste dikte leveren. De keuze in hoofdafmetingen is echter beperkt.

In Japan en Korea worden bij de grote werven platen met zeer grote afmetingen toegepast, bijvoorbeeld  $24.000 \times 4.000$  mm. De meeste werven werken met kleinere platen. In Nederland komen de breedte maten 2000 en 1800 mm veel voor, omdat de warmbandproductie voor scheepsplaten met keur van de classificatiebureaus begrensd is.

Voor platen met een dikte tot en met 8 mm geldt een breedte van maximaal 2000 mm en vanaf een dikte van 9 mm een breedte van maximaal 1800 mm. Plaatlengtes van 8 tot 12



## 5 Van ijzererts naar plaat en profiel

meter komen veel voor.

De plaatwalserijen leveren in principe standaardafmetingen volgens normen van de walselij- en maar zijn ook bereid om elke gewenste plaatafmeting (tegen meerprijs en langere leveringstijd) te leveren. De werven trachten zo veel mogelijk de standaardafmetingen te gebruiken, indien de constructie van het casco dit toelaat en de besparingen (b.v. minder laswerk) opwegen tegen de extra kosten.

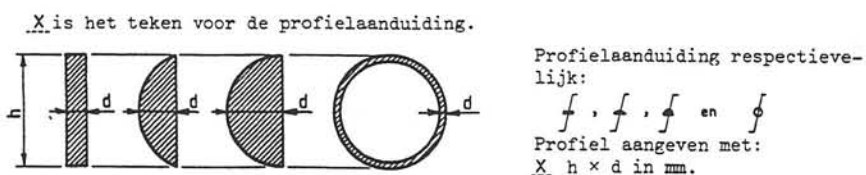
Sommige werven zijn hier ver mee gevorderd, maar dit is moeilijk te handhaven, wanneer wisselende producten worden gebouwd en het afvalpercentage stijgt.

### Profielen

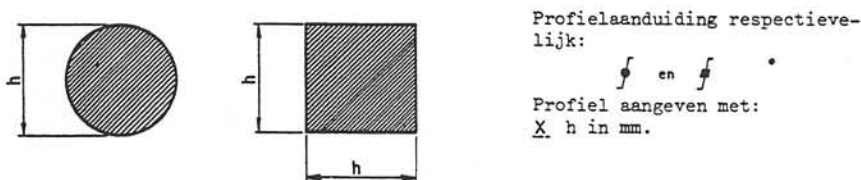
Profielmateriaal wordt gekenmerkt door zijn vorm. De vormen en afmetingen zijn voor de Nederlandse scheepsbouwindustrie genormaliseerd in de normen van het Nederlands Normalisatie Instituut (NNI).

De meest voorkomende profielvormen zijn weergegeven in fig. 5.15 t/m 5.21. De profielen worden ook geleverd volgens de normen. De Nederlandse normen zijn in overeenstemming met de normen van de International Standard Organization (ISO) en de Europese normen, uitgegeven door CEN (le Centre Européen de Normalization).

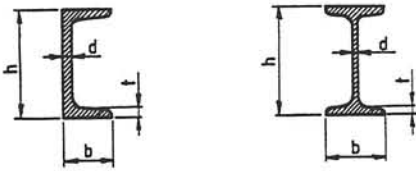
Bij het bestellen van het materiaal en op tekeningen worden eveneens standaardaanduidingen van profielen gebruikt. Deze aanduidingen zijn eveneens weergegeven in fig. 5.15 t/m 5.21. De meest voorkomende profielen zijn strip en plat (flat-bar).



Figuur 5.15 Strip/Plat, Plat half rond, Staf half rond, Pijp.



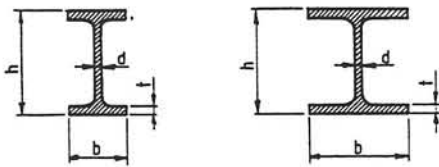
Figuur 5.16 Staf ruw rond en Staf ruw vierkant. Staf rond wordt o.a. toegepast in relingen, staf vierkant in trappen.



Profielaanduiding respectievelijk:  
NP C en NP I (NP = Normaal  
Profiel)

Profiel aangeven met:  $X$  h in cm  
dus bijvoorbeeld:  
NP I 20 (of UNP 20).

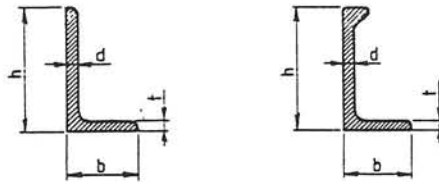
*Figuur 5.17 U-balk en I-balk. Deze balken worden vooral toegepast als drager en als strut.*



Profielaanduiding respectievelijk:  
IPE en HE-B (of DIN).

Profiel aangeven met:  $X$  h in cm  
dus bijvoorbeeld:  
HE-B 20 (of DIN 20).

*Figuur 5.18 H-balk. Deze wordt vooral toegepast als drager en als strut.*



Profielaanduiding respectievelijk:

$L$  en  $L$

Profiel aangeven met:

$X$  h  $\times$  b  $\times$  d  $\times$  t in mm;

meestal  $d = t + X$  h  $\times$  b  $\times$  d

indien  $h = b + X$  h  $\times$  h  $\times$  d,

dus bijvoorbeeld:

$L$  120  $\times$  60  $\times$  10

$L$  100  $\times$  100  $\times$  12.

*Figuur 5.19 Ongelijkzijdig hoekprofiel en Bulb hoekprofiel. Deze worden vooral toegepast voor het verstijven van plaatvelden.*



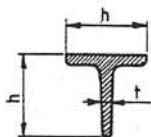
Profielaanduiding respectievelijk:

$I$  en  $T$

Profiel aangeven met:

$X$  h  $\times$  d in mm.

*Figuur 5.20 Platbulb of Hollandprofiel en Dubbelzijdig plat bulbprofiel. Deze worden vooral toegepast voor het verstijven van plaatvelden.*



Profielaanduiding: **T**  
Profiel aangeven met:  
 $X$  h in cm,  
dus bijvoorbeeld: **T 16**.

*Figuur 5.21 T-Balk*

Naast plaat en profiel wordt het staal ook in de vorm van gietstukken of smeedwerk aan de werf geleverd.

Gietstukken komen voor als losse onderdelen die in serie kunnen worden gemaakt of in grote onderdelen die complex van vorm zijn en niet uit gelaste constructies kunnen worden opgebouwd.

Het smeedwerk komt voor in onderdelen als schroefasleidingen en krukassen in motoren.

Veel scheepswerven beschikten tot het eind van de zestiger jaren over eigen smederijen, gieterijen, machinefabrieken, timmerwerkplaatsen en koperslagerijen, een vorm waarin de scheepswerven die in lage lonen landen zijn gevestigd nog voorkomen.

De werven produceerden ook giet- en smeedwerk voor derden, maar dit waren meestal grote enkelproducten.

Sommige bedrijven zagen daardoor in eerste instantie kans zich op nieuwe markten te richten, soms in combinatie met nieuwe producten. Zo verwerfde de Rotterdamse Droogdok Maatschappij (RDM) zich in de nucleaire markt een positie, voor de bouw van de dikwandige vaten voor kerncentrales. De gieterijen en smederijen waren geschikt om de basisbewerkingen voor de onderdelen uit te voeren. Politieke overwegingen, leveringsbeperkingen en de in de zeventiger jaren invloedrijke anti-kerncentrale lobby hebben een eind aan deze industriële activiteiten van de scheepswerven in Nederland gemaakt.

### 5.8 Gietstukken

Alhoewel gietstukken in de scheepsbouw veelal vervangen zijn door uit staalplaat samengestelde constructies, worden in bepaalde onderdelen van de constructies van het schip nog steeds gietstukken gebruikt.

De redenen voor vervanging van gietstukken door gelaste constructies zijn onder meer gelegen in:

- het gewicht, de gelaste constructie is in het algemeen lichter,
- de kostprijs, die van gelaste constructies lager is,
- de levertijd van gietstukken is in het algemeen langer dan van gelaste constructies,
- de lasverbindingen met gietwerk vragen veel aandacht en geven soms aanleiding tot problemen.
- het gieten van complexe constructies, zoals een achterstevan is niet eenvoudig, vraagt

veel kennis van zaken en de exacte maatvoering is moeilijk te beheersen omdat het om enkelproductie gaat. Dit vakmanschap is bij de gieterijen van de scheepswerven verloren gegaan.

Toch is enige kennis van het gieten gewenst omdat met name voor seriewerk, bijvoorbeeld de "cornercastings" voor containersteunen, die in grote series gemaakt worden, nog steeds gegoten constructies worden gebruikt.

Bij gietwerk wordt het gesmolten staal, dat volgens de eerder beschreven overprocessen (electro-oven, oxystaal etc.) is geproduceerd in een zorgvuldig geconstrueerde (negatieve) vorm gegoten. Na afkoeling wordt het werkstuk uit de vorm gehaald en nabehandeld door spanningsvrij te gloeien (tot 300 °C) of door een behandeling te geven bij een hogere temperatuur (boven 900 °C) om de structuur en daarmee de kwaliteit te verbeteren.

Bij het gieten doen zich een aantal problemen voor, die kort worden besproken.

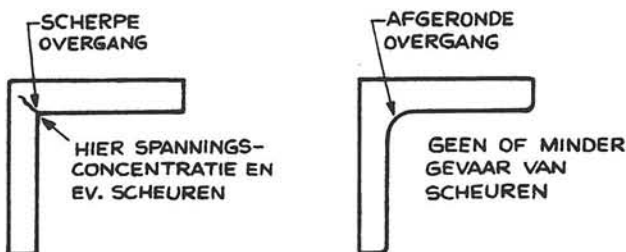
### Krimp

Bij het afkoelen kunnen zich, indien de gietvorm niet zorgvuldig is gekozen, krimpspanningen voordoen met als gevolg scheuren in het materiaal en krimpholtes.

Scherpe overgangen in de constructie kunnen spanningsconcentraties veroorzaken die samen met optredende bedrijfsbelastingen tot breuk kunnen leiden omdat de breukgrens van het materiaal wordt overschreden.

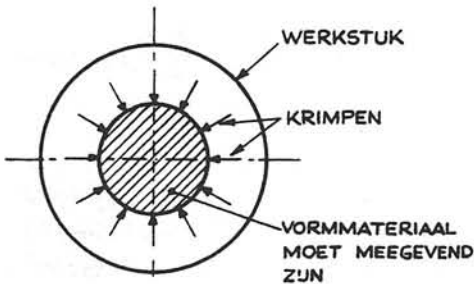
Eveneens kunnen ten gevolge van krimpspanningen vervormingen optreden, waardoor de constructie niet meer de gewenste vorm heeft. Ook kunnen krimpholtes optreden tijdens het afkoelen. Door een zorgvuldige keuze van het gietmateriaal, de vorm, de plaats van de opkomers, de samenstelling van de constructie en de methode van gieten kunnen deze problemen worden voorkomen.

De techniek van het gieten vraagt, zoals ieder productieproces, veel kennis van zaken. Bij gietstaal wordt door middel van gloeien bij een temperatuur boven de 900 °C de gietstructuur omgezet in een regelmatige korrelstructuur en worden de krimpspanningen verwijderd. Afgeronde overgangen verminderen het gevaar van scheuren. (zie fig. 5.22).



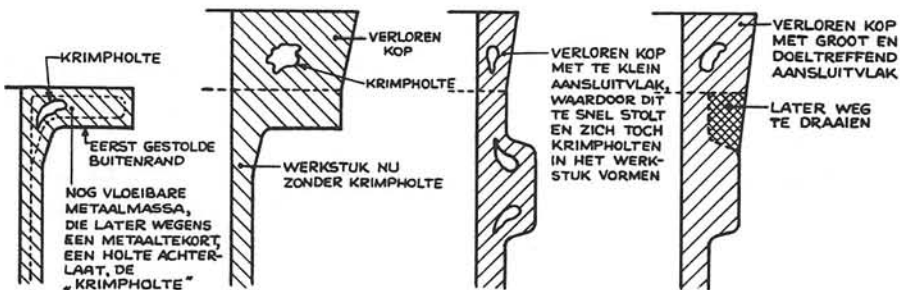
Figuur 5.22

In geval van een opgesloten vorm, moet de kern van de vorm van meegevend materiaal zijn, zodat de constructie kan krimpen. (zie fig. 5.23).



Figuur 5.23

Krimpholtes kunnen worden voorkomen door het aanbrengen van voorzieningen zoals de zogenaamde "verloren kop". (zie fig. 5.24).



Figuur 5.24

### Bewerkingstoegiften

Als het gietproces geen voldoende nauwkeurige maat oplevert, moet rekening worden gehouden met een bewerkingstoeslag om de gewenste nauwkeurigheid en afwerking te kunnen realiseren.

Om verspanende bewerkingen uit te kunnen voeren is dus extra materiaal nodig. Eventueel kan de constructeur extra voorzieningen mee laten gieten voor het stellen en inspannen van het gietstuk bij het bewerken.

### 5.8.1 Soorten gietijzer

De keuze van het materiaal hangt samen met de eigenschappen.

De volgende voorbeelden illustreren welke verschillende eigenschappen zich kunnen voordoen.

Globulair en modelair gietijzer wordt veel toegepast in de scheepsbouw en komt nog voor in producten die in grote series worden gemaakt, zoals in bolders, containerfittings etc.

**Grijs gietijzer** (3% tot 3,5% Koolstof en 1% tot 2% Silicium).

Bij dit gietijzer is de krimp circa 1 % lineair. Het smeltpunt is laag (1148 °C). Omdat het gesmolten metaal daarbij een relatief goede vloeibaarheid heeft, wordt dit type gietijzer veel voor machinedelen toegepast. Het gietijzer is een goed materiaal voor onder druk op elkaar bewegende en wrijvende oppervlakken (loopvlakken). Daar tegenover staat dat het bros en niet sterk is.

#### **Gietstaal**

Gietstaal is taaier en sterker dan gietijzer. Het wordt gebruikt voor werkstukken, die een grotere sterkte moeten hebben dan gietijzer. Het heeft een hoger smeltpunt (circa 1530 °C) en is in gesmolten toestand minder goed vloeibaar dan gietijzer. Bovendien heeft het een grotere krimp (tussen 1,5% en 2 %). Gietstaal geeft daarom bij het gieten veel meer moeilijkheden dan gietijzer.

#### **Koperlegeringen**

Brons (koper met tin) en messing (koper met zink) hebben, vooral brons, het voordeel dat zij beter corrosie bestendig zijn dan gietijzer en gietstaal. Brons in een bepaalde samenstelling is zeer geschikt voor het opnemen van glijdende wrijving.

De koperlegeringen hebben echter een grote krimp, die evenals die van gietstaal tussen 1,5% en 2% ligt. Het smeltpunt is lager, ongeveer 1060°C voor zuiver koper en tussen 900 en 1000 °C voor de diverse koperlegeringen.

#### **Aluminiumlegeringen**

De aluminiumlegeringen hebben een veel lager smeltpunt dan de voorgaande metalen (tussen 500 en 600 °C). De gietvormen behoeven minder hoge temperaturen te weerstaan daardoor. Voor het gieten wordt dikwijls gebruik gemaakt van de aluminiumlegering met silicium, het zogenaamde "silumin".

Men krijgt bij aluminiumlegeringen werkstukken die lichter zijn. De aluminiumlegeringen zijn weinig gevoelig voor zuren maar wel voor loog. De krimp is groot. (1,5% tot 2%).

### 5.8.2 Vormen

#### Niet permanente vormen

##### Zandvormen

Zandvormen zijn in West-Europa vrijwel niet meer te betalen omdat ze met de hand moeten worden gemaakt en daardoor arbeidsintensief en dus duur zijn.

De meeste gietvormen zijn uit een massa gemaakt die gedurende het vormen plastisch is. In vele gevallen wordt gebruik gemaakt van vormzand. (zand, gemengd met klei).

Vochtig is dit een goed vervormbare, kneedbare massa, die echter geen grote druk kan weerstaan. Terwijl voor kleine vormen het vormzand daarom nat en plastisch kan worden gebruikt, moeten de vormen voor grotere werkstukken eerst gedroogd en verhard worden voordat erin kan worden gegoten.

De wand van de vorm moet in staat zijn de gassen, die uit gesmolten metaal bij de stolling vrijkomen, af te voeren. Deze wanden moeten dus een zekere mate van porositeit bezitten. Het luchtsteken verhoogt de porositeit door na het vormen met een naald kleine gaatjes in het vormzand te prikken, die het gas uit de poriën van het vormzand opnemen en naar buiten voeren.

Bij het handvormen wordt het vormzand met de hand om het gietmodel aangebracht. Dit is meestal een van hout gemaakt model, een replica van het werkstuk, met een bewerkingstoe-gift waar nodig.

Bovendien krijgt het model een paar uitsteeksels - de "kernprenten" - die in het vormzand de ligplaatsen zullen maken voor de steun van de kern, die nodig is voor het vrijhouden van de holte van het werkstuk. Om een goede stevige massa te verkrijgen wordt het vormmateriaal rondom het model verdicht.

Het model wordt uit de vormmassa verwijderd om de gietholte vrij te krijgen. Hiertoe is het model lossend of bestaat uit meer dan één deel.

##### Massa-vormerij

Voor seriewerk is handvormen nadelig. Er wordt gewerkt met vormmachines, waarbij zandverdichting gebeurt door persen of schokken.

Ook het verwijderen van het model gebeurt machinaal. Omdat bij de machine-vormerij de modellen meer gebruikt worden dan bij enkel-fabricage worden zij meestal van metaal gemaakt, waardoor nauwkeurige en gladdere afgietsels worden verkregen. Machine-vormen worden toegepast bij serie-en massawerk.

##### Leemvormerij

De leemvorm is een plastische vormmassa van klei met zand. De leemvormen worden gedroogd ter verkrijging van een voldoende sterkte omdat de leemvorming voor grote werkstukken wordt toegepast.

In plaats van modellen gebruikt men trekplanken; dit zijn planken die een langs- dwarsdoorsnede van het werkstuk aangeven en waarmee het vormmateriaal in de gewenste vorm wordt gebracht.

### Wasmodellen

Nauwkeurige werkstukken kunnen worden gemaakt door de vormen te vervaardigen om wasmodellen (Investment-casting of wel Lost-wax method). De methode wordt gebruikt voor ingewikkelde vormen waarbij het model niet losbaar is. Het vrijmaken van de gietholte wordt verkregen door het uitsmelten van het wasmodel. Hierdoor is elk willekeurig gevormd model te verwijderen. Het model wordt opgebouwd uit een aantal eenvoudig gevormde delen van was die aan elkaar worden geplakt. Dit wasmodel wordt in een bak gezet en daaromheen wordt een brei gegoten van een zelf-hardende vormmassa ("Investment").

Daar de brei van het vormmateriaal zich heel nauw aansluit aan de vormen van het wasmodel en bij het uitsmelten hiervan geen vormveranderingen van de gietholten optreden, wordt zeer nauwkeurig gietwerk verkregen, dat weinig verspanende nabewerking nodig heeft om een nauwkeurig eindproduct te verkrijgen.

Het proces is geschikt voor ingewikkelde werkstukken van moeilijk verspaanbaar materiaal, zoals bijvoorbeeld de materialen voor onderdelen van de straalmotoren, die bestaan uit materiaal dat zijn sterkte-eigenschappen bij hogere temperaturen behoudt, zoals de schoepen van een stoomturbine.

Nauwkeurig gietwerk is ook te maken in vormen van gips, dat gegoten en verhard wordt rondom een metalen model van het werkstuk. Dit model moet later worden verwijderd, dus lossend zijn.

Bij deze methoden wordt de vorm vernietigd om het werkstuk vrij te krijgen. Bij seriewerk moet dus voor elk volgend werkstuk een nieuwe vorm worden gemaakt.

### 5.8.3 Permanente vormen

Uit permanente vormen wordt het werkstuk losgenomen, waarna de vorm opnieuw wordt gebruikt. Het gietstuk heeft daartoe een zodanige vorm dat het uit de metalen gietvorm lossend te verwijderen is. Terwijl de houten modellen gemaakt worden in een hiervoor gespecialiseerde houtbewerkingswerkplaats (de "modelmakerij"), worden de metalen modellen gemaakt in een gereedschapmakerij.

Het vullen van de metalen vormen met het gesmolten metaal kan gebeuren door de werking van de zwaartekracht. Maar om scherp en nauwkeurig gieten te verkrijgen, is het beter extra kracht voor dit vullen te gebruiken en deze vindt men o.a. door gebruik te maken van de centrifugekracht, waarbij de vorm snel wordt rondgedraaid en het metaal in de gietvorm wordt geperst, e.g. bij het spuit gieten (Die Casting of Spritzgusz).

Door de nauwkeurige vormen en het inpersen van het metaal ontstaan nauwkeurige en gladde werkstukken.



Daar het ingegoten metaal een smeltpunt moet hebben dat belangrijk lager ligt dan dat van de gietvorm is het spuitgieten met name geschikt voor aluminiumlegeringen en andere gemakkelijk smeltbare metalen. Wil men ook gietijzer en staal in metalen vormen gieten, dan moeten deze vóór het gebruik van een dunne leemlaag worden voorzien.

Een verder voordeel van het spuitgieten is de snelle afkoeling die het ingegoten metaal in de metalen vorm ondergaat, waardoor de structuur en de eigenschappen van het gietmetaal gunstig worden beïnvloed. Door een zekere mate van verhitting van de vorm kan men deze afkoelsnelheid regelen.

### **Kernen**

Kernen zijn de vormen voor de holten van het werkstuk. Kernen zijn niet-permanent of permanent. In het eerste geval worden zij van een plastische massa gemaakt, waarvoor in vele gevallen zand met bindmiddel wordt gebruikt. Daar de kernen een behoorlijke sterkte moeten hebben, wordt bij het kernzand een steviger bindmiddel dan klei toegepast.

Voor het maken van de kern gebruikt de kernmaker een kernbak, een bak met een holte.

In plaats van het model dat alleen de buitenomtrek weergeeft, heeft de holte van de kernbak juist de vorm van de binnenruimte. Daar de kern uit de kernbak moet worden verwijderd, is deze lossend.

Voor de stevigheid worden de kernen gedroogd en van een metalen geraamte voorzien. Dit geraamte kan uit metaaldraad zijn gemaakt of gegoten.

Permanente kernen van metaal worden met name bij het spuitgieten gebruikt.

Bij ingewikkelde werkstukken wordt de gehele vorm, inclusief de kernen uit losse kernstukken opgebouwd.

### **Vormmethoden en kernmakerij (niet-permanente vormen)**

#### **Handvormerij in zand**

In de onderstaande figuren zijn de opvolgende stadia van het vormen van een pijpstuk met houten model afgebeeld. Het houten model is, behoudens de krimpmaat en de bewerkings-toegift, een replica van het te maken werkstuk en heeft uitsteeksels die als kernprenten in de vorm de ligplaatsen geven voor de (later aan te brengen) kern.

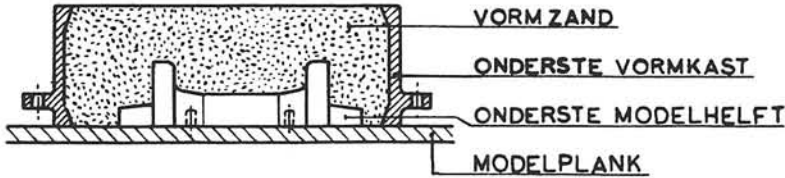
Een model kan slechts voor één bepaalde materiaalsoort worden gebruikt wegens de verschillende krimpnoten. Dit wordt op het model aangegeven. Om opname en afgifte van vocht tegen te gaan wordt het model gevernist. De kern wordt gemaakt in de kernbak.

Het voorbeeld (dat ontleend is aan Landberg) geeft de volgorde van de werkzaamheden voor het vervaardigen van de mal en de daarvoor te treffen voorzieningen. Het proces wordt stapsgewijs beschreven.

#### **Stap 1**

De vorm wordt gemaakt in twee vormkasten. De onderste modelhelft wordt op een plank

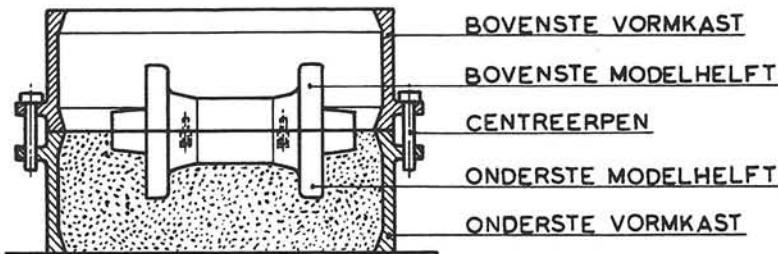
gelegd en de onderste vormkast opgesteld. Rondom het model wordt nieuw vormzand aangedrukt. Vervolgens wordt de kast verder gevuld met oud vormzand dat wordt aangestampt. De bovenzijde wordt glad gestreken en met een breinaald wordt lucht gestoken.



Figuur 5.25

### Stap 2

De vormkast wordt opgepakt, omgekeerd en neergelegd op een glad gemaakte vloer. Op het nu zichtbare deelvlak van de onderste modelhelft wordt de bovenste modelhelft met stiften gecentreerd. Vervolgens wordt op het zandvlak scherp, fijn en droog gestrooid, dat moet voorkomen dat het zand van de bovenste vormkast vastkleeft aan dat van de onderste. Daarna wordt de bovenste vormkast met centreerpennen op de onderste geplaatst.



Figuur 5.26

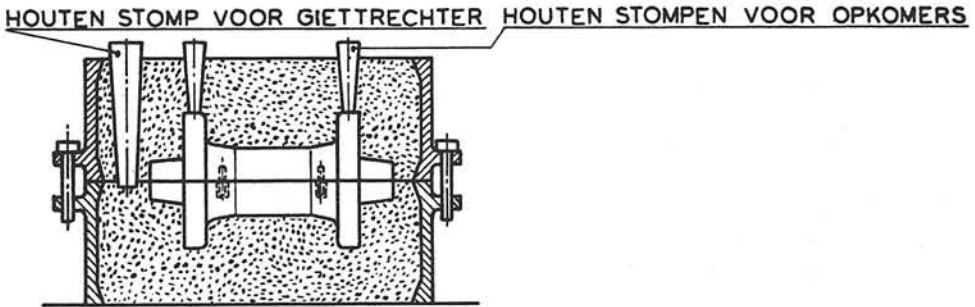
### Stap 3

Nadat een houten klos in het zand van de onderste vormkast is ingedrukt, wordt op dezelfde wijze vormzand aangedrukt en aangestampt, nadat op de beide hoogste plaatsen van het boven model ook houten klossen zijn geplaatst. De klossen zijn opkomers (dit zijn kanalen voor de lucht uit de vorm en de bij de stolling ontstane gassen afvoeren als gietmetaal in de vorm gegoten wordt en stolt).

De resten van de gassen en lucht moeten door het poreuze vormmateriaal ontwijken. De

eerstgenoemde klos dient voor het maken van de giettrechter.

Nadat een verwijding is aangebracht aan de giettrechter, die als opneemkom voor gesmolten metaal dienst doet, worden de houten klossen verwijderd.



Figuur 5.27

### Stap 4

De bovenste vormkast wordt opgepakt en omgekeerd naast de onderste neergelegd. Het deelvlak van beide vormkasten, met daarin het deelvlak van de modelhelften, is nu zichtbaar. De modelhelften worden voorzichtig uit het vormzand gelicht. Beschadiging aan de vormwanden worden bijgewerkt.

Voor het uitlichten van de modelhelften worden hoeken en overgangen - die gevaar geven voor uitbreken - door lange stiften versterkt. De randen van het zand rondom het model krijgen door natmaken met een kwast een grotere samenhang, waardoor de uitbreekkans wordt verminderd. Voordat de onderste modelhelft wordt uitgelicht, wordt door wegsnijden van het zand een verbinding gevormd met de toekomstige vormholtes vanaf het putje dat door indrukking van de klos voor de giettrechter in het zand van de onderste vormkast gevormd was. Deze gietloop vormt de verbinding van de giettrechter met de eigenlijke vorm.

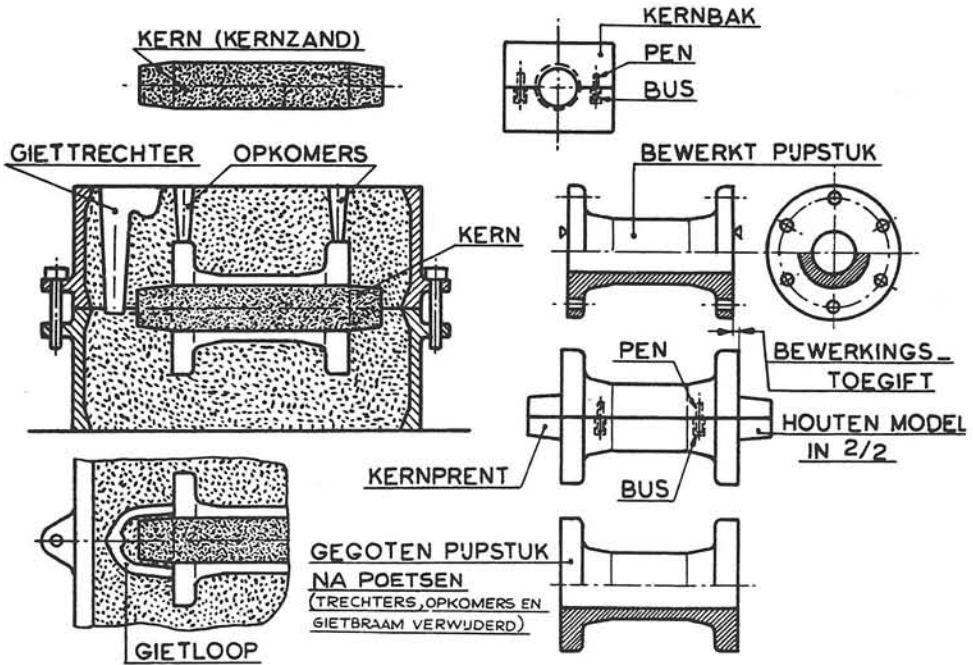
De vormer gebruikt speciaal gereedschap, bestaande uit troffeltjes, mesjes en stampertjes. De werkzaamheden eisen scholing en vakbekwaamheid.

### Stap 5

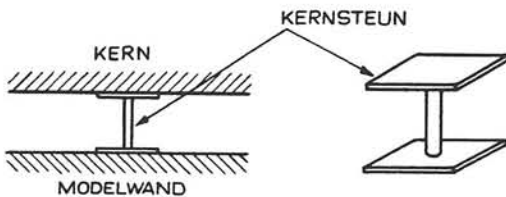
De binnenkant van de vorm wordt met een kwast bestreken met een papje van grafiet, leem en water; dit dient om de binnenwanden van de vorm gladder en wat hittebestendiger te maken.

De kern wordt uit de kernbak verwijderd, gedroogd, afgewerkt en in de ligplaatsen in het zand - gemaakt door de kernprenten van het model - gelegd. Is de kern lang dan kan hij

door het instromende metaal worden omhooggedrukt en breken. Een dergelijke kern wordt met behulp van een inwendig metalen geraamte versterkt of door zogenaamde kernsteunen tegen de wand van de vorm gesteund.



Figuur 5.28



Figuur 5.29

De kernsteunen smelten in het metaal van het werkstuk. IJzeren kernsteunen mogen geen roest vertonen; zij worden vertind. Kernsteunen vergroten de kans van door gasvorming

veroorzaakte poreuze plakken in de wand van het gietstuk. Kernsteunen zijn van belang in wanden van ruimten die onder hogere of lagere druk van gas of vloeistof staan.

De gereedgemaakte bovenste vormkast wordt weer op de onderste geplaatst, waarbij de centreerpennen er voor de juiste stand zorgen. Nadat de kasten aan elkaar zijn vastgemaakt kan worden gegoten. Het vloeibare metaal wordt in een gietpan naar de vorm gebracht en in de giettrechter uitgegoten. Is het materiaal in de gietvorm gestold, dan wordt de vorm vernietigd en het werkstuk uit het zand verwijderd.

De bramen worden afgehakt, de trechters afgeslagen, de naden bijgewerkt en aangebakken zanddelen van de vorm verwijderd. Machinevormerij (in plaats van handvormerij) vermindert fouten in vorm en maat.

De machines verdichten het vormzand beter waardoor de vorm van het model zonder beschadiging kan worden verwijderd.

### Bijzondere vormen van de vormerij

#### Vormen met sjablonen of trekplanken

Bij omwentelingslichamen wordt een ronddraaiende plank gebruikt, die de vorm heeft van de asdoorsnede van het werkstuk (zie fig. 5.30).

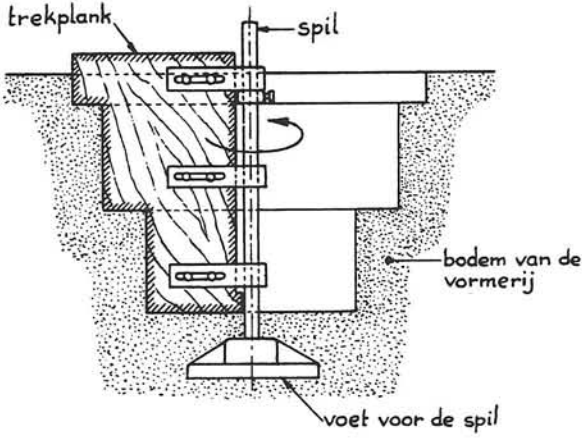
Deze plank wordt draaibaar bevestigd aan een spil, die in de hartlijn van de te maken vorm is opgesteld. In een ruwe holte in het vastgestampte zand schraapt de rond te draaien trekplank het overtollige zand weg.

Trekplanken worden ook gebruikt voor grote in leem te vormen werkstukken. (zie fig. 5.31).

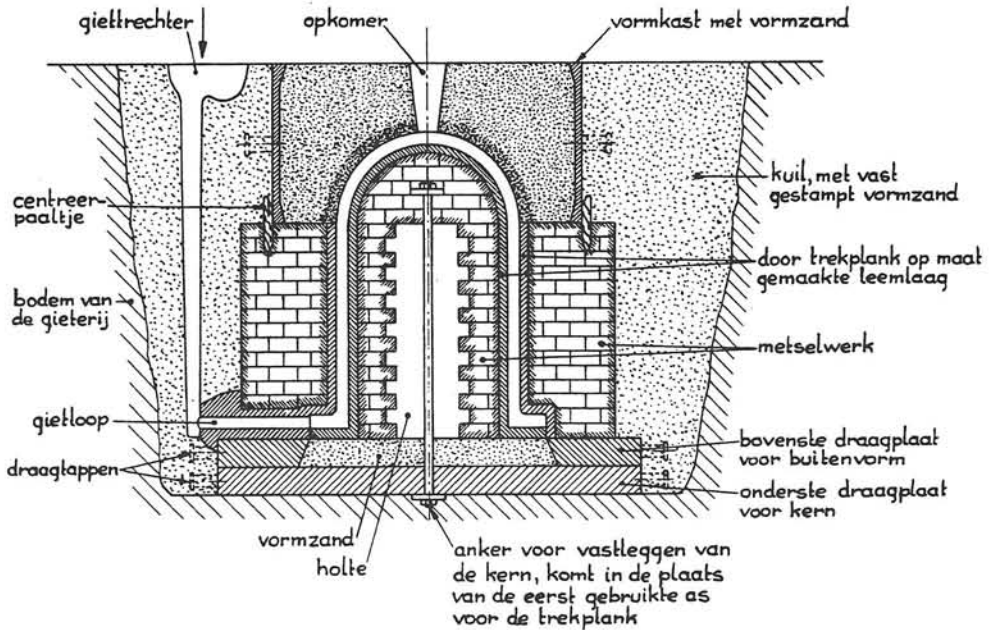
Voor de buitenvorm en de kern wordt een bakstenen of leemstenen geraamte gemaakt, waarop een laag leem wordt gesmeerd. Om bezwijken te voorkomen, wordt de gehele vorm soms in een gemetselde kuil in de bodem opgesteld om steun aan de buitenwand te geven. Om de kern niet te laten opdrijven op het vloeibare metaal, wordt deze door een trekstang-anker aan de ijzeren draagplaat bevestigd.

#### Trekplankvormen met een lemen mantel (bijv. voor een sloopschroef, zie fig. 5.32).

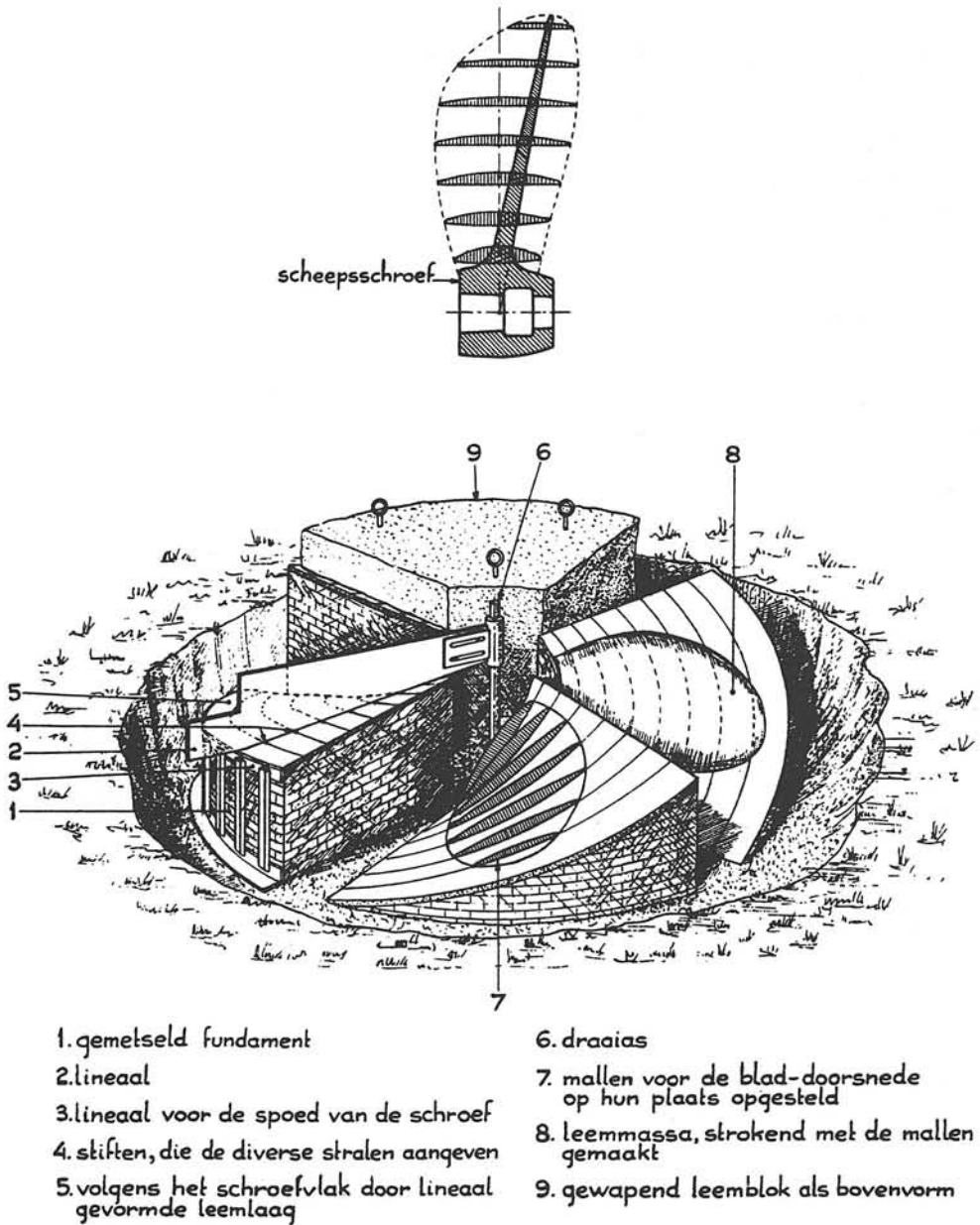
Bij deze methode wordt de kern eveneens met een trekplank gemaakt. Daarop wordt ter afscheiding, dun papier gespreid, waarop een dikke leemlaag wordt aangebracht, die met een trekplank op de wanddikte van het te maken werkstuk wordt gemaakt (mantel). Daarop komt weer dun papier. Daarop komt een gewapend leemblok. Na het oplichten hiervan kan de lemen mantel worden verwijderd. Na het herplaatsen van het leemblok blijft de te gieten holte vrij.



Figuur 5.30 Vormen met een trekplank



Figuur 5.31



Figuur 5.32

### 5.9 Aanbevolen literatuur

- 1 Materials and Processes in Manufacturing, ISBN 40-02-946140-5  
E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald Kosher, 1988  
(Chapter 6, Ferro Materials and Alloys & Chapter 13, Fundamentals of Casting)
- 2 Industriële Productie, ISBN 90-6376-0582  
H.J.J. Kals, G.A. van Lutterveld, I.C.A. Moulijn, 1996  
(Hoofdstuk 2, Vervormen)
- 3 Dictaat Vervaardigingskunde Maritieme Techniek deel I  
K.J. Saurwalt, 1992
- 4 Voorschriften van Classificatie bureau's  
'Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials' van Lloyd's Register,  
Det Norske Veritas, Bureau Veritas etc.



## Bijlage 1

## Rolled Steel Plates, Strip, Sections and Bars

## Chapter 3

## SECTION 2

Normal strength steels for ship and other structural applications

## 2.1 Scope

2.1.1 The requirements of this Section are primarily intended to apply to steel not exceeding 50 mm in thickness. For greater thicknesses, variations in the requirements may be permitted or required for particular applications.

## 2.2 Manufacture and chemical composition

2.2.1 The method of deoxidation and the chemical composition of ladle samples are to comply with the requirements given in Table 3.2.1.

## 2.3 Heat treatment

2.3.1 All materials are to be supplied in a condition complying with the requirements given in Table 3.2.2. Where alternative conditions are permitted these are at the option of the steelmaker, unless otherwise expressly stated in the order for the material.

## 2.4 Mechanical Tests

2.4.1 For each batch presented, one tensile test is to be made from one piece unless the weight of finished material is greater than 50 tonnes, in which case one extra test is to be made from a different piece from each 50 tonnes or fraction thereof. Additional tests are to be made for every variation of 10 mm in the thickness or diameter of products from the same cast. For sections, the thickness to be considered is the thickness of the product at the point at which samples are taken for mechanical tests. A piece is to be regarded as the rolled product from a single slab or billet, or from a single ingot if this is rolled directly into plates, strip, sections or bars.

2.4.2 For Grade A steel Charpy V-notch impact tests are not required for routine acceptance test purposes.

2.4.3 For Grades B and D steels one set of three impact test specimens is to be made from the thickest piece in each batch presented, unless the weight of finished material is greater than 50 tonnes, in which case one extra set of tests is to be made from a different piece from each 50 tonnes or fraction thereof.

Table 3.2.1 Chemical composition and deoxidation practice

Grade	A	B	D	E
Deoxidation	Any method (for rimmed steel, see Note 1)	Any method except rimmed steel	Killed, see Note 2	Killed and fine grain treated with aluminium
Chemical composition %				
Carbon	0,23 max.	0,21 max.	0,21 max.	0,18 max.
Manganese	See Note 3	0,80 min. } See Note 4	0,60 min.	0,70 min.
Silicon	0,50 max.	0,50 max.	0,10-0,50	0,10-0,50
Sulphur	0,040 max.	0,040 max.	0,040 max.	0,040 max.
Phosphorus	0,040 max.	0,040 max.	0,040 max.	0,040 max.
Aluminium (acid soluble)	—	—	—	0,015 min. See Note 5
Carbon + $\frac{1}{4}$ of the manganese content is not to exceed 0,40%				

## NOTES

- For Grade A, rimmed steel may be accepted up to 12,5 mm thick inclusive, provided that it is stated on the test certificates or shipping statements to be rimmed steel and is not excluded by the purchaser's order.
- Grade D steel may be supplied semi-killed up to 25 mm in thickness. In such cases, the requirement for the minimum silicon content does not apply.
- For Grade A in thicknesses over 12,5 mm, the manganese content is to be not less than 2,5 times the carbon content.
- For Grade B, when the silicon content is 0,10% or more (killed steel), the minimum manganese content may be reduced to 0,60%.
- The total aluminium content may be determined instead of the acid soluble content. In such cases the total aluminium content is to be not less than 0,020%.

Table 3.2.2 Heat treatment

Grade and thickness	Condition of supply
A: All thicknesses	As rolled, normalized or controlled rolled
B: All thicknesses	As rolled, normalized or controlled rolled
D: Thicknesses up to and including 25 mm	As rolled, normalized or controlled rolled
D: Thicknesses over 25 mm	Normalized or controlled rolled, see Notes 1 and 2
E: All thicknesses	Plates: normalized Sections: normalized or controlled rolled, see Note 2

## NOTES

- Grade D steel, when killed and fine grain treated with aluminium may, alternatively be supplied in the 'as rolled' condition for thicknesses up to and including 35 mm.
- Sections in Grades D and E steels may be supplied in the as rolled condition provided that satisfactory results are consistently obtained from Charpy V-notch impact tests.

## Chapter 3

## LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

2.4.4 For Grade D steel, where an approved controlled rolling procedure is used as a substitute for normalizing, impact tests are to be taken as in 2.4.3, except that one set is required from each 25 tonnes or fraction thereof.

2.4.5 For plates in Grade E steel, one set of three impact test specimens is to be made from each piece. For sections in Grade E steel, one set of three test specimens is to be made from each 25 tonnes or fraction thereof.

2.4.6 The results of all tensile tests and the average energy values from each set of three impact tests are to comply with the appropriate requirements given in Table 3.2.3. For impact tests, one individual value may be less than the required average value provided that it is not less than 70 per cent of this average value. See Ch 1, 1.1.11 for re-test procedures.

## 2.5 Identification of materials

2.5.1 The particulars detailed in 1.11 are to be marked on all materials which have been accepted, and for ease of recognition are to be encircled or otherwise marked with white paint. Where a number of light materials are bundled one end of each item is to be marked with white paint.

## 2.6 Certification of materials

2.6.1 At least two copies of each test certificate or shipping statement are to be provided. They are to give the information detailed in 1.12 and, additionally, are to indicate if Grade A steel of rimming quality has been supplied. The chemical composition is to include the content of all the elements detailed in Table 3.2.1.

Table 3.2.3 Mechanical properties for acceptance purposes (see Note 1)

Grade	Yield stress N/mm <sup>2</sup> minimum	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation on $5.65\sqrt{S_0}$ % minimum	Charpy V-notch impact tests (longitudinal)	
				Test temperature °C	Average energy J minimum
A	235	400-490	22 (see Note 3)	—	—
B				0	27 (see Notes 2 and 4)
D				-10	27 (see Note 2)
E				-40	27 (see Note 2)

## NOTES

- Requirements for products over 50 mm thick are subject to agreement. See 2.1.1.
- For subsidiary impact test specimens the minimum average energy is to be:

Dimensions mm	Grades B, D and E
10 × 7.5	22 J
10 × 5.0	18 J

Where non-standard subsidiary test specimens are used, the minimum value is to be obtained by interpolation.

- For full thickness tensile test specimens with a width of 25 mm and a gauge length of 200 mm (see Fig. 2.2.4 in Chapter 2), the minimum elongation is to be:

Thickness mm	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35
	≤5	≤10	≤15	≤20	≤25	≤30	≤35
Elongation %	14	16	17	18	19	20	21
							22

- Impact tests are generally not required for Grade B steel of 25 mm or less in thickness provided that satisfactory results are obtained from occasional check tests selected by the Surveyor.

## SECTION 3

Higher tensile steels for ship and other structural applications

## 3.1 Scope

3.1.1 The requirements of this Section are primarily intended to apply to steel not exceeding 50 mm in thickness. For greater thicknesses, variations in the requirements may be permitted or required for particular applications.

3.1.2 Provision is made for material to be supplied in three strength levels with differing values of specified minimum yield stress, i.e. 32, 34S or 36. The strength level 34S is additional to the agreed requirements of the International Association of Classification Societies (IACS) for higher tensile hull structural steels and accordingly has been additionally designated by the letter S. Each strength level is further subdivided into three Grades, AH, DH and EH, which signify differing levels of notch toughness. For the designation to identify fully a steel and its properties, the appropriate letters should precede the strength level numbers, e.g. AH 32.

## 3.2 Alternative specifications

3.2.1 Steels differing from the requirements of this Section in respect of chemical composition, deoxidation practice, heat treatment or mechanical properties may be accepted subject to special approval by the Committee. Such steels are to be given a special designation.

## 3.3 Manufacture

3.3.1 The method of deoxidation is to comply with the requirements given in Table 3.3.1. Rimming steel is not permitted.

## 3.4 Chemical composition

3.4.1 The chemical composition of ladle samples for all grades of steel is to comply with the requirements given in Table 3.3.1.

3.4.2 The carbon equivalent is to be calculated from the ladle analysis using the formula given below and is not to exceed the maximum value agreed between the fabricator and the steelmaker when the steel is ordered. Carbon equivalent

$$= C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

## 3.5 Heat treatment

3.5.1 All materials are to be supplied in a condition complying with the requirements given in Table 3.3.2. Where alternative conditions are permitted, these are at the option of the steelmaker, unless otherwise expressly stated in the order for the material.

Table 3.3.1 Chemical composition and deoxidation practice

Grade	AH32	DH32	EH32	AH34S	DH34S	EH34S	AH36	DH36	EH36
Deoxidation	Killed or semi-killed	Killed (see Note 1)	Killed	Killed or semi-killed	Killed (see Note 1)	Killed	Killed or semi-killed	Killed (see Note 1)	Killed
Chemical composition %									
Carbon	0,18 max.								
Manganese	0,90–1,60 (see Note 2)								
Silicon	0,10–0,60 (see Note 3)								
Sulphur	0,040 max.								
Phosphorus	0,040 max.								
Grain refining elements									
Aluminium (acid soluble) (see Note 4)	See Note 5 0,015 min.			See Note 6 0,015 min.			See Note 6 0,015 min.		
Niobium	—			0,015–0,05			0,015–0,05		
Vanadium	—			0,03–0,10			0,05–0,10		
Residual elements									
Copper	0,35								
Chromium	0,20								
Nickel	0,40								
Molybdenum	0,08								
	Maximum carbon equivalent to be agreed, see 3.4.2								

## NOTES

- DH steels in all strength levels may be supplied semi-killed up to 25 mm in thickness.
- For AH steels in all strength levels up to 12,5 mm in thickness, the specified minimum manganese content is 0,70%.
- Where semi-killed steels are accepted for Grades AH and DH in all strength levels, the specified minimum silicon content is not applicable.
- The total aluminium content may be determined instead of the acid soluble content. In such cases the total aluminium content is to be not less than 0,020%.
- Aluminium may be either partially or totally replaced by niobium or vanadium at the option of the steelmaker. In this case, the steel is not to contain niobium or vanadium exceeding 0,05% or 0,10% respectively.
- The steel is to contain aluminium, niobium, vanadium or other suitable grain refining elements, either singly or in any combination. When used singly, the steel is to contain the specified minimum content of the grain refining element. When used in combination, the specified minimum content of each element is not applicable.

Table 3.3.2 Condition of supply and impact test requirements

Grain refining practice used			Thickness mm	Condition of supply	Impact test	Note
AH32	AH34S	AH36				
Aluminium only			≤ 20	As rolled	Not required	1
				Controlled rolled	Not required	1
				Normalized	Not required	1
			> 20 ≤ 35	As rolled	Required	3
				Controlled rolled	Required	3
				Normalized	Not required	1
Niobium or vanadium or aluminium + niobium or aluminium + vanadium			≤ 12,5	As rolled	Not required	1
				Controlled rolled	Not required	1
				Normalized	Not required	1
			> 12,5	Controlled rolled	Required	3
				Normalized (see Note 5)	Not required	1
DH32 DH34S DH36			≤ 20	As rolled	Required	2
				Controlled rolled	Required	2
				Normalized	Required	2
Aluminium only			> 20 ≤ 25	As rolled	Required	3
				Controlled rolled	Required	3
				Normalized	Required	2
			> 25	Controlled rolled	Required	3
				Normalized (see Note 5)	Required	2
Niobium or vanadium or aluminium + niobium or aluminium + vanadium			≤ 12,5	As rolled	Required	2
				Controlled rolled	Required	2
				Normalized	Required	2
			> 12,5	Controlled rolled	Required	3
				Normalized (see Note 5)	Required	2
EH32 EH34S EH36			Plates: all thicknesses Sections: all thicknesses	Normalized	Required	4
				Controlled rolled	Required	4
All deoxidation methods				Normalized	Required	4
				Controlled rolled	Required	4
				Normalized (see Note 5)	Required	4
				Normalized (see Note 5)	Required	4

## NOTES

- Charpy V-notch impact tests are not generally required, provided that satisfactory results are obtained from occasional check tests selected by the Surveyor.
- One set of three Charpy V-notch impact test specimens is to be made from the thickest piece in each batch presented, unless the weight of finished material is greater than 50 tonnes, in which case one extra test is to be made from a different piece from each 50 tonnes, or fraction thereof.

- Charpy V-notch impact tests are to be made as required by Note 2, except that one set of tests is required from each 25 tonnes, or fraction thereof. Controlled rolling procedures are to be specially approved as required by 1.6.
- For plates, one set of three Charpy V-notch impact test specimens is to be made from each piece. For sections, one set of three specimens is to be made from each 25 tonnes of rolled products or fraction thereof.
- Sections in all Grade AH, DH and EH steels may be supplied in the as-rolled condition provided that satisfactory results are consistently obtained from Charpy V-notch impact tests.

## 3.6 Mechanical tests

3.6.1 For each batch presented, one tensile test is to be made from one piece unless the weight of finished material is greater than 50 tonnes, in which case one extra test is to be made from a different piece from each 50 tonnes or fraction thereof. Additional tests are to be made for every variation of 10 mm in the thickness or diameter of products from the same cast. For sections, the thickness to be considered is the thickness of the product at the point at which samples are taken for mechanical tests. Charpy V-notch impact tests are to be made in accordance with the requirements given in

Table 3.3.2 for the optional grain refining practices and conditions of supply used by the steelmaker. A piece is to be regarded as the rolled product from a single slab or billet, or from a single ingot if this is rolled directly into plates, strip, sections or bars.

3.6.2 The results of all tensile tests and the average energy value from each set of three impact tests are to comply with the appropriate requirements given in Table 3.3.3. For impact tests, one individual value may be less than the required average value provided that it is not less than 70 per cent of this average value. See Ch 1, 1.11 for re-test procedures.

Table 3.3.3 Mechanical properties for acceptance purposes

Grade	Yield stress N/mm <sup>2</sup> minimum	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation on $5,65\sqrt{S_0}$ % minimum (see Note 2)	Charpy V-notch impact tests (longitudinal)	
				Test temperature °C	Average energy J minimum (see Note 3)
AH32 DH32 EH32	315	440-590	22	0	31
-20				31	
-40				31	
AH34S DH34S EH34S	340	450-610	22	0	34
-20				34	
-40				34	
AH36 DH36 EH36	355	490-620	21	0	34
-20				34	
-40				34	

## NOTES

- Requirements for products over 50 mm thick are subject to agreement. See 3.1.1.
- For full thickness tensile test specimens with a width of 25 mm and a gauge length of 200 mm (see Fig. 2.2.4 in Chapter 2), the minimum elongation is to be:

Thickness mm	≤ 5	> 5 ≤ 10	> 10 ≤ 15	> 15 ≤ 20	> 20 ≤ 25	> 25 ≤ 35	> 35 ≤ 60
	Elongation %						
Strength levels 32 and 34S	15	16	17	18	19	20	21
	14	15	16	17	18	19	20
Strength level 36							

- For subsidiary impact test specimens, the minimum average energy is to be:

Dimensions mm	Strength levels		
	32	34S	36
10 × 7,5	26	28	28
10 × 5,0	21	23	23

## 3.7 Identification of materials

3.7.1 The particulars detailed in 1.11 are to be marked on all materials which have been accepted, and for ease of recognition are to be encircled or otherwise marked with green paint. Where a number of light materials are bundled, one end of each item is to be marked with green paint.

3.7.2 Steels which have been specially approved and which differ from these requirements are to have the letter S after the agreed identification mark.

## 3.8 Certification of materials

3.8.1 At least two copies of each test certificate or shipping statement are to be provided. They are to give the information detailed in 1.12 and additionally are to state the specified maximum carbon equivalent. The chemical composition is to include the content of any grain refining elements used, but the content of residual elements need not be stated.

3.8.2 For steels which have been specially approved, the agreed identification mark, the specified minimum yield stress and, if applicable, the content of alloying elements are additionally to be stated on the test certificate or shipping statement.

3.8.3 The steelmaker is to provide the Surveyor with a written declaration as detailed in 1.12.2.

## 6

**Verspanende bewerkingen**

Alhoewel men bij de voorbereiding en assemblage van staal voornamelijk *niet-verspanende* technieken toepast, komen bij de voorbereiding van de inrichting en uitrusting van het schip nog steeds *verspanende* bewerkingen voor, voornamelijk voor de werktuigkundige installaties. Sommige bewerkingen, bijvoorbeeld het 'vlakken' van fundaties voor het aanbrengen van vulstukken bij het uitlijnen van bijvoorbeeld hoofdmotoren of pompen, zijn voor een deel vervangen door nieuwe technieken, zoals het ter plaatse ingieten van kunststof, nadat de motor of pomp is uitgelijnd.

Bovendien worden meer en meer gemodulariseerde eenheden van te voren samengesteld, waarbij installaties in een vooraf geassembleerde eenheid zijn opgenomen en pijpen, afsluiters en equipment van te voren in modules zijn samengebracht. Zie figuur 11 uit hoofdstuk 2..

Basiskennis van de verspanende bewerkingen is zinvol omdat het bij werktuigkundige installaties nodig is om binnen de strikte toleranties te blijven.

Machinedelen stellen hoge eisen aan de nauwkeurigheid en het oppervlak. Voor onderdelen van motoren en turbines liggen de gevraagde nauwkeurigheid tussen de 0,01 en 0,001 mm. Aan de fijnregelingen en instrumenten worden nog hogere eisen gesteld. Bij bewerkingen als gieten, smeden en walsen ligt de haalbare grens van de nauwkeurigheid bij de 0,1 mm bij kleinere werkstukken.

In de scheepsbouw zijn bij de voorbereiding van het plaatmateriaal (snijden) toleranties van  $\pm 0,5$  mm haalbaar. Bij het vervormen van materialen (buigen, walsen en persen) zal de maximale afwijking groter zijn. Na het aflassen van samenstellingen komen maatafwijkingen van 0,5 tot 1 cm voor en afhankelijk van de grootte van de secties kan dit tot 1 à 2 cm oplopen. Door de invoer van warmte tijdens het lassen en de optredende krimp na het afkoelen zijn vervormingen vrijwel niet te vermijden.

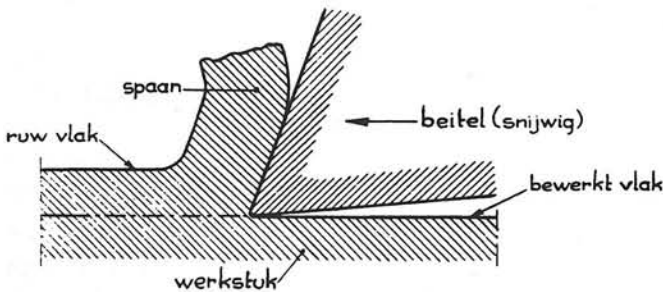
Om de vereiste nauwkeurigheid voor de te installeren equipment te realiseren, zijn dan onder meer verspanende bewerkingen nodig. Deze bewerking vindt één of twee stappen plaats, afhankelijk van de gevraagde nauwkeurigheid, het 'ruwe' voorbereiden en het 'fijnere' nabewerken. Daarbij worden verschillende technieken gehanteerd.

Dit hoofdstuk heeft tot doel de principes van de verspanende bewerkingen duidelijk te maken. Veel van de bewerkingen worden in machinefabrieken met behulp van CAD/CAM systemen voorbereid. Gereedschappen worden gemeten op slijtage en volautomatisch verwisseld, terwijl de werkstukken eveneens met behulp van het CAD/CAM systeem worden verplaatst of van

positie worden veranderd. De voorbeelden van de machines hebben uitsluitend tot doel de bewerkingen te tonen die met verschillende soorten machines kunnen worden uitgevoerd.

### 6.1 Verspanend snijden

Bij deze bewerking wordt het voor het werkstuk ongewenste materiaal als spannen of krullen van het werkstuk afgesneden, totdat het werkstuk de gewenste vorm en maat bezit. Zie figuur 6.1.



Figuur 6.1 Verspanend snijden

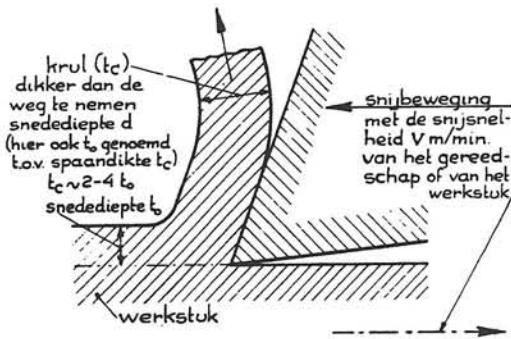
De verspanende bewerking kan op vrijwel alle materialen worden toegepast mits het gereedschap harder is dan het materiaal van het werkstuk en daarbij niet te snel weg slijt onder werking van de krul. Dit eist dus kennis van de eigenschappen van het te snijden materiaal met inzicht in het gedrag van het gereedschapsmateriaal.

Met de verspanende bewerking kan men de gewenste nauwkeurigheid bereiken met de bijbehorende eisen die aan oppervlakken worden gesteld.

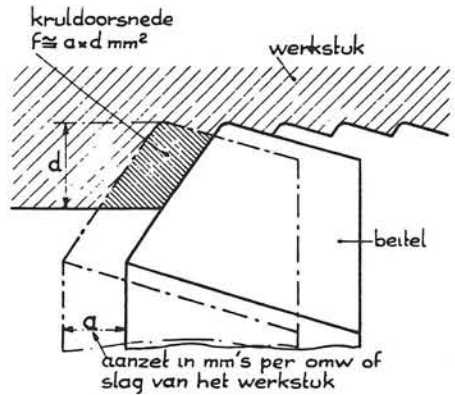
#### De snijwig

Het gereedschap dat de verspaning uit moet voeren heeft steeds als werkend deel een snijwig. Deze snijwig wordt op een zekere diepte tegenover het ruwe metaaloppervlak ingesteld. Deze diepte noemt men de snedediepte "d". Zie figuren 6.2 en 6.3

Het gereedschap krijgt tegenover het werkstuk (of het werkstuk tegenover het gereedschap) een snijbeweging. De snijsnelheid ligt op 200 - 400 meter per minuut en hoger, afhankelijk van het materiaal. Als het gereedschap de gehele lengte en breedte niet ineens kan bestrijken, moet het bewerken van het oppervlak in opeenvolgende stroken gebeuren, waartoe het gereedschap een zijwaartse verplaatsing krijgt. (de aanzet a, gemeten in mm's per omwenteling of slag van het werkstuk). De snedediepte, tezamen met de aanzet, bepalen de zogenaamde kruldoorsnede f in mm<sup>2</sup>. Bij benadering geldt  $f = a * d \text{ mm}^2$ .



Figuur 6.2



Figuur 6.3 Bovenaanzicht van de beitel

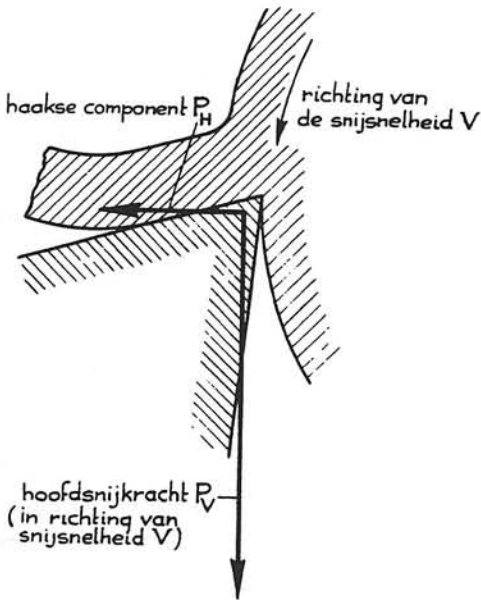
Maakt men de snedediepte en/of aanzet groter dan krijgt men grotere kruldoorsneden en dus grotere krachten. Deze krachten, die vlak bij de snijkant van het gereedschap werken, zullen zelfs bij kleine kruldoorsneden reeds vrij groot zijn (bij een kruldoorsnede van  $1 \text{ mm}^2$  op staal vindt men al spoedig een snijkracht van circa  $200 \text{ kN}$ ). Bij grotere kruldoorsneden (bijv.  $5$  à  $10 \text{ mm}^2$ ) ziet men krachten die in liggen tussen  $1000$  en  $2000 \text{ kN}$  en groter, afhankelijk van het soort materiaal. Hieruit volgt dat het materiaal van de beitel in staat moet zijn om dergelijke grote, bij de punt gecontroleerde krachten op te nemen.

Om trillingen of uitbrokkelingen van de snijkanten te voorkomen, wordt de beitel zo kort mogelijk ingespannen. De twee voornaamste componenten van de krachten op de beitel zijn afgebeeld in figuur 6.4.  $P_V$  is de grootste kracht en enige malen groter dan  $P_H$ .

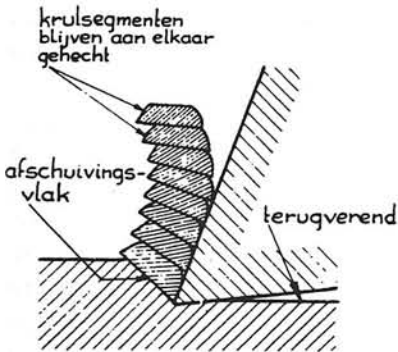
Bij de verplaatsing van de beitel tegenover het werkstuk wordt het materiaal voor de beitel opgestuwd totdat er geen verdere blijvende vervorming meer optreedt. Daarop volgt een afschuiving, waarbij bij taaie materialen een bepaalde samenhang tussen de afschuivende delen blijft bestaan, terwijl bij minder taaie een complete afscheuring van een gedeelte van het materiaal plaatsvindt. Op deze wijze vormen zich lintkrullen of korte krullen. (zie figuren 6.5 en 6.6).

Bij brosse materialen die geen plastische vervorming toelaten worden brokjes van het materiaal als losse stukken uit het werkstuk uitbroken. Er ontstaat dan een zgn. brokkelkrul (zie figuur 6.7). Tijdens de bewerking zijn korte krullen het gunstigste, want lange lintkrullen geven last en kunnen gevaar voor de omgeving opleveren, terwijl de wegschietende stukjes van de brokkelkrul gevaarlijk zijn voor o.a. het oog. Bovendien kan de brokkelkrul eerder aanleiding geven tot trillingen.

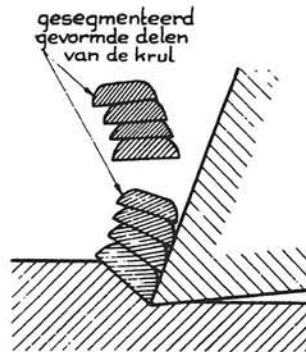




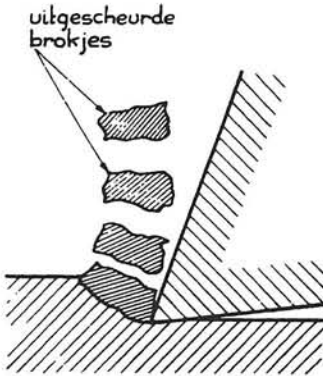
Figuur 6.4 Componenten van de krachten die op de beitel werken.



Figuur 6.5 Lintkrullen



Figuur 6.6 Korte Krullen



*Figuur 6.7 Brokkelkrul*

Het is duidelijk dat het materiaal waaruit de snijwig bestaat, harder moet zijn dan het materiaal van het werkstuk, om niet zelf te worden weggedrukt. Het gereedschapsmateriaal kan gehard gewoon ongelegeerd gereedschapsstaal zijn (met circa 1,3% C en weinig of geen andere bestanddelen) of wel gehard snelstaal (circa 0,8% C, 4% Cr, 18% W, eventueel Co, Va en Mo) dat veel hogere snijsnelheden toelaat dan het gewone staal.

Ook wordt het zogenaamde hardmetaal gebruikt, bijvoorbeeld gesinterd wolfram-carbide met circa 6-10% kobalt als bindmiddel en verder eventueel titaal-of tantaalcarbide. Dit hardmetaal laat hogere snelheden toe dan het snelstaal. Keramische snijmaterialen, in vele gevallen bestaande uit aluminiumoxyde  $Al_2O_3$  met een bindmiddel gesinterd, kunnen met grotere snijsnelheden werken dan het hardmetaal.

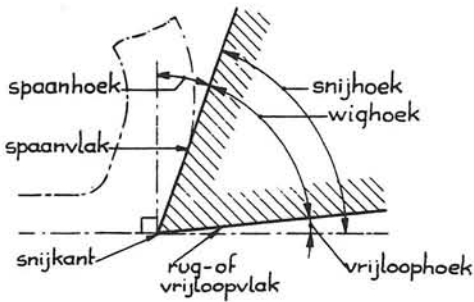
Slijpmiddelen bestaan uit harde, temperatuur-bestendige kristalletjes van  $Al_2O_3$ , SiC of diamant en dergelijke, meestal met een bindmiddel tot stenen gebonden. Diamantjes, vastgezet in stalen houders, worden ook als afzonderlijke kleine beiteltjes gebruikt.

Naast de grotere hardheid van het gereedschapsmateriaal tegenover die van het werkstuk moet het gereedschapsmateriaal ook een grote slijtbestendigheid hebben om niet te snel weg te slijten onder de werking van de over de beitel heenlopende krul. Daardoor zou de beitel te snel onbruikbaar worden (de gebruiksduur wordt dan te kort) waardoor vaak moet worden nageslepen. Hardheid en slijtbestendigheid zijn ook bij hogere temperaturen nodig, omdat bij het snijden de beitel verhit. Vooral bij grote snijsnelheden krijgt de beitel een hoge temperatuur (600 à 800°).

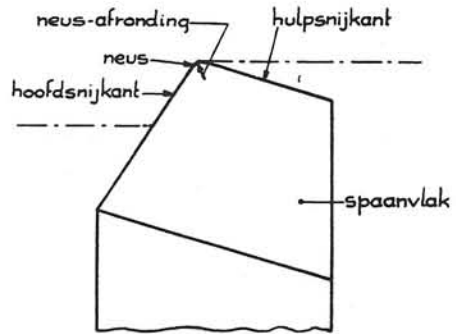
Het vlak waarover de krul afloopt, heet het spaanvlak. Het tegenover liggende vlak, dat langs het werkstuk loopt, noemt men het vrijloopvlak omdat het zó geslepen moet worden dat het

vrij komt te staan van het oppervlak van het werkstuk. De beide vlakken snijden elkaar in de snijkant van de beitel. Deze moet scherp blijven, wil de beitel zijn taak goed kunnen vervullen. Zie figuren 6.8 en 6.9.

De hoek tussen de beide vlakken heet wighoek. De hoek tussen het spaanvlak en het gesneden oppervlak van het werkstuk noemt men snijhoek, terwijl het complement daarvan, d.w.z. de hoek tussen het spaanvlak en het loodrechte vlak op het materiaaloppervlak, de spaanhoek is. Gewoonlijk is de snijhoek kleiner dan  $90^\circ$  met het oog op zo'n klein mogelijke vervorming van de krul en een zo gemakkelijk mogelijk aflopen ervan over de beitel; de spaanhoek heeft dan een positieve waarde. Met een snijhoek van meer dan  $90^\circ$  wordt de spaanhoek negatief. De beitelpunt wordt hierdoor sterker. De hoek tussen het vrijloopvlak en het werkstuk noemt men de vrijloophoek. De som van vrijloophoek en wighoek geeft de snijhoek.



Figuur 6.8



Figuur 6.9 Bovenaanzicht van de beitel

### 6.2 Verspanende bewerkingen

Men maakt verschil tussen verspanende voorbereidingen en verspanende nabewerking.

#### Verspanende voorbereidingen

Bij de voorbereiding ligt de nauwkeurigheid in de orde van grootte van 0,1 mm, die echter vaak niet toereikend is voor de aan het machinedeel te stellen nauwkeurigheidseisen, die van enige 0,01 mm's tot enige 0,001 mm's kunnen zijn.

#### Rondbewerkingen

Onderscheiden worden:

- Het draaien

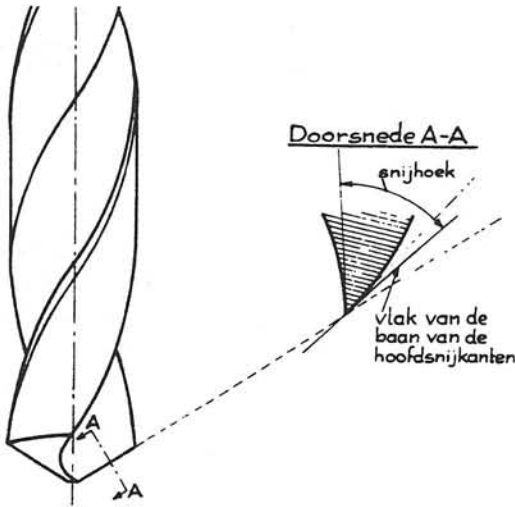
De gewenste vorm van het werkstuk is in het algemeen cilindrisch. De beitel moet tegenover het draaiende werkstuk een langsverplaatsing ondergaan, die door de aanzet wordt gegeven.



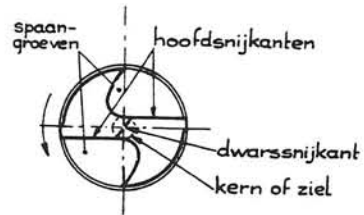
## 6 Verspanende bewerkingen

- Het boren

Bij het boren wordt een gat in het werkstuk gemaakt uit het volle materiaal. Daarom moet men hiervoor ander gereedschap gebruiken dan bij het uitboren, dat vrijwel hetzelfde is als bij het draaien. Het meest gebruikte gereedschap bij het boren is de spiraalboor, een cilinder voorzien van twee groeven, waardoor twee hoofdsnijkkanten ontstaan en op de ziel van de boor een dwarssnijkant. (zie figuren 6.12 en 6.13)



Figuur 6.12 Zijaanzicht

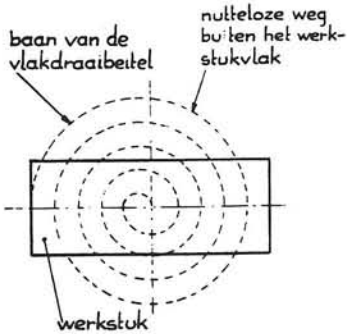


Figuur 6.13 Spiraalboor tegen de punt gezien

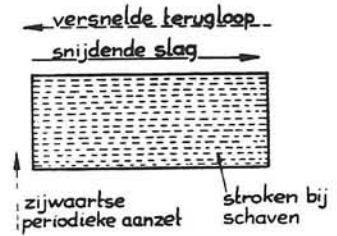
### De vlakbewerking

- Het vlakdraaien

Hierbij wordt, in tegenstelling met het gewone draaien waarbij de beitel een aanzet krijgt evenwijdig aan de hartlijn van het werkstuk, de beitel haaks op het werkstuk aangezet. Zie figuur 6.14. Dit vlakdraaien is een geschikte bewerking als het eindvlak van het werkstuk een cirkelvorm heeft. Is dit vlak echter langgerekt van vorm dan is het schaven een betere bewerking. Zie figuur 6.15.



Figuur 6.14 Vlakdraaien



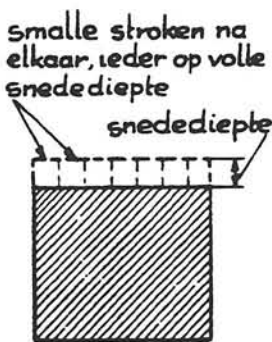
Figuur 6.15 Schaven

- Schaven

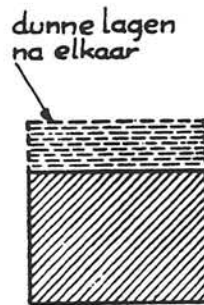
Bij het schaven krijgt de beitel een langs beweging over het werkstuk en bewerkt een relatief smalle strook. Na het afleggen van een snijdende slag over het werkstuk gaat de beitel terug in zijn beginstand om daarna weer een nieuwe strook te bewerken. De schaafbeitel werkt strooksgewijs. De beitel wordt na terugslag zijdelings verplaatst, de periodieke dwarsaanzet, om daarna een nieuwe snijdende slag te maken.

Men moet bij het schaven smalle stroken snijden omdat het niet mogelijk is, wegens de grote krachten en vermogens, de gehele werkstukbreedte met de totale snedediepte ineens te bewerken. De totale kruldoorsnede wordt in kleinere krullen verdeeld:

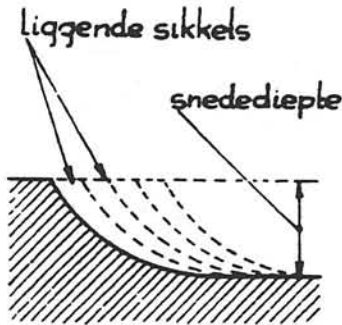
- ▶ verticaal, zoals bij het schaven (zie figuur 6.16),
- ▶ horizontaal, zoals bij het brootsen (zie figuur 6.17),
- ▶ als dunne sikkels, zoals bij het frezen (zie figuren 6.18 en 6.19).



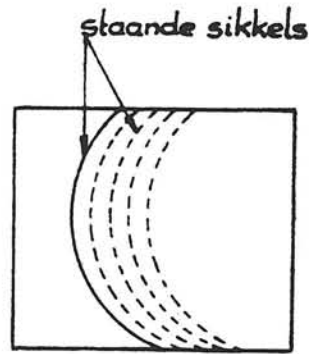
Figuur 6.16 Schaven  
(Dwarsdoorsnede)



Figuur 6.17 Brootsen  
(Dwarsdoorsnede)



Figuur 6.18 Mantelvrees  
(Vertikale doorsnede)



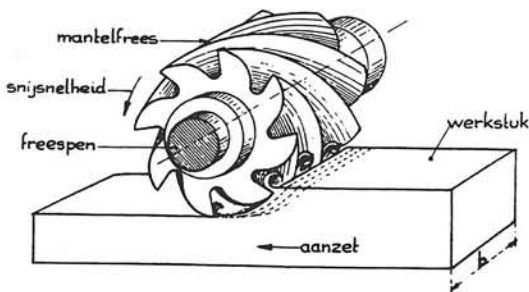
Figuur 6.19 Kopfrees  
(Bovenaanzicht)

- Het frezen

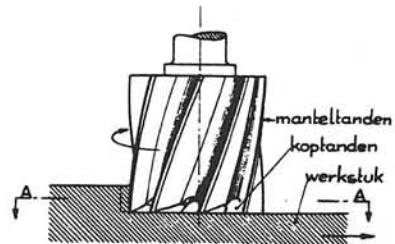
Met frezen kan men een grote breedte van het werkstuk in één passage bewerken door de verdeling van de krul in sikkels. Hiertoe maakt men de snijmesses draaiend.

Het draaiende cilindervormige gereedschap, met daarop aangebracht de meedraaiende messen, noemt men een frees. Men onderscheidt mantelfrezen, waarbij de messen aangebracht zijn op het buitenvlak van de cilinder (zie figuur 6.20) en kopfrezen, waarbij tanden zijn aangebracht op het kopvlak (zie figuren 6.21, 6.22 en 6.23).

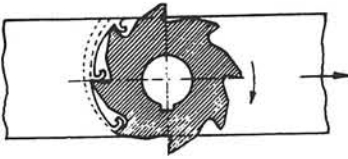
Dergelijke kopfrezen zijn zeer geschikt voor het vlakfrezen van grotere vlakken.



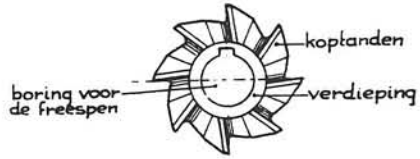
Figuur 6.20 Mantelvrees  
(Met schroefstanden)



Figuur 6.21 Kopvrees  
(Zijaanzicht)



Figuur 6.22 Kopvrees  
(Doorsnede A-A)



Figuur 6.23 Kopvrees  
(Onderaanzicht)

### Verspanende nabewerkingen

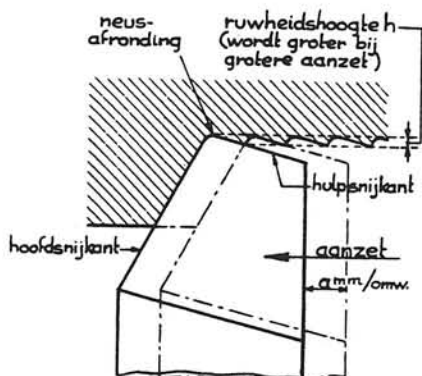
De nabewerking heeft tot doel het werkstuk nauwkeurig van maat en vorm te maken en een glad oppervlak te geven.

Onnauwkeurigheden ontstaan door het elastisch vervormen van het werkstuk onder de snijkrachten. Voor kleine vervormingen, dus een grotere nauwkeurigheid, dienen de krachten klein te zijn. Snijkrachten, die de machine en het werkstuk op buiging belasten moeten worden beperkt.

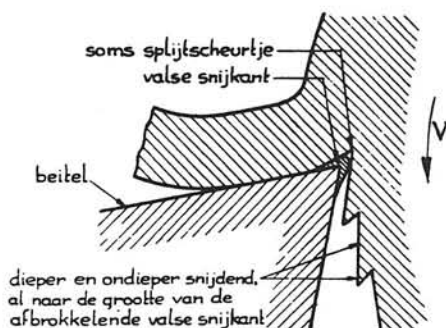
De gladheid van het werkstuk wordt bepaald door:

- de dwarsruwheid die bij het voortgaan van de beitel langs het werkstuk ontstaat uit het niet door de beitel weggesneden materiaal dat de vorm van een ondiepe schroefgang op het werkstuk heeft. De ruwheid wordt kleiner naarmate de aanzet kleiner is (Zie figuur 6.24).
- De langsruwheid in de richting van de snijbeweging. Die wordt veroorzaakt door een splijtscheurtje dat vóór de beitel uitloopt en door het aanzwellen van kleine materiaaldeeltjes op de snijkant van de beitel een zogenaamde valse snijkant vormt (Zie figuur 6.25).





Figuur 6.24 Dwarsruwheid



Figuur 6.25 Langsruwheid

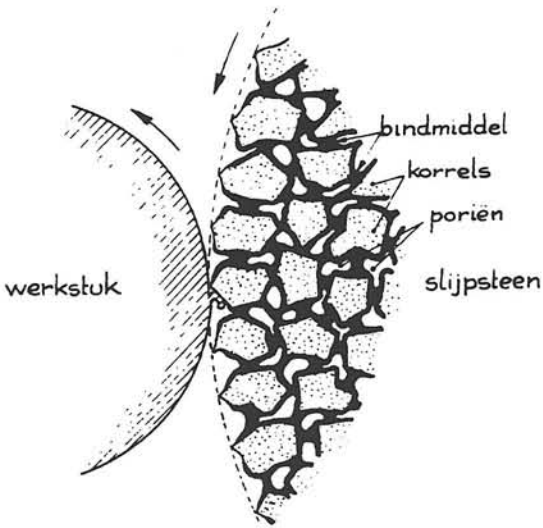
Nabewerkingsmethoden zijn:

- Fijndraaien, fijnboren, frezen.

Deze bewerkingen komen in principe geheel overeen met de overeenkomstige verspanende voorbewerkingen. Teneinde echter kleine krulletjes met grote snelheden te kunnen wegnemen, moeten de snijdende mesjes van hardmetaal of diamant zijn om met grote snelheid te kunnen werken. Het fijndraaien en fijnboren wordt gebruikt met name voor materialen zoals bijvoorbeeld witmetaal, koper en aluminiumlegeringen, die moeilijk door slijpen en dergelijk te bewerken zijn. Zo worden bijvoorbeeld de kussenblokken en de boringen van de drijfstangkoppen in de massa-industrie van automobielmotoren door fijnboren nauwkeurig en glad afgewerkt.

- Slijpen

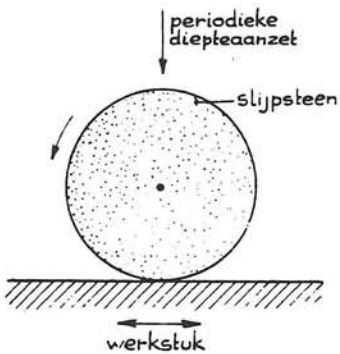
Ook het slijpen is een verspanende bewerking. Hierbij bestaat het gereedschap uit harde temperatuurbestendige kristalletjes, die in een snel ronddraaiende steen met een bindmiddel zijn vastgezet (zie figuur 6.26). De uitstekende puntjes hebben hierbij dezelfde werking als freesstanden met alleen dit verschil dat de krulletjes die weggenomen worden zeer veel kleiner zijn dan die van het frezen. Dit houdt verband met de kleine afmetingen van de korrels, waarvan de vrij-uitstekende snijdende kanten van de orde van grootte zijn van 0.1 mm.



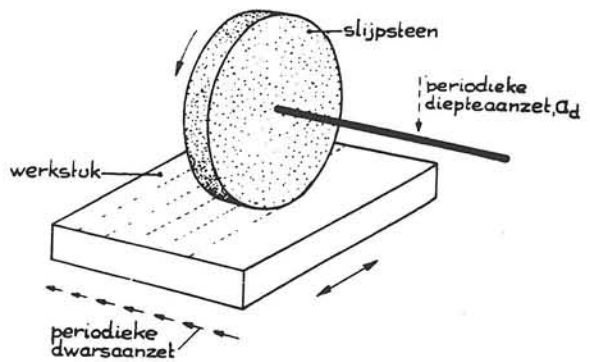
Figuur 6.26 Slijpen

Men onderscheidt rondblijpen en vlaklijpen

- Het vlaklijpen met het mantelvlak van een cilindrische steen. Dit is te vergelijken met het frezen met een mantelfrees. (zie figuren 6.27 en 6.28)



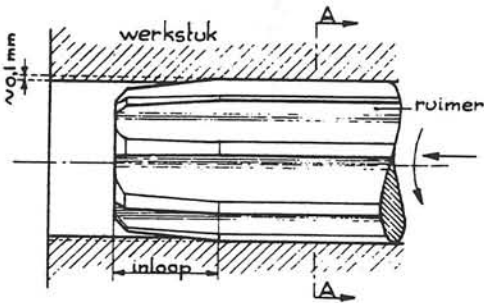
Figuur 6.27



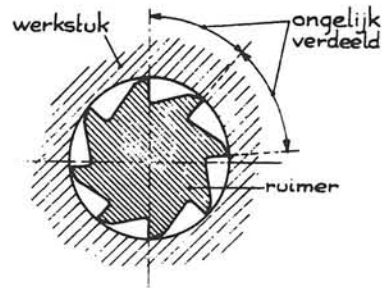
Figuur 6.28

### Ruimen

Het ruimen wordt gebruikt voor de nabewerking van boringen die, hetzij door een spiraalboor, hetzij door een boormes voorbereid zijn. De ruimer is een cilindrisch gereedschap met tanden op de omtrek, die het uiterlijk van een frees heeft (zie figuren 6.29 en 6.30).



Figuur 6.29 Ruimer



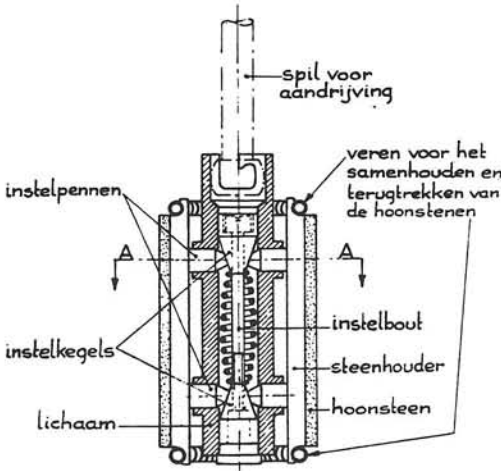
Figuur 6.30 Doorsnede A-A van ruimer

### Fijnslijpen

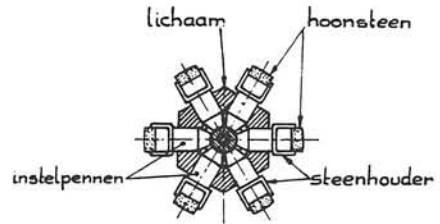
Voert men het slijpen uit met zeer fijne slijpkorrels die dicht bij elkaar in een slijpsteen geplaatst zijn, dan kan men hiermede glad en zeer nauwkeurig slijpwerk maken.

**Honen** (van het Engels: to hone)

Het honen is een fijnslijpbewerking, waarbij het fijne slijpmateriaal niet tot een ronddraaiende steen is gebonden maar in de vorm van rechthoekige slijpblokken is gebracht. Deze zijn in een ronddraaiende houder radiaal verstelbaar vastgezet (zie figuren 6.31 en 6.32). De houder wordt ronddraaiend op en neer bewogen door het op maat te maken gat, waardoor dit glad en op een nauwkeurige maat gebracht wordt.



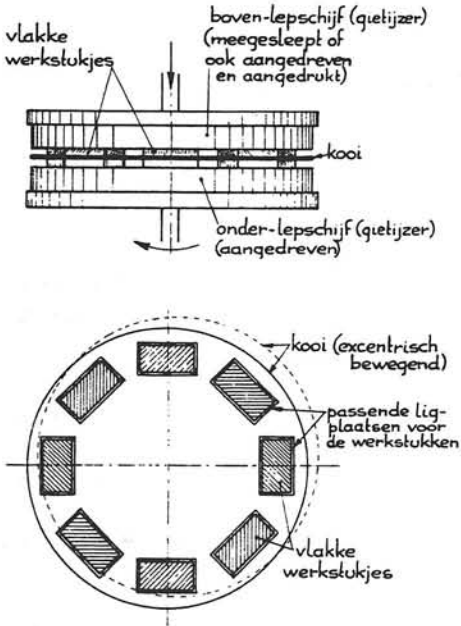
Figuur 6.31 Hoon



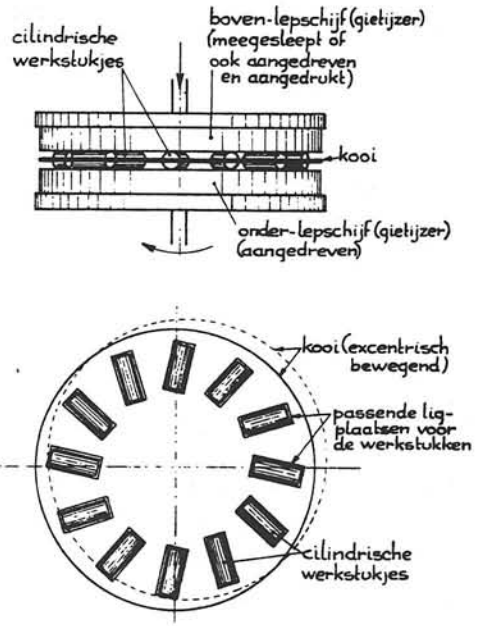
Figuur 6.32 Doorsnede A-A van Hoon

**Het leppen** (van het Engels: to lap)

Bij het leppen wordt geen gebruik gemaakt van een tot steen gebonden slijpmiddel, maar worden losse, fijne slijpkorrels gebruikt die tussen het werkstuk en het lepgereedschap gebracht worden. Om deze losse slijpkorrels te laten slijpen moeten zij tijdelijk in het lepgereedschap worden vastgehouden, waartoe dit van een poreus materiaal moet zijn (gietijzer) (zie figuur 6.33 en 6.34) of wel van een zacht, gemakkelijk indrukbaar materiaal (koper of lood). Om de gelijkmatige verdeling van het lepmiddel mogelijk te maken, wordt dit in olie gesuspendeerd of wel gelijkmatig in een vetsoort gemengd. Het leppen is de nauwkeurigste en gladste nabewerking.



Figuur 6.33 Vlak Leppen;  
zij- en bovenaanzicht



Figuur 6.34 Rond Leppen;  
zij- en bovenaanzicht

### 6.3 Aanbevolen literatuur

- 1 Materials and Processes in Manufacturing, ISBN 0-02-946140-5  
E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald Kosher, 1988.  
(Chapter V, Material Removal Processes)
- 2 Industriële Productie, ISBN 90-6376-0582  
H.J.J. Kals, C.A. van Lutterveld, I.C.A. Moulijn, 1996  
(Hoofdstuk 5, Verspanen)
- 3 Dictaat Vervaardigingskunde Maritieme Techniek deel I  
K.J. Saurwalt, 1992
- 4 Production Engineering Technology, ISBN 0-333-29398-3  
J.D. Bradford, D.B. Richardson, 1987  
(Chapter 7,8,9,10 & 11)

## De pre-fabricage (voorbewerking)

De scheepsbouw wordt gekenmerkt door fabricage -en assemblageprocessen.

- De voorbereiding van de onderdelen voor de (meestal stalen) romp.
- De assemblage, de montage en het verbinden van de stalen onderdelen.
- De inrichting en uitrusting van de geassembleerde stalen onderdelen (secties en modules), waarbij de verschillende installaties (werktuigbouwkundige elektrische, navigatie apparaat, de ladingbehandeling etc.) worden ingebouwd.

Een zorgvuldige en georganiseerde voorbereiding van deze processen zijn bepalend voor het realiseren van korte doorlooptijden en de efficiency van de productie.

Mensen en middelen dienen effectief (doeltreffend) en efficiënt (doelmatig, economisch verantwoord) te worden ingezet.

Dit hoofdstuk behandelt het vervaardigen van onderdelen (de pre-fabricage) en de daarbij voorkomende machines voor de bewerkingen en de productietechnieken.

### 7.1 De voorbereiding

De voorbereiding van de onderdelen bestaat uit de volgende hoofdgroepen van bewerkingen:

- Conserverende technieken, dat wil zeggen het straalgritten van platen en profielen en het aanbrengen van een roestwerende shopprimer (ijzeroxyde of een zinklaag), het zogenaamde pre-conserveren.
- Niet verspanende scheidende technieken, zoals snijbranden, knippen, knabbelen of ponsen.
- Verspanende scheidende technieken als schaven, frezen, hakken en slijpen.
- Omvormende technieken zoals walsen, buigen, vouwen, drukken en zetten.

Het scheiden en vervormen wordt meestal als pre-fabricage aangeduid. De voorbereiding, zowel het conserveren als de pre-fabricage zijn in de scheepsbouw vrijwel volledig gemechaniseerd en geautomatiseerd.

Het plaatmateriaal en de profielen wordt meestal met een shopprimer bij de werf afgeleverd. De scheidende technieken zijn vrijwel geheel geautomatiseerd door middel van numeriek bestuurd brandsnijmachines.

Verspanende technieken als schaven, frezen en hakken komen bij de voorbereiding van plaat en profiel vrijwel niet meer voor omdat met het snijbranden tegenwoordig een grote maatnauwkeurigheid van de onderdelen kan worden bereikt.

### 7.2 CAD/CAM in de scheepsbouw

De CAD/CAM systemen in de scheepsbouw zijn vanuit twee toepassingen ontstaan:

- de Numerieke Besturing (NuBe) van brandsnijmachines,
- de computerprogrammatuur ter ondersteuning van het scheepsontwerp, bijvoorbeeld op hydrostatisch en hydrodynamisch gebied.

NuBe behoort tot het gebied dat nu met Computer Aided Manufacturing (CAM) wordt aangeduid. De tweede toepassing behoort tot het gebied dat nu Computer Aided Design (CAD) heet.

Beide toepassingen hebben dezelfde basis, het vastleggen van de rompvorm van het schip.

#### Uitslaan en aftekenen

Voor de Tweede Wereldoorlog en direct daarna werden bij de scheepswerven de vorm van de romp en afmetingen van de stalen delen nog bepaald met behulp van een spantenraam op ware grootte op een daarvoor speciaal ingerichte houten vloer, de uitslagzolder of ook wel spantenvloer genoemd. De vormen van de onderdelen (vrangen, spanten, stringers etc.) en de niet rechthoekige platen werden op ware grootte met behulp van houten mallen vastgelegd, afgeschreven en gecontroleerd.

Met deze mallen werden de contourlijnen van de plaatdelen op de te snijden platen, door kraslijnen en centerpunten aangegeven. Men werkte dus geheel op ware grootte.

Ook is het mogelijk het spantenraam niet zelf uit te zetten, maar het op hout of krimpvrij papier te laten toeleveren door een gespecialiseerd bedrijf dat met behulp van een computer de gestrookte scheepsvorm bepaalt. Deze oude en beproefde methode treft men nog aan bij sommige kleine werven en bij werven in ontwikkelingslanden.

Een voorlopige indeling van de platen en secties werd meestal gemaakt met behulp van een halfmodel. De ondersteunende berekeningen voor het ontwerp werden gemaakt met behulp van een op schaal met de hand getekend lijnenplan.

#### Het 1:10 tekenen

Een vrijwel niet meer voorkomende methode is het zogenaamde 1:10 tekenen.

Na de ontwikkeling van brandsnijmachines, die, uitgaande van een tekening met een schaal 1:10, met behulp van optische aftasting nauwkeurige plaatdelen kunnen branden, werd het werk dat vroeger op de spantenvloer op ware grootte gebeurde overgenomen door een tekenkamer 'één op tien'. Deze tekenkamer vervaardigde de benodigde nauwkeurige tekeningen van de plaatdelen op schaal 1:10 voor de met optische besturing uitgeruste brandsnijmachines.

De bedrijven die voor het snijden van alle of een deel van de platen van hand-brandsnijmachines gebruik maakten, tekenden vervolgens de platen met de hand af met behulp van een projectietoren. Daartoe werden schaaltekeningen 1:10 gefotografeerd en op grote dia's vastgelegd. Met behulp van een sterke projector boven in een projectietoren werden de dia's op ware grootte op de horizontaal onder de toren liggende platen geprojecteerd.

Aan de hand van de projectie op de plaat tekende men met de hand, op de wijze zoals men dat vroeger met houten mallen deed, de platen met centerpunten, kraslijnen en vele met de hand aangebrachte merktekens met verf af.

### Het drie dimensionaal tekenen

De ontwikkeling om de complexe vorm van het schip in drie dimensies strokend te kunnen maken met behulp van rekenprogramma's in een computer heeft niet alleen geleid tot een zeer hoge nauwkeurigheid in de pre-fabricage van onderdelen, maar ook tot verlaging van de kosten (minder afval van staal) en een verhoging van de productiviteit. Lijnenplannen kunnen aanzienlijk sneller worden gemaakt en eenvoudiger aangepast.

Deze ontwikkeling betekende een revolutie in het productie-tekenwerk en de werkvoorbereiding. Aanvankelijk werd op het beeldscherm nog in twee dimensies getekend (zoals op de tekenplank), waarbij met behulp van verschillende aanzichten de constructies als het ware in drie dimensies werd gebracht.

Nu kan op het beeldscherm in drie dimensies worden getekend. Tevens is het mogelijk installaties, pijpsystemen, kabelbanen, equipment, accommodatie etc. in de 3-D constructie van de romp aan te brengen.

De ontwerper kan zich er van vergewissen of bijvoorbeeld het equipment in de daarvoor bestemde ruimte past, de constructeur kan controleren of installaties en systemen goed onderhoudbaar (bereikbaar) zijn, eenvoudig te installeren zijn en compact in modules kunnen worden samengebracht, zodat de montage aan boord snel en efficiënt kan plaatsvinden.

De volgorde van de samenbouw van secties en onderdelen kan worden gevisualiseerd. Met behulp van de gecodeerde onderdelen kan de inkoop logistiek en het transport van onderdelen beter worden georganiseerd. Door de afstemming van de CAD- en CAM-systemen, in het Engels ook wel 'concurrent engineering' genoemd, doet zich een scala van mogelijkheden voor om voorbereidende activiteiten van het productieproces te versnellen, de kwaliteit te verbeteren, de productiviteit te verhogen en de kosten te verlagen.

Bovendien kunnen met behulp van de met 3-D programmatuur gemaakte tekeningen, naast de informatie benodigd voor de pre-fabricage van de onderdelen, gegevens voor het assemblageproces worden gegenereerd, waarmee dit proces naast de mechanisering, ook vergaand kan worden geautomatiseerd en gerobotiseerd.

### 7.3 Gritten en stralen

Het grondig reinigen van platen en profielen en voorlopig conserveren heeft meerdere redenen. Redenen zijn onder andere:

- Tijdens de bouw van het schip wordt het staal beschermd tegen corrosie,
- De pre-conservering kan efficiënt en relatief goedkoop op alle onderdelen worden aangebracht waarmee een goede hechting voor het totale verfsysteem op het staal kan worden gerealiseerd.



- Het bevordert het schoon en netjes werken.

De uiteindelijke doelstelling is het verfsysteem van het schip een zo lang mogelijke levensduur te geven.

Er zijn vele methoden om het oppervlak van staal te reinigen<sup>1</sup> voordat een eerste beschermende laag op het staal wordt aangebracht.

### 7.3.1. Het reinigen van het staaloppervlak

Voor het verwijderen van olie, vet en ander niet aan het oppervlak hechtend vuil worden reinigingsmiddelen met alkalische stoffen gebruikt. Deze middelen bevatten loog dat verzeept, silicaten die emulgeren en dispergeren en fosfaten die het vuil afspoelbaar maken. Het is een vorm van chemisch reinigen dat chemisch afval oplevert.

#### Beitsen

Het beitsen is een chemische behandeling. Wanneer platen en profielen bedekt met een washuid enige tijd in de buitenlucht zijn opgeslagen wordt de harde washuid omgezet in roest. De roest kan gemakkelijk met een staalborstel of door middel van bikken worden verwijderd. De roest wordt echter niet geheel verwijderd, het oppervlak wordt aangetast, staal wordt omgezet in roest. Deze 'behandeling' heet afroesten en biedt geen lange levensduur aan het verfsysteem. Na het borstelen en bikken kan het oppervlak door een agressief zuur worden 'aangetast' met het doel een gelijkmatig schoon oppervlak te krijgen. Beitsen mag niet te lang duren omdat het ook tot materiaalverlies leidt. Omdat het beitsmiddel agressief is, moet het oppervlak worden nagespoeld met water, waardoor weer het risico van naroesten ontstaat.

De meest toegepaste beitsmiddelen voor staal zijn zoutzuur (HCl), zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ) en fosforzuur ( $H_3PO_4$ ).

Bij de behandeling met het zuur kan de gevormde waterstof in het staal worden opgenomen. Afhankelijk van het product lost de roest meer (HCl) of minder ( $H_2SO_4$  en  $H_3PO_4$ ) op en wordt de walshuid sneller ( $H_2SO_4$ ) of langzamer ( $H_3PO_4$ ) verwijderd.

Er is sprake van materiaalverlies omdat het materiaal roest, renteverlies omdat het materiaal lang in het platenpark ligt opgeslagen. Bovendien vraagt de opslag veel ruimte.

Op de meeste scheepswerven zijn deze methoden dan ook vervangen door stralen, waarna direct een eerste bescherm laag wordt aangebracht.

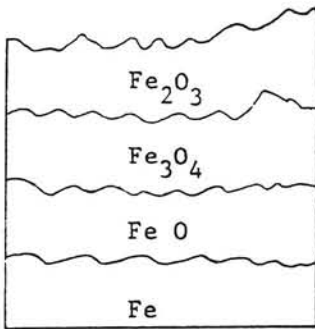
#### Verontreinigingen

Aan de oppervlakte van staalplaten en staalprofielen ontstaat gedurende het walsen en het afkoelen een walshuid, zie figuur 7.1, die uit verschillende lagen bestaat. De buitenste laag bestaat uit hematiet,  $Fe_2O_3$ , een oxyde dat moeilijk in zout- en zwavelzuur oplost. De laag daaronder, kenbaar aan de blauwe kleuring is magnetiet,  $Fe_3O_4$ , welke een hogere hardheid

---

<sup>1</sup> De Vereniging Oppervlakte Technieken van Materialen geeft hierover een vademecum uit, 'Oppervlakte technieken materialen' Deel 1 behandelt metalen.

heeft dan staal, maar bij breuk een veel kleinere rek heeft.



*Figuur 7.1 Ophouw van de walshuid*

Bij het vloeien van het staal gedurende het walsen is dit goed waarneembaar. De onderste oxyde-laag bestaat uit wustiet,  $FeO$ , dat zeer gemakkelijk in zwavel- en zoutzuur oplost. De gehele walshuis heeft een dikte van 10 tot 100 mikro-meter en is zeer bros. Gedurende het transport van het materiaal zal de walshuid dan ook plaatselijk loslaten en afvallen, zodat zich nieuwe roestlagen op het oppervlak vormen. Daarnaast blijken gedurende opslag en transport platen en profielen met olie, grond, asfalt, teer en andere stoffen uit de omgeving verontreinigd te worden.

De voorbehandeling aan het begin van de productie bepaalt de corrosievorming die later tijdens de vaart van een schip zal optreden. (zie tabel 7.1)

Voorbehandeling	Levensduur van het verfsysteem
Geen	2,5 jaar
Hakken en borstelen	3,5 jaar
Beitsen	6,0 jaar
Zandstralen	7,5 jaar
Gritstralen	7,5 jaar

*Tabel 7.1 Voorbehandeling en levensduur*

Dat reders zeer hoge eisen stellen aan de voorbehandeling van het materiaal is dus begrijpelijk.

Enkele begrippen in het Engels:

- ontvetten: degreasing
- ontroesten: weathering to remove millscale
- beitsen: pickling
- borstelen/bikken: mechanical cleaning
- stralen: blast cleaning
- hoge druk spuiten (water): hydroblasting, high pressure water-jet cleaning.

### 7.3.2 Mechanische oppervlakte behandelingen

De mechanische behandelingen zijn te onderscheiden naar:

- Met de hand uitgevoerde behandelingen, zoals bikken, schrapen (chipping, scraping), staalborstelen (wire-brushing) en schuren (sanding).
- Met behulp van machinale behandelingen (bikken, borstelen en schuren), roterende staalborstels (rotary bushes), naaldhamers (needle guns) en schuur -of slijpmachines (grinding, polishing).
- Stralen.

De eerste twee methoden zijn voor grote oppervlakten tijdrovend en kostbaar. Bovendien dient het oppervlak vóór de behandeling geheel te worden ontvet. In de scheepsbouw is het stralen dan ook de meest gebruikte methode.

#### Stralen

Er wordt onderscheid gemaakt naar:

- pneumatisch stralen
- werpstralen
- natstralen en
- vacuüm stralen.

Bij het pneumatisch stralen worden de straalkorrels met behulp van lucht met hoge druk op het oppervlak gespoten, bij het werpstralen geschiedt dit door middel van centrifugaalkracht. Het werpstraalapparaat is uitgerust met een turbine en is geschikt om zware straalmiddelen te gebruiken.

Bij het natstralen is water het draagmiddel om de straalmiddelen op het te reinigen oppervlak te spuiten. Het straalmiddel is zand. De methode wordt uitsluitend toegepast in de scheepsreparatie (zand is bij droogstralen verboden).

Vacuüm stralen is in wezen een variant op het pneumatisch stralen, waarbij de straalmiddelen met lucht tegen het oppervlak wordt gezogen. Stof en straalmiddel worden gescheiden, waarna het straalmiddel opnieuw kan worden gebruikt.

#### Straalmiddelen (abrasives)

Omdat gewoon zand niet meer mag worden toegepast, hoewel het in technisch opzicht een

zeer goed straalmiddel is, zijn andere straalmiddelen in gebruik gekomen. De minerale straalmiddelen zijn meestal afvalproducten uit de industrie zoals hoogovenslak, smeltslak, koperslak, vliegias etc.

Minerale straalmiddelen zijn goedkoper dan stalen of gietijzeren. De vorm is hoekig en onregelmatig, de gebruikstijd is kort, de restwaarde is gering en met het opruimen is veel tijd gemoeid.

Voor de voorbehandeling van stalen plaat en profiel worden derhalve meestal ook stalen of gietijzeren straalmiddelen gebruikt. De meeste, voor de scheepsbouw toegepaste straalmiddelen zijn gietijzerkorrels, hetzij hoekig (cast iron grit) of bolvormig (cast iron shot) en staalkorrels (bolletjes en rechthoekig). Het brossie gietijzer heeft echter een beperkte levensduur. De stalen straalmiddelen worden eveneens onderverdeeld naar de vorm: rond (shot), hoekig (grit) en cilindrisch (net wire).

### 7.3.3 De kwaliteit van het oppervlak

Zoals uit het voorgaande blijkt is de kwaliteit van het oppervlak van het gereinigde staal bepalend voor de levensduur van het verfsysteem en daarmee van de stalen romp van het schip. Voor het bepalen van de kwaliteit van het (ontvette) oppervlak worden twee parameters gehanteerd:

- de ruwheid van het oppervlak en
- conditie van het oppervlak na het stralen.

Beide parameters zijn afhankelijk van de kwaliteit van het straalmiddel, de methode van stralen en de tijdsduur waarover is gestraald. De tijdsduur wordt bepaald door het straalmiddel, de methode van stralen en de ruwheid en de conditie van het oppervlak.

#### De ruwheid (surface roughness)

De ruwheid is vastgelegd in een 'profiel' van het oppervlak waarmee de onregelmatige vorm van het oppervlak wordt bepaald. De maximale ruwheid wordt bepaald door het verschil tussen het hoogste punt in het oppervlak en het diepste punt in het oppervlak.

De shopcoating is alleen dan effectief wanneer het hoogste punt in het 'berglandschap' van het staaloppervlak wordt bedekt (zie fig. 7.2).

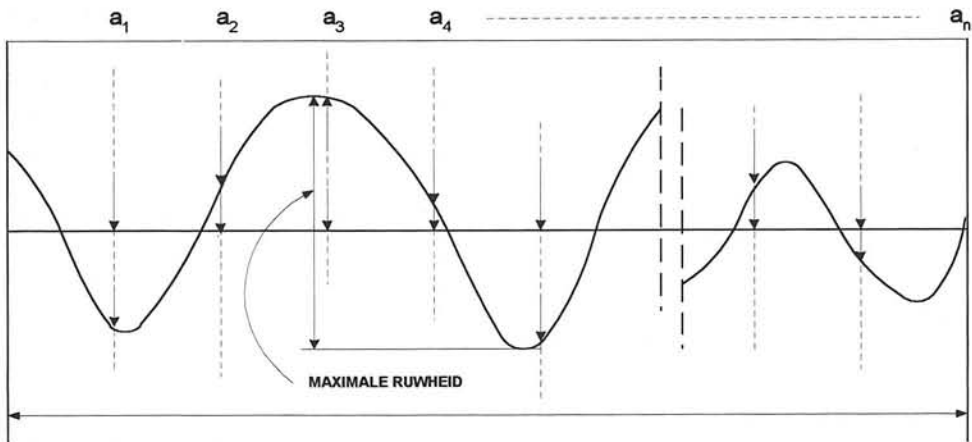
$$\text{De ruwheidsfactor } Ra = \frac{a}{n} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} + a_n}{n}$$

$a_1, a_2, \dots, a_n$ : de gemeten diepte/hoogte      $n$ : het aantal meetpunten

Naarmate de ruwheid toeneemt is een grotere laagdikte van de shopprimer nodig. De maximale ruwheid is bepalend voor de gewenste dikte van de shopprimer. De mate van de ruwheid wordt gemeten door met speciale apparatuur over een klein oppervlak van circa 10 cm<sup>2</sup> een

## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

meting uit te voeren. In het algemeen is de ervaring dat de maximale ruwheid 4 - 5 maal groter is dan de gemiddelde ruwheid. De ruwheid wordt gemeten in micro meters ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ).



Figuur 7.2 Berglandschap staaloppervlak

### De conditie van het oppervlak (surface finish)

Bij de bepaling van de conditie van het oppervlak is zowel de conditie vóór het stralen als ná het stralen van belang.

In de scheepsbouw wordt de Zweedse standaard SIS 05 5900 het meeste toegepast. (The Swedish Standard SIS 05 5900, 'Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces'). De conditie van het oppervlak vóór het stralen is vastgelegd op vier niveau's (A t/m D). De niveau's zijn gedefinieerd als een oppervlak:

- A: met een hechtende walshuid en weinig of geen roest,
- B: dat begint te roesten en waarvan de walshuid begint los te laten,
- C: waarvan de walshuid is verdwenen of afgeschrapt kan worden, maar waarop met het blote oog weinig of geen putvorming zichtbaar is,
- D: waarop geen walshuid meer aanwezig is en met het blote oog putvorming (pitting) duidelijk zichtbaar is.

Na het stralen zijn vier condities van het oppervlak als volgt genormeerd.<sup>2</sup>

- SA1: Licht stralen.  
Losse walshuid, roest en vreemde materialen zijn verwijderd,

<sup>2</sup> zie o.m. 'Ship Painting Manual' van A.M. Berendsen (ISBN 90 228 1951 5) en Vademecum Oppervlakte Technieken, deel I, metalen.

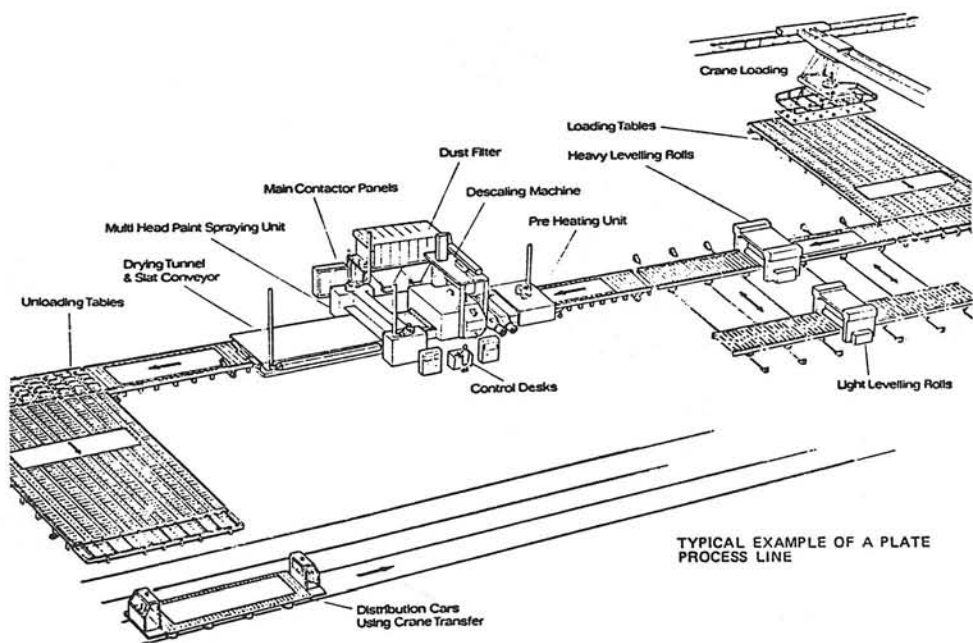
- SA2: Zorgvuldig stralen.  
Alle walshuid, roest en vreemde producties zijn verwijderd. Het oppervlak is gereinigd met schone en droge lucht of met een schone borstel en heeft een grijsachtige kleur.
- SA2½: Zeer zorgvuldig stralen.  
Roest, walshuid en vreemde producten zijn zodanig verwijderd dat resten ervan slechts als lichte schaduwen, strepen of verkleuringen zichtbaar zijn. Het oppervlak is gereinigd met schone en droge lucht of een schone borstel.
- SA3: Stralen tot zilverblank.  
Alle roest etc. is verwijderd. Het oppervlak is gereinigd als onder SA2 en SA2½ en heeft een gelijkmatige materiaalkleur.

### De straalininstallatie voor platen en profielen

Platen en profielen worden door een goed afgesloten ruimte, de straalkamer, gevoerd waar met behulp van straalmiddelen, korrels met een doorsnede van 0,5 tot 0,8 mm met snelheden van 150 tot 170 m/sec, tegen het oppervlak wordt geblazen om de verontreinigde lagen te verwijderen.

Een sterke afzuiginstallatie zorgt ervoor dat er geen vuil of stof in de werkplaatsen kan komen. De straalmiddelen zijn zo gekozen, dat deze wel vervormen maar niet te spoedig breken en dat de verontreinigingen gemakkelijk afgescheiden kunnen worden. De capaciteit van een dergelijke installatie kan 200 tot 400 m<sup>2</sup>/uur bedragen, bij een doorvoersnelheid van de platen van rond de 5 m/min. Wanneer platen sterk aangetast zijn, dient men de snelheid aanzienlijk lager te kiezen, bijvoorbeeld 1 tot 1,5 m/min. Door dit proces ontstaat een schoon plaatoppervlak dat wat harder is geworden.

Gewoonlijk worden platen en profielen met behulp van een rollenbaan door de straalkamer gevoerd, zie figuur 7.3. De wanden van de straalkamer, die door het straalmiddel worden geraakt, zijn met slijtage-bestendige mangaanstalen platen afgeschermd. Als straalmiddel worden straalkorrels, korund, koperslak en zirkoonzand toegepast. Pneumatisch stralen, waarbij perslucht het straalmiddel op het te reinigen oppervlak brengt, past men bij mobiele straalininstallaties toe (scheepsreparatie). Werpstralen wordt toegepast in de stationaire installaties omdat men het stuiven van het stof en het vuil uit de straalkamer, door het gebruik van perslucht, kan voorkomen.

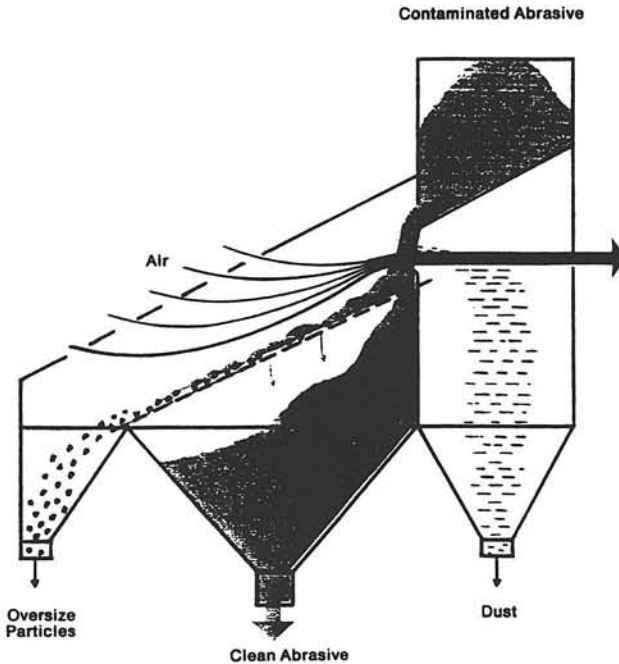


Figuur 7.3 Opstelling gritstralen installaties en de toevoerlijn van staalplaten.

Bij het werpstralen wordt het straalmiddel op snelheid gebracht met behulp van roterende schoepenwielen (turbines), waarvan men er 4 à 6 per installatie rond het werkstuk in de straalkamer plaatst. Men streeft daarbij naar een invalshoek van 45 graden van het straalmiddel ten opzichte van het werkstukoppervlak. Met behulp van 15pk turbines wordt globaal 150 kg straalmiddel per minuut gestraald.

Onder de straalkamer worden straalmiddel en vuil in een trechterbunker opgevangen en met behulp van een transportschroef naar een elevator getransporteerd die de massa omhoog naar de reiniger voert.

In de reiniger worden de te grote en te kleine delen afgezeefd, terwijl de stofdelen met behulp van een geforceerde luchtstroom worden afgevoerd (zie figuur 7.4).



*Figuur 7.4 De Gritreiniger*

Gewoonlijk wordt het achtergebleven stof en straalmiddel van de gestraalde platen en profielen direct achter de straalkamer afgeblazen of afgeborsteld met roterende borstels.

Daar het minder gewenst is platen en profiel nat te stralen, worden platen en profielen nog wel eens in een afzonderlijke installatie voor het stralen schoon geborsteld en gedroogd.

De kwaliteit van het oppervlak wordt tijdens het gritstralen geregeld door de doorvoersnelheid van de te stralen materialen.

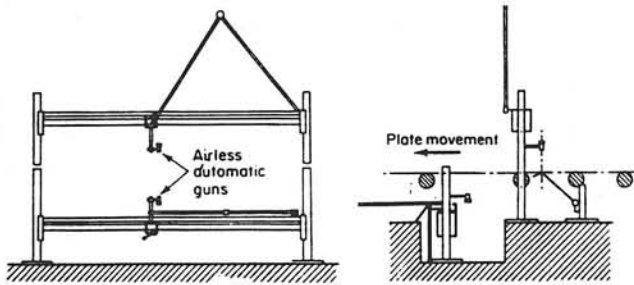
De volgende factoren zijn daarbij van belang:

- de gewenste kwaliteit van het oppervlak na het stralen,
- de mate van verontreiniging van het oppervlak,
- de hardheid van het te stralen materiaal,
- hardheid, vorm en de mate van slijtage van het straalmiddel,
- het verbruik van het straalmiddel,
- de relatieve bedekking tijdens het stralen en
- de straalhoek.



### Het pre-conserven

Na het stralen brengt men, afhankelijk van de vochtigheidsgraad, binnen 10 à 20 minuten een pre-conservingslaag aan als eerste laag van het verfsysteem (de primer). De primer zelf moet sneldrogend en elastisch zijn en mag de volgende bewerkingen niet nadelig beïnvloeden. In het verleden ontstonden door de primer vaak poreuze lasnaden. Nu worden, zonder dat deze problemen zich voordoen, ijzeroxyde en zinkepoxyprimer met een laagdikte van 7 t/m 15 micrometer toegepast. De primer wordt gewoonlijk in een afgesloten ruimte met behulp van persluchtloze verfspuiten opgebracht om vervuiling van de spuitruimte door de verfnevel tegen te gaan (zie figuur 7.5).



Figuur 7.5 Pre-conserven

Bij het spuiten van platen worden gewoonlijk met een spuit boven en onder de, in horizontale positie bewegende, plaat met behulp van dwarssleden heen en weer bewogen. Het eind van de slag van de spuiten wordt automatisch, met behulp van elektronische aftasting, bepaald. De bovenslede is in hoogte instelbaar, zodat bij wisselende plaatdikten een constante afstand tussen spuit en plaat kan worden gehandhaafd. De dwarsnelheid van de spuiten kan 6 à 8 m/min. bedragen. De plaatsnelheid, afhankelijk van de plaatbreedte is 1 tot 3,5 m/min. De machine dient zo te worden afgesteld dat maximaal 25 mm 'overspray' ontstaat. Tijdens het proces dient de dikte van de primerlaag nauwkeurig te worden geregeld en gecontroleerd. Met een primerdikte van 7 à 15 micrometer is de beschermende werking 2 à 4 maanden. Zonder primer is het corrosieverlies voor staal circa 180 gram/m<sup>2</sup> per jaar. Deze waarde kan in gebieden met verontreinigde lucht vele malen hoger liggen. Daar, voor een goede hechting van de primer, platen of profielen goed droog moeten zijn, wordt in de transportketen naar de straalinstallatie gewoonlijk een drooginstallatie opgenomen.

Na de primer-spuitinrichting is een tweede drooginstallatie aangebracht, zodat de platen en profielen goed droog zijn bij het verlaten van de installatie.

De scheepswerven in Nederland besteden de onder 7.3 beschreven processen uit aan de leverancier van het staal of gespecialiseerde bedrijven waar, door een aanzienlijk hogere staaldoorzet, de kosten veel lager kunnen zijn.

### Onderhoud van schepen

Voor het schoonmaken van de huidplaten worden tijdens reparatiewerkzaamheden hogedruk waterstralen toegepast, met ontsnappingsdrukken van 700 tot 1000 bar. Door de hoge druk, meer dan 670 bar, doorbreekt de waterstraal de geluidsbarrière en gaat over in een groot aantal waterdruppels.

Wanneer men het water ook nog met enig zand of andere harde kleine delen vermengd, ontstaat een proces dat zeer effectief is. Men past dit proces ondermeer toe voor het schoonmaken van offshore eenheden in volle zee.

Daar het nauwkeurig regelen van de waterhoeveelheid ten opzichte van de hoeveelheid toegevoegd straalmiddel een omvangrijke installatie vergt en ook het werken met grote waterhoeveelheden dikwijls bezwaren met zich mee brengt, zijn ook installaties ontwikkeld die, met behulp van een luchtstroom gemengd met waterdruppels en straalmiddel, de gewenste vlakken en ook andere onderdelen zoals leidingen, flenzen en deksels reinigen. Wanneer door de expansie van de lucht de waterdruppels tijdens de vrije vlucht bevroren, ontstaan hagelkorrels die het materiaaloppervlak reinigen. Deze korrels hebben een zeer krachtige werking, maar het proces is moeilijk te beheersen. Wanneer men over een goede mobiele installatie beschikt is het mogelijk 80 à 200m<sup>2</sup> per uur te reinigen. Men dient rekening te houden met de reactiekracht in achterwaardse zin van het mondstuk. Men dient die kracht zoveel mogelijk mechanisch op te vangen, omdat een bedienende man langdurig slechts 15 à 20 kg kan houden.

### 7.4 Niet verspanende bewerkingen in de pre-fabricage

De belangrijkste niet-verspanende bewerkingen die in de voorbereiding worden toegepast, zijn:

- het snijbranden en
- het knippen en ponsen.

Daarnaast komen in beperkte mate het, tot de verspanende bewerkingen behorende, frezen, schaven, slijpen en hakken voor.

#### 7.4.1 De brandsnijmachines

De brandsnijmachines worden onderscheiden naar:

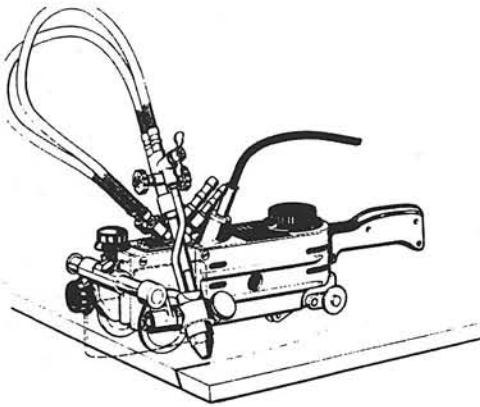
- de hand-brandsnijmachine,
- de parallel-brandsnijmachine, een portaal-brandsnijmachine voor parallelle rechte sneden,
- de contour-brandsnijmachine, een portaal-brandsnijmachine voor rechte en zwak gebogen sneden,
- de figuur-brandsnijmachine, een portaal-brandsnijmachine voor rechte en sterk gebogen sneden.

#### De hand-brandsnijmachine

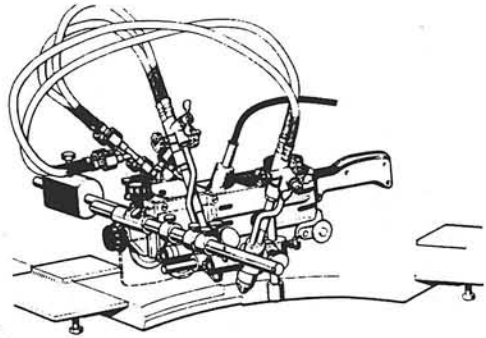
Dit is een door één man te bedienen machine (zie figuren 7.6 en 7.7), gewoonlijk uitgerust met een electromotor die de rijwielen met een instelbare constante snelheid aandrijft. Met behulp van geleide wielen kan men de machine langs linialen of curve-mallen laten lopen. Voor het

## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

snijden van laskanten kunnen zij met twee c.q. drie branders uitgerust worden.

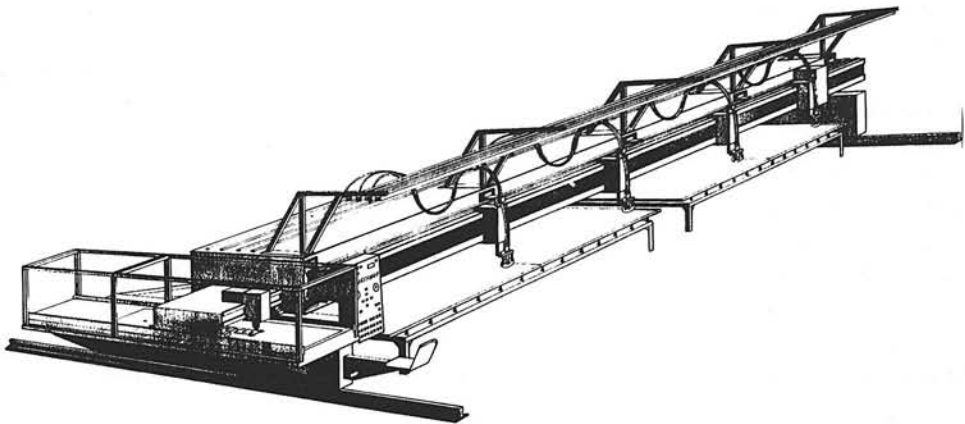


Figuur 7.6 Hand-brandsnijmachine



Figuur 7.7 Hand-brandsnijmachine

Een portaal brandsnijmachine bestaat uit een portaal dat, lopend over twee rails, in langsrichting over één of meer uitgelegde platen beweegt (zie figuur 7.8).



Figuur 7.8 Hocommander portaal brandsnijmachine, uitgerust met optische besturing.

Langs de bovenliggers van het portaal kunnen een of meer branderwagens in een richting dwars op de lengterichting van de plaat bewegen. De branderaggregaten zijn bevestigd aan de brand-

derwagens. Gewoonlijk bevat een branderaggregaat een brander of een groep branders, de gastoevoerregelapparatuur en de meet-en regelapparatuur benodigd om de afstand tussen plaat en branderopening tijdens het branden constant te houden. De afstandsmeting, die de meetwaarden voor het verstelservo-mechanisme van de brander levert, werkt gewoonlijk continue en contactloos. De branderwagens die langs het portaal rijden kan men onderverdelen in aangedreven motorwagens en sleepwagens. De laatsten worden verplaatst met behulp van metalen banden die aan de motorwagens zijn bevestigd.

Men kan de eigenschappen van een portaalbrandsnijmachine nader bepalen aan de hand van de volgende groepskenmerken:

- de toepassingskenmerken: parallel, contour of figuur,
- de besturingskenmerken van de branders,
- de mogelijkheden t.a.v. het gelijktijdig branden van een aantal gelijk gevormde plaatdelen, bepaald door het aantal wagens en de koppelingsmogelijkheden van de wagens onderling.
- de invoer van de benodigde besturingsinformatie:
  - met behulp van mallen die mechanisch afgetast worden of schaaltekeningen die optisch gevolgd worden. Deze besturing komt in Nederland niet meer voor.
  - numerieke besturing met behulp van computers.

### **De toepassingskenmerken**

Er wordt onderscheid gemaakt naar parallel-, contour- en figuur-brandsnijmachines.

Blijven de branderwagens, en dus ook de branders, tijdens het branden op één en dezelfde plaats aan het portaal gefixeerd, dan werkt de machine als een *parallel-brandsnijmachine*. De branderwagens kunnen eenvoudig van aard en constructie zijn en dienen voorafgaand aan het branden in de juiste positie te zijn geschoven en vastgezet.

Kunnen de branderwagens tijdens de hoofdbeweging van het portaal een dwarsbeweging maken, maar blijft de portaalrijsnelheid constant en slechts vooraf instelbaar, dan werkt de machine als een *contour-brandsnijmachine*.

Kunnen de branderwagens tijdens de beweging van het portaal vrij dwars bewegen, waarbij de snelheid van het portaal van richting kan omkeren en zodanig wordt aangepast aan de dwarsbeweging dat een constante snijsnelheid in de gewenste te branden richting ontstaat, dan werkt de machine als een *figuur-brandsnijmachine*.

### **De besturingskenmerken**

Men onderscheidt 1-assige, 2-assige en 3-assige machines.

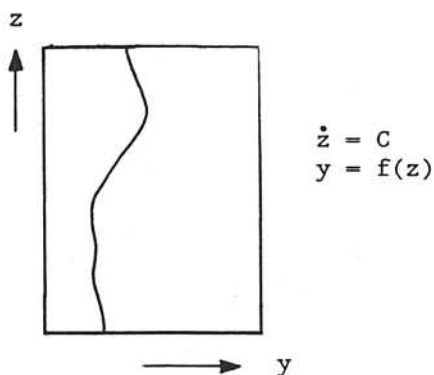
### **De besturing van de branders**

Men noemt de machine 1-assig, wanneer tijdens het met constante snelheid rijden van het portaal een branderwagen langs het portaal, afhankelijk van de afgelegde langsweg, dwars gestuurd kan worden. Dus voor contour-werk.

## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

De langs beweging ( $z$ ) heeft een constante regelbare snelheid.

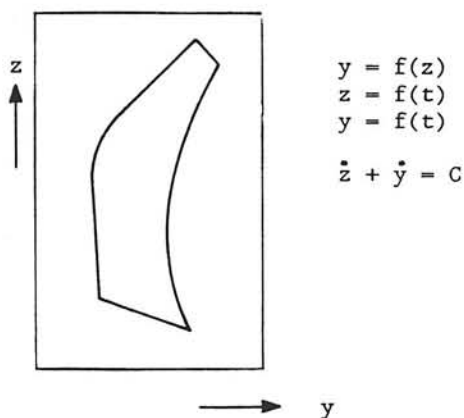
De dwars beweging ( $y$ ) wordt afhankelijk van de langs beweging bestuurd. (zie figuur 7.9)



Figuur 7.9 1-assige brandsnijmachine

De machine is 2-assig wanneer van een brander de langs- en dwars beweging afhankelijk van elkaar zo kunnen worden geregeld dat de gewenste figuur wordt gebrand met een constante snijsnelheid in de bewegingsrichting van de brander.

De langs beweging ( $z$ ) en de dwars beweging ( $y$ ) worden afhankelijk van elkaar gestuurd (zie figuur 7.10).



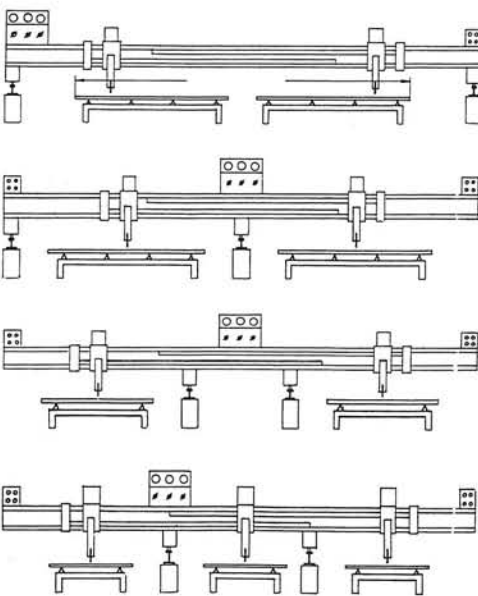
Figuur 7.10 2-assige brandsnijmachine



### Het aantal wagens en de bewegingsmogelijkheden

Het aantal sleepwagens bepaalt met de motorwagens het aantal congruente plaatdelen dat in een bewerkingsgang kan worden gesneden. Door de sleepwagens of direct met de motorwagen te verbinden, of via een omlopend part, kan men bepalen of men congruente of spiegelbeeldige delen ten opzichte van het door de motorwagen gesneden deel brandt (zie figuur 7.12).

Men kent naast de zuivere portaalvorm ook snijbrandmachines met overstekende armen. Overstekende armen kunnen slechts beperkt bij lage snelheden worden toegepast vanwege de vervormingen die ten gevolge van het hoge wagen-en aggregaatgewicht gedurende vertraging en versnelling van de langsbeweging kunnen optreden (zie figuur 7.13).



Figuur 7.13 Snijbrandmachines met overstekende armen

### Het besturingssysteem

De besturing met behulp van een computer is reeds sinds het eind van de jaren '60 in gebruik. Deze vorm van besturing rekent men tot het gebied van de computer aided manufacturing, CAM. 'Numerieke Besturing', afgekort NuBe, is sinds de zeventiger jaren in de Nederlandse scheepsbouw in gebruik.

De brandsnijmachines snijden aan de hand van numerieke informatie. Deze informatie wordt daarbij direct (on-line) door de planning via een computer aan het besturingssysteem van de brandsnijmachine doorgegeven en legt de plaatdelen zeer nauwkeurig vast. De informatie bevat

alle bewegingen en acties van de machine met besturingscodes. De afmetingen en de besturingscodes worden aangegeven.

Voor het verwerken van de informatie en de besturing van de machine is aan de machine een kleine besturingscomputer gekoppeld. Deze computers zijn in de aan de machine bevestigde bedieningsapparatuur opgenomen.

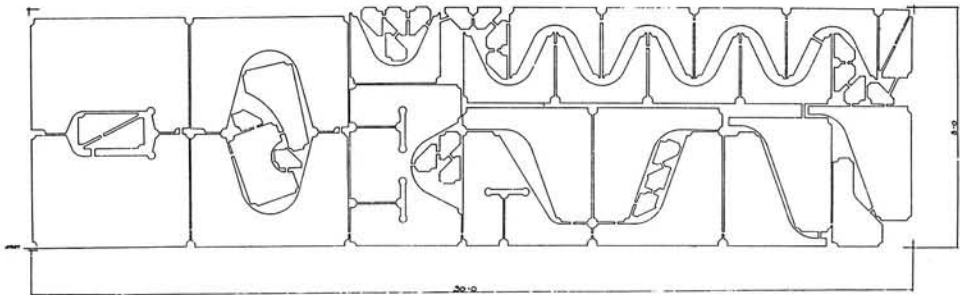
Het stroken van het definitieve lijnenplan, het maken van constructietekeningen en de NuBe informatie is daarmee geïntegreerd. De bedienende man van de machine krijgt zelf geen nadere informatie over de vorm van de te snijden delen, zodat hem een afzonderlijke tekening of schets verstrekt dient te worden aan de hand waarvan hij de ligging van de diverse plaatdelen en de daarbij behorende opschriften kan controleren.

Een voorbeeld van deze informatie is gegeven in figuur 7.14. Een voorbeeld voor het zogenaamde nesten van onderdelen, dat hierna wordt behandeld, is figuur 7.15.

Daarnaast kan de besturing van een brandsnijmachine geschieden met behulp van een bedienende man, door middel van:

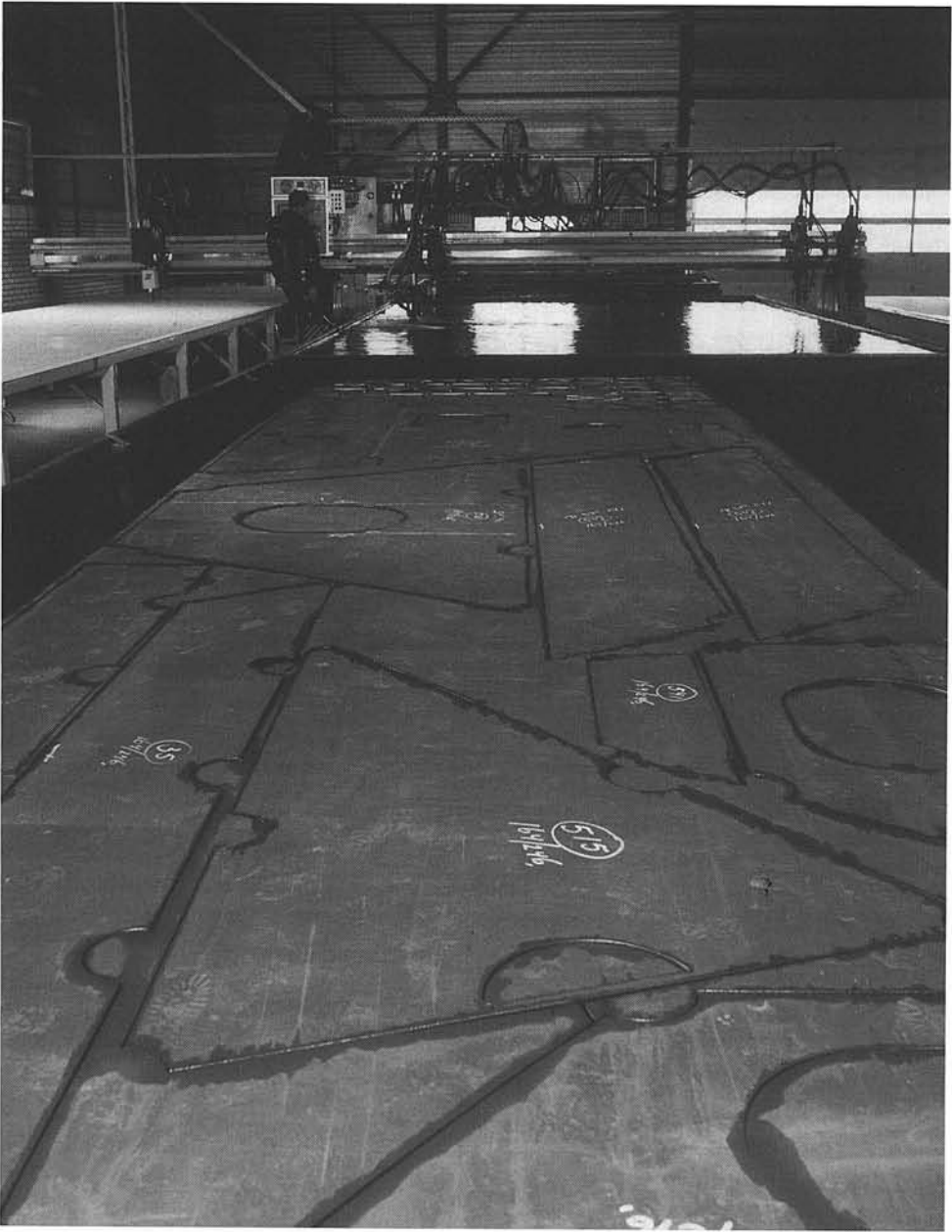
- mechanische besturing, waarbij gebruik gemaakt wordt van een vorm-mal, die door een mechanische taster wordt afgetast.
- optische besturing, waarbij gebruik gemaakt wordt van een zwart silhouet waarvan de zwart-wit-overgang foto-electrisch gevolgd wordt.
- een zwarte lijn van een vormtekening op schaal 1:1, 1:10 of 1:100, of van negatieven welke foto-electrisch afgetast worden.

Deze technieken worden op een geavanceerde scheepswerf niet meer gebruikt.



*Figuur 7.14* Controle-tekening van een geneste plaat





*Figuur 7.15 Gebrande geneste plaat. YVC, Capelle aan de IJssel*

#### 7.4.2 Kenmerken van platen

Er zijn drie categorieën platen:

- waaruit men één onderdeel, al of niet met uitsparingen, snijdt,
- waaruit men een beperkt aantal onderdelen snijdt,
- die worden genest en waaruit men meerdere onderdelen snijdt.

In de eerste categorie kan onderscheid worden gemaakt naar:

- Parallel platen    Rechthoekige platen.
- Contour platen    Platen waarvan de grondvorm bijna rechthoekig is omdat slechts enkele zijden enigszins gebogen verlopen.
- Figuur platen    Willekeurig gevormde plaatdelen, dikwijls met gaten en uitsparingen.

Voor alle bovengenoemde typen geldt tevens dat hieruit slechts één plaatdeel uit een toegeleverde staalplaat gesneden wordt. Het betreft over het algemeen dus grote platen.

Contour platen en figuur platen worden in wezen beide genest, maar omdat het aantal te snijden meters verschilt kan de snijtijd in de brandsnijmachine sterk uiteenlopen. (zie figuur 7.16)

#### Het nesten

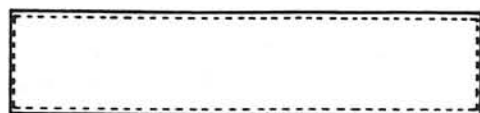
Het bepalen waar en in welke stand de diverse delen uit een plaat gesneden dienen te worden, noemt men het nesten van de plaatdelen in de plaat.

De plaatdelen worden binnen de contouren van de beschikbare plaat gerangschikt. Op basis van de rangschikking en de beschikbare informatie van de vorm van de onderdelen wordt de besturing voor de brandsnijmachine gegenereerd.

Tegenwoordig kan het nesten met behulp van een beeldscherm en toetsenbord worden uitgevoerd en ook geheel automatisch computer-nesten is mogelijk. Veelal behaalt men, door het goede menselijk inzicht in de inpasbaarheid van diverse contouren, met de hand een beter resultaat. Na automatisch een eerste nesting te hebben verkregen, kan deze later interactief worden verbeterd.

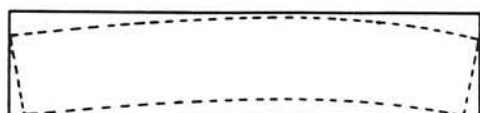
De randvoorwaarden voor het nesten zijn:

- het minimaliseren van materiaalverlies,
- het minimaliseren van de hoeveelheid te snijden kilometers,
- het minimaliseren van de bezettingstijd van de machine (weinig leegloop verliezen).



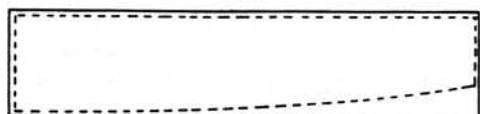
Parallel platen

vlakplaat  
schotplaat  
dekplaat

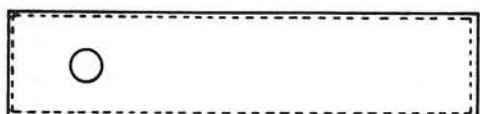


Kontour platen

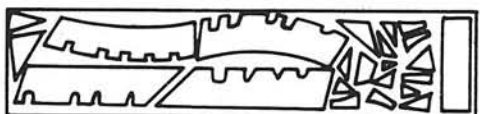
huidplaat



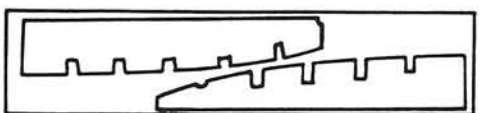
dekplaat voor-  
en achterschip



parallelplaat  
met uitsparing



geneste platen



(vragen  
zaathout  
berden  
webspanten  
knieën  
stringers enz.)

Figuur 7.16 Parallel-, contour- en geneste platen

### 7.4.3 Het aftekenen van profielen

Voor de toepassing van computers werd de vorm van spanten met de hand vastgelegd in de vorm van een mal of een in goede vorm gebogen zacht stalen roede, uitgaande van het spantenraam op de uitslagzolder. Deze methode wordt nog bij kleine werven gebruikt. Nu de scheepsvorm geheel met behulp van een computer wordt vastgelegd, is het computer ondersteund aftekenen van de gewenste vorm van profielen ontwikkeld, waarbij met behulp van de database van de scheepsvorm de voor het aftekenen benodigde maten kunnen worden gegene-reerd:

- Aan de hand van een door de computer vervaardigde getallenlijst, met X en Y coördinaten van de vorm van een spant, wordt een mal gemaakt, die bij de spantenbuigbank als vormmal dient.
- De vorm van een spant wordt met de numeriek bestuurd brandsnijmachine op een plaat afgetekend, die als malplaat bij de spantenbuigbank dienst kan doen.
- Aan de hand van een getallenlijst (met X en Y coördinaten) kan op het lijf van een spant een gebogen lijn of een aantal gebogen lijnen worden afgetekend. Deze lijnen zijn zo berekend dat, wanneer met de buigbank de lijnen recht worden, het profiel de gewenste vorm heeft.

Inmiddels is sinds 1995 door een Nederlands bedrijf, Centraalstaal, een onderdeel van Central Industry Group (C.I.G.) een computergestuurde methode ontwikkeld waarmee het spant in de buigbank in de gewenste vorm wordt gebogen en de effecten van de elastische vering van het materiaal worden gecompenseerd, gecontroleerd en indien nodig worden gecorrigeerd om de juiste vorm te verkrijgen.

### Automatisering

Automatisering met behulp van computers heeft bij de scheepsbouw in de zestiger jaren het eerst toepassing gevonden op het gebied van de vervaardiging van grote aantallen stalen plaatdelen. Computer Aided Manufacturing (CAM) omvat nu een veel ruimer gebied, onder andere de vervaardiging van de constructietekeningen, de bepaling van de maten van de stalen delen, het coderen van de onderdelen (de onderdelen nummers), de voorraadbeheersing, de werkvoorbereiding, het uitslaan, het aftekenen en de besturing van de brandsnijmachines, spanten-en pijpenbuigmachines.

Daarnaast wordt de informatie uit het systeem gebruikt voor de planning en de verdeling van het plaatbrandsnijwerk over de beschikbare brandsnijmachines en het nesten van de kleine plaatdelen in een plaat. Om een brandsnijmachine te kunnen besturen moet men de afmetingen van de te vervaardigen delen kennen. Juist op het gebied van het vastleggen van de afmetingen hebben zich, gelijktijdig met de invoering van computergestuurde brandsnijmachines, in korte tijd grote wijzigingen voltrokken. Dit vergde niet alleen wijzigingen in de werkwijze en de uitrusting van een bedrijf maar ook aanpassingen van de bedrijfsorganisatie.

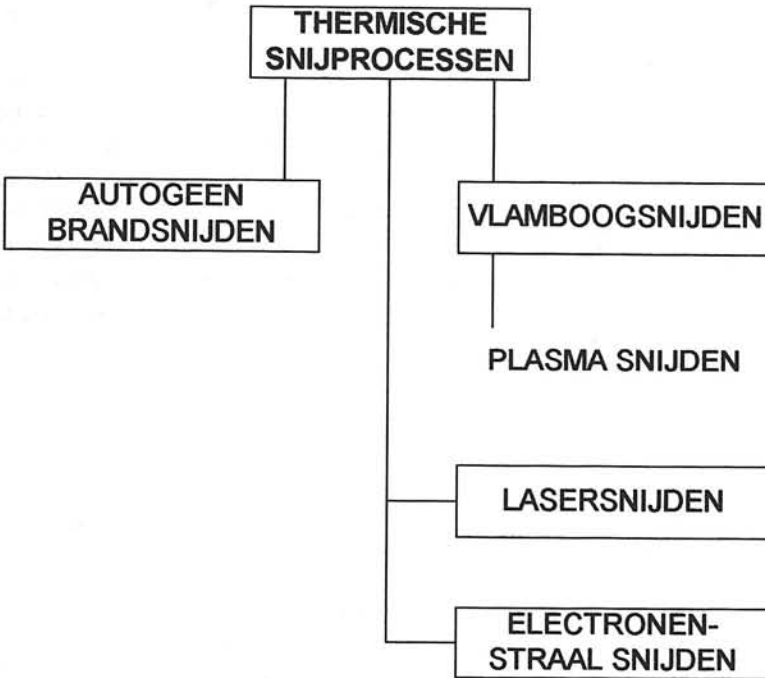
Bovendien is een grote nauwkeurigheid van het brandsnijwerk gerealiseerd.

Voor wie geïnteresseerd is in de ontwikkeling van de Numerieke Besturing in de scheepsbouw, is aan het eind van hoofdstuk 7 een literatuuroverzicht gegeven.

### 7.5 Het snijden

De laatste decennia zijn een aantal nieuwe snijtechnieken ontwikkeld, waarbij het snijden van metaal net als andere materialen (textiel, hout, plastic), met hoge snelheden tot circa 25 meter per minuut, mogelijk werd.

Daarbij werden eveneens nauwkeurigheden tot circa 0,25 mm bereikbaar bij snelheden tot 4 meter per minuut. Nieuwe technologieën als plasma-snijden, lasersnijden en electronenstraal-snijden zijn evenals het autogeen snijden, thermische scheidingsmethoden.

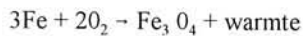


*Figuur 7.17 geeft een overzicht van de thermische snijprocessen.*

Bij de scheepswerven wordt hoofdzakelijk het autogeen en het plasma brandsnijden toegepast. Andere processen zijn het lasersnijden en het waterstraal-snijden. De technieken worden in de volgende paragrafen beschreven.

#### 7.5.1 Autogeen brandsnijden

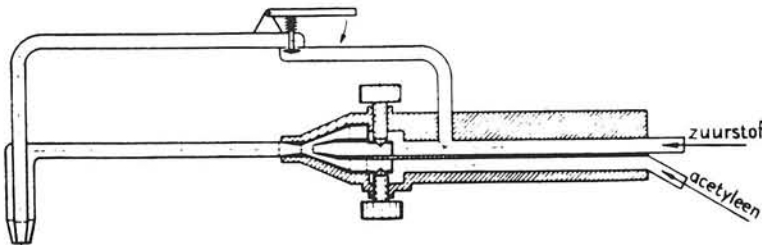
Het autogeen snijden van staal bestaat uit de snelle verbranding van ijzer bij hoge temperaturen. De chemische reactie is:



Deze reactie komt pas voor boven circa  $870^{\circ}\text{C}$  en daarom moet het materiaal worden verwarmd door een vlamboog voordat het snijproces begint. De verbrandingstemperatuur is dan lager dan de smeltemperatuur. Met de zuurstofstraal van de brander oxydeert het ijzer waardoor zoveel warmte wordt ontwikkeld dat het proces zichzelf in stand houdt. Het vloeibare ijzeroxyde (smeltemperatuur circa  $1350^{\circ}\text{C}$ ) wordt dan door de kinetische energie van de gasstroom weggeblazen. Het smeltpunt van het omringende (plaat) materiaal is hoger dan het smeltpunt van ijzeroxyde. Afhankelijk van het gas, kan men meer of minder dikke platen snijden. Met acetyleen kan tot circa 350mm dik worden gesneden, met waterstof tot 600mm dikte.

Het autogeen brandsnijden is een oxydatieproces waarbij de door de brander toegevoegde zuurstof het staal oxydeert (zie figuur 7.18). De gevormde oxyden worden daarna door de zuurstofstraal weggeblazen.

Het oxydatieproces vangt aan op het punt waar de zuurstofstraal uit de brander in aanraking komt met het staal en wanneer het staal op het ontmoetingspunt de voor de oxydatiereactie vereiste temperatuur heeft. Het oxydatieproces verloopt het snelst wanneer het staal een temperatuur van  $900^{\circ}$  à  $1000^{\circ}$  heeft bereikt. De branders zijn met twee vlammen uitgerust, een voorwarmvlam en een snijvlam. De warmte die beide vlammen veroorzaken moet voldoende zijn om het staal ter plaatse op temperatuur te brengen, om het staal voor te verwarmen. Hoewel door het oxydatieproces warmte vrij komt, is een aanvullende warmtebron - de voorwarmvlam - nodig, daar de warmtegeleiding door de plaat en de warmteoverdracht aan de lucht groot zijn. Omdat de warmtegeleiding door de plaat toeneemt met de plaatdikte, neemt de benodigde intensiteit van de voorwarmvlam - het specifieke vlamvermogen - met de plaatdikte toe.



Figuur 7.18 autogeen brandsnijder

De zuurstofstraal van de snijvlam dient zo sterk te zijn dat de gevormde oxyden worden weggeblazen. De snelheid waarmee dit plaats vindt bepaalt, bij de huidige stand van de techniek, de snijshelheid. De snijshelheden die men berekent, uitgaande van de *oxydatiesnelheid*, liggen dan ook hoger dan de realiseerbare snijshelheden.

Naast de onmisbare zuurstof worden aardgas, propaan, acetyleen, Mapp of Apachi-gas voor de

## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

voorverwarming en snijvlam toegevoerd. De keuze van het gas berust op economische gronden. Wanneer men voor de gassen de daarbij behorende branders gebruikt, blijken de brand-snelheden vrijwel gelijk te zijn.

Plaatdikte mm	Verbruik in dm <sup>3</sup> per uur zuurstof	Verbruik in dm <sup>3</sup> per uur aardgas	Snijsnelheid m/min
8	2650	1000	0,68
12	2820	840	0,62
15	3440	700	0,57
25	3550	620	0,49
35	4390	700	0,38
65	7300	730	0,33
100	9200	750	0,25

Tabel 7.2 geeft een indruk van de snijsnelheden bij autogeen brandsnijden

De aanwezige pre-consorveringslaag op het staal verlaagt de snelheid van het snijden evenredig met de dikte van de laag.

Naast de juiste instelling van de toevoer van de zuurstof en het gas voor het voorverwarmen, vraagt het snel en goed laten verlopen van het snijproces:

- een constant zuurstof - en brandergasdruk,
- een constante verplaatsings - en snijsnelheid,
- een constante afstand tussen brander en plaat en
- een constante stand van de brander ten opzichte van de snijrichting en ten opzichte van de plaat.

### De branders

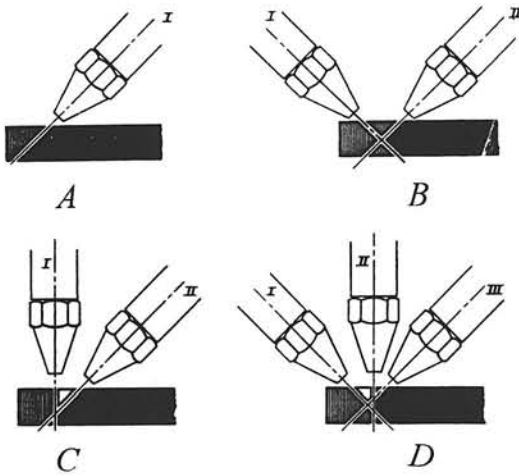
Zowel één-pitsbranders, waarbij de vlam en de snede loodrecht op het plaatoppervlak staan, als twee-en drie-pitsbranders worden toegepast.

Om de gewenste vorm - en laskanten te branden, positioneert men twee of drie branderpitten op een kleine afstand van elkaar (zie figuur 7.19).

Om te voorkomen dat een mondstuk in de directe vlam van een ander mondstuk moet werken zijn de mondstukken, in de lengterichting van de snijvoeg, op enige afstand achter elkaar geplaatst en zijn vervaardigd van materiaal dat bestand is tegen de optredende hoge thermische belasting.

Tijdens het snijden van gebogen lasnaden dient het vlak door de mondstukken loodrecht te blijven staan op de raaklijn van de in het plaatvlak aan te snijden kromme. Het branderstelsel draait daartoe mee met de vorm van de kromme om de verticale symmetrie-as van de loodrechte pit van het stelsel. Dit wordt automatisch door de besturing gerealiseerd (zelfdraaiende branderaggregaten).

Vindt de gastoevoer via slangen plaats, waardoor de te draaien hoek beperkt is, blijft er een kans bestaan dat de slangen bij te ver doordraaien los schieten. Daarom wordt de voorkeur gegeven aan aggregaten waarbij de gastoevoer via sleepingen plaatsvindt.



Figuur 7.19 Twee of drie branderpitten op een kleine afstand van elkaar

- |           |           |
|-----------|-----------|
| a) V-naad | b) X-naad |
| c) Y-naad | d) K-naad |

### Vorm-en maatnauwkeurigheid

Omdat de branders een materiaalspleet wegbranden is de vorm van het gebrande voorwerp de omhullende van een aantal kleine cirkels die als middelpunt het hart van de branderpit hebben. Er ontstaat een verschil tussen de baan van de aggregaten en de gesneden kant van een plaatdeel. Bij de besturing van de machine kan men hiermee rekening houden. Men duidt dit aan met *snijvoegcompensatie*.

Bij het snijden van laskanten dient men er rekening mee te houden dat de branders goed gestuurd moeten worden. Men kan vooral in de overgangen bij hoeken gemakkelijk teveel materiaal wegbranden.

De nauwkeurigheid van de positie van de branderpit in het horizontale vlak is circa 0,25 mm



## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

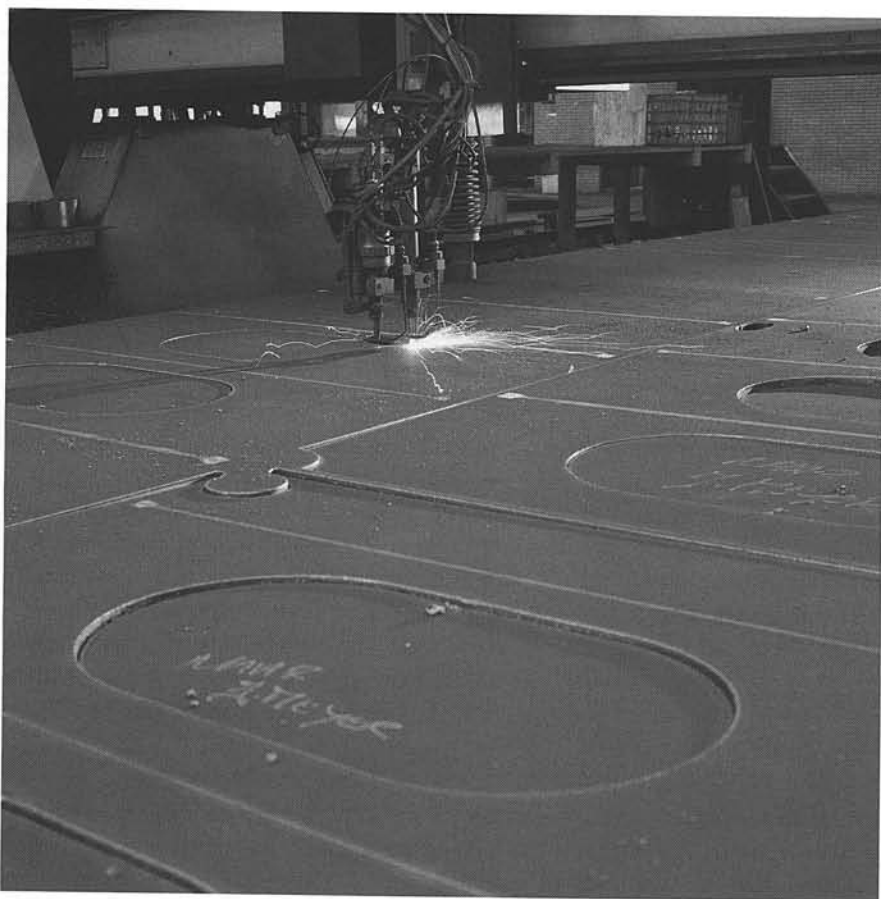
---

over een lengte van 12 meter.

Bij NuBe-gestuurde machines kan men theoretisch veel (circa 35 maal) nauwkeuriger werken. Maar dit betekent niet dat de gesneden plaat ook zo nauwkeurig van vorm is. Door het verwarmen en afkoelen van de plaat beweegt deze namelijk ten opzichte van zijn ondersteuning en treedt vervorming op. De mate van beweging is afhankelijk van de volgorde waarin de diverse plaatdelen worden gesneden en daardoor vrijwel niet te voorspellen.

### Dampbestrijding

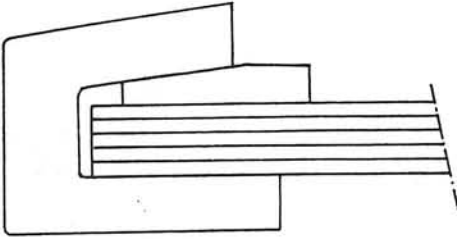
Bij het branden ontstaan verbrandingsgassen die de lucht van de werkplaats verontreinigen. Om deze dampen en het oxydestof neer te slaan, kunnen branders worden uitgerust met toorts omhullende watersproeiers, watermufflers genoemd.



*Figuur 7.20 Autogeen branden. Centraalstaal B.V.*

### Pakketsnijden

Door het stapelen van gelijkvormig te snijden platen tot een totaaldikte van bijvoorbeeld 120 mm, kan men in één bewerkingsgang een aantal gelijkvormige plaatdelen branden. Men dient er echter voor te zorgen dat de vlam door alle platen gaat en tussen de platen niet afbuigt, het zogenaamde weglopen van de vlam. Dit is te voorkomen door de platen stevig op elkaar te drukken of te klemmen en vlakke platen te gebruiken (zie figuur 7.21).



Figuur 7.21 Pakketsnijden

Daar de op elkaar geklemde platen een pakket vormen, spreekt men over pakketbranden. Het tijdsvoordeel ontstaat doordat de snijsnelheid minder dan lineair afneemt bij toenemende plaatdikten. De snijtijd per meter voor 8 afzonderlijk gesneden 8 mm platen bedraagt volgens de tabel 7.2  $8/0,68 = 11,7$  minuten. Wanneer men acht van deze platen in één keer als pakket snijdt, heeft men slechts  $1/0,33 = 3$  minuten nodig per plaat. Door de platen tot een pakket te bundelen, is de snijtijd afgezien van instel- en opwarmtijden, per plaat gerekend, bijna vier maal sneller. ( $11,7/3 = 3,9$ )

#### 7.5.2 Het plasma-snijden

Het plasmasnijden is ontwikkeld voor het snijden van dunne platen en platen van moeilijk (brand)snijbare materialen, zoals aluminium en roestvrij staal. De snijsnelheden bij dit proces zijn groter dan bij het brandsnijden. Voor de snijdende plasmastraal wordt perslucht of een mengsel van waterstof, stikstof en soms argon toegepast.

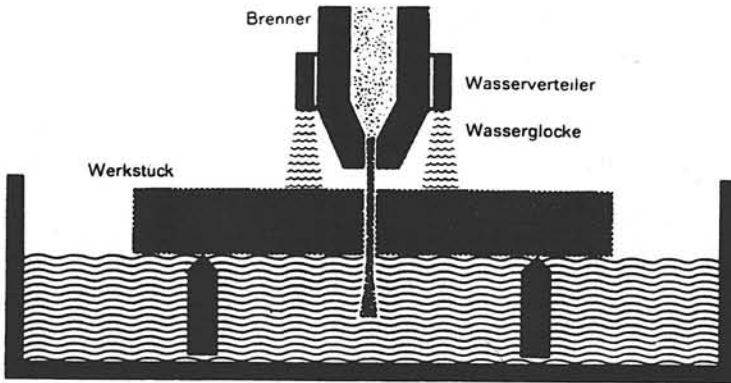
Bij het plasmasnijden wordt een elektrische vlamboog gevormd tussen een (wolfram) electrode en een door water gekoeld (koperen) mondstuk.

De elektrische vlamboog verhit de plasmastraal. (zie figuren 7.22 en 7.23).

Het gas dat door de elektrische vlamboog wordt geblazen, wordt ontleed in elektronen, ionen en neutrale deeltjes doordat zeer hoge temperaturen worden bereikt.

De geïoniseerde gasstraal, de zogenaamde plasmastraal heeft temperaturen van 2500°C tot 4600°C. Door de hoge warmteontwikkeling van de vlamboog is een intensieve waterkoeling van de uitstroom openingen van de plasmatoorts noodzakelijk. De benodigde energie moet geheel door de vlamboog worden geleverd. Het snijproces berust op het smelten en daarna wegblazen van het materiaal in de snede.

De plaatdiktes zijn echter beperkt tot 12 à 15 mm als hoge eisen aan de rechteid (recht op de plaat) van de snede worden gesteld.



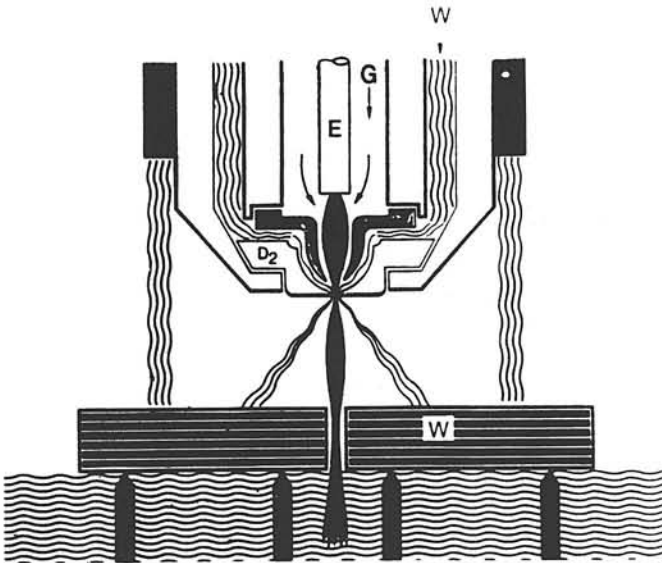
Figuur 7.22 Plasma snijden

Tijdens het plasmasnijden ontstaan allerlei schadelijke gassen, waaronder  $\text{NO}_2$  en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Vandaar dat men tijdens het snijden in een open ruimte de vrijkomende gassen afzuigt. Ook brengt men om de plasmatoorts een watermantel, de zogenaamde watermuffler, aan daardoor men een deel van de gassen met het water afvoert. Daarbij dempt de watermantel het felle geluid van de toorts en vermindert men de lichtintensiteit van de boog. Bij het snijden met perslucht wordt de electrode van zirconium in plaats van wolfram gemaakt om te sterke erosie door oxydatie tegen te gaan. Bij toortsen met waterinjectie wordt de boog bovendien door een met water gevulde kamer gevoerd. ( $\text{D}_2$  in figuur 7.22)

Voorals plasma-brandsnijmachines worden zo uitgerust dat zij onder water kunnen snijden. Daartoe worden de te snijden platen in een waterbassin onder de branderwagens gelegd. Tijdens het snijden staat daarin het water ongeveer 80 mm boven het te snijden plaatoppervlak. Om de waterstand na het snijden snel onder het niveau van de te snijden platen te kunnen brengen, wordt onder de ondersteuning van de platen een doosvormige luchtklok aangebracht. Wanneer deze geheel met lucht gevuld is, dient het waterniveau boven de platen te staan en na het laten ontsnappen van de lucht daalt door het vullen van de klokken met water het niveau tot onder de platen, zodat deze weer droogvallen. Door deze oplossing heeft men praktisch geen waterverlies en kan men met behulp van perslucht het waterniveau snel wisselen.

Bij het milieuvriendelijke, onder water, plasmasnijden ligt de te snijden plaat dus geheel onder water en vindt het snijproces dan ook geheel onder water plaats. Door de goede koeling van de plaat kan de vorm nauwkeurig worden gesneden. Door het water boven de toorts worden geluid en licht gedempt, maar kan ook minder goed waar worden genomen wat zich onder

water afspeelt.



Figuur 7.23 De toorts van het plasma snijden

Plaatdikte St42 mm	Snijsnelheid m/min	Plaatdikte St42 mm	Snijsnelheid m/min
6	4,00	16	2,40
7	3,78	17	2,22
8	3,60	18	2,04
9	3,48	19	1,92
10	3,30	20	1,80
11	3,00	21	1,74
12	2,58	22	1,68
13	2,40	23	1,62
14	2,22	24	1,56
15	2,58	25	1,50

Tabel 7.3 geeft een indruk van de snijsnelheden bij plasma branden.



*Figuur 7.24 Plasma snijden bij Centraalstaal B.V.*

### **Lasersnijden**

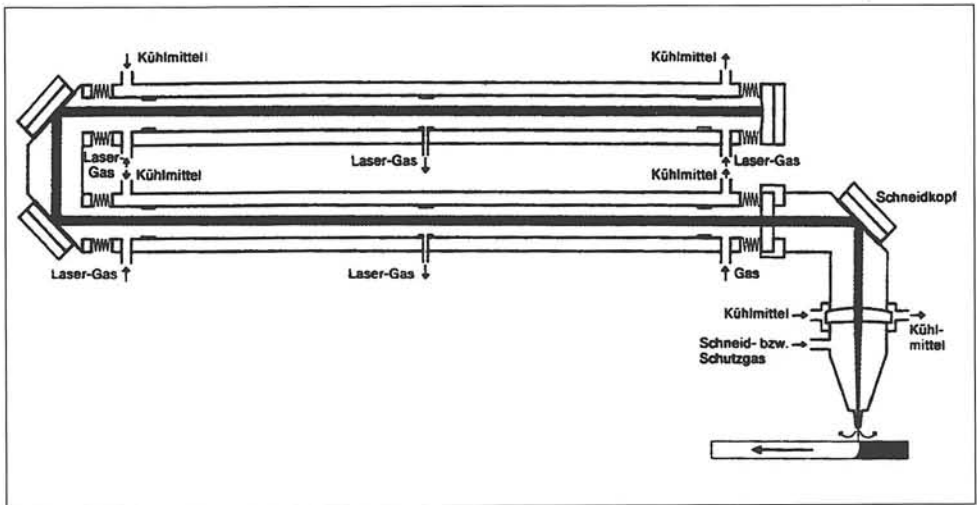
Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) snijden is ontwikkeld voor het snijden met hoge snelheid van dunne metalen platen en andere materialen.

Daarbij was vooral van belang dat gladde snijkanten ontstaan en dat het materiaal weinig vervormt door de warmtetoevoer te beperken. Een belangrijk nevenvoordeel bleek de eenvoud van de installatie ten opzichte van scharen en ponsmachines te zijn. Men kent twee methodieken, namelijk het smeltend en het brandend laser-snijden.

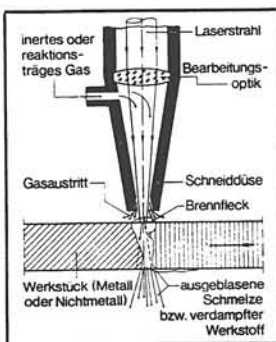
Bij het smeltend snijden smelt de laserstraal het materiaal en wordt het gesmolten materiaal met behulp van een gas weggeblazen of verdampt. Bij het brandend snijden wordt als gas zuurstof toegevoegd dat, door de voorverwarming van het materiaal door de laserstraal, oxyderend het materiaal verbrandt en de slakdelen wegblaast. Daar bij dit proces verbrandingswarmte vrij-

komt, kan men sneller werken dan bij smeltend snijden.

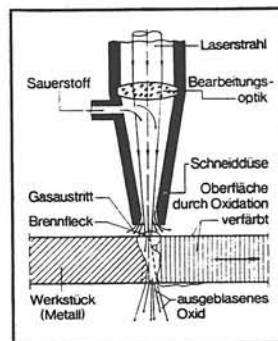
De laserstraal wordt verkregen met behulp van een glazen elektrische ontladingsbuis waardoor een mengsel van helium-stikstof en kooldioxyde stroomt. (zie figuren 7.25, 7.26 en 7.27)



Figuur 7.25 Lasersnijden



Figuur 7.26 Smeltend snijden met een laserstraal



Figuur 7.27 Brandend snijden met een laserstraal

## 7 De pre-fabricage (voorbewerking)

Het laser-snijden is schoon en nauwkeurig, geeft een smalle snijspleet en het gesneden oppervlak heeft geen bramen. Daarmee is een hoge snijkwaliteit te realiseren, maar de hoge investering maakt de toepassing voor de scheepsbouw anno 1999 nog niet economisch attractief.

In tabel 7.4 zijn de snij snelheden voor lasersnijden weergegeven.

Materiaal	Plaatdikte mm	Snij snelheid m/min
Staal	3,0	1,7
	5,0	0,8
	6,0	0,5
Rubber	5,0	1,6
Asbest	5,0	0,6
Glas	1,9	0,6
Hout	18,0	0,2

tabel 7.4 geeft een indruk van de snij snelheden bij laser snijden.

### Waterstraalsnijden

De techniek van het waterstraalsnijden is ontwikkeld voor de bewerking van textiel, hout, plastics, rubber, leer etc. Dit gebeurt met behulp van hoge pompdrukken (400MPa) waarmee een dunne waterstraal wordt gemaakt.

Harde materialen kunnen met deze methode worden bewerkt door het water te mengen met fijne slijpkorrels.

Met dit abrasief waterstraalsnijden is het mogelijk in een keer 35 cm beton en 7,5 cm dik staalplaat met een snelheid van ongeveer 40 mm/min door te snijden. Daarbij wordt geen warmte geproduceerd. De potentiële mogelijkheden van het waterstraalsnijden vragen nog onderzoek. Bruikbare installaties voor de productie in de scheepsbouw zijn nog niet beschikbaar. In de scheepsbouw wordt dit proces voor het snijden van platen dan ook nog niet toegepast.

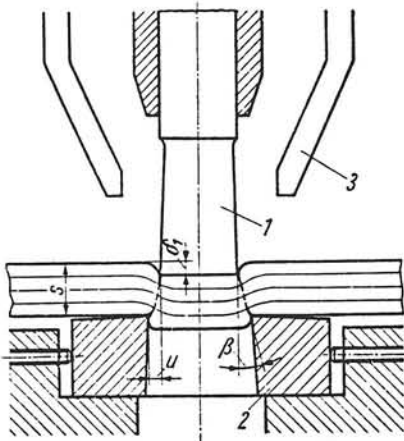
### 7.6 Knippen en ponsen

Op scheepswerven worden bij de pre-fabricage ook mechanisch scheidende bewerkingen toegepast.

Het ponsen wordt kort besproken, alhoewel dit in de scheepsbouw vrijwel niet meer wordt toegepast. Tevens wordt een beknopte beschrijving van het knippen en de daarbij in de scheepsbouw gebruikte werktekeningen gegeven.

### 7.6.1. Het ponsen

Ponsen is een deformatieproces. De ponsdop wordt door de pons (zie figuur 7.28) uit de plaat gedrukt. De ponskracht is afhankelijk van de plaatdikte, de lengte van de snijlijn, de schuifkracht van het materiaal ( $\tau$ ), de snelheid van het ponsen en de wrijvingskracht in de snijplaat. Omdat het materiaal wordt afgeschoven is sprake van zowel elastische als plastische vervorming en breuk.



Prinzip des Lochvorgangs

1 Stempel 2 Schnittling 3 Abstreifer

Figuur 7.28 Het ponsen

Het ponsen werd toegepast voor het vervaardigen van gaten benodigd voor klinkverbindingen. Daar dikwijls scheuren in de wand van de geponste gaten bleken te ontstaan, werd dit proces voor geklonken schepen al vervangen door boren. Men past het ponsen nog een enkele keer toe voor de vervaardiging van gaten in weinig belaste stalen delen.

Het Engelse woord 'notchen' betekent ponsen. Dit woord heeft bij de Nederlandse werven ingang gevonden voor ponsbewerkingen, waarbij delen van profielen uitgeponst worden.

### 7.6.2 Het knippen

Het principe van het knippen is dat door een ten opzichte van een vast mes, een bewegend mes het materiaal vervormd en daarna de vervormde zone wordt afgescheurd. Voor het afsnijden langs uitwendige rechte lijnen van platen tot en met dikten van 50 mm kan men guillotine- of hydraulische scharen toepassen. Voor het afsnijden langs zwak gebogen uitwendige lijnen kan men een knabbelschaar of een rollenschaar toepassen.

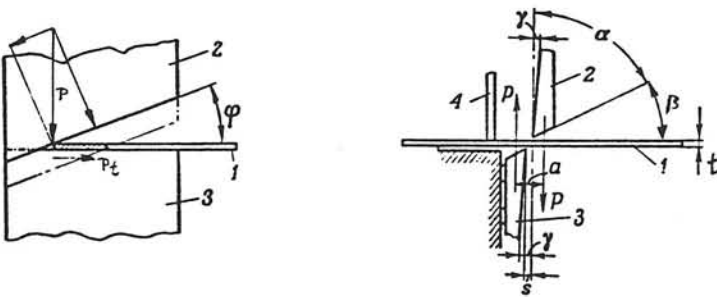


**Guillotine-scharen**

Voor het snijden van 20 tot 50 mm plaat met snijblad-lengten van circa 1,5 tot circa 5 meter worden guillotine scharen toegepast. Daar men 45 slagen per minuut kan maken, zijn deze scharen geschikt voor het knippen van strippen. De bediening vraagt 2 à 3 man. Door eenvoudige aanslagen aan de machine te monteren kan het aftekenen komen te vervallen. Rechte kanten knipt men door de te knippen plaat horizontaal te ondersteunen. Schuine kanten kunnen geknipt worden door de plaat en de ondersteuningstafel hellend te plaatsen.

De kracht waarmee de plaat uit de schaar wordt gedrukt, bedraagt:

$$P_t = P \cdot \sin \varphi \cos \varphi \text{ (zie figuur 7.29).}$$



Figuur 7.29 Het knippen

- |                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| $\alpha$ = snijhoek         | $l$ = plaat        |
| $\gamma$ = vrijloophoek     | $2$ = bewegend mes |
| $\beta$ = spaanhoek         | $3$ = vast mes     |
| $\alpha - \gamma$ = wighoek | $4$ = neerhouder   |

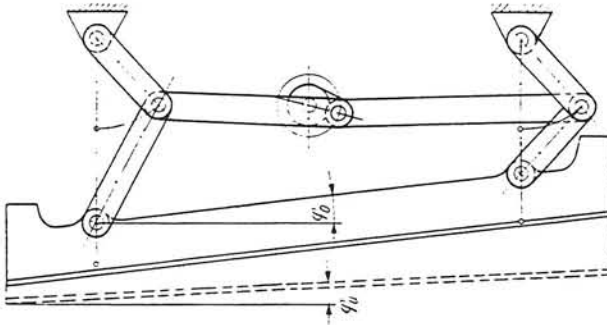
De wrijvingskracht die de ondersteuning op de plaat uitoefent, bedraagt  $P_w = P \cdot \tan \varphi$ . Daar de waarde  $P_w > P_t$  dient te zijn wordt voor  $\varphi$  12° tot 14° aangehouden. Om te zorgen dat de bladen elkaar niet raken wordt een afstand  $s$ , horizontaal gemeten tussen de bladsnijkant, aangehouden. De snijhoek van de bladsnijkant wordt wel eens 90° gekozen waardoor men per blad twee bruikbare snijkanten te beschikking heeft.

De waarde van  $P$  bedraagt:

$$P = \frac{l^2 \cdot \sigma_t}{l g \varphi} \cdot c_p$$

waarin  $c_p \approx 0,4$  tot  $0,55$ ,  $t$  de plaatdikte in mm en  $\sigma_t$  de treksterkte van de plaat is.

Het aandrijvings mechanisme van een guillotine-schaar is in figuur 7.30 weergegeven.



Figuur 7.30 Aandrijvings mechanisme guillotine-schaar

### Hydraulische scharen

De messen van hydraulische gedreven scharen zijn gewoonlijk wat korter dan die van guillotine-scharen (250 tot 600 mm). Men kan er daarom zeer zwak gebogen snijkanten mee bewerken. Plaatdikten variëren van 20 tot 32 mm.

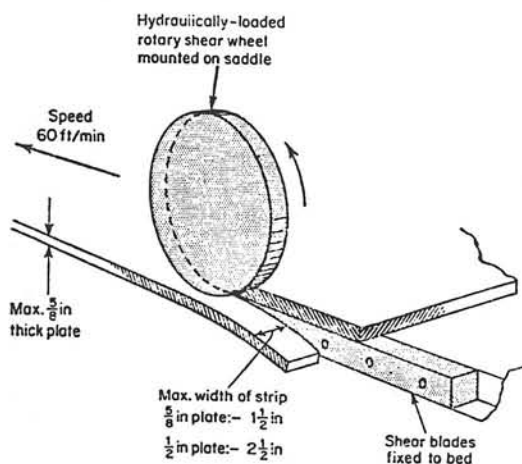
### Knabbelscharen

Dit zijn scharen met zeer korte messen ( $\varphi = 24^\circ$  tot  $30^\circ$ ), waardoor men gebogen lijnen kan knippen. Men vindt deze scharen in aanbouwooldsen om kleine vorm- en maatcorrecties op handige wijze te kunnen aanbrengen.

### Rollenscharen

Met een rollenschaar kan men licht gebogen snijkanten knippen (zie figuur 7.31). De maximaal te knippen plaatdikte is circa 30 mm. Men past rollenscharen vooral toe voor het knippen van die materialen welke moeilijk brandsnijbaar zijn, zoals bijvoorbeeld aluminium.

Hoewel knippen sneller gaat dan brandsnijden, geeft men in het algemeen de voorkeur aan branden, omdat men bij het knippen meestal constant een kraan nodig heeft om de plaatdelen tijdens het bewerken aan te hangen en omdat men naast een zeer vakbekwame man, een of twee hulpkrachten ter beschikking moet stellen voor het hanteren van de platen. De snijkanten vervormen sterk en kunnen soms inscheuren.



Figuur 7.31 Rollenschaar

### 7.7 Aanbevolen literatuur

#### paragraaf 7.1 en 7.2

- 1 Richard Lee Storch, Collin P. Hammon & Howard M. Bunch: 'Ship Production'.
- 2 J.A. Hind: 'Ship Design and Shipbuilding Production'.
- 3 D.J. Eyres: 'Ship Construction'.
- 4 E. Wiebeck, M. Beyrodt, Z. Winkler: 'Technologie des Schiffkörperbaus'.
- 5 K.J. Saurwalt: CAD/CAM in de scheepsbouw, 'Schip en Werf', 51e jaargang, nr. 12, 1984, blz. 198 - 202.

#### paragraaf 7.3

- 6 De Vereniging Oppervlaktetechnieken van Materialen: 'Vademecum Oppervlakte technieken materialen, deel 1'.
- 7 A.M. Berendsen: 'Ship Painting Manual', ISBN 90 228 1951 5.
- 8 'Shipbuilding & Marine Engineering Int.', november 1973.
- 9 'Neues System für den Oberflächenschutz', Hansa-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 112 Jahrgang, 1975, nr. 19, blz. A.63.
- 10 T. Szigeti, V. Gronholm, 'Über den heutigen stand der Shop-Primer-Farbspritzanlagen, Schiff und Hafen, Heft 6/1970, 22 Jahrgang, blz. 577 - 581.
- 11 A.N. McKelvie, M.E.R., december 1978, blz. 34 en 35.
- 12 'The use of high velocity water jets in the marine industry', Fairplay, 24 september 1981, blz. 33 - 35.

- 13 'Wetblasting now a practical proposition', Shipcare & Maritime Management, July 1981, blz. 39.
- 14 'Wet blast for better steel preparation', (Drydock, August/September 1983, blz. 9 - 13)
- 15 'Strahlarbeiten an Schiffen; Bleibt der Umweltschutz auf der Strecke?', F.W. Zimmer. (Hansa-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 122 Jahrgang, 1985.)
- 16 'Schiffskonserverung für den Praktiker', W. Richardt. Hansa-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 123 Jahrgang, 1986, nr.3, blz. 225 - 231)

#### paragraaf 7.4

- 17 'Optisches anzeichnen und Automatisches Brennschneiden', L. Schaller. 1962
- 18 'Entwicklungstendenzen und Einsatz numerisch gesteuerter Brennschneidemaschinen. E. Rentzsch', Schiff und Hafen, Heft 9/1970, 22. Jahrgang, blz. 19 - 23.
- 19 'De huidige stand van NALS programma's ten behoeve van het numeriek sturen van brandsnijmachines', A.W. Ruys, Schip en Werf, 40e jaargang, nr. 13, 1973, blz. 260 - 262.
- 20 'Numerieke besturing van brandsnijmachines als onderdeel van een geïntegreerde productbesturing', A.W. Ruys, Schip en Werf, 37e jaargang, nr. 2, 1970, blz. 34/35.
- 21 'De programmeertaal NALS voor numerieke besturing in de scheepsbouw', H. le Grand, Schip en Werf, 37e jaargang, nr. 2, 1970, blz. 36 - 39.
- 22 'Numerieke besturingssystemen in de scheepsbouw', K.J. Saurwalt, Schip en Werf, 42e jaargang, nr. 9, 1975, blz. 163 - 165.
- 23 'Koordinaten Groszbrennschneidemaschine Sicomat mit numerischer Steuerung', Ing. H. Hirschberg. Publikatie Messer Griesheim.
- 24 'Schweiszfugen Vorbereitung an Formschnitten', Ing. H. Hirschberg, Publikatie Messer Griesheim.
- 25 'Brennschneidemaschinen mit rechnergeführten numerischen Bahnsteuerungen', N. Armbruster. Schweißen und Schneiden Jahrgang 31, 1979, Heft 11, blz. 467 - 470.
- 26 'Betrieb einer CNC-Brenn-Schneidemaschine mit Unterwasser-Plasmaschneideanlage', P. Rabe en D. Dekeukelaere. Hansa - Schiffbau - Hafen - 119 Jahrgang 1982, no. 18, blz. 1164 - 1167.
- 27 'Full Automatic Section Cutter. Technical Review', Februari 1974, publicatie Mitsubishi Heavy Industries.
- 28 'Moderne brandsnijmachines voor scheepswerven', J. Munzel. Schip en Werf, 37e jaargang, no. 4, 1970, blz. 70 - 77.
- 29 'Wirtschaftlicher Einsatz von Brennschneidemaschinen in der stahlverarbeitenden Industrie einschliesslich Schiffbau', H.G. Sulimma, Hansa-Schiffahrt-Schiffbau-hafen, 118e Jahrgang, 1981, nr. 17, blz. 1238 - 1242.
- 30 'Processes flamecutting for welding shops', G. Sims-Davies, Metal construction and British welding Journal. Juni 1972, blz. 210/211.

**paragraaf 7.5**

- 31 'Plasmasruckluftschneiden unlegerter Kohlenstoffstahle', H. Karliczek, Seewirtschaft 6, 8/1974, blz. 486 - 490.
- 32 'Wasserstrahlschneiden - Aufbau der Anlagen und Verfahrensprinzip', W. König en A. Weisz, Schweißen und Schneiden, Jahrgang 31, 1979.
- 33 'Plasmasnijden van staalplaat van 6 tot 20 mm dikte', De methode "onder water snijden", J.G.M. van den Broek, M.P. Sipkes. Rapport No: R-242, Januari 1982. Nederlands Maritiem Instituut.
- 34 'Betrieb einer CNC-Brennschneidemaschine mit Unterwasser-Plasmaschneideanlage', P. Rabe en D. Deukeelaere, HANSA - Schifffahrt - Schiffbau - Hafen - 119, Jahrgang 1982, No 18, blz. 1167.
- 35 'Waterstraalsnijden houdt hoofd en werkstuk koel', Ing. A.J.M. van Deudekom, i2-Werktuigbouwkunde No 5, 1987, blz. 35.
- 36 'Lasertechnologie in een stroomversnelling', Ir. H.J. Raterink. De Ingenieur, No 6, juni 1988.
- 37 'Applying high power lasers to shipbuilding', D.R. Martyr en Ph.D.C. Eng. Schip en Werf, 55e jaargang, 1988, blz. 24.
- 38 'Exakte Zuschnitte mit dem CO2-Laser', M. Hoffmann. Chemie-Techniek 5, Nr. 4, blz. 147 - 149.

**paragraaf 7.6**

- 39 'Shipbuilding Technology', Dormidontov, Arefger, Kiseleva, Kuzmenkan, Nikitin en Turunev.
- 40 'Schiffbautechnisches Handbuch', Band 6, W. Henschke.

## 8

## Het omvormen van staal

Bij het plastisch vervormen van staal maakt men gebruik van de eigenschap van het materiaal om de gewenste vorm te krijgen zonder afbreuk te doen aan de eigenschappen.

Vrijwel alle onderdelen van een scheepsromp en andere (metalen) producten die in een schip worden ingebouwd, hebben op enigerlei wijze een vormverandering ondergaan.

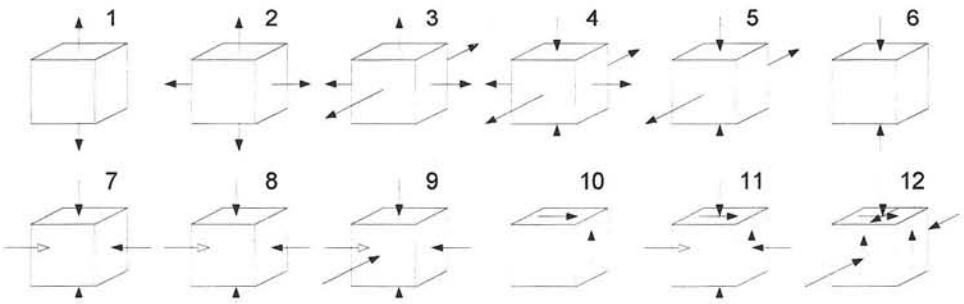
## 8.1 Combinaties van spanningen

Met het vervormen worden spanningen ingebouwd die meestal een combinatie zijn van trek, druk en afschuiving.

In fig. 8.1 wordt een classificatie van combinaties van spanningen gegeven.

Deze zijn onderscheiden naar:

- Eén -, twee - en drie-assige trekspanningen (1, 2 en 3 in de figuren)
- Twee-assige trek en druk (4 en 5)
- Eén - en twee-assige druk (6 en 7)
- Twee-assige druk en trek (8)
- Drie-assige druk (9)
- Zuivere afschuiving (10)
- Zuivere afschuiving met drie-assige druk (11)
- Twee-assige afschuiving met drie-assige druk.

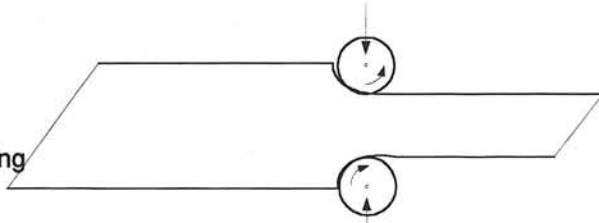


Figuur 8.1 Classificaties van combinaties van spanningen

Figuur 8.2 geeft enkele combinaties van spanningen die voorkomen bij het vervormen weer.

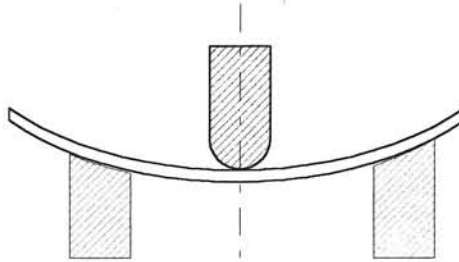
Walsen

Twee-assige spanning  
(druk)



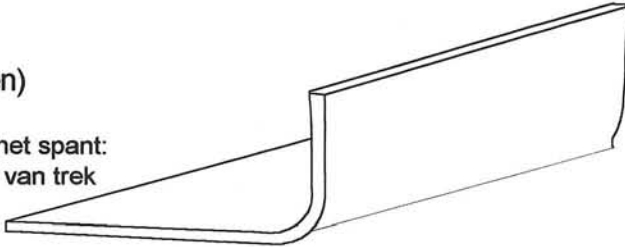
Rekken  
(Drukken)

Twee assige spanning  
(trek)



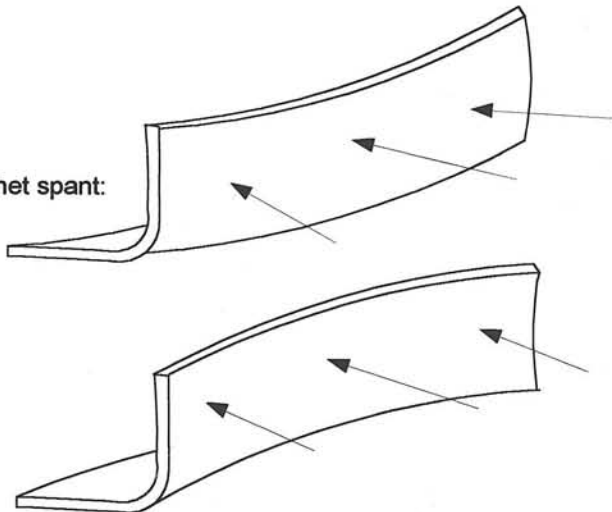
Flenzen  
(Recht buigen)

In de nek van het spant:  
De combinatie van trek  
en druk.



Spanten buigen

In de buitenflens van het spant:  
trek (één assig).  
In de nek als (3).



Figuur 8.2 Enkele voorbeelden van spanningen bij het vervormen

Het aantal factoren of variabelen waarmee men in het productieproces te maken krijgt, is groot. De samenstelling en eigenschappen van het materiaal zijn weliswaar bekend, maar de mate van vervorming, de omgevingstemperatuur en het type equipment zijn variabel en beïnvloeden de eigenschappen van het product.

Ervaring en vakmanschap zijn dan belangrijke factoren voor een juiste bewerking. Theoretische beschouwingen hebben op een aantal details wellicht tot meer inzicht geleid (bijvoorbeeld bij koud scheuren) maar moeten altijd door betrouwbare experimenten worden ondersteund. Experimenten die, gezien de invloed van schaafeffecten op de variabelen, op ware grootte moeten worden uitgevoerd om betrouwbare resultaten op te kunnen leveren.

Kennis van de materialen, de wijze van produceren en de methodes van verwerken zijn onmisbaar om inzicht in de productieprocessen te krijgen en de bewerkingen te kunnen beoordelen.

### 8.2 Methodes voor het omvormen van plaat, profiel en pijp

Voor het in de vorm brengen van platen kent men de volgende machinetypen en bewerkingen:

- de rollenwalsen voor het vlakwalsen en vormwalsen,
- de vouw- en zetbanken voor het vouwen en zetten,
- de drukbanken (- gap - portaal - type) en de roldrukbank voor het drukken.
- Voor het richten en buigen van profielen past men richt- en buigbanken toe.
- Voor het in de vorm brengen van pijpen gebruikt men pijpenbuigmachines.

Naast de bovengenoemde machines, welke het materiaal koud vervormen, kent men ook vervormings-methoden waarbij platen en profielen geheel of gedeeltelijk verhit en dan gebogen of afgeschrikt worden.

Hiertoe behoren:

- het warmbuigen
- de "Line Heating"-methode, het plaatselijk warm stoken en afkoelen.

#### 8.2.1 Walsen

Het woord walsen wordt zowel voor de bewerking walsen als voor het werktuig waarmee men de bewerking uitvoert gebruikt. Men kent verschillende soorten walsbewerkingen. Voor de scheepsbouw zijn vooral de bewerkingsmethoden vlakwalsen en vormwalsen van belang.

#### Het vlakwalsen

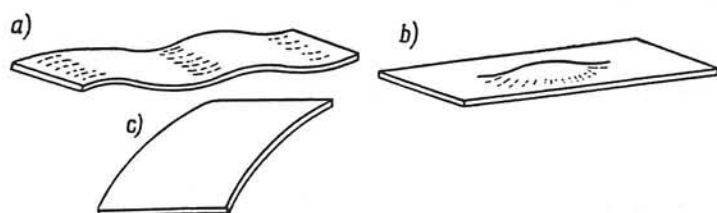
Platen worden niet altijd vlak, maar gebogen en plaatselijk gedeformeerd afgeleverd, omdat na het walsen ten gevolge van ongelijkmatige afkoeling en ook gedurende het transport licht vervormingen kunnen ontstaan, (figuur 8.3).

Daarom is het wenselijk de niet vlakke platen voor het aftekenen en snijbranden met behulp van een vlakwals te vlakken. Ook zal men platen voor het brandsnijden vlakwalsen wanneer men verwacht dat tengevolge van de warmtebehandeling, die de platen bij de vervaardiging



hebben ondergaan, door de verhitting tijdens het brandsnijden inwendige spanningen vrij zullen komen die de plaat krom zullen trekken. Het vlakwalsen betreft dus walsen met een tweeledig doel n.l. het vlak maken van de platen en het verminderen van, eventueel aanwezige, grote inwendige spanningen. Dit walsen komt overeen met het begrip mangelen dat bij de productie van staalplaat gebruikt wordt. Men noemt dan ook in de scheepsbouw de machines die vlakwalsen een vlakwals, maar elders noemt men ze ook mangels.

Het vlakwalsen is een belangrijke eis wanneer men hoge eisen aan de maatnauwkeurigheid wil stellen na het brandsnijden.



Different kinds of deformation: (a) wavy shape; (b) local convexity (hogging); (c) serpentine curvature of the edges

Figuur 8.3 Vervormde platen

### Het vormwalsen

Kimplaten, gevormde huidplaten, platen met flenzen, vouwschotten enz. dienen na het snijden in de juiste gebogen vorm gebracht te worden. Het in een gebogen, niet vlakke, vorm brengen noemt men vormwalsen.

### De rollenwalsen

Alle werktuigen die met rollen uitgerust zijn om er mee te kunnen walsen noemt men walsen. Daarbij kent men verschillende typen afhankelijk van de soort walsbewerking die uitgevoerd moet worden, met daaraan gerelateerd een verschillende stand van de rollen t.o.v. elkaar en met verschillende verplaatsingsmogelijkheden van de rollen t.o.v. elkaar.

Zo kent men:

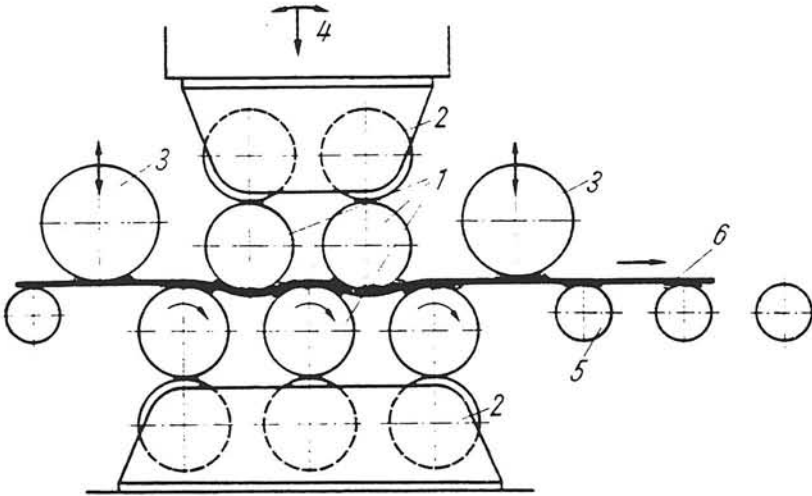
1. de valkwals, die platen in één bewerkingsgang kan vlakken (mangelen),
2. de vormwals, die platen kan buigen en vormen, zelfs van een flens kan voorzien, in een of meer bewerkingsgangen.

### De vlakwalsen (mangels)

De vlakwalsen vervormen een plaat zoveel malen in tegenover gestelde buigrichting dat deze vlak wordt en eventueel aanwezige materiaalspanningen verminderd worden. Zie de figuren 8.4

t/m 8.6. Een plaat passeert 5 à 7 walsrollen, waarvan meestal de onderste walsrollen aangedreven worden, (rollen (1) in figuur 8.4 en in figuur 8.6).

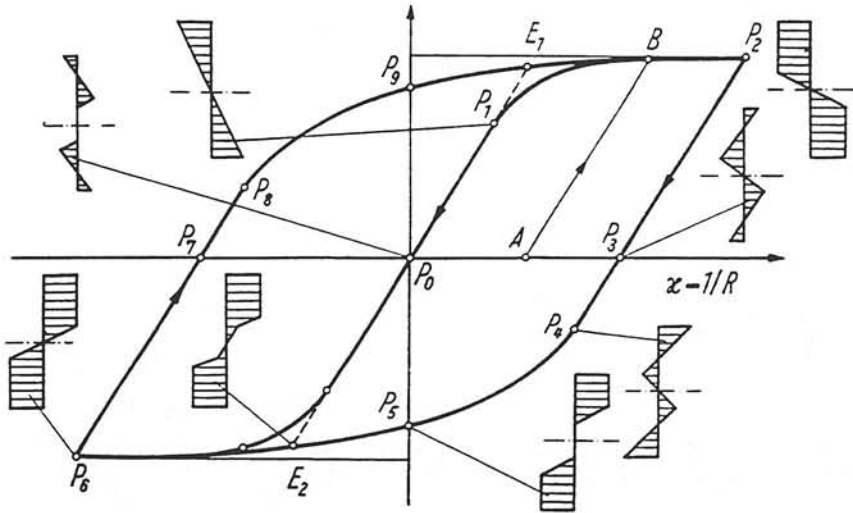
Kenmerkend is daarbij dat de rollen de plaat niet klemmen, zoals bij het plaatwalsen bij een walswerk het geval is.



Figuur 8.4 Schema van een vlakwals

Door het walsen wordt de plaat plaatselijk gebogen (kromtestraal  $R$ ). Daarvoor is het buigend moment  $M$  nodig dat uitwendig door de rollen op de plaat wordt uitgeoefend. Bij het doorlopen van twee elkander tegengestelde walsbuigingen van een plaatdeel kan het verband tussen  $M$  en  $R$  in een hysteresus-curve weergegeven worden, (figuur 8.5).

In de punten P2 en P6 heeft het plaatdeel de maximale kromming en is het buigend moment zo groot dat de vloeigrens wordt overschreden en blijvende vervorming ontstaat. Wanneer het moment nul is geworden - in P3 en P7 - is het plaatdeel gebogen en kan weer recht worden door het aanbrengen van een tegenmoment, P5 en P9. Willekeurig aanwezige materiaalspanningen worden opgenomen in het spanningsverloop van de plaat in P2 en P6. Nadat tijdens het walsen de hysteresus twee - of driemaal doorlopen is, dient de laatste walsrol-combinatie zodanig te zijn afgesteld dat de ontlasting begint in het punt E1 of E2. De plaat zal dan vlak de wals verlaten met de bij punt  $P_0$  aangegeven interne spanningsverdeling.



Figuur 8.5 Het vlakwalsen

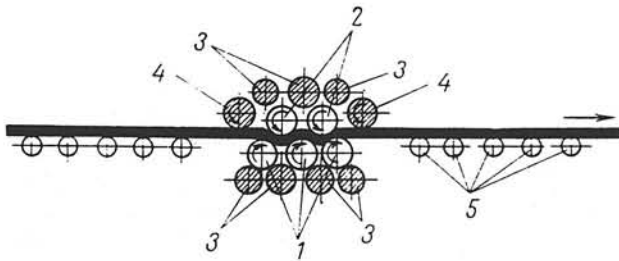
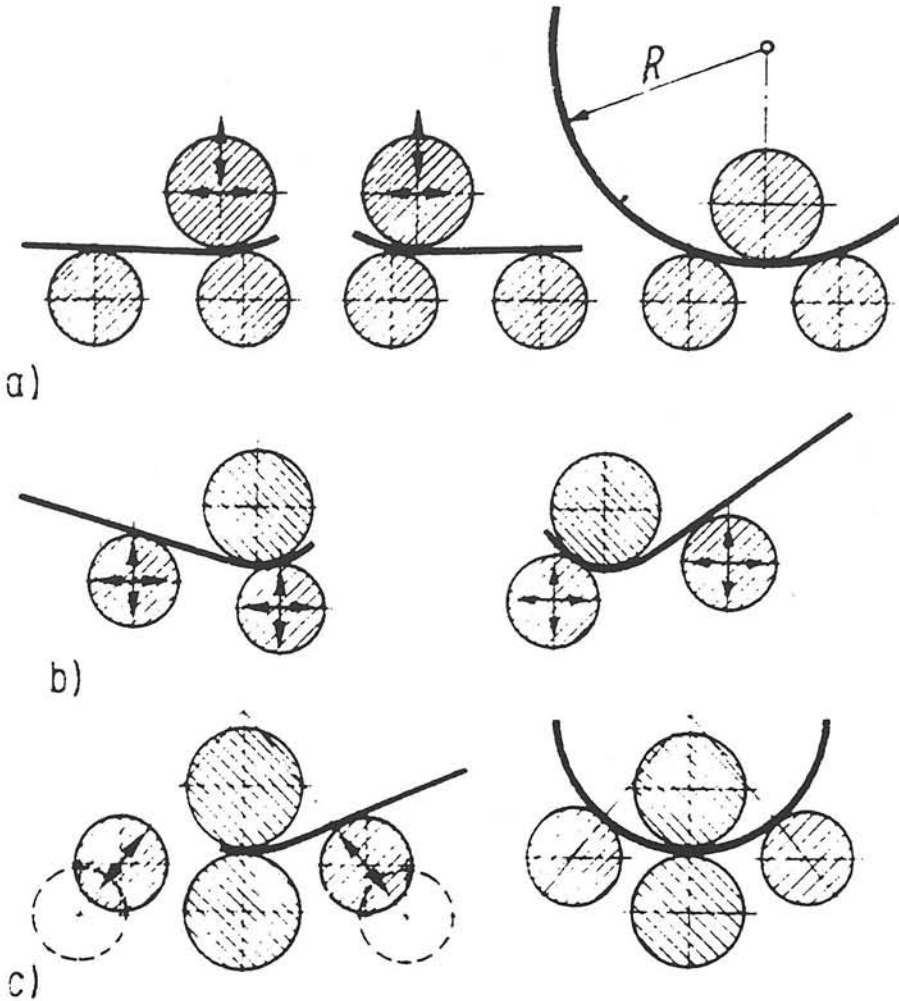


Diagram illustrating plate being straightened in roll-straightener with live work rolls:

1—lower work rolls; 2—upper work rolls; 3—back-up rolls; 4—auxiliary rolls; 5—roller table

Figuur 8.6 Schema van een vlakwals

Daar grote krachten op de walsrollen werken, worden deze ondersteund door steunrollen (rollen (2) in figuur 8.4 en (3) in figuur 8.6), om de doorbuiging van de walsrollen binnen bepaalde grenswaarden te houden. Aangezien de rollen altijd enigszins doorbuigen, verlaat een plaat een vlakwals toch niet geheel vlak. Voor het aanvoeren en afvoeren van de platen zal men voor en achter de vlakwals rollenbanen aanbrengen, (rollen (5) in figuur 8.4 en in figuur 8.6).

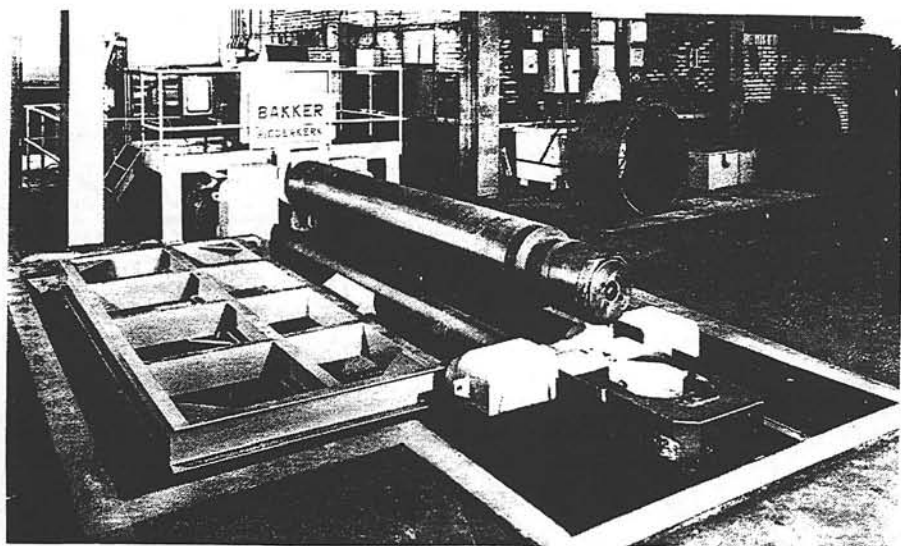


Figuur 8.7 Vormwalsen

### De vormwalsen

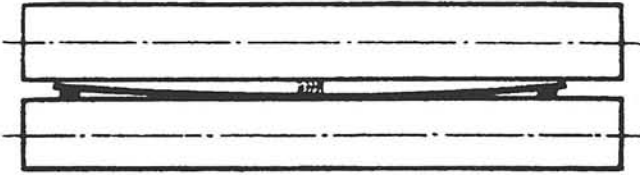
Men kent drie- en vierrollen walsen. De walsrollen kunnen niet alleen in verticale zin t.o.v. elkaar worden versteld, maar ook in horizontale zin, zie figuur 8.7. Dit laatste voorkomt het keren van de plaat aan het begin van de bewerking.

Om geheel rond gewalste plaatdelen uit de machine weg te kunnen nemen, wordt de bovenrolondersteuning zodanig uitgevoerd dat deze weg geklapt kan worden, (zie figuur 8.8).



*Figuur 8.8 Een vormwals*

Wanneer de rotatieassen van de walsrollen evenwijdig en horizontaal gericht zijn, zullen over het algemeen cilindervormige vlakken gewalst worden. Door de as van de bovenrol tijdens het walsen een kleine hoek te laten maken met de assen van de onderrollen kan men kegelvlakken walsen. Door tijdens het walsen met de plaat plaatstrippen door de wals te voeren kan men twee-assige zwak gebogen platen vervaardigen, (zie figuur 8.9).

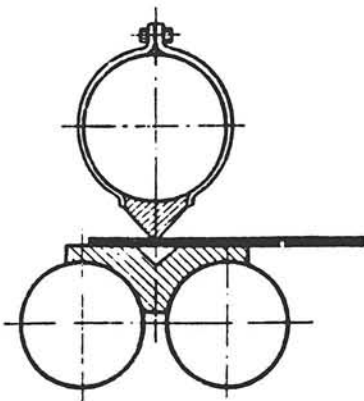


*Figuur 8.9 Het walsen van twee-assig gebogen platen*

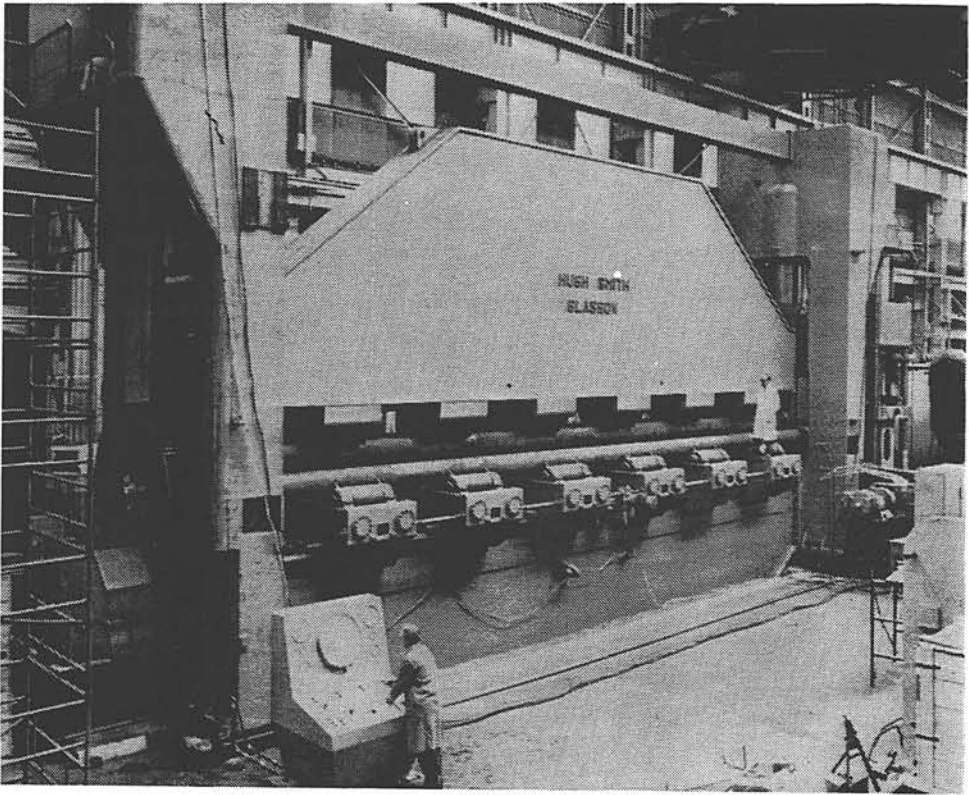
Deze bewerkingen vragen ervaring van het bedienend personeel. Wanneer men immers per ongeluk de kromtestraal te klein gewalst heeft, kan men dat niet gemakkelijk corrigeren. Ook dient er rekening mee gehouden te worden dat bij een redelijke afstand tussen de rollen het eerste deel en het laatste deel van de plaat niet gebogen gewalst kunnen worden. Vandaar dat men deze twee delen eerst rond walst. (zie de eerste twee figuren van schets 'a' van figuur 8.7), waarbij de rollen pal bij elkaar gebracht worden. Later walst men de hele plaat rond zoals in de laatste figuur aangegeven is.

In de figuren b en c vindt men hetzelfde voor twee andere typen vormwalsen terug.

Ook bij deze machines worden de walsrollen met behulp van steunrollen ondersteund. Soms worden deze machines uitgerust met hulpstukken die het mogelijk maken flenzen en vouwen in platen aan te brengen. Om de bovenrol bevestigd men dan een drukstempel en op de twee onderrollen een lang onderstempel. Gebruik makend van de verticale bovenrollbeweging kan men zo uitgerust, de bank als zetband gebruiken, (zie figuren 8.10 en 8.11).



*Figuur 8.10 Stempels voor het uitvoeren van zetwerk met behulp van een vormwals*



*Figuur 8.11 Een vormwals*

### **8.2.2 Vouwen, zetten en drukken**

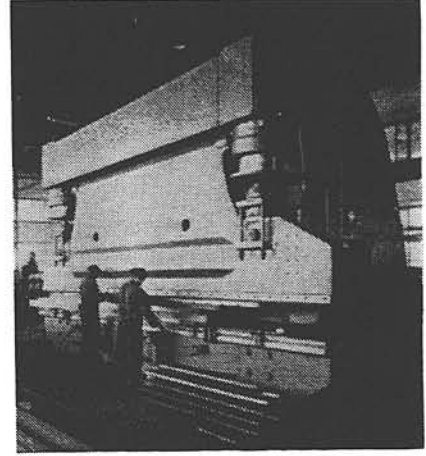
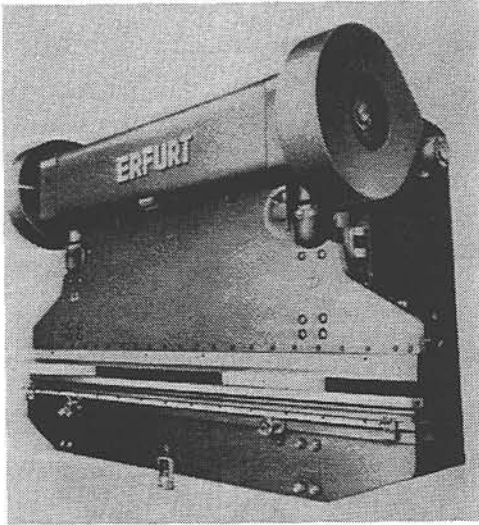
Vouwen en zetten is het met een relatief kleine kromtestraal buigen van een plaat over de gehele lengte of breedte. Bij vouwen is sprake van één vrij scherpe buiging en bij zetten een groot aantal buigingen. Drukken is het sterk vervormen van een plaat door met een grote kracht plaatselijk op een plaat te drukken.

Voor het vouw-en zetwerk gebruikt men vouw- en zetbanken. Voor het drukken gebruikt men gap- en portaal- drukbanken en gap- en portaal roldrukbanken. De laatste banken worden ook wel rolpersen genoemd.

#### **Vouw-en zetbanken**

Een vouw-en zetbank bestaat gewoonlijk uit een hydraulisch aangedreven bovenjuk met bovenstempel dat de op het daaronder gelegen zadelstempel rustende plaat plaatselijk langs een

rechte lijn vouwt of buigt, (zie figuur 8.12).

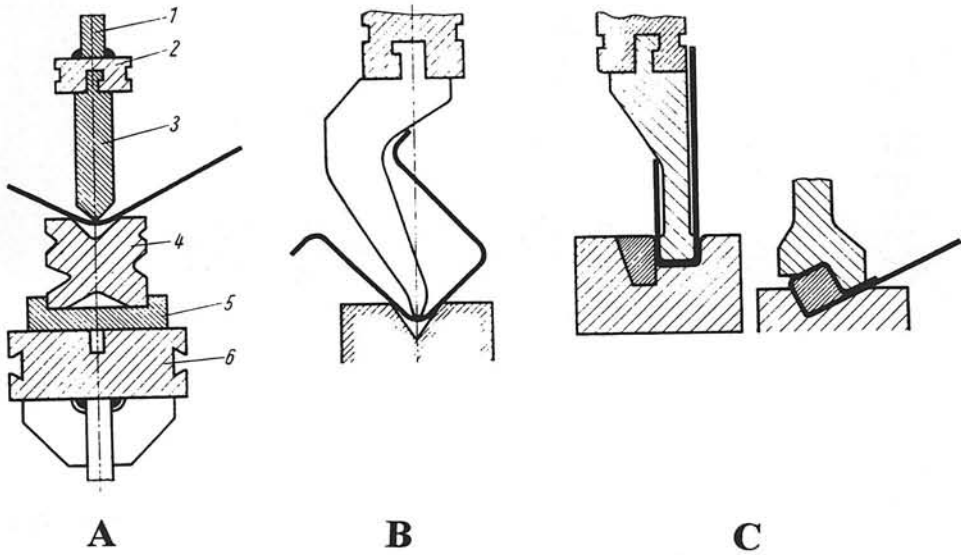


*Figuur 8.12 Vouw- en zetbanken*

Gewoonlijk zijn beide stempels langer dan de plaatbreedte. De stempels en jukken worden gedragen door twee zware kolommen, die op een afstand staan die groter dan de plaatbreedte is. De te zetten plaat kan, door deze opstelling, ongehinderd worden tussen kolommen en stempels met behulp van kranen en rollenbanen bewogen. Doordat men de stempels op een ruime afstand voor de kolommen plaatst, ontstaat tevens de mogelijkheid zeer brede platen van een vouwrand te voorzien door deze, voor de machine langs, in de richting van de stempels, slag voor slag te verplaatsen.

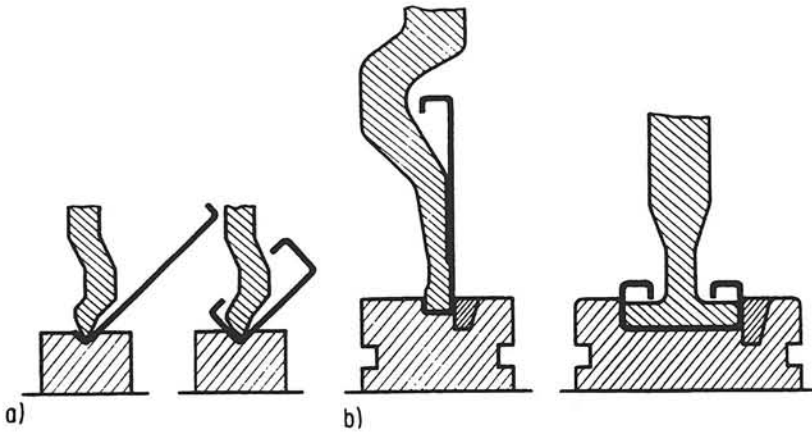
Onder- en bovenstempels kan men gemakkelijk door anders gevormde stempels verwisselen. Het onderstempel wordt dikwijls vierkant uitgevoerd, met zetgroeven van verschillende afmetingen in elk der vier zijden, (zie figuur 8.13).





**Figuur 8.13** *A* Schema van een vouwbank:  
 1. Drukcylander    4. Onderstempel  
 2. Stempelhouder    5. Stempelhouder  
 3. Bovenstempel    6. Tafel  
*B* Bovenstempel voor U-profielen  
*C* Onder en bovenstempel voor gesloten profielen

Naast deze universeel bruikbare machines komen ook banken voor die alleen plaatkanten kunnen vouwen en buigen, (figuur 8.14).

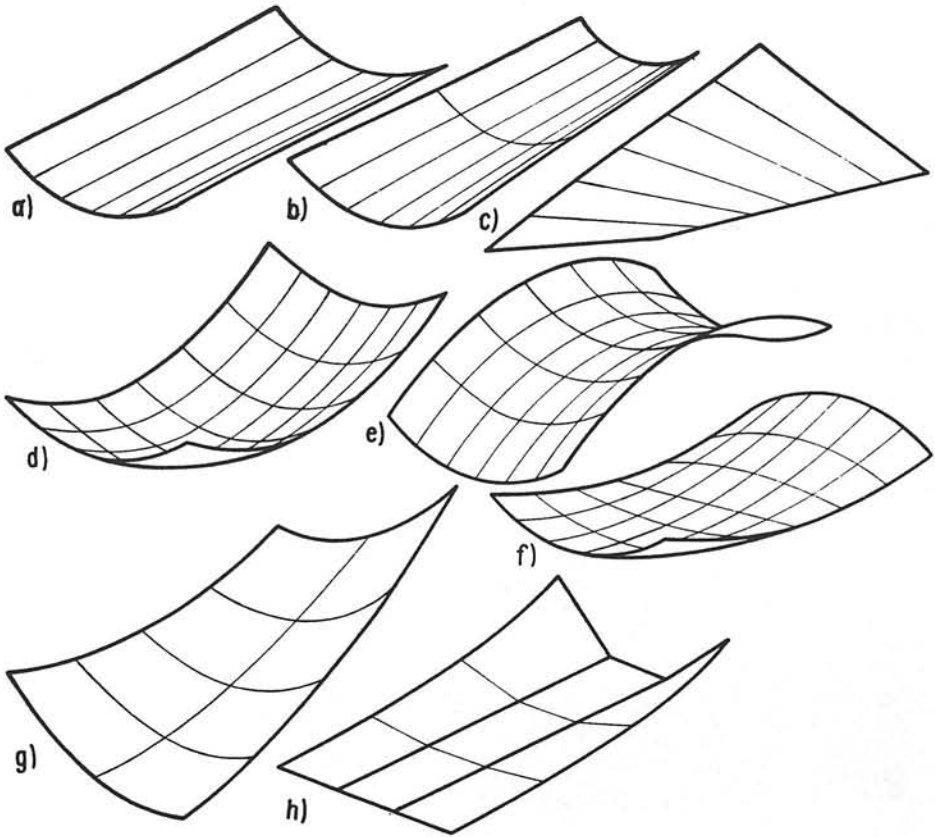


Figuur 8.14 *Vouwen, buigen*

In het algemeen zijn dit oudere typen.

Alle plaatvormen die mathematisch door rechte lijnen kunnen worden beschreven (regeloppervlakken), die ontwikkelbaar zijn, kunnen met behulp van walsen en zetbanken worden vervaardigd (figuur 8.15, plaatvormen).

Komen op een plaats in de plaat meerdere krommingen voor, dan kan men dit alleen maar met behulp van plaatselijk vervormen (drukken) aanbrengen.



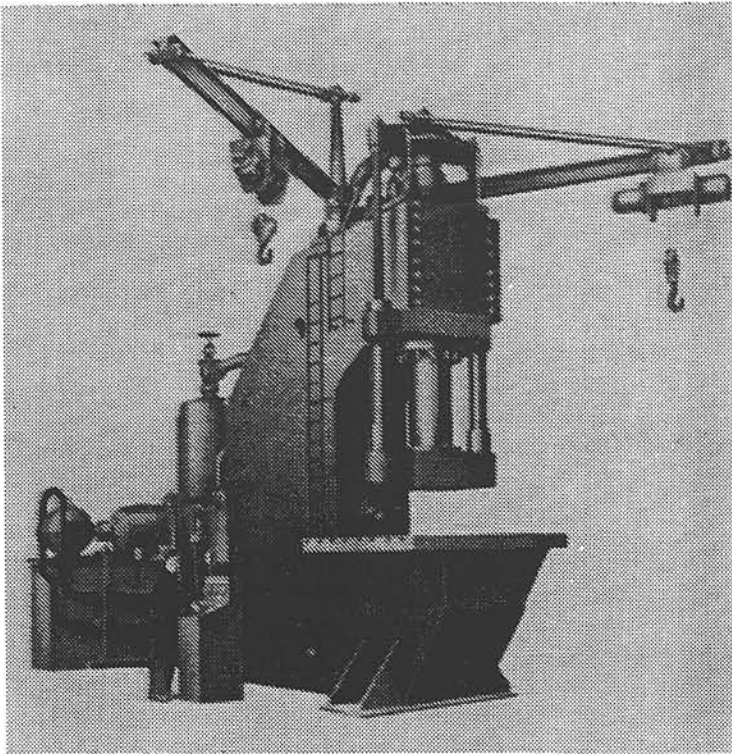
Figuur 8.15 Plaatvormen

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| a) Cylindervorm       | e) Zadelvorm (2-assig)                  |
| b) Kegelvorm          | f) d) + e) (2-assig)                    |
| c) Getordeerde plaat  | g) 2-assig gekromde<br>plaat met torsie |
| d) Kuipvorm (2-assig) | h) Gevouwen plaat                       |

### 8.2.3 Rekken, drukken en rollen

Voor het in de vorm brengen van meervoudige gekromde platen, zoals de sterk gekromde huidplaten in het voor- en achterschip, wordt het vlakke uitgangsmateriaal plaatselijk langer gemaakt (gerekt) door er met grote kracht op te drukken. Plaatselijk wordt het materiaal hierdoor tot over de vloeigrens belast en ontstaan blijvend vervormde plekken die langer geworden zijn. Door dit vooral in het midden van een plaat te doen, wordt deze bol van vorm. Gebogen platen hebben tussen de 0,1% tot 0,5% rek. Bij sterke kromming komt 5% voor.

Ook geeft men plaatranden door deze plaatselijk te rekken voorspanningen die de spanningen die tijdens het snijden ontstaan zijn, zodanig compenseren dat na het lassen van de plaat een rechte verbinding ontstaat die niet na gericht behoeft te worden. Naast het drukken met behulp van een drukstempel en een ondermatrijs wordt ook het plaatselijk rollen onder druk toegepast. Men rekt dus een plaat op door er plaatselijk op te drukken.



*Figuur 8.16 Drukbank*

**Drukbanken**

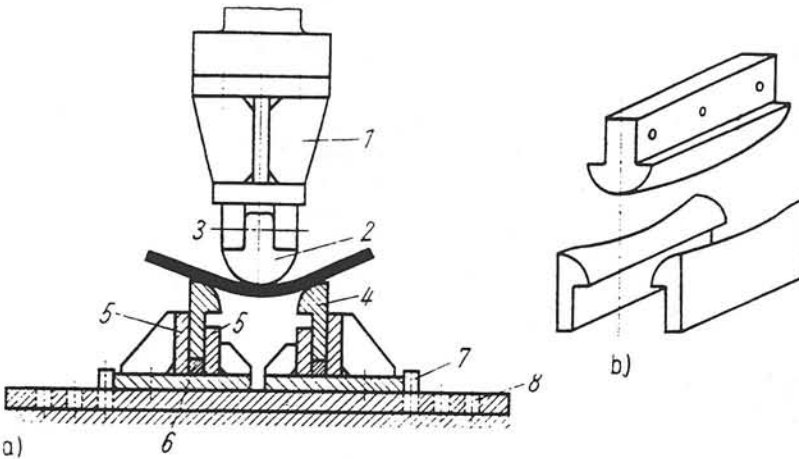
Bij drukbanken wordt een plaat plaatselijk gerekt door een plaat tussen een boven gelegen rekstempel en een vlakke ondermatrijs, eventueel met repeterende slag, te drukken.

Men kent twee typen drukbanken, n.l. het 'gap press type' en het 'portal press type', de gap-en portaal drukbanken.

**Drukbanken van het gap type**

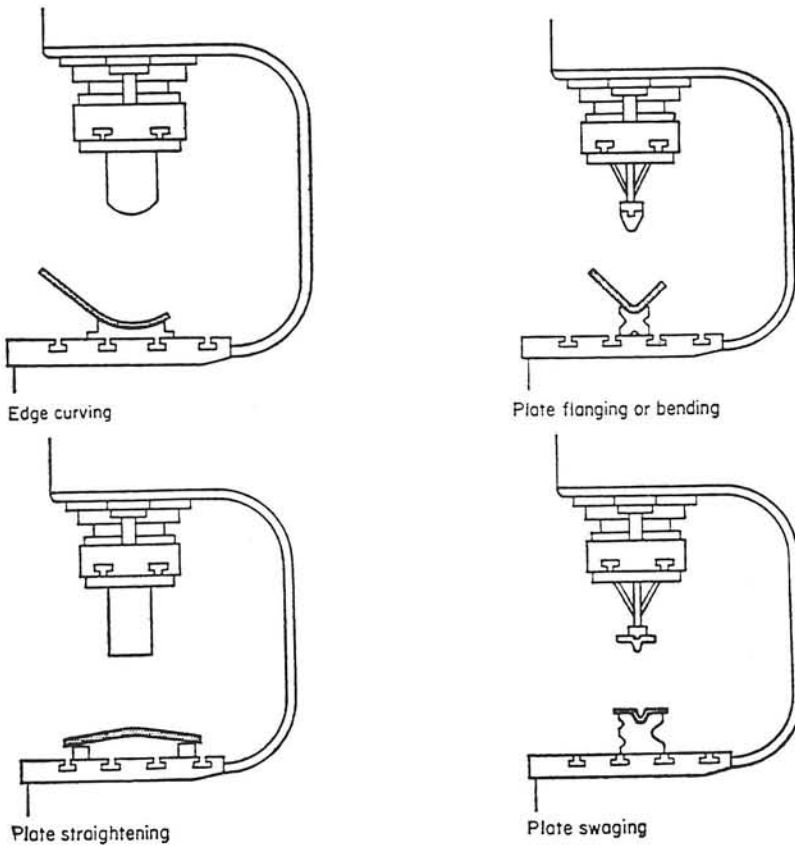
Deze drukbanken bestaan uit een robuuste kolom waarvoor zich een zware tafel voor de ondersteuning van het werktuk bevindt, (figuur 8.16).

Aan de kolom kan boven de tafel een drukstempel verticaal op en neer gebogen worden (figuur 8.17).



Figuur 8.17 Drukstempel 1./2./3 Verwisselbaar bovenstempel  
 4. Verwisselbaar onderstempel  
 5. Stempelhouder

Op de tafel kan men verschillende onderstempels bevestigen en ook het bovendrukstempel kan verwisseld worden. Deze stempels zijn gewoonlijk veel korter dan de plaatbreedte. Met behulp van deze zeer universele machines kan men ook vouwen en plaatkanten buigen. De "gap" bepaalt echter hoever men van de plaatkant af kan werken, (zie figuur 8.18).

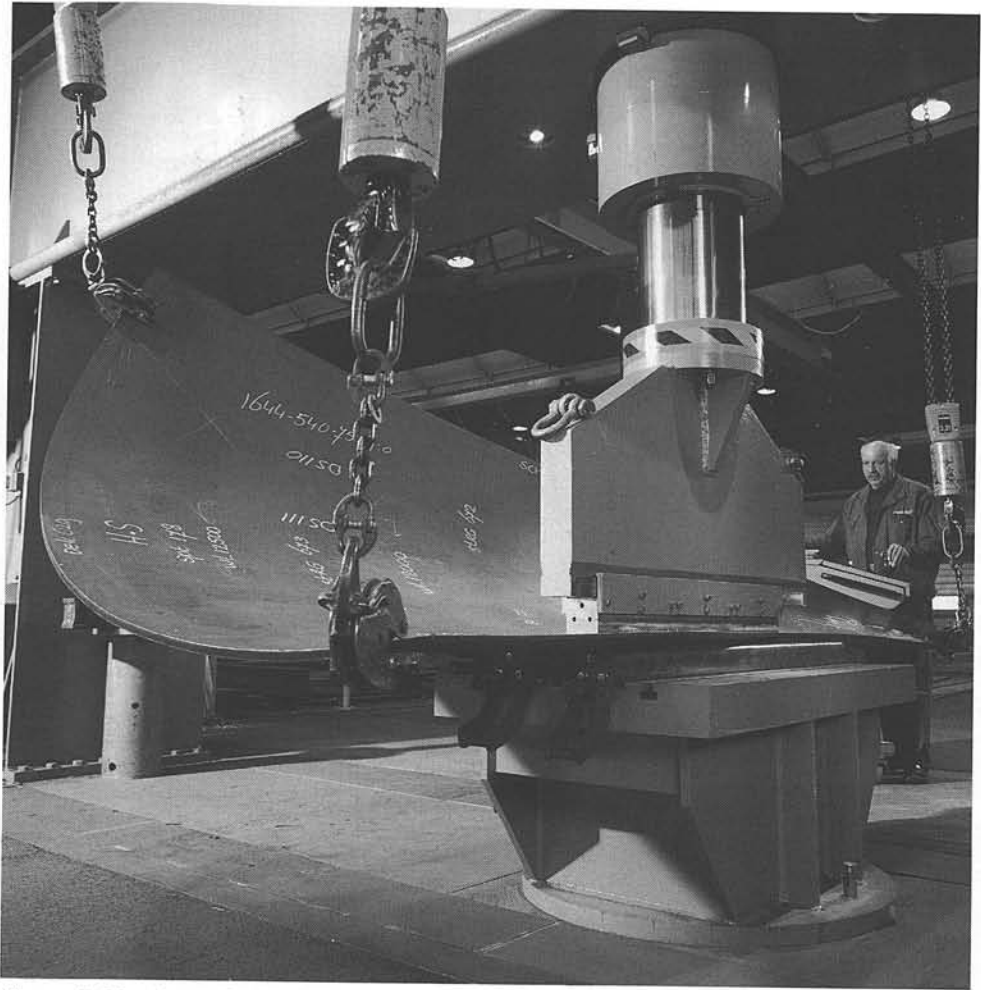


*Figuur 8.18 Werkzaamheden die met een GAP-drukbank kunnen worden uitgevoerd*

### **Portaal-drukbanken**

De portaal-drukbank is de opvolger van het vorige type.

De machine bestaat uit een zeer robuuste raamconstructie waarbinnen zich onder- en bovenstempels dwars kunnen bewegen, (zie figuur 8.19).



*Figuur 8.19* Portaal- drukbank (bron: Centraal Staal, Groningen)

De opening in het raam is zo breed dat de plaat er door kan en met behulp van twee kranen, een voor en een achter de bank, gemanipuleerd kan worden. Hierdoor werkt men met een dergelijke bank aanzienlijk sneller dan met een "gap" type bank en kan men gewoonlijk ook veel bredere platen in het midden van de plaat bereiken.

Deze machines worden ook uitgevoerd zonder dwarsbeweging van de stempels, waardoor de maximaal te hanteren plaatbreedte teruggebracht wordt tot ongeveer de helft van de afstand

tussen beide kolommen.

### Roldrukbanken

Bij roldrukbanken (rolpers) worden de platen plaatselijk tussen twee geharde stalen rollen onder druk gewalst. Men kan, door grote delen van een plaat te bewerken, met minder aandrukkracht tussen de rollen volstaan, dan bij het drukken tussen de stempels. Door bovendien de bovenrol 'bol' gevormd en de onderrol 'hol' gevormd uit te voeren, kan men sterke krommingen realiseren, waardoor de vervaardiging van huidplaten met tonronde eenvoudiger wordt. Deze machines worden zowel in de vorm van een "gap"-type als een portaal-type gebouwd. Gewoonlijk wordt de onderrol hydraulisch aangedreven en zijn er typen waarbij de rollen gelijktijdig om een gemeenschappelijke verticale as kunnen roteren.

### 8.2.4 Richten en buigen

Profielen kunnen zowel koud als warm worden vervormd, afhankelijk van de op een werf beschikbare installatie en de afmetingen en vorm van het profiel of de plaat.

#### Warmbuigen, warmstoken en afkoelen

Voor de introductie van de buigbanken voor profielen werden deze warm gebogen. Het verwarmde profiel werd met een temperatuur van rond de 800° C opgespannen op een spanvloer. Vervolgens werd, met behulp van een pneumatische drukcilinder, het profiel langs mallen of plaatselijke malblokken gebogen. Deze methode wordt nu alleen nog bij profielen toegepast welke men niet mechanisch kan buigen, omdat ze daarvoor te groot zijn.

De methode van het warm buigen werd in de loop der jaren vervangen door het buigen met profielenbuigmachines omdat deze goedkoper produceerden. Het warmbuigen vergt grote hoeveelheden energie die nodig zijn voor het verhitten en een vrij kostbare verhittingsoven. De arbeidsomstandigheden bij het warm buigen zijn bovendien ongunstig in vergelijking met het werken met een buigbank.

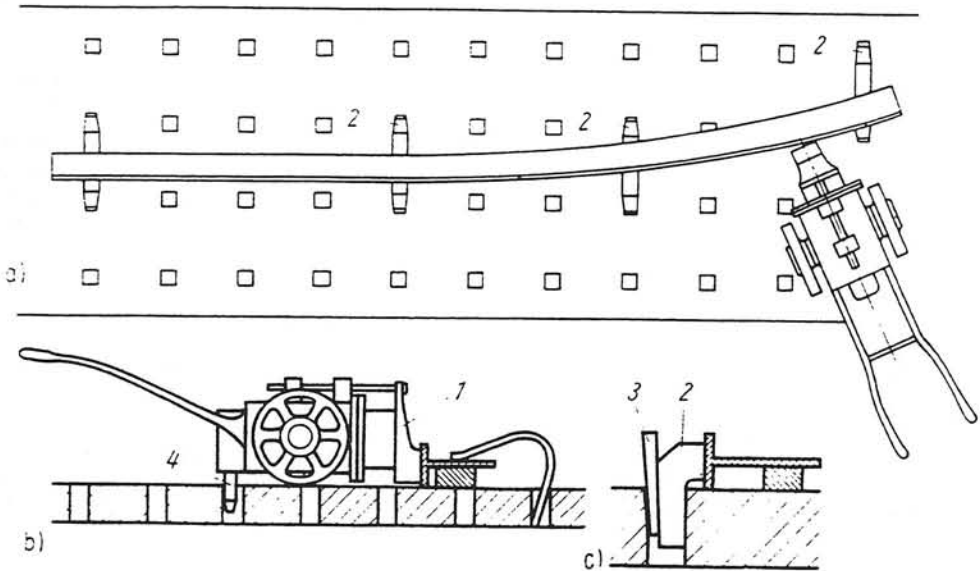
In figuur 8.20 is het pneumatisch warm buigen op een spanvloer weergegeven. In [12] wordt deze bewerkingmethode in detail beschreven.

#### Thermisch vervormen

Wanneer men een stalen plaat of profiel plaatselijk verhit, verwarmt en afkoelt, worden spanningen in het materiaal gebracht die tot plaatselijke blijvende vervorming leiden.

Wanneer men een stalen plaat plaatselijk aan de oppervlakte verhit, verhindert het koude materiaal aan de andere zijde uitzetting waardoor het verhitte materiaal naar buiten gaat vervormen. (zie fig. 8.21)





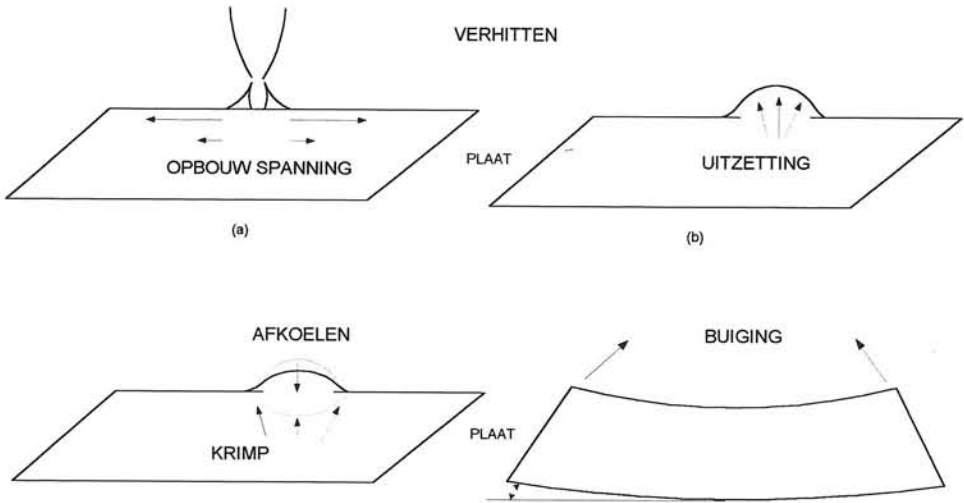
Figuur 8.20 Warmbuigen

1.	<i>Pneumatische drukcilinder</i>
2.	<i>Malblok</i>
3.	<i>Keg (stopper)</i>
4.	<i>Opvang van de drukcilinder</i>

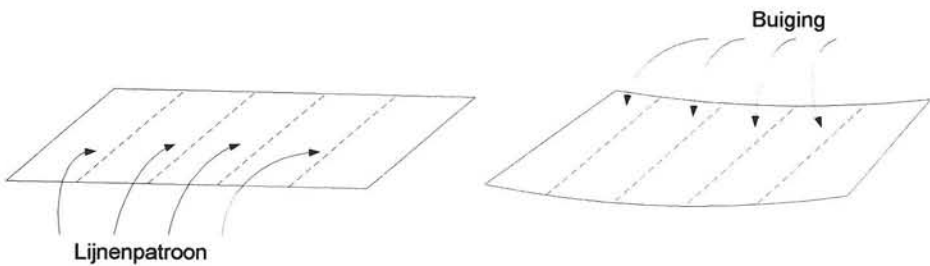
Tijdens het afkoelen trekt het verhitte materiaal zich weer samen en veroorzaakt dan een plaatselijk opbuigen van de plaat rond de verwarmde plek. Met behulp van dit plaatselijk warmstoken en koelen kunnen ook ongewenste vervormingen ontstaan tijdens het lassen of de aanbouw, weg worden gewerkt.

In Japan, waar deze methode werd toegepast voor het vormen van platen, heeft men deze methode verder ontwikkeld. Men verhit plaatgedeelten volgens een patroon van rechte lijnen. (line-heating, zie figuur 8.22).

Men verhit de platen met direct daarop volgende waterkoeling. Ook is getracht deze methode te gebruiken voor het Numeriek Bestuurd vervormen van platen, zonder gebruik te hoeven maken van drukbanken.



Figuur 8.21 Warmstoken en afkoelen



Figuur 8.22 Lineheating

Dit zogenaamd 'thermisch vervormen' is mogelijk omdat de elasticiteitsgrens daalt met het stijgen van de temperatuur. De koel gebleven omgeving kan de opgewekte warmte spanningen weerstaan en het verwarmde materiaal zet uit en blijft, na het afkoelen, enigszins vervormd.

Omdat de verwarmde zijde meer krimpt bij het (geforceerde) afkoelen dan de niet-verwarmde zijde van de plaat zal de plaat buigen of een aanwezige vervorming wordt verwijderd. Dit is het zogenaamde 'strekken' van de plaat.

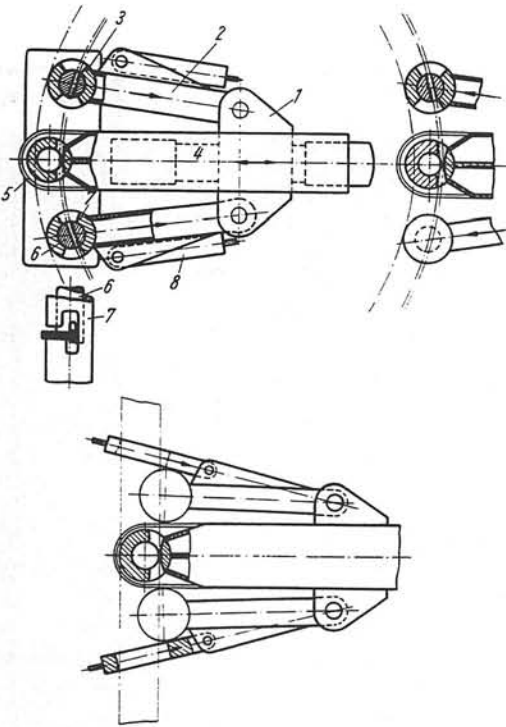
## 8 Het omvormen van staal

Door de platen volgens bepaalde patronen te verwarmen en af te koelen, kunnen ze thermisch worden vervormd. Dit proces wordt beschreven in [13].

De werkwijze waarbij met water wordt gecoeld, mag niet worden toegepast bij hoge rekgrens stalen omdat de sterkte eigenschappen van het materiaal negatief worden beïnvloed.

Er zijn ook een aantal nadelen aan deze techniek verbonden. De beschermende primerlaag die op het staal is aangebracht, verbrandt en de plaats waar is verwarmd zal opnieuw moeten worden gestraald en voorzien van een nieuwe primer.

Voor het verwijderen van plaatselijke vervormingen worden verschillende technieken gebruikt. Factoren die het resultaat bepalen zijn, naast de aard en het karakter van de vervorming, de dikte van de plaat, de methode van verwarmen en afkoelen en de snelheid van verwarmen en afkoelen. Men gebruikt een type brander waarvan de branderkop zorgt voor een convergerende vlam (voor het brandsnijden van platen).



Figuur 8.23 Spantenbuigmachine

### Koud vervormen van profielen

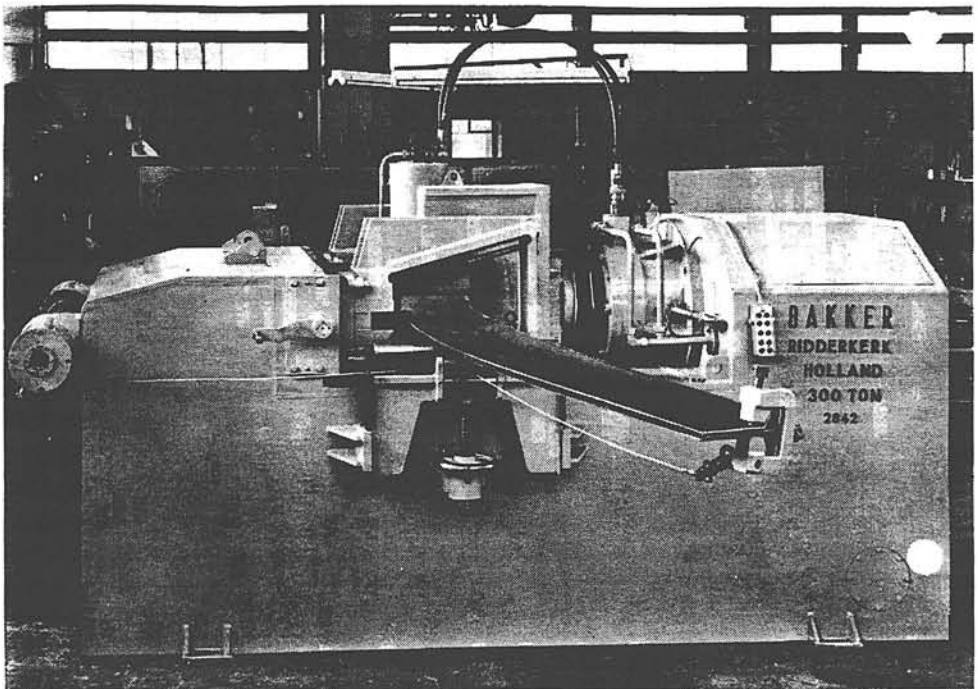
Bij het richten en buigen van profielen dient men het profiel tijdens het buigen zodanig te ondersteunen en te klemmen, dat tijdens het buigen het lijf vervormt zonder te plooiën en ook de flens haaks op het lijf blijft staan. Niet-symmetrische profielen, zoals hoekstaal, buigt men paarsgewijs met de lijven op elkaar geklemd, waardoor het gemeenschappelijk dwarskracht-middelpunt in het symmetrievlak tussen de profielen komt te liggen.

### Richt- en buigbanken

Er bestaan meerdere typen buigbanken voor profielen.

Bij het klassieke type (figuur 8.23) zijn de profielklemmen (3) scharnierend bevestigd aan twee armen (2) en zijn de klemmen in de armen draaibaar opgenomen. (6) Op het buigstempel bevindt zich eveneens een draaibaar opgenomen klem (4). Om de balken met een rechthoekige massieve doorsnede te buigen, zijn aan de twee hoofdarmen twee hulparmen (8) bevestigd.

Een andere uitvoering is een machine uitgerust met een kleminrichting bij het buigstempel, (figuur 8.24).



Figuur 8.24 Spantenbuigmachine

### Buigen van pijpen

#### Koudbuigen

Voor het buigen van pijpen streeft men naar 'koud' en 'ongevuld' buigen. Bij geringe wanddikte is dit niet mogelijk, omdat dan de wand zonder pijpvulling gaat plooiën en bij grote wanddikte is dit ook niet mogelijk omdat de benodigde energie voor het buigen te groot wordt. Men moet dan de pijp voorverwarmen, waardoor de kans op plooiën toeneemt en de pijp gevuld moet worden. Enkele methoden om de pijp tijdens het buigen te ondersteunen zijn aangegeven in de figuren 8.25.

Naarmate minder buigrollen direct buigend in contact met de pijp komen, neemt de kans op plooiën van de pijpwand tijdens het buigen toe.

#### Warmbuigen

Om het tijdrovende vullen van grote pijpen te vermijden, is een methode van warmbuigen ontwikkeld, waarbij de te buigen pijp plaatselijk inductief verhit wordt. Men klemt de pijp daarbij vast tussen een rechthoekige bewegende klem en een cirkelbaan beschrijvende klem. Door plaatselijk inductief de pijpwand te verhitten en beide klemmen te bewegen, kan men pijpen tot en met een wanddikte van 80 mm buigen zonder vulling.

De methoden worden onder meer beschreven in [8] en [9].

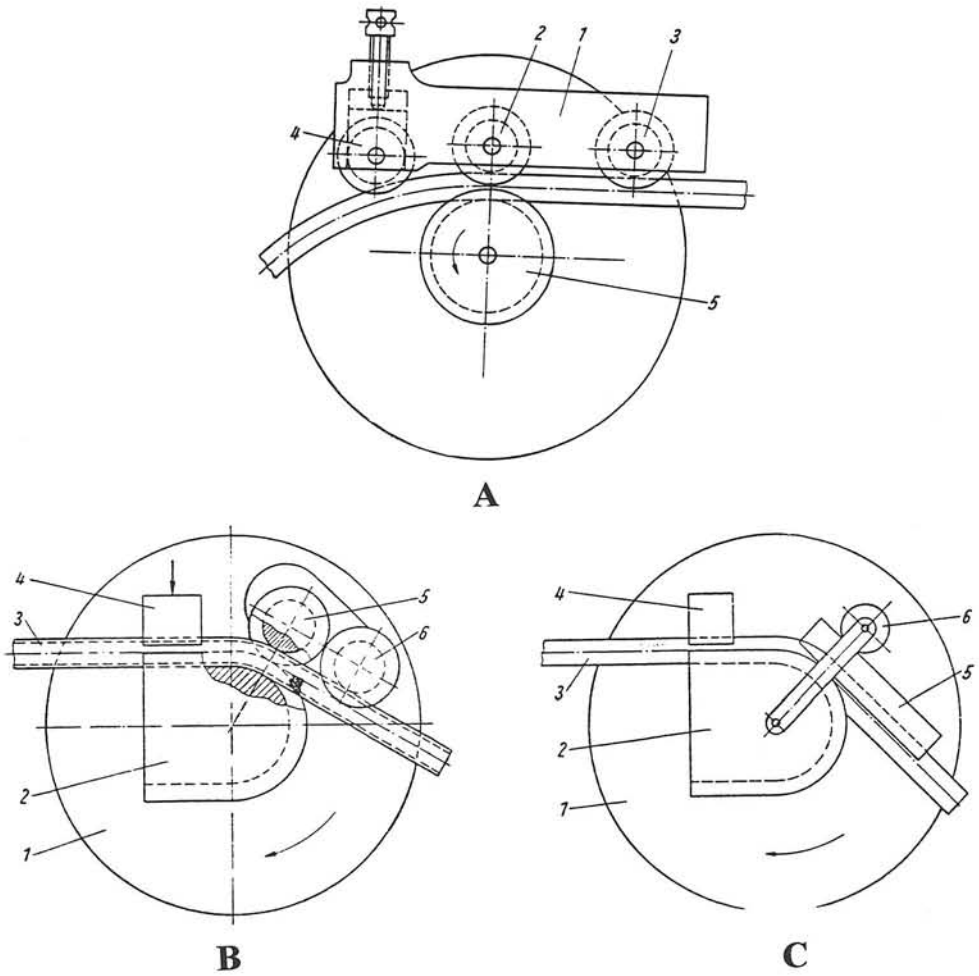
#### Schaven, frezen en slijpen

Voor het aanbrengen van rechte laskanten aan platen kan men bij het brandsnijden gebruik maken van drie-pits-branders of van, onder een bepaalde hoek t.o.v. de verticale rotatie-as ingestelde, enkelvoudige branders. Door de verhitting tijdens het brandsnijden ontstaan vervormingen in de plaat, hetgeen de nauwkeurigheid nadelig beïnvloedt. Ook ontstaan veranderingen in de structuur van het plaatmateriaal. Deze veranderingen kunnen de sterkte van de plaat ongunstig beïnvloeden.

Deze nadelen kan men voorkomen door de laskant te schaven, te frezen of te slijpen. De plaat wordt daartoe op een ondersteuningsbed van een bank aan de te bewerken zijde vastgeklemd. Langs de plaat beweegt een gereedschapsslede in horizontale richting, met de aandrijving en het snijdend gereedschap.

Ook bij deze bewerkingen komen nog steeds plaatselijk hoge plaattemperaturen voor. Vervormingen en structuurveranderingen zijn afhankelijk van de snelheid van bewerken. Hogere productiesnelheden leiden tot meer vervormingen, materiaalveranderingen en verhitting.

In figuur 8.26 is de bewerking met behulp van frezen en schaven weergegeven.



Figuur 8.25 A Schets van een pijpenbuigmachine zonder doorn en mal

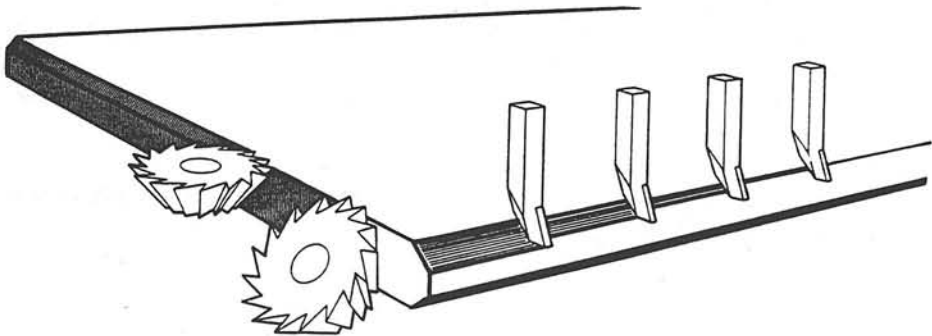
- |                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| 1. Drager van de rollen     | 4. Buigrol     |
| 2./3. Ondersteunende rollen | 5. Aandrijfrol |

B Buigen zonder doorn

- |            |                |
|------------|----------------|
| 1. Tafel   | 4. Pijpspanner |
| 2. Buigmal | 5. Steunrol    |
| 3. Pijp    | 6. Rol         |

C Buigen met buigrol en schoen

- |            |                |
|------------|----------------|
| 1. Tafel   | 4. Pijpspanner |
| 2. Buigmal | 5. Buigschoen  |
| 3. Pijp    | 6. Rol         |



*Figuur 8.26 Frezen en schaven*

### **Hakken en guidsen**

Het met de handuithakken van lasnaaddelen met lasfouten is vervangen door elektrisch guidsen. Met behulp van speciale elektroden of branders wordt bij het guidsen ongewenst materiaal weggebrand.

### **Overige bewerkingen**

Om lasfouten te verwijderen werden vroeger de lasnaden ter plekke van de lasfout, na de controle van de las, met behulp van een pneumatische beitel met de hand uitgehakt.

Deze methode is vervangen door het elektrisch guidsen, waarbij met speciale elektroden of branders het materiaal ter plaatse van de lasfout wordt verwijderd.

### **8.3 Aanbevolen literatuur**

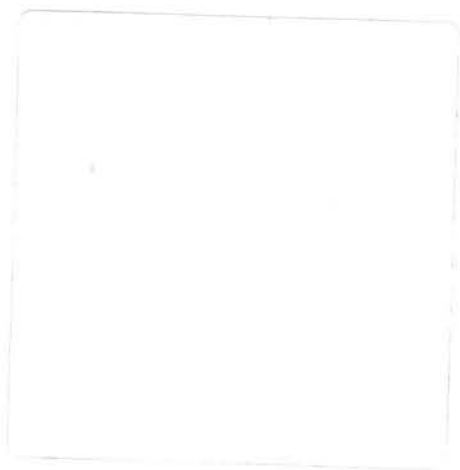
- 1 'Shipbuilding Machine Tools', D.C. Jeffrey, Shipbuilding International, Number 10, Volume 12, February 1970.
- 2 'Elastische Ruckfederung beim Plattenumformen durch Biegewalzen', M. Hanerl. Seewirtschaft, Berlin 15, 1983 No 5, pag. 235/236.

- 3 'Materials and Processing in Manufacturing', E. Paul De Garmo, J. Temple Black, Ronald Kohser MacMillan, Publishing Company, 1998
- 4 'A century of service to world shipbuilding', Shipbuilding & Marine Engineering International. June 1978, blz. 276 - 280.
- 5 'Line heating used to bend plates', Marine Engineering/Log, April 1986, blz. 53/54.
- 6 'The Mechanics of the Flame Bending Process: Theory and Applications', A. Moshaiov en W.S. Vorus. Journal of Ship Research, December 1987.
- 7 'Erfahrungen zur Problematik des Richtens Groszer Schiffsaufbauten und von Rumpfen kleiner Schiffe' K. Rosochowicz. Hansa-Schiffbau-Hafen, 121 Jahrgang, 1984, No. 19, blz. 1977 t/m 1985.
- 8 'World largest mechanical pipe-bending facility', Holland Shipbuilding, juli 1973.
- 9 'Development in marine piping production', Marine Week, november 1977.
- 10 'Gränges Oxelösunds Järnverk, Oxelösund', Schiff & Hafen, Skandinavien-Ausgabe, mei 1976.
- 11 'Hugh Smith plate preparation machines for NABAC yard', The Motor Ship, januari 1976.
- 12 'Schiffbautechnisches Handbuch', Band 6, W. Henschke.
- 13 'Ship Production', Richard Lee Storch, Colin P. Hammon, Howard Bunch, Cornell Maritime Press, ISBN 0-87033-357-7, 1988.





3025444



De scheepsbouw wordt gekarakteriseerd door een samenspel van verschillende productieprocessen met een verscheidenheid aan technische disciplines. Het proces wordt *enkel-productie* genoemd. Werven gaan een *resultaat verplichting* aan.

Een eerste boek in een serie over het bouwen van schepen met het doel inzicht te geven in parameters die de prestaties van een scheepswerf bepalen.

De verscheidenheid in scheepstypen en de afmetingen van schepen leiden tot verschillen in omvang, inrichting en uitrusting van werven.

De serie boeken over de scheepsbouw heeft ook tot doel de leemte die er bestaat over dit type productieprocessen op te vullen.

Na de definiëring van een aantal begrippen van productiesystemen en processen wordt het productieproces van de scheepswerf beschreven. De maritieme infrastructuur, de omgeving van de werf, komt aan de orde. Reders, aannemers, classificatiebureaus, leveranciers.

Na de productie van staal worden de bewerkingen in de scheepsbouw behandeld.

ISBN 90-407-1850-4



9 789040 718502