

Literatuurstudie Gietstukken

TC-10: deelonderzoek 'Niet Standaard Verbindingen'

Versie 0.1 April 2006
Versie 0.2 December 2006
Versie 0.3 Januari 2007
Versie 0.4 Januari 2008

Conceptversie geschreven door:
Ir. D. van Goolen
Civieltechnisch Ingenieur

In opdracht van:

Voorwoord

Deze literatuurstudie is als informatiebron bestemd voor de architect en constructeur. De schrijver heeft getracht de vele aspecten die een rol spelen bij het gieten van metaal, in kaart te brengen. Diverse disciplines zullen moeten samenwerken om een geslaagd gietstuk te kunnen produceren en toe te passen. De constructeur en ontwerper zijn niet in staat een goed gietstuk te bedenken zonder enig kennis te hebben van het gietprocedé. Het verenigen van het specialisme van ondermeer de gieter, constructeur en architect, zal ertoe leiden dat er een kwalitatief goed gietstuk te produceren valt die een constructieve en/of esthetisch toegevoegde waarde biedt voor een staalconstructie.

Mijn dank gaat uit naar de onderstaande personen die elk feedback en informatie hebben verschaft aan dit artikel:

Voor inhoudelijke feedback en begeleiding van het schrijven van deze paper tijdens mijn stageperiode bij Iv-Bouw en Industrie:

Edwin Belder

Iv-Bouw en Industrie en secretaris TC10

Voor inhoudelijk commentaar en bedrijfsbezoeken:

Ing. Roel Britstra

Soester Gieterij

Dipl.- Ing. Stephan Niderehe

Octatube International B.V.

Ir. Roy Kastelein

WTCM-CRIF

Ir. Silvano van Leeuwen

Civiltechnisch Ingenieur

Voor enige informatievoorziening:

Prof.dr.ir. J. Wardenier

TU Delft

En mijn stagecoördinator tijdens de periode Februari – April 2006:

Dr. A. Romeijn

TU Delft

Tevens bedank ik Iv-Bouw & Industrie voor het beschikbaar stellen van deze stageplaats die mij de gelegenheid heeft geboden om dit artikel op geheel eigen wijze samen te stellen.

Januari 2008

Ir. David van Goolen

Civiltechnisch Ingenieur

VOORWOORD.....	1
1 NIET STANDAARD VERBINDINGEN.....	5
1.1 INLEIDING	5
1.2 TECHNISCHE COMMISSIE 10 BOUWEN MET STAAL	6
1.3 GIETSTUKKEN.....	6
2 ONTWIKKELINGEN VAN GIETEN	7
2.1 HISTORIE	7
2.2 IMAGO	9
2.3 TOEPASSINGSGEBIEDEN	10
2.4 INNOVATIES	12
3 PROBLEEMFORMULERING.....	13
3.1 INLEIDING	13
3.2 PROBLEEMSTELLING	13
3.3 DOELSTELLINGEN	13
4 MATERIALEN.....	14
4.1 MATERIAALSOORTEN	14
4.1.1 Gietmetalen	14
4.2 MATERIAALAANDUIDING.....	15
4.2.1 Aanduiding Gietijzer	15
4.2.2 Aanduiding Gietstaal.....	17
4.3 VOORBEELDEN NAAMGEVING.....	19
4.3.1 Naamgeving symbolen.....	19
4.4 MATERIAALEIGENSCHAPPEN	21
4.4.1 Eigenschappen Gietijzer	21
4.4.2 Eigenschappen Gietstaal.....	21
4.5 VERGELIJKING GIETSTAAL EN GIETIJZER	21
4.5.1 Treksterkte en Taaiheid.....	21
4.5.2 Lasbaarheid.....	22
4.5.3 Lassen gietijzer.....	23
4.5.4 Lassen gietstaal.....	23
4.6 VERGELIJKING GIETSTAAL MET CONSTRUCTIESTAAL	24
5 PRODUCTIEPROCES	25
5.1 INLEIDING	25
5.2 TERMINOLOGIE	25
5.3 PRODUCTIEPROCES	26
5.4 SMELTEN	27
5.4.1 Smeltkroes-oven	27
5.4.2 Luchtoven	27
5.4.3 Elektro boog-oven	28
5.4.4 Inductieoven	28
5.4.5 Haardoven.....	29
5.4.6 Koepeloven.....	29
5.5 GIETMETHODEN	30
5.5.1 Zandgieten.....	30
5.5.2 Verloren was methode.....	32
5.5.3 Verloren schuim methode.....	35
5.5.4 Hogedrukieten	37
5.5.5 Coquille gieten	37
5.5.6 Centrifugaal gieten.....	37
5.5.7 Rotatiegieten	38
5.5.8 Maat tolerantie van de gietmethoden	38
5.6 HET VULLEN VAN DE GIETVORM	39
5.6.1 Gietsysteem	39

5.6.2	<i>Insluitingen beheersing</i>	41
5.6.3	<i>Aandachtspunten</i>	43
5.6.4	<i>Stollingsverschijnsel</i>	43
5.6.5	<i>Volume krimpverschijnsel</i>	46
5.7	NABEWERKINGEN / EINDPRODUCT	48
5.7.1	<i>Lossen (ontmallen)</i>	48
5.7.2	<i>Warmte behandeling</i>	49
5.7.3	<i>Oppervlakte behandeling</i>	49
5.7.4	<i>Inspectie</i>	49
5.7.5	<i>Eindproduct</i>	50
5.8	ALTERNATIEVEN OP GIETEN	50
6	GIETSTUK ALS VERBINDINGSELEMENT	51
6.1	HUDIGE TOEPASSINGEN VERBINDINGEN	51
6.2	GIETSTUKKEN IN BUISCONSTRUCTIES	56
6.3	PROJECTVOORBEELDEN	59
6.3.1	<i>Bolscharnier Maeslantkering</i>	59
6.3.2	<i>Voetgangersbrug Arena</i>	59
6.3.3	<i>Bush Lane House London</i>	60
6.3.4	<i>Centre Pompidou</i>	61
6.3.5	<i>As Millennium Wheel</i>	61
6.3.6	<i>Winkelcentrum De Bieshof</i>	62
6.3.7	<i>ROC Twente</i>	62
7	ONTWERPEN GIETSTUK	64
7.1	ALGEMEEN ONTWERPPROCES GIETSTUK	64
7.2	ONTWERPOVERWEGINGEN TEN AANZIEN VAN KOSTEN EN KWALITEIT	64
7.2.1	<i>Algemene kosten</i>	64
7.2.2	<i>Repetitie</i>	65
7.2.3	<i>Dimensie en partiële samenstelling</i>	66
7.2.4	<i>Kernen</i>	67
7.2.5	<i>Stollingsproces</i>	67
7.2.6	<i>Vormgeving</i>	69
7.2.7	<i>Materiaalkeuze</i>	69
7.2.8	<i>Lassen</i>	70
7.2.9	<i>Toleranties</i>	70
7.2.10	<i>Montage bouw</i>	72
7.2.11	<i>Gieten of samenstellen</i>	73
7.3	GIETSIMULATIE	74
7.3.1	<i>Wat is gietsimulatie</i>	74
7.3.2	<i>Optimalisatie ontwerp gietstuk</i>	75
7.3.3	<i>Plaats van gietsimulatie in het ontwerpproces</i>	76
7.3.4	<i>Beschikbare simulatie software</i>	77
7.3.5	<i>Conclusie</i>	77
7.4	REKENWERK	78
7.4.1	<i>Ontwerpproces</i>	78
7.4.2	<i>Eindige elementen methode</i>	78
7.5	INTERACTIE ONTWERPER EN GIETERIJ	81
7.5.1	<i>Aanbesteding</i>	81
7.5.2	<i>Checklist</i>	82
7.5.3	<i>Tekening</i>	83
7.6	VOORDELEN EN NADELEN GIETEN	85
7.7	WAAROM GIETSTUK TOEPASSEN	86
8	WOORDENLIJST	87
	LIJST MET AFBEELDINGEN	89
	LITERATUURLIJST	91
	BIJLAGE 1A AANDUIDING VAN GIETIJZER MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 1560	95

BIJLAGE 1B AANDUIDING VAN GIETIJZER MET NUMMER VOLGENS NEN-EN 1560.....	96
BIJLAGE 2A AANDUIDING VAN GIETSTAAL ‘G’ MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 10027-197	
BIJLAGE 2B AANDUIDING VAN GIETSTAAL ‘GS’ MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 10027-1	
.....	98
BIJLAGE 2C AANDUIDING VAN GIETSTAAL ‘GP’ MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 10027-1	
.....	99
BIJLAGE 2D AANDUIDING VAN GIETSTAAL ‘GE’ MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 10027-1	
.....	100
BIJLAGE 2E AANDUIDING VAN GIETSTAAL ‘GX’ MET SYMBOLEN VOLGENS NEN-EN 10027-1	
.....	101
BIJLAGE 2F AANDUIDING MET STAALNUMMERS GIETSTAAL VOLGENS NEN-EN 10027-2 .	102
BIJLAGE 3A MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN SOORTEN GRIJSGIETIJZER VOLGENS NEN-EN 1561	103
BIJLAGE 3B MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN SOORTEN SMEEDBAAR GIETIJZER VOLGENS NEN-EN 1562.....	104
BIJLAGE 3D MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN SOORTEN GIETSTAAL VOLGENS NEN-EN 10293	106
BIJLAGE 4 LASBAARHEID GIETSTAAL.....	108
BIJLAGE 5 CHECKLIST VOOR BESTELLEN GIETSTUK	110
BIJLAGE 6A ALGEMENE TOLERANTIE CATEGORIEËN.....	112
BIJLAGE 6B GEOMETRISCHE TOLERANTIE CATEGORIEËN	113
BIJLAGE 6C BENODIGDE MACHINALE AFWERKINGTOLERANTIE CATEGORIEËN	114

1 Niet Standaard Verbindingen

1.1 Inleiding

Staalconstructies bestaan uit een samenstel van constructiedelen. Middels verbindingen zijn alle constructiedelen aan elkaar verbonden tot een staalconstructie als geheel.

De verbindingen belemmeren de ruimtelijke vrijheidsgraden van constructiedelen ten opzichte van elkaar. Ze worden ontworpen voor krachtopname. Met name moment, dwarskrachten en normaalkrachten dienen door de verbindingen worden opgenomen.

Een verbinding moet ontworpen worden om een van deze optredende krachten of een combinatie ervan te kunnen overdragen.

Er zijn verschillende typen verbindingen te onderscheiden. Er valt een verdeling te maken in:

- mechanische gevormde verbindingen (bouten/moeren, schroeven, nagels, pennen e.d.)
- lassen
- lijmen
- gieten

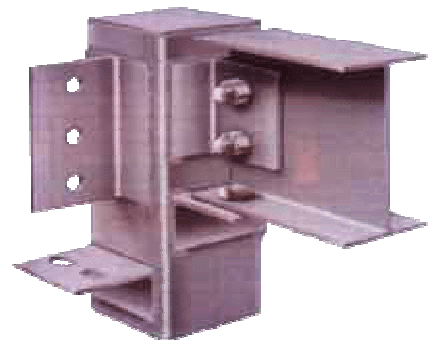
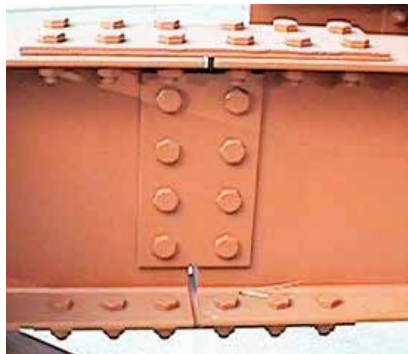
Uiteraard zal de laatste genoemde categorie de aandacht krijgen binnen deze uiteenzetting.

Standaard/Niet Standaard Verbinding

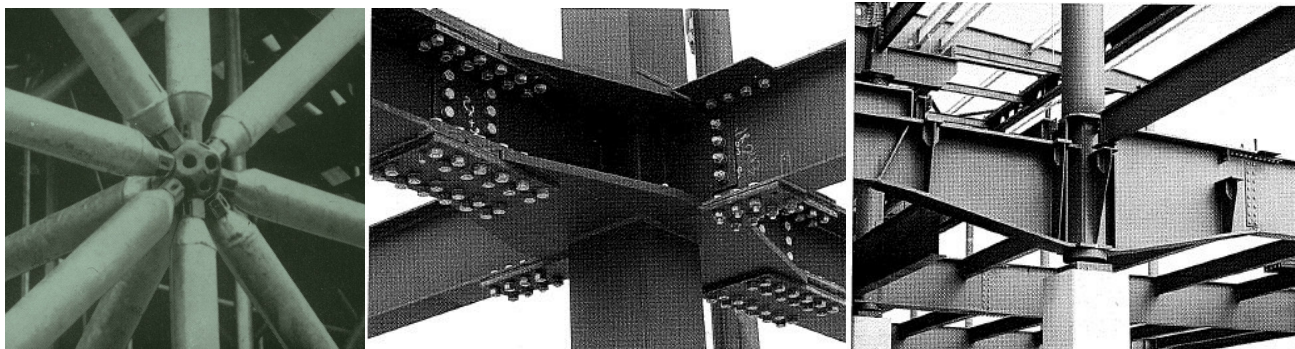
Verbindingen kunnen beoordeeld worden aan de mate van complexiteit van hun geometrie.

Door de toenemende architectonische en constructieve innovatieve oplossingen, die gezocht worden in de tegenwoordige ontwerpen van constructies, is de verbinding steeds complexere vormen gaan aannemen. Deze verbindingen hebben rekentechnisch gezien meer aandacht nodig dan de conservatievere oplossingen. Er wordt dan ook wel gesproken over de Standaard en de Niet Standaard verbindingen.

Standaard verbindingen:



Kenmerkend voor de standaard verbindingen zijn eenvoudige samenstelling van standaard profielen door middel van bouten, lassen, hoekstalen, kopplaten, flensplaten, lijfplaten.

Niet Standaard verbindingen:

De niet standaard verbinding kenmerkt zich door een complexe samenstelling met behulp van bouten, lassen, flens- en lijfplaten, diamantplaten, verstijvers e.d.

De toepassing van een niet standaard verbinding vergt, door zijn complexiteit, meer aandacht en inspanning van de constructeur en de architect. Het is dan ook zaak om de kennis op dit gebied te vergroten.

1.2 Technische Commissie 10 Bouwen met Staal

Vanuit bouwen met staal opereren commissies die onderzoek verrichten naar diverse onderwerpen in de staal branche. Technische Commissie 10 (TC-10) is een commissie waarin onderzoek wordt verricht naar de verbindingstechnologie in staalconstructies. TC 10 heeft tot doel de vereniging Bouwen met Staal te adviseren aangaande ontwikkelingen op het gebied van onderzoek, regelgeving en normering ten aanzien van verbindingen in de staalbouw. Via de verdere ontwikkeling van verbindingen is het doel om meer staal in de markt te kunnen brengen.

In overleg met diverse partijen binnen TC-10 is afgesproken om onderzoek te verrichten naar de toepassing van 'Niet Standaard Verbindingen', zoals omschreven in de vorige paragraaf. Een speciaal onderwerp binnen dit brede thema is gietstukken.

Om meer kennis te verkrijgen over 'Niet Standaard Verbindingen', vanwege zijn specifieke eigenschappen ten aanzien van andere verbindingstypen, is het nodig geacht om hier een aparte uiteenzetting over te maken.

De teamsamenstelling van TC-10: deelonderzoek 'Niet Standaard Verbindingen' is als volgt:

-M.R.C. v.d. Heijde	Holland Railconsult	Niet standaard Verbindingen
-R. Top	Zwarts & Jansma	Architectuur en verbindingen
-E. Belder	Iv-Bouw & Industrie	Gietstukken
D. van Goolen	Stagiaire bij Iv-Bouw & Industrie	

Dit artikel presenteert het deelonderzoek naar gietstukken dat uitgevoerd is in opdracht van Iv-Bouw & Industrie onder begeleiding van Dhr. Edwin Belder. De schrijver heeft tijdens een stageperiode van 9 weken dit artikel samengesteld.

1.3 Gietstukken

Het verbindingstype gietstuk wordt als een 'Niet Standaard Verbindingen' beschouwd vanwege de complexiteit aan vormen en eigenschappen en extra aandacht die het vereist van de constructeurs en ontwerpers bij toepassing ervan in constructies.

Kenmerkend voor gietstukken zijn de wijze waarop het gietstuk tot stand is gekomen en de vormgeving ervan in vergelijking met andere verbindingstypen. De totstandkoming van het gietstuk is uit vloeibaar gietmetaal dat in een bepaalde vorm wordt gegoten tot één geheel. Dit is een totaal andere methode dan bij de bout-, lijm- en lasverbinding waarbij verscheidene losse bouw elementen tot één geheel worden gevormd.

Het tweede kenmerkende verschil is de vormgeving. De gietmethode kent een ongekennde mate van vrijheid in de vormgeving en vertoont geleidelijke overgangen en vloeiende vormen in de verbinding. Vandaar dat gietstukken ook architectonisch interessant zijn voor toepassing.

2 Ontwikkelingen van gieten

De ontwikkeling van gieten kent een lange geschiedenis. Gebruikte literatuur: [1],[3],[8],[10],[19], [23], [27].

2.1 Historie

Oorsprong

Het gieten van metalen dateert al van ver voor het christelijke tijdperk, zo'n 4000 jaar geleden. Het eerste metaal dat de aandacht trok van de mensheid was goud. Pure goudklompjes die zichtbaar waren in stroompjes en rivieren werden door de vroegere mens opgepikt en bewonderde vanwege het mooie oppervlak. Al snel ontdekte men dat goud pletbaar en buigzaam was.

Rond dezelfde periode werd koper ontdekt, afkomstig van koperhoudend erts dat gebruikt werd om vuur af te dekken. Het was ook een van de eerste metalen die gegoten werd. Door verwarming en hameren kon koper vervormd worden en werd het gebruikt voor het maken van gegoten artikelen, werktuigen en wapen zoals speerpunten.

Het gieten van goud was voor het maken van decoratieve elementen. Veel van de eerste gietvormen waarin werd gegoten waren halve gietvormen gemaakt van zand. Later werden de gietvormen uit steen gehakt of gemaakt van klei.

Het smelten begon in gaten in de grond maar naarmate de tijd vorderde ontwikkelde ambachtsmannen een meer permanente smeltomgeving. Men ontdekte namelijk dat de hoeveelheid geproduceerde metaal ongeveer evenredig was aan de lucht toevoer. Er werden hollen houten blazers geïntroduceerd in de smeltoven ter hoogte van het vuur. Deze blazers fungeerde als blaasbalgen en waren bedekt met de huid van geit bij het blaasuiteinde. Door met zijn voet op de blaasbalg te gaan staan kon de ambachtsman lucht in de oven te dwingen. Dit zorgde voor een goede stroom lucht in de oven waardoor het een blaasoven werd. IJzer werd ontdekt zo rond 2000 jaar voor Christus. Van de chinezen is bekend dat ze gietstukken van ijzer hebben gemaakt rond 600 jaar voor Christus.

Europa

Het gieten van ijzer in europa is pas echt op gang gekomen rond de 13^e eeuw. De hoge temperaturen die nodig waren voor het produceren van vloeibaar metaal geschiedde in ovens die zich met de tijd hadden ontwikkeld tot hoogovens. De benodigde lucht werd aangevoerd door grote blaasbalgen aangedreven met de hand, voet of waterkracht. Het ijzererts werd gereduceerd in deze oven en in gesmolten toestand direct in gietvormen gegoten.

Door de bouw van veel kathedralen in Europa in de 13^e eeuw bestond de productie voor de gieterij in deze tijd vooral uit gieten van kerkklokken. De techniek van gieten werd ook gebruikt voor het maken van kanonnen en kunst destijds. Een bekend voorbeeld is onder

meer Leonardo da Vinci, hij heeft gebruik gemaakt van de giettechniek voor zijn vele kunstwerken.

In 1709 slaagde Abraham Darby er in om cokes te bereiden uit vetkolen en introduceerde dit als brandstof. Daardoor kon ijzer tegen veel lagere kosten worden geproduceerd. Cokes werd een essentieel onderdeel van de gieterijen.

De techniek van gieten van ijzer voor de productie van constructie elementen werd reeds toegepast aan het eind van de 18^e. De eerste gietstukken werden gegoten in met 'de hand' gevormde gietvormen. Indien mogelijk werden de gietvormen machinaal vervaardigd.

In Engelse fabrieken werden de eerste experimenten uitgevoerd met constructieve onderdelen in gietijzer. Deze ontwikkeling ontstond door vraag vanuit bedrijven naar lichter en efficiënter materiaal dat grotere overspanningen kan realiseren en veiliger was bij brand. Vooral het laatst genoemde argument gaf een grote impuls. Afbranden van fabrieken en openbare gebouwen kwam vaak voor in die tijd. Men was op zoek naar licht en onbrandbaar materiaal.

In Shrewsbury werden eind 18^e eeuw de eerste gietijzeren liggers geproduceerd.

Voorbeelden van toepassingen van gietijzer in deze tijd zijn onder andere de Iron Bridge (zie onderstaande afbeelding), brug over de Severn bij Coalbrookdale 1779 en Theatre du Palais Royal (Parijs 1786).



Figuur 1 Iron Bridge, bron [76]

De overspanning van de Iron bridge bedraagt 30m. Ondanks een gedeeltelijke instorting in 1902 en reparatie hiervan, bestaat deze brug nog steeds.

Gietijzer uit die periode bezit een relatief kleine treksterkte maar kan goed drukkrachten opnemen. In die periode kende men voor constructies uitsluitend grijs (lamellair) gietijzer met relatief lage treksterkte van 150-250 N/mm². Het gietijzer is daarom ook in eerste instantie toegepast in boogbruggen/constructies waarin hoofdzakelijk drukkrachten optreden. De profieldoorsnede werden destijds bepaald met behulp van proeven met balken op ware grootte. Vanaf 1830 werd pas serieus onderzoek uitgevoerd naar de mechanische eigenschappen van gietijzer.

De grafiet lamellen in grijs gietijzer waren zwakke plekken. De kerfwerking van deze lamellen reduceerde de capaciteit onder trekbelasting aanzienlijk. Onder druk belasting werken de lamellen niet als kerf, hierdoor bedraagt de druksterkte 3 tot 4 keer de treksterkte.

Na deze toepassing vind al snel uitbreiding in toepassingen als gietijzeren kolommen en het I-profiel.

Gietijzer bood destijds al een aantal nieuwe mogelijkheden zoals vormvrijheid, repeteerbaarheid, nauwkeurigheid in productie, productie op voorraad werd mogelijk, eigenschappen als laag eigengewicht en onbrandbaarheid werden benut en er was weinig onderhoud noodzakelijk omdat het nauwelijks door de omgeving werd aangetast. De keerzijde waren de nadelig eigenschappen betreft de lage capaciteit voor opnemen van trekkrachten en het brosse gedrag van gietijzer.

Nederland

In Nederland is de eerste gietijzeren brug gebouwd over het Spaarne in Haarlem in 1842. Deze spoorbrug werd uitgevoerd als draaibrug.

Rond 1850 heeft de opkomst van welijzer als constructie materiaal in Nederland ervoor gezorgd dat gietijzer als constructie materiaal voor spoor- en verkeersbruggen na 1900 is verdwenen. Welijzer had namelijk de eigenschap dat het beter bestand was tegen trekspanningen dan gietijzer. Gietijzer werd steeds meer als onbetrouwbaar beschouwd voor toepassing in draagconstructies voor spoorbruggen. Toen aan het einde van de 19^e eeuw vloeijzer in gebruik werd genomen, werd het gebruik van gietijzer voor spoorbruggen geheel verdrongen. Vloeijzer had het voordeel dat het zeer geschikt was voor walsen van grote, lange en zware profielen.

Gietijzer werd eind negentiende eeuw veel toegepast voor laag belaste bouwonderdelen zoals ramen, trappen en ornamenten en op druk belaste onderdelen zoals kolommen.

2.2 Imago

Over de gieterijbranche heersen een hoop vooroordelen. Algemene Vereniging van Nederlandse Gieterijen (AVNEG) trekt zich dit aan en heeft ten aanzien van het milieu een aantal doelstelling opgelegd.

Milieu

Het beeld van een gieterij is nog steeds dat het een broeierige fabriek is met veel stof en vuiligheid. Ook op het gebied van milieuprestaties is het beeld dat het niet al te best gesteld zou zijn terwijl het tegendeel het geval. Binnen de branche van gieterijen is een energiezorgsysteem ontwikkeld. Vorderingen op het gebied van energieverbruik worden gezamenlijk gerapporteerd aan het ministerie van Economische zaken. Daarbij komt dat energiebesparing de productiekosten drukt, dit is gunstig met betrekking tot concurrentie. Binnen de gieterij branche zijn energie besparingsplannen (EBP's) opgesteld waarmee een optelsom gemaakt kan worden van de mogelijke energiebesparing. Tussen de overheid en het bedrijfsleven worden meerjarenafspraken (MJA's) gemaakt op basis van vrijwilligheid om een energie-efficiency binnen een afgesproken termijn met een afgesproken percentage te halen. Binnen de meerjarenafspraken 1 (MJA1), die afliep eind 2000, is de doelstelling om 20% van de energie-efficiency ruimschoots gehaald. Inmiddels loopt MJA2 al. Nieuw aan MJA2 is dat naast de energie-efficiency de aandacht is verbreed naar het toepassen van duurzame energie en energiezuinige product ontwikkeling.

De branche van gieterijen is zeer bewust bezig met het aspect milieu. Er zijn nu voorbeelden te noemen van gebruik van restwarmte van de ovens voor verwarming. Een ander voorbeeld is gebruik van computersimulatie in het productieproces. Hierbij kan in een vroeg stadium van de productontwikkeling de problemen uit het gietproces worden gefilterd. Dit soort ontwikkelingen in de gieterij zijn gunstig voor het energieverbruik. Gezien de huidige ontwikkeling op de energiemarkt is dit zeer welkome ontwikkeling.

Materiaal

Bij het gieten wordt al snel verondersteld dat het gietijzer betreft, een materiaal dat veel werd gebruikt in de 19^e eeuw. Maar er bestaat meer dan alleen gietijzer. Tegenwoordig zijn er verschillende gietmetalen beschikbaar. Gietmetaal is een verzamelnaam die opgedeeld kan worden in ferro- en non-ferro gietlegeringen. Onder ferro gietlegeringen wordt verstaan het gietijzer en het gietstaal. Met non-ferro gietlegeringen worden gietlegeringen bedoeld als aluminium- koper en zinklegeringen.

Voor de bouwsector zijn vooral gietijzer en gietstaal interessant vanwege hun hoge sterkte. In de huidige praktijk echter wordt nog al te vaak automatisch naar de standaard oplossingen gegrepen. De constructeurs kiezen bijvoorbeeld maar al te vaak voor de standaard verbindingstypen met zijn gelaste platen, geboorde gaten en met bouten en pennen gevormde verbinding. Het alternatief in de vorm van gegoten elementen, gietstukken, wordt maar al te weinig geraadpleegd.

2.3 Toepassingsgebieden

Op internet, [40-74], zijn diverse toepassingsgebieden opgezocht om te illustreren wat allemaal mogelijk is met giettechnieken.

Divers

De Nederlandse gieterijen vervaardigen een grote verscheidenheid aan producten die hun toepassing vinden in diverse sectoren, zoals de bouw, de automobiellindustrie, de vliegtuigindustrie, maritieme industrie, de metaalindustrie, werktuigbouwkundige industrie en vele anderen.

Voorbeelden van gietproducten zijn hekwerken, lateien en draagconstructies, schoepen voor schepen, motoronderdelen, kunstwerken, decoratie en velgen voor auto's, pompen, enzovoorts.

Vanwege de hoge mate van vormvrijheid en de diverse materialen die bij het gieten mogelijk zijn, is het toepassingsgebied voor gieten erg breed. De mogelijkheden lijken oneindig. Hieronder een aantal illustraties van diverse toepassingen om te illustreren wat de mogelijkheden op het gebied van gieten en vormvrijheid is.

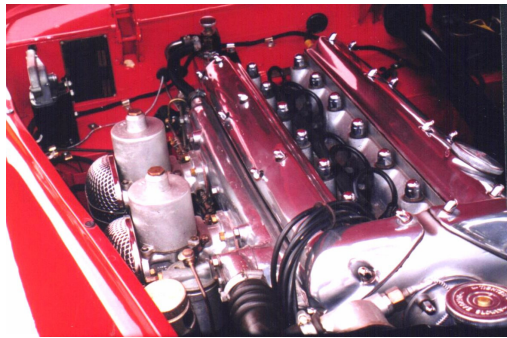
Leidingen:



(Tand)wielen:



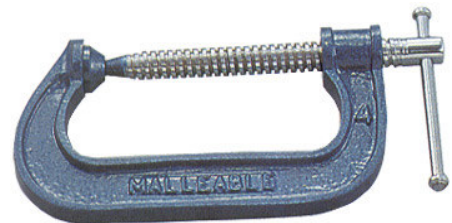
Motor(onderdelen)



Kunst:



Gereedschap:



Huishoudelijk:



Deze voorbeelden geven aan hoe divers de toepassing en vormgeving van gietmetalen kan zijn. Zowel constructief als niet-constructief kan deze techniek goed worden toegepast. De mogelijkheden lijken onbeperkt en er is dan ook een scala aan mogelijkheden voor de ontwerper om gietstukken toe te passen. Het grote voordeel bij de giettechniek is de vormvrijheid en keuze uit diverse materialen, die deze productiemethode kent. Vloeibaar metaal is met de juiste gietvorm in elke vorm te gieten.

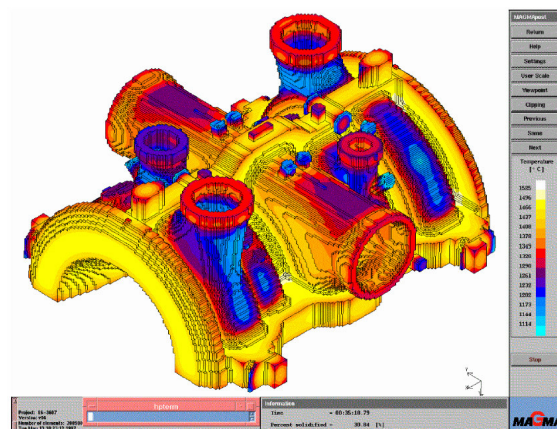
Bij de bovenstaande toepassingen zijn zowel ferro- als nonferro metalen toegepast.

2.4 Innovaties

De afgelopen jaren is de Nederlandse gieterijbranche onderhevig aan verdergaande globalisering van de markt. De productie van relatief eenvoudig gietwerk verschuift naar Oost-Europa en Azië. Ook wordt het gietwerk steeds kennisintensiever en complexer. Als gevolg van deze ontwikkelingen is er sprake van specialisatie bij bedrijven. Om concurrerend op de markt te kunnen opereren blijft de gieterijbranche bezig met het doorvoeren van vernieuwen en verbetering. Op de volgende terreinen zijn er innovaties die ontwikkeld worden.

- vloeibare vormgeving van ferro- en non-ferrometalen
- verdergaande automatisering en mechanisering van gieterijproductietechnieken
- materiaalbesparende technieken, zoals het dunwandig gieten
- nieuwe lossingstechnieken
- coatings voor vormen en kernen
- materiaalkeuze en -analyse
- computerondersteunde ontwerp- en productietechnieken
- simulatie van het gietproces en stollingsproces
- kwaliteitscontrole
- milieu en energie, nieuwe wet- en regelgeving
- normalisatie
- opleiding en bijscholing.

Een belangrijke ontwikkeling is de softwarematige simulatie van lamellaire en nodulaire gietijzersoorten en andere gietmetalen. Sinds enkele jaren wordt simulatieprogrammatuur gebruikt voor het oplossen van gietvraagstukken voor verscheidene metaallegeringen. Met deze simulatie is het mogelijk om vroeg in het productontwikkeling fouten op te sporen in het gietproces en het stollingsproces. Hierop wordt nader op ingegaan verderop in deze uiteenzetting.



Figuur 2 Simulatie met magma software

3 Probleemformulering

3.1 Inleiding

Binnen technische Commissie 10 Bouwen met Staal is een deelonderzoek gaande naar “Niet Standaard Verbindingen”. Het zijn verbindingen met een innovatief karakter, speciale vormgeving en vereisen meer aandacht van de constructeur en architect wat betreft rekentechnische aspecten. Door de steeds creatievere ontwerpen van architecten en constructeurs op het gebied van constructies, is het ontwerpen van een verbinding een zware opgave geworden. De verbinding is door deze trend een steeds complexere vorm gaan aannemen en krijgen daardoor een ‘custom made’ karakter. Naast de keuze voor de conventionele oplossingen zoals bout-, las- en lijmverbindingen is er nog een belangrijk alternatief, het gietstuk.

Het gietstuk is een verbinding dat aparte aandacht verdient. Gietstukken vallen onder de categorie “Niet Standaard” verbinding.

De productie, vormgeving en eigenschappen zijn totaal verschillend met ander soorten verbindingen zoals als bout- en las verbindingen. Met het gietstuk heeft de ontwerper een interessant alternatief voor handen dat vele mogelijkheden biedt. Vooral de hoge mate van vormvrijheid biedt de ontwerper een uitdaging om zijn creativiteit te kunnen uiten. De almaar creatievere en constructievere uitdagende constructies van tegenwoordig zijn mede door gietstukken mogelijk gemaakt.

3.2 Probleemstelling

In Nederland wordt nog te weinig gebruik gemaakt van de mogelijkheid tot het toepassen van gietstukken als constructief bouw element. Vanwege de onwetendheid en heersende vooroordelen op het gebied van materialen, materiaaleigenschappen en toepassingsmogelijkheden wordt nog te vaak de oplossing gezocht in de traditionele verbindingen als bout-, las- en lijmverbindingen.

3.3 Doelstellingen

- Een compleet beeld te geven ten aanzien van de verschillende aspecten die komen kijken bij gietstukken en daardoor kennis verschaffen over de totstandkoming en toepassingsmogelijkheden van gietstukken als verbindingselement in de bouw.
- De constructeurs en architecten bewuster maken van het feit dat het toepassen van een gietstuk een zeer aantrekkelijke keuzemogelijkheid kan zijn binnen het ontwerp van staalconstructies.
- Het promoten van het gebruik van gietstukken in de bouw door kennis te verschaffen over de aanbesteding voor de productie van een gietstuk.

4 Materialen

Voor de gieterijtechniek zijn diverse materialen beschikbaar. Een aantal daarvan zijn interessant voor de staalsector. Geraadpleegde bronnen: [2], [3], [4], [9], [12], [13], [15], [16] en diverse NEN-EN normen die in de tekst staan aangegeven.

4.1 Materiaalsoorten

De materiaalkeuze wordt bepaald door verscheidene factoren waaronder sterkte eigenschappen, stijfheid eigenschappen, nauwkeurigheid maatvoering, verwerkbaarheid, corrosie bestendigheid en lasbaarheid.

Diverse materialen zijn geschikt voor de gieterij. Van diverse metaalsoorten tot beton, kunststoffen en keramische gietmaterialen. We zullen ons richten op de materialen die constructief interessant zijn voor de staalbouw. Van de hiervoor genoemde materialen zal de aandacht dus uitgaan naar de gietmetalen. En omdat niet ieder gietmetaal geschikt is voor elke gietmethode en constructieve toepassing, is materiaalkeuze een belangrijke ontwerpfactor.

4.1.1 Gietmetalen

Bij gietmetalen kan een onderverdeling worden gemaakt in ferro-metalen en nonferro-metalen.

Ferro-metalen

Ferro-metalen zijn legeringen die grotendeels uit ijzer (Fe) bestaan. Op basis van het koolstof percentage valt er binnen de groep ferro-metalen een onderscheid te maken tussen gietijzer en gietstaal. Gietstaal bevat meestal een koolstofpercentage van ongeveer 0.2-0.5%. En gietijzer bevat vaak een koolstofpercentage van 2.5-3.5%. Voor lasbare gietstukken van gietstaal, zal het koolstofpercentage bij voorkeur onder de 0.02% moeten zijn om scheuren tijdens het lassen te voorkomen.

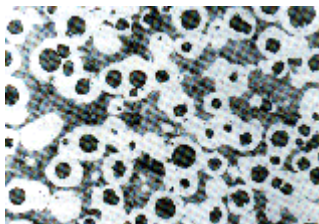
- **Gietijzer:**

Op basis van NEN-EN normen is gietijzer onder te verdelen in de drie belangrijkste soorten:

-Grijs gietijzer	NEN-EN 1561
-Smeedijzer	NEN-EN 1562
-Nodulair gietijzer	NEN-EN 1563

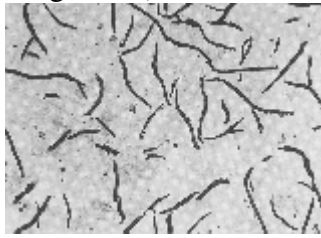
Bij de naamgeving van gietijzer en gietstaal is uitgegaan van de microstructuur vorm. De onderstaande microstructuren zijn de onderscheiden:

-*Nodulair gietijzer*: bevat een staalmatrix met daarin een regelmatige verdeelde bolvormige grafietdeeltjes die ontstaan zijn in giettoestand .



Figuur 3 Microstructuur Nodulair Gietijzer, bron [3]

-*Lamellair gietijzer*: bevat een staalmatrix met daarin regelmatige verdeelde plaatjesvormige grafietdeeltjes (lengte/dikte verhouding 100:1) die ontstaan zijn in giettoestand.



Figuur 4 Microstructuur Lamellair gietijzer, bron [3]

-*Vermiculair gietijzer*: bevat een staalmatrix met daarin regelmatig verdeelde plaatjesvormige grafietdeeltjes (lengte/dikte verhouding 10:1) die ontstaan zijn in giettoestand.

-*Smeedbaar gietijzer*: bevat een staalmatrix met daarin regelmatig verdeelde clustervormige grafietdeeltjes, die ontstaan zijn na een langdurige warmtebehandeling

- **Gietstaal:** NEN-EN 10340
NEN-EN 10293
NEN-EN 10027-1 en deel 2

Gietstaal bezit een homogene staalmatrix. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ongelegeerd staal en gelegeerd staal.

Non-ferrometalen

Non-ferrometalen zijn metalen waarvan ijzer geen hoofdbestanddeel is. Deze groep legeringen wordt geclassificeerd volgens de basis elementen waaruit het is opgebouwd. Veel gebruikte legeringen zijn:

- koperhoudende legeringen
- brons
- nikkelhoudende legeringen
- zink houdende legeringen
- aluminium legeringen

Met name de laatstgenoemde legering wordt nog wel eens gebruikt in de bouwwereld. Maar gezien de doelstelling van dit onderzoek zal verder de non-ferrometalen buiten beschouwing gelaten worden.

4.2 Materiaalaanduiding

Volgens de Euronormen worden de gietmetalen worden op twee verschillende naamgevingen gebaseerd, één op symbolen en de ander gebaseerd op nummers.

4.2.1 Aanduiding Gietijzer

Volgens NEN-EN 1560 wordt gietijzer op 2 manieren worden aangeduid. Er wordt als doel gesteld dat er voor elk gietijzer soort slechts één aanduiding mag zijn met symbolen en met slechts één getal. Alle soorten gietijzer wordt aangeduid met materiaalsymbolen of met materiaalnummers. Gietijzer is te herkennen aan de symbolen 'GJ', waarin 'G' staat voor gieten en 'J' staat voor ijzer.

Aanduiding gietijzer met symbolen

Deze aanduiding in symbolen mag maximaal zes posities innemen. Niet alle posities hoeven te worden gebruikt.

- Positie 1: EN, mag alleen voor genormeerde materialen gebruikt worden

- Positie 2: Symbool voor Gietijzer, symbolen GJ met G=gieten en J=ijzer
- Positie 3: Symbool voor grafietstructuur

L	Lamellair
S	Nodulair
M	Smeedbaar ¹⁾
V	Vermiculair
N	Geen grafiet (hard), ledeburitisch
Y	Speciale structuur, aangegeven in de relevante materiaalnorm
1) Inclusief gefrist smeedbaar gietijzer.	

- Positie 4: Symbool voor micro- of macrostructuur

A	Austeniet
F	Ferriet
P	Perliet
M	Martensiet
L	Ledeburiet
Q	Afgeschrikt
T	Veredeld
B	Frisijzer met zwarte kern ¹⁾
W	Gefrist smeedbaar gietijzer ¹⁾
1) Alleen voor smeedbaar gietijzer.	

-Positie 5: Symbool voor de indeling op mechanische eigenschappen of chemische samenstelling. Bij indeling op mechanische eigenschappen wordt er een eigenschap als treksterkte, rek, kerfslagwaarde, of hardheid aangeduid met cijfers en met letters over de productiemethode van de monster.

Bij indeling op chemische samenstelling moet de letter X het eerste symbool op positie 5 zijn gevolgd door de chemische samenstelling met of zonder opgave van koolstofgehalte. De samenstelling van elementen moet in procenten worden aangegeven.

- Positie 6: Symbool voor aanvullende eisen

D	Gietstuk in gegoten toestand
H	Warmtebehandeld gietstuk
W	Lasbaarheid voor lasverbindingen (zie 6.2 in EN 1559-1:1997)
Z	Aanvullende eisen, die tijdens de bestelling zijn gespecificeerd

De hele structuur van de aanduiding van gietijzer met symbolen volgens NEN-1560 is in Bijlage 1A weergegeven.

Aanduiding gietijzer met nummers

Deze aanduiding van gietijzer moet bestaan uit 9 tekens. Het eerste, tweede, vierde en vijfde teken zijn hoofdletters. Het derde symbool is een koppelteken en de zesde tot en met de negende zijn cijfers.

- Posities 1 t/ m 3: EN-
- Positie 4: de letter J=gietijzer
- Positie 5: symbool voor de grafietstructuur
- Positie 6: getal met 1 cijfer die de belangrijkste eigenschap van gietijzer aangeeft

0	Reserve
1	Treksterkte
2	Hardheid
3	Chemische samenstelling
4	Reserve
5	Reserve
6	Reserve
7	Reserve
8	Reserve
9	Reserve

- Positie 7 en 8: een getal met 2 cijfers van 00 tot en met 99 die het individuele materiaal aangeeft.
- Positie 9: een getal met 1 cijfer die de specifieke eisen van het materiaal aangeeft. Zie onderstaande tabel

0	Geen specifieke eisen
1	Apart gegoten monster
2	Aangegoten monster
3	Monster genomen uit een gietstuk
4	Kerfslagwaarde bij omgevingstemperatuur
5	Kerfslagwaarde bij lage temperatuur
6	Gespecificeerde lasbaarheid
7	Gietstuk in gegoten toestand
8	Warmtebehandeld gietstuk
9	Aanvullende eisen gespecificeerd tijdens de bestelling of combinaties van individuele eisen

De hele structuur van de aanduiding van gietijzer met nummers volgens NEN-1560 is in Bijlage 1B weergegeven.

4.2.2 Aanduiding Gietstaal

Er wordt onderscheid gemaakt tussen ongelegeerd staal en gelegeerd staal.

Ongelegeerde gietstalen zijn bijvoorbeeld:

GS200
GS240
G17Mn5
G20Mn5
G24Mn6

Gelegeerde gietstalen zijn bijvoorbeeld:

G10MnMoV6-3
 G18NiMoCr3-6
 GX4CrNi13-4
 GX2CrNi19-11

De gietstaalsoorten worden aangeduid

- hetzij met hun minimum vloeigrens voor ongelegeerde staalsoorten
- hetzij door hun chemische samenstelling voor gelegeerde staalsoorten

In elk geval moet de gietstaal aanduiding beginnen met de letter 'G'. Dit betekent dat het om het materiaal gietstaal gaat. Bij gietstaal die door warmte behandeling op een bepaalde sterkte wordt gebracht, moet een achtervoegsel worden toegevoegd.

Net als bij gietijzer kan de gietstaalaanduiding met symbolen en nummers.

Aanduiding gietstaal met symbolen

Volgens NEN-EN 10027-1 moet in elk geval gietstaal beginnen met de letter 'G'.

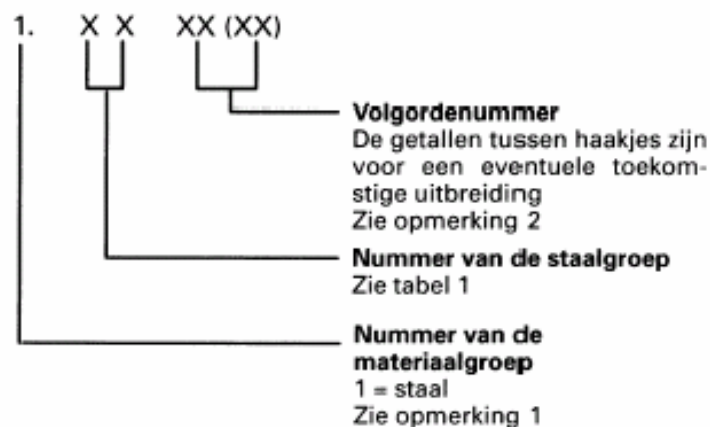
De aanduiding van gietstaal in symbolen is weergegeven in tabelvorm in bijlage 2A tot en met F. Uitzonderingen op deze aanduidingen zijn staalsoorten die op verschillende sterkten gebracht kan worden, afhankelijk van de warmtebehandeling is er een ander achtervoegsel. Een aantal voorbeelden is terug te vinden in de tabel met de mechanische eigenschappen van gietstaal in bijlage 3D.

De belangrijkste gietstaalsoorten zijn:

G:	gietstaal	Bijlage 2A
GS:	gietstaal van constructiestaal	Bijlage 2B
GP:	gietstaal voor druk doeleinden	Bijlage 2C
GE:	gietstaal van 'engineering steel'	Bijlage 2D
GX:	het gemiddelde gehalte van tenminste één van de legeringselementen > 5%, geeft dus de chemische samenstelling weer zoals al eerder gesteld is. Bijlage 2E.	

Aanduiding gietstaal met nummers

Elk staal nummer mag maar verwijzen naar één staalsoort. En andersom mag elke staalsoort overeenkomen met één staalnummer. De structuur van staalnummer is gedefinieerd volgens NEN-EN 10027-2 als volgt:



De methode van nummering van diverse staalgroepen is te herleiden uit een tabel van NEN-EN 10027-2 die weergegeven is in bijlage 2F.

4.3 Voorbeelden naamgeving

In de onderstaande tabel zijn van de gietijzersoorten en gietstalen een aantal naamgevingen in symbolen weergegeven.

grijs gietijzer	smeedbaar gietijzer	nodulair gietijzer	Gietstaal
EN-GJL-150	EN-GJMW-350-4	EN-GJS-350-22	GS240
EN-GJL-200	EN-GJMW-360-12	EN-GJS-350-22-RT	G17Mn5
EN-GJL-250	EN-GJMB-300-6	EN-GJS-350-22	G30NiCrMo14
EN-GJL-300	EN-GJMB-350-10	EN-GJS-400-18-LT	GX9Ni5
EN-GJL-350	EN-GJMB-650-2	EN-GJS-400-18U	GX4CrNi13-4

Tabel 1 naamgeving gietmetalen in symbolen

Zoals beschreven bestaat er voor elk gietmetaal ook een naamgeving in nummers. Van dezelfde materialen als in bovenstaande tabel is nu in onderstaande tabel de naamgeving in nummers weergegeven.

grijs gietijzer	smeedbaar gietijzer	nodulair gietijzer	Gietstaal
EN-JL-1020	EN-JM1010	EN-JS1010	1.0455
EN-JL-1030	EN-JM1020	EN-JS1014	1.1131
EN-JL-1040	EN-JM1110	EN-JS1010	1.6771
EN-JL-1050	EN-JM1130	EN-JS1025	1.5681
EN-JL-1060	EN-JM1180	EN-JS1062	1.4317

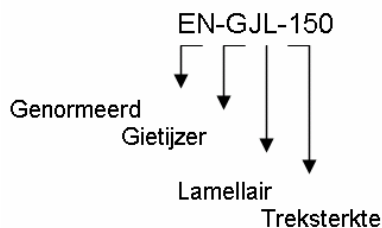
Tabel 2 naamgeving gietmetalen in nummers

Elk gietmetaalsoort heeft zowel een naamgeving in symbolen en een naamgeving in nummers. Elke naamgeving mag maar naar één gietmetaalsoort verwijzen. Elke naamgeving is dus uniek. Aanduiding in nummers is in bijlage 1B in tabelvorm uitgelegd.

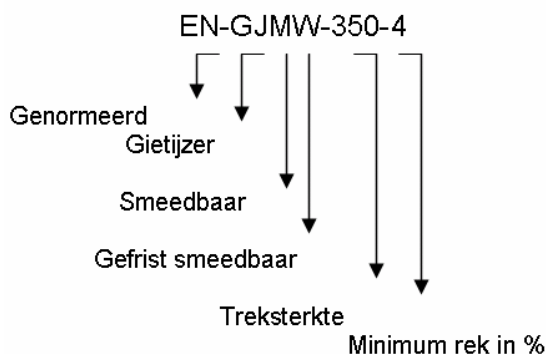
4.3.1 Naamgeving symbolen

Voor een uitgebreide uitleg van de aanduiding van de gietmetalen wordt verwezen naar bijlagen 1 en 2. Hieronder volgen een aantal uitgewerkte voorbeelden.

Grijs gietijzer



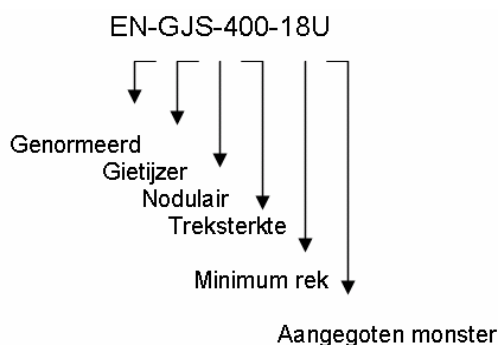
Figuur 5 symbolen grijs gietijzer

Smeedbaar gietijzer**Figuur 6 symbolen smeedbaar gietijzer**

In het geval dat de naamgeving begint met EN-GJMB-XXX gaat het om een smeedbaar ijzer waarvan de microstructuur een zwarte kern bevat. Zie bijlage 3B.

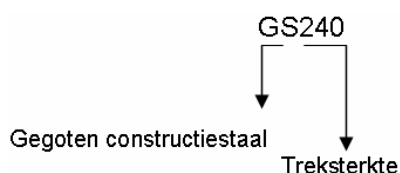
NEN-EN 1560 onderscheid twee soorten smeedijzer: EN-GJMW het zogenaamde frisijzer

EN-GJMB het zogenaamde temperijzer

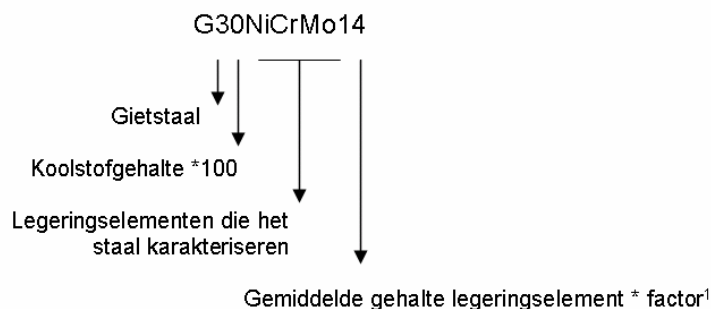
Nodulair gietijzer**Figuur 7 symbolen nodulair gietijzer****Gietstaal**

Bij gietstaal wordt onderscheid gemaakt tussen gelegeerde- en ongelegeerde stalen. De naamgeving van de gelegeerde stalen is wat uitgebreider en bevat meer informatie.

Ongelegeerd:

**Figuur 8 symbolen ongelegeerd gietstaal.**

Gelegeerd:

**Figuur 5 symbolen gelegeerd gietstaal**

4.4 Materiaaleigenschappen

Voor de gietijzersoorten en het gietmetaal zijn er een aantal NEN-EN normen beschikbaar die informatie verschaffen over de materiaaleigenschappen.

4.4.1 Eigenschappen Gietijzer

In bijlage 3 zijn tabellen opgenomen die materiaaleigenschappen bevatten van de verschillende soorten gietijzer.

<i>Bijlage 3A Materiaaleigenschappen Grijs gietijzer</i>	<i>NEN-EN 1561</i>
<i>Bijlage 3B Materiaaleigenschappen Smeedijzer</i>	<i>NEN-EN 1562</i>
<i>Bijlage 3C Materiaaleigenschappen Nodulair gietijzer</i>	<i>NEN-EN 1563</i>

4.4.2 Eigenschappen Gietstaal

In bijlage 3D is een tabel opgenomen die materiaaleigenschappen bevat van de verschillende soorten gietstaal.

<i>Bijlage 3D Materiaaleigenschappen Gietstaal</i>	<i>NEN-EN 10293</i>
--	---------------------

In de tabel van bijlage 3D komen aanduidingen van verschillende gietstalen voor die beginnen met de onderstaande karakters:

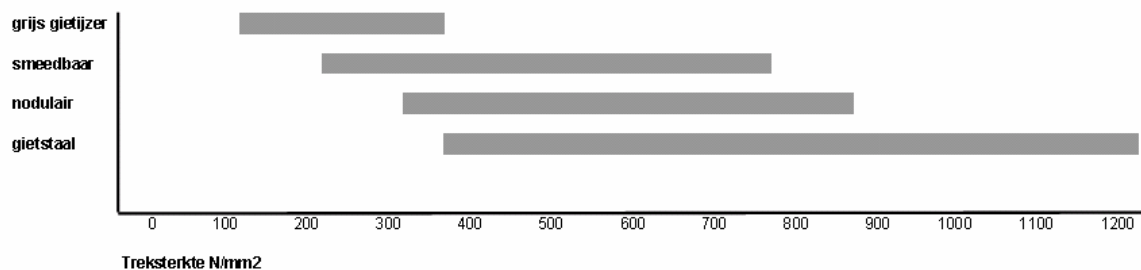
- G: gietstaal
- GS: gietstaal van constructiestaal
- GP: gietstaal voor doeleinden met voornamelijk drukbelastingen
- GE: gietstaal van 'engineering steel' ofwel constructiestaal
- GX: het gemiddelde gehalte van tenminste één van de legeringselementen > 5%, deze aanduiding geeft dus de chemische samenstelling weer zoals al eerder gesteld is.

4.5 Vergelijking gietstaal en gietijzer

Om inzicht te verkrijgen in de verschillen van de materiaaleigenschappen worden als eerst de leverbare gietijzer en gietstalen weergegeven.

4.5.1 Treksterkte en Taaiheid

Onderstaande afbeelding laat zien welk scala treksterkten leverbaar zijn.

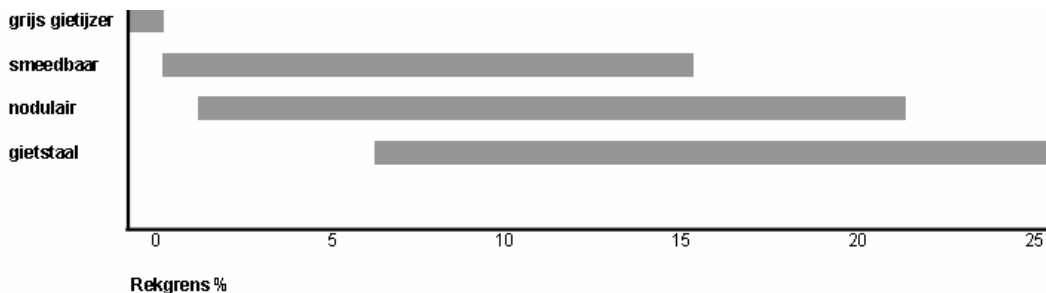


Figuur 9 Range van treksterkten

Grijs gietijzer is leverbaar met een treksterkte van ongeveer	150 tot 400 N/mm ²
Smeedbaar gietijzer is leverbaar met een treksterkte van ongeveer	270 tot 800 N/mm ²
Nodulair gietijzer is leverbaar met een treksterkte van ongeveer	350 tot 900 N/mm ²
Gietstaal is leverbaar met een treksterkte van ongeveer	350 tot 1250 N/mm ²

Een belangrijk verschil tussen deze materialen is het taaigedrag, waarbij grijs gietijzer het laagste taaie gedrag vertoont. Taaigheid kan worden afgelezen aan de rekgrens die het materiaal bezit. Grijs gietijzer is het minst taaie gietmetaal en heeft dus laagste toelaatbare rekgrens vergeleken met de andere gietijzer soorten en gietstalen.

De volgende afbeelding geeft weer in welke range er rekgrensen leverbaar zijn voor de verschillende gietmetalen.



Figuur 10 Range in rekgrensen

De rekgrens en treksterkte zijn afhankelijk van elkaar. Naarmate de treksterkte van een materiaal toeneemt, neemt de rekgrens over het algemeen af. Ter verduidelijking worden er drie verschillende materialen vergeleken met ongeveer dezelfde treksterkte maar met een andere taaigheid.

	treksterkte rekgrens %	
grijs gietijzer	EN-GJL-350	300-400 0,3
smeedbaar gietijzer	EN-GJMW-400-5	400 5
nodulair gietijzer	EN-GJS-400-18-RT	400 18
Gietstaal	GE200	380-530 25

Tabel 3 vergelijking metalen op taaigheid

Deze vergelijking geeft duidelijk de verschillen in taaigedrag weer. Er zijn dus verschillende materialen beschikbaar die eenzelfde treksterkte bezitten maar het grote verschil zit in het taaie gedrag. Grijs gietijzer biedt de laagste taaigheid, dan volgt smeedbaar gietijzer, dan nodulair gietijzer en het taaiste materiaal is gietstaal.

Deze materiaal eigenschappen beïnvloeden de keus van de constructeur welk materiaal hij of zij wil toepassen. Taai gedrag kan nodig zijn in verband met een minimale vervormingscapaciteit die een verbinding moet hebben. De constructeur wil altijd broos bezwijk gedrag in een constructie voorkomen. Plotseling bezwijken is altijd onwenselijk.

4.5.2 Lasbaarheid

Een andere factor die een rol speelt bij de materiaalkeuze voor een gietmetaal is de mate van lasbaarheid. Het kan wenselijk zijn om het gietstuk te monteren en bevestigen aan de hand van lasverbindingen. Indien dit gewenst is dan is de lasbaarheid een belangrijke factor in de fase van materiaalkeuze.

De meeste soorten gietijzer zijn, door het hoge koolstofgehalte, een moeilijk lasbaar metaal en er moeten speciale voorzorgsmaatregelen genomen worden om ze te kunnen lassen. Dit geldt ook voor de zogenoemde lasbare ijzersoorten.

De lasbaarheid hangt af van de micro structuur en mechanische eigenschappen van het materiaal. Ook de chemische samenstelling, het toevoegmateriaal, het waterstofgehalte in het

staal en de temperatuur beïnvloeden de lasbaarheid. Het meest bros gedragende gietmetaal, grijs gietijzer, is niet bestand tegen de spanning die ontstaan tijdens het afkoelen van een las. De brosheid wordt veroorzaakt door de grove grafiet lamellen.

Smeedbaar en nodulair gietijzer daarentegen hebben grafiet clusters en dit maakt het een stuk taaier waardoor de lasbaarheid van het materiaal beter wordt

Om het risico van koudscheuren bij het lassen te verminderen wordt een maximaal koolstofequivalent (CEV) gesteld.

Het materiaal dat de beste lasbaarheid vertoont zijn de gietstaal materialen. Dit taaie materiaal is veel beter bestand tegen scheurvorming.

4.5.3 Lassen gietijzer

NEN EN 1101-8 geeft richtlijnen ten aanzien van het lassen van gietijzersoorten.

Volgens deze norm worden over het algemeen drie procedures gebruikt:

- Lassen met homogeen en semi-homogeen lasmateriaal
- Lassen met niet-homogeen las materiaal
- Lassen zonder lasmateriaal

De onderstaande lasmethoden zijn geschikt voor het lassen van het gietijzer:

- Booglassen met beklede elektroden
- Booglassen met poedergevulde draad (gasloze draad)
- Onderpoeder lassen
- Gasbooglassen met afsmeltende elektrode
- TIG-lassen
- Plasmalassen
- Booglassen met een roterende boog (MIAB)
- Afbrandstuiklassen
- Autogeen lassen met zuurstofacetyleen gasmengsel
- Wrijvingslassen
- Thermietlassen

En twee extra mogelijkheden zijn:

- Gietlassen: lassen doormiddel van het gieten van vloeibaar metaal in een speciaal geprepareerde groeve in het gietstuk (definitie volgens NEN EN 1011-8:2004.
- Vloeibaar metaal lassen: hetzelfde als gietlassen met extra gebruik van een booglasproces. (definitie volgens NEN EN 1011-8:2004 (E))

Het lassen van gietijzer is dus mogelijk maar vereist meer aandacht voor het gehele lasproces. Het wordt dan ook aangeraden om de desbetreffende norm te raadplegen NEN EN 1101-8 indien lassen van het gietijzer een vereiste is.

4.5.4 Lassen gietstaal

Het lassen van gietstaal is overeenkomstig het lassen van het bekende constructiestaal. Gezien de alom bekendheid van lassen van constructiestaal is het niet nodig geacht om dit onderwerp nader toe te lichten. Het lassen van gietstaal valt dan ook gewoon onder de geldende normen voor het lassen van constructiestaal.

constructie- gietstaal heeft nu eenmaal een betere lasbaarheid dan de gietijzersoorten door ondermeer het lagere koolstofgehalte.

In NEN-EN 10340 en NEN-EN 10293 zijn voor een aantal gietstaalsoorten de lascondities aangegeven. Deze tabel is overgenomen in bijlage 4

Indien de lasbaarheid van het gietstuk een grote rol speelt bij de toepassing en montage in de constructie dan zal de ontwerper van het gietstuk dit verschil aan lasbaarheid van de diverse gietmetalen in overweging moeten nemen.

In het algemeen gesteld is gietstaal duurder dan gietijzer, minder goed te gieten, betere lasbaarheid en een bezit het hogere treksterkte en taaheid.

4.6 Vergelijking gietstaal met constructiestaal

Om de constructeur een idee te geven van de verschillen tussen gietstaal wordt een beknopt overzicht gegeven van een aantal beschikbare constructiestaal soorten en gietstaal soorten.

		treksterkte N/mm²	minimum rekgrens % na breuk
constructiestaal	S235	340-470	23-25
	S275	410-560	19-21
	S355	490-630	19-21
	S460	550-720	15
Gietstaal	GS200	380-530	25
	G20Mo5	440-590	22
	GS240	450-600	22
	G17Mn5	450-600	24
	G20Mn5	480-620	20
	G20Mn5	500-560	22
	G17CrMo5-5	490-690	20
	GE300	520-670	18
	G20NiMoCr4	570-720	16
	GE300	600-750	15

Tabel 4 vergelijking constructie- en gietstaal

Dit overzicht geeft duidelijk weer dat op het gebied van materiaaleigenschappen als taaheid en treksterkte dat de gietstaal- en constructiestaalsoorten vergelijkbaar presteren. De constructeur heeft met het gietstaal dus een zeer algemeen bekend materiaal ter beschikking dat overeenkomstige materiaaleigenschappen vertoont als het veel gebruikte constructiestaal.

5 Productieproces

De beschrijving van de verschillende gietmethoden die het productieproces kent, geeft de ontwerper inzicht in de totstandkoming van een gietstuk. Geraadpleegde literatuur: [3-16] en [18-20], [25], [27], [36].

5.1 Inleiding

Onder gieten wordt in het algemeen verstaan het inbrengen van vloeibaar materiaal in een gietvorm. Nadat het materiaal is gestold, heeft het oorspronkelijke vloeibare materiaal de vorm aangenomen van de gietvorm. Het gestolde materiaal kan nu uit de gietvorm worden gehaald en het gietstuk is gereed. Dit is in kort de basis van het proces gieten.

5.2 Terminologie

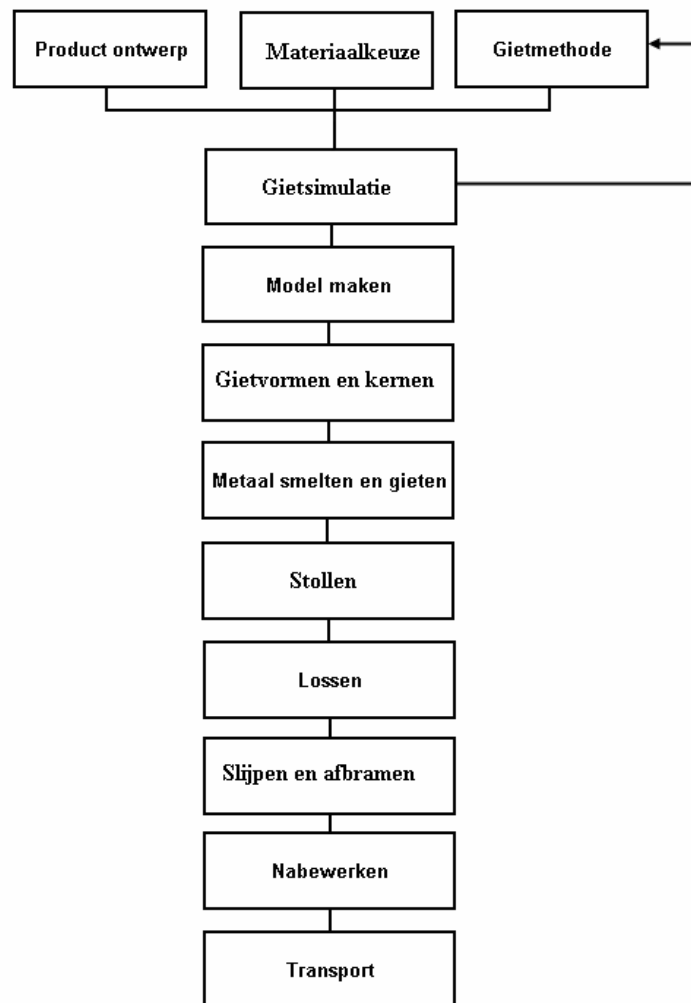
Om de lezer een idee te geven wat een gieterij in basis omvat, wordt een beknopt overzicht gegeven met de meest bekende en gebruikte termen in productieproces van een gietstuk.

Gietvorm:	De gietvorm waarin het vloeibare materiaal wordt gegoten en die de vorm bepaald van het uiteindelijk product.
Lossen:	Het gietstuk los maken van de gietvorm. Belangrijk hierbij is dat het zonder beschadiging moet plaatsvinden.
Kernen:	Een kern is een toevoeging aan de gietvorm om inwendige holten te realiseren.
Vormdelen:	Gietvormen bestaan vaak uit meerdere delen. Er kunnen horizontale en verticale delingen voorkomen. De vormdeling is afhankelijk van de wijze waarop het gietstuk wordt gelost. Een gevolg van deze delingen zijn bramen als de vormhelften niet goed op elkaar aansluiten. Deze dienen verwijderd te worden.
Model:	Een replica van de vorm, schaal 1:1, van het gietstuk waarmee de vormholte van de wordt gemaakt. In werkelijkheid is het model iets groter dan 1:1 om volumeafname ten gevolge van krimp te voorkomen.
Vullen:	Het volgieten van de gietvorm met vloeibaar metaal, door een of meerdere kanalen.
Gietsysteem:	Het geheel aan kanalen waardoor het vloeibare metaal de gietvorm invloeit.
Opkomer:	Dit is een reservoir die in verbinding staat met de holte die gevuld wordt met gietmetaal. Vanuit de opkomer wordt de holte aangevuld door het tekort dat ontstaat door het slinken van het gietmateriaal tijdens het stollen en krimpen tijdens het afkoelen. Om krimp te compenseren wordt wel een krimptoetslag van een paar procent op het model geplaatst.
Smelten:	Met behulp van brandstof zoals cokes, gas, olie of elektriciteit wordt het metaal gesmolten in een hoogoven.
Legering:	Een mengsel van metalen waar uit het gietmateriaal is opgebouwd.

De bovenstaande en andere termen zullen nader aan de orde komen bij de beschrijving van het totale productieproces van een gietstuk.

5.3 Productieproces

Om indruk te geven van de van het productie proces, een vereenvoudigde weergave van het gietproces is in onderstaand flow diagram weergegeven.



Figuur 11 flow diagram productieproces gieten

Het te ontwerpen product hangt samen met de keuze voor de gietmethode. Zoals in dit hoofdstuk aan de orde zal komen zijn er diverse gietmethoden beschikbaar. Elke methode heeft zijn eigen beperkingen wat betreft nauwkeurigheid, vormgeving, maakbaarheid, productieaantallen, kosten e.d. Op het gebied van nauwkeurigheid zijn er drie belangrijke aspecten te onderscheiden:

- detailvormen nauwkeurigheid
- dimensionale nauwkeurigheid
- oppervlakte gladheid.

Al deze genoemde aspecten hebben invloed op de keuze voor een bepaalde gietmethode bij het te gieten product.

Eenmaal een ontwerp met daarbij een gietmethode gekozen, is het gietproces in grote lijnen overeenkomstig het flow diagram.

Er wordt getracht om de constructeur en ontwerper inzicht te geven in alle processen van de gieterij.

5.4 Smelten

In de meest simpele termen uitgedrukt betekent smelten van het metaal het opwarmen van het metaal tot het smeltpunt waarop het vloeibaar is (van vaste fase naar vloeibare fase). Op deze temperatuur is het metaal te gieten en kan het de vormen aannemen van de gietvormen waarin het gegoten wordt.

De benodigde energie voor het verwarmen van het metaal kan geput worden uit ondermeer gas, olie, elektriciteit, kolen en cokes.

Er zijn diverse manieren om het metaal te smelten, elk met eigen installatie. De methode en gebruikte installatie zijn afhankelijk van de benodigde smelttemperatuur, productieschaal, kosten, gietmethode, hoeveelheid gietmetaal en de samenstelling van de legering.

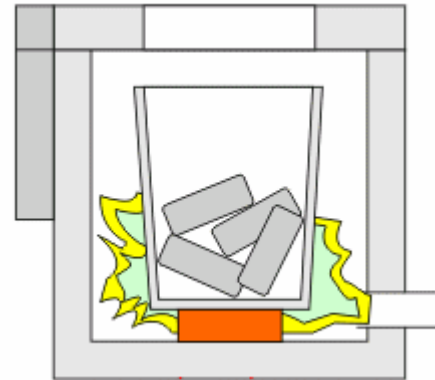
Een aantal smeltovens dat gebruikt wordt in de gieterijen zijn onder andere:

5.4.1 Smeltkroes-oven

Een van de simpelste en oudste methoden die gebruikt worden in de gieterijtechniek voor het smelten van metalen. De ombouw is vaak van vuurvast baksteen met een verwijderbare bovenkant. De capaciteit is afhankelijk van de grootte van de smeltpan. De smeltpan kan vaststaan in de oven of uit de oven worden gekanteld of uit de oven worden gelift.

Bij de vaststaande smeltpan wordt het gietmetaal met gietlepels uit de gietpan gehaald.

De smeltkroesoven is over het algemeen een gas gestookte oven.



Figuur 12 smeltkroesoven, bron: [77]

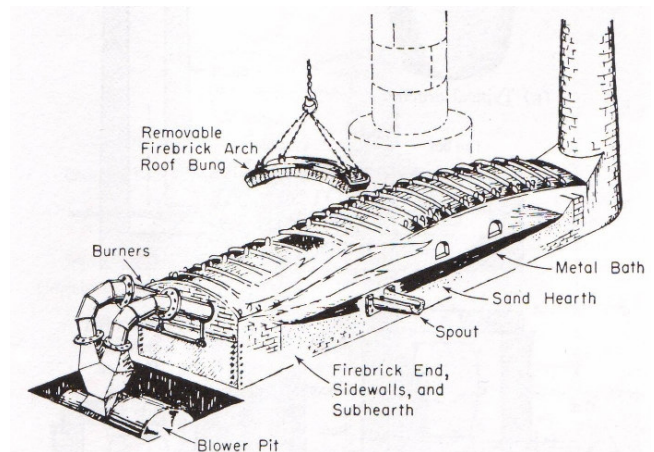
5.4.2 Luchtoven

Vanuit het uiteinde van de oven wordt er ontstoken brandstof ingebracht. Niet de lucht maar de ontstoken brandstof verwarmt het metaal.

Olie, gas en verpulverd kolen kunnen in dit proces als brandstof dienen die in de oven worden geblazen.

Een batch bevat ongeveer 15 tot 75 ton en het proces van smelten en aftappen van deze batch kan wel 7 uur duren.

Het metaal ligt in ondiep open bad en wordt dus verwarmd door de vlammen en hete gassen die ontstaan bij de verbranding van de brandstoffen. Het gesmolten metaal wordt verwijderd door een aftapsysteem en het bad te kantelen, uitlepelen of aftappen door een gat aan de onderkant van het bad.



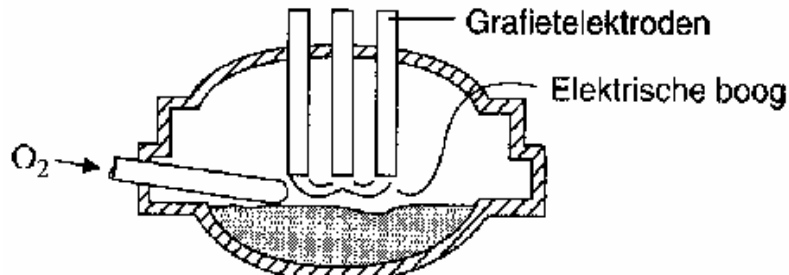
Figuur 13 luchtoven, bron: [4]

5.4.3 Elektro boog-oven

De hitte wordt gegenereerd elektrische bogen in de oven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een directe- en een indirecte elektro-boog oven. Bij de indirecte elektro-boogoven wordt de elektro-boog tussen twee elektrodes gehouden.

Bij de directe elektro-boogoven wordt de elektro-boog tussen de elektrode en het metaal gehouden.

De directe oven is voorzien van 3 elektroden, elk is verbonden met één fase van een drie-fase circuit.



Figuur 14 elektroboog oven, bron[78]

Deze oven wordt meestal alleen gebruikt waar sprake is van zeer grote hoeveelheden om te smelten metaal.

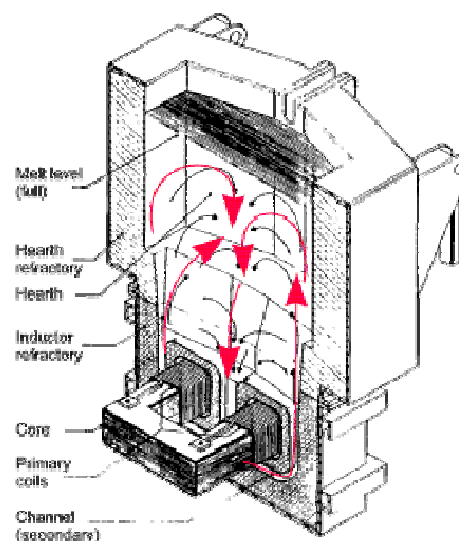
5.4.4 Inductieoven

In een inductieoven wordt het metaal verwarmd door middel van een hoog-frequent of laag-frequent elektro magnetisch veld. Om de smeltpan bevindt zich een koperen winding. De winding veroorzaakt een altemnerend magnetisch veld dat een altemnerende stroomsterkte in het oppervlakte van het smeltmetaal teweegbrengt. De gegenereerde hitte verwarmt het metaal en doet het smelten. Een voordeel van dit proces is dat het metaal niet vervuild wordt door verbrandingproducten. Er zijn verschillende typen inductieovens zoals, kanaal-inductie, kernloze inductie en kerninductie.

Kanaal-inductie ovens is de oudste vorm van inductieovens. Hierbij is de inductor aan de onderkant van de oven bevestigd. In de volgende afbeeldingen staan een kanaal- en kernloze inductieoven weergegeven.



Figuur 15 kernloze inductieoven, bron [79]



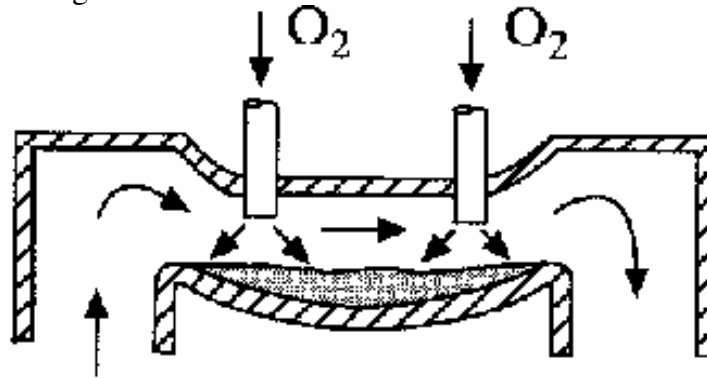
Figuur 16 kanaal inductieoven, bron[80]

5.4.5 Haardoven

Het is een gedrongen rechthoekige bakstenen constructie dat een ondiep elliptisch haard heeft dat het metaal bevat.

Omdat het mechanisme van warmte transport hoofdzakelijk door radiatie plaatsvindt, is relatief een groot oppervlak nodig.

Een haardoven wordt verhit doormiddel van gas of olie of poederkoolstof. De brandstof wordt tot ontbranding gebracht in twee verbrandingskamer, één aan elke kant van de oven. De hete gassen worden de oven in geblazen waardoor het metaal wordt verhit en smelt.



Figuur 17 haardoven, bron[78]

5.4.6 Koepeloven

De koepeloven wordt gebruikt voor het hersmelten van schroot.

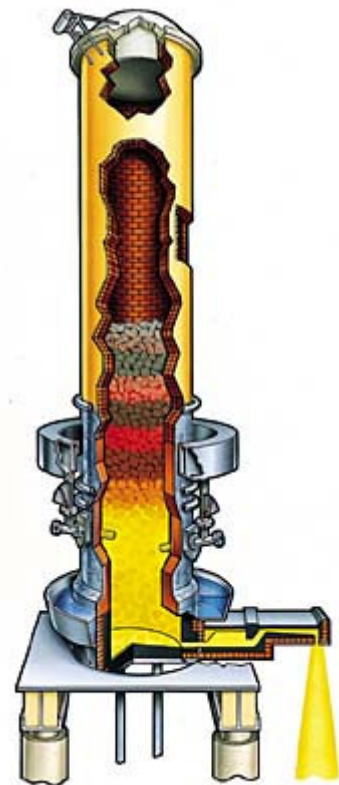
Als brandstof wordt over het algemeen cokes gebruikt met eventuele gasbranders om het verbruik van coke te reduceren.

Een koepeloven bestaat uit vijf zones; de haard, de luchtpoorten, de smeltzone, laadzone en de schoorsteen.

De smeltzone is de heetste locatie in de oven. Hier smelt het metaal. In de laadzone wordt het ruw materiaal aan de oven toegevoegd en absorbeert warmte.

Beneden in de oven bevindt zich een tapgat waaruit het gesmolten metaal kan worden afgenomen. Lucht wordt de oven ingeblazen door de luchtpoorten om de coke te laten verbranden.

Het proces in de koepeloven kan omschreven worden als een tegengesteld verloop van stroming, namelijk de hete gassen stijgen op en het gesmolten metaal vindt zijn weg naar de bodem beneden in de oven, alwaar het wordt afgetapt.



Figuur 18 Koepel oven, bron [74]

5.5 Gietmethoden

De belangrijkste gietmethoden worden opgesomd.

5.5.1 Zandgieten

Zandgieten is de meest basic bekende techniek. Het is een techniek waarbij vloeibaar metaal wordt gegoten in een vormholte in zand. Deze vormholte is gemaakt door middel van een 1:1 model van het gietstuk die aangebracht wordt in zand. Hoofdkenmerk van zandgieten is dat het zand als vormmateriaal wordt gebruikt.

Zowel ferro-metalen als non-ferrometalen zijn geschikt voor deze gietmethode. Doordat zand een hoge temperatuursbestendigheid bezit, is het zeer geschikt voor materialen met een hoge smelttemperatuur zoals gietstaal.

Zowel lossende als niet lossende producten zijn geschikt voor deze techniek. Wat betreft afmetingen en gewicht zijn er weinig beperkingen.

De gebruikte productie technieken voor zandgieten zijn:

- handmatig, de vorm wordt handmatig met behulp van een model in het zand uitgespaard. Zeer arbeidsintensief proces en geschikt voor kleine series
- machinaal, de bewerkingen gebeuren machinaal
- automatisch, de bewerking zijn volledig geautomatiseerd
- vacuümgieten

Ook bestaan er meerdere zandsystemen zoals bentoniet, furaan, pentex en andere.

Schaalvormgieten

Deze variant in zandgieten is ontwikkeld om een grotere nauwkeurigheid te verkrijgen in het zandgietproces. Het fundamentele verschil ligt in het feit dat bij deze variant gebruik wordt gemaakt van fijn korrelig zand met grote homogeniteit dat goed bijdraagt aan de dimensionele en oppervlakte nauwkeurigheid van de gietvorm en kernen en de gietstukken.

Dat dit zand niet wordt gebruikt bij de conventionele techniek is vanwege de lage permeabiliteit van het fijne zand. Tijdens het gietproces moeten gassen kunnen ontsnappen. Bij schaalvormgieten wordt het fijne zand gecoat met thermohardende hars die de basis vormt voor de schaal.

Gietvorm-materialen zandgieten

'Green sand' gietvorm

De oudste methode en meest basic methode van zandgieten is 'green sand' gietvormen. Deze naam verwijst niet naar de kleur van het zand. Het zand kan elke kleur hebben. 'green' betekent in dit geval dat er alleen water wordt gebruikt als bindmiddel voor het zand. Groen komt van de zogenaamde 'groende sterkte' van het zand, daarmee wordt bedoeld dat het niet hard is. De sterkte wordt verkregen uit de compactheid.

Tevens wordt er een steenkoolpoeder aan het oppervlakte toegevoegd, zodra gesmolten metaal wordt in aanraking komt hiermee vormt dit een filmlaagje van gas waardoor het gietmetaal niet in het zand kan dringen. Om de vuurbestendigheid en plasticiteit kwaliteiten te verbeteren worden er ook wel bentoniet en vuurklei aan toegevoegd.

Droog zand gietvorm

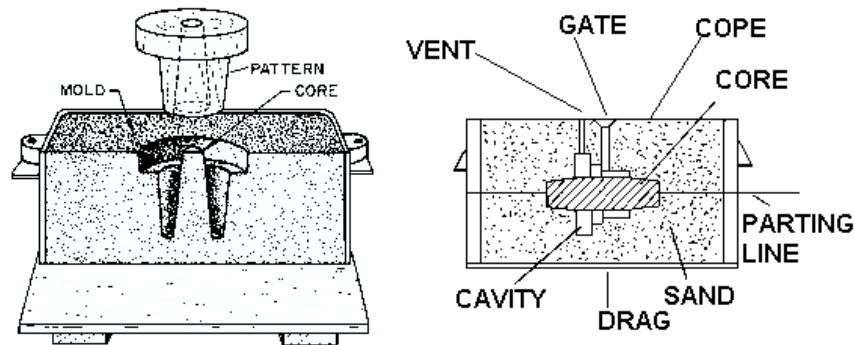
Het bindmiddel is een speciale olie die, wanneer het gemengd is met het zand, de zandkorrels bedekt met een laagje olie. Wanneer het zand wordt gebakken in een oven polymeriseert de olie en verbindt het de zandkorrels met elkaar.

Chemisch gebonden gietvorm

Voorbeelden van chemische bindmiddelen voor zand zijn onder andere hars, CO_2 , waterglas en andere. Deze bindmiddelen dragen zorg voor onderlinge verbinding tussen de zandkorrels en er een wormvaste gietvorm ontstaat.

Los zand

Bij los zand wordt er cohesie verkregen door het zand onder vacuüm te plaatsen en in te pakken in folie. In onderstaande afbeelding voorbeelden van zand gietvormen



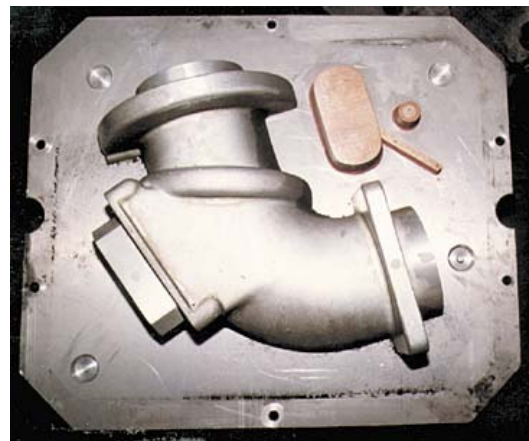
Figuur 19 simpele enkele gietvorm en één uit twee vormdelen

Bron [73]

Modellen bij zandgieten

De modellen bij het zandgieten bestaan uit twee modelplaten waarbij op iedere plaat de helft van het gietstuk inclusief krimptoetslag is aangebracht. Het model wordt gebruikt om de vormholte in het zand te creëren. Om de volumeafname ten gevolge van krimp te compenseren, wordt een krimptoetslag op het model aangebracht.

Voor de productie van modellen wordt onder meer van hardhout, kunststof (bijvoorbeeld epoxy- en polyester-harsen), metaal en hard gips/cement gemaakt. Modellen zijn meestal permanent en soms tijdelijk van aard. Aan permanente gietvormen worden hogere eisen gesteld ten aanzien van het lossen en slijtage.



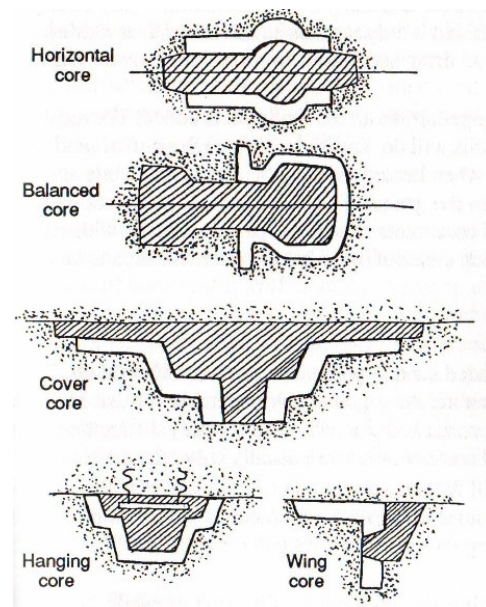
Figuur 20 stalen model voor maken boven en ondervorm, bron [74]

Kernen bij zandgieten

Kernen worden gedefinieerd als voorgevormde massa's van gebonden zand. Ze hebben als doel om de interne configuratie of de externe contouren van een gietstuk te vormen. De kernen kunnen van hetzelfde materiaal worden gemaakt als de zandvormen zoals, 'green sand', droog zand, kleigebonden zand, kunstmatig gebonden zand, maar ook van andere materialen.

Kernen kunnen verschillende posities aannemen zoals verticaal en horizontaal, betekent, hangend, doordringend, balancerend en andere om zo het gietstuk vorm te geven.

Een kern dient in de vorm goed ondersteund te zijn om een goede plaatsvastheid en ondersteuning te garanderen tijdens het gieten.



Figuur 21 posities kernen, bron: [8]

Vullen van de gietvorm bij zandgieten

Bij het vullen van de gietvorm met vloeibaar metaal wordt gebruik gemaakt van de zwaartekracht. Het vloeibare metaal vloeit onder invloed van de zwaartekracht naar beneden en vult op deze wijze de holle ruimte die aanwezig is tussen de gietvorm en de aanwezige kern(en). Het gieten gebeurt met gietpannen of gietautomaten.

Tevens is het mogelijk om de gietvorm van onderaf te vullen, het gieten geschiedt dan tegen de zwaartekracht in. In onderstaande afbeelding het vullen van een zandgietvorm bij Soester Gieterij.



Figuur 22 vullen zandgietvorm bij Soester Gieterij

5.5.2 Verloren was methode

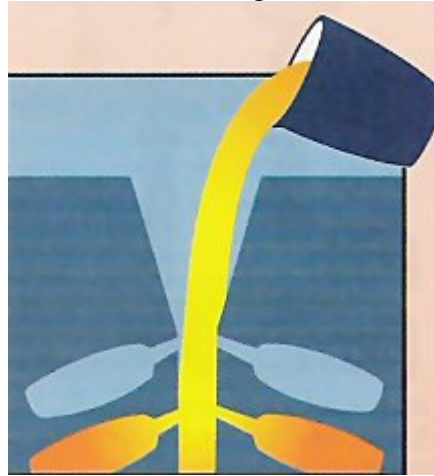
Van het te gieten product wordt allereerst een model gemaakt van was. Het model wordt verkregen middels rapid prototyping machines, bij enkel stuks, en middels inspuiten in stalen matrijzen voor seriematige productie. Die gietvormen kunnen van staal of andere materialen zijn.

Nadat het model in was gereed is, wordt er een coating op aangebracht die vuurvast is. Na drogen van deze coating is er een uniforme hard laag gevormd om het model van was. De coating kan uit meerdere lagen opgebouwd zijn door middel van afwisselend dompelen, 'beregemen' of overstrooien van keramische korrels. Dit proces kan tijdrovend zijn.

Het gecoate wasmodel wordt in gietvorm geplaatst en wordt omgeven door zand of ander materiaal, met als doel het was model volledig in te sluiten. Door de gietvorm nu te verwarmen kan het was-model eruit worden gesmolten die een holte in de gietvorm achter

laat met een coating die nu de schil vormt van de holte. De coating van het was-model kan van keramisch materiaal zijn of iets dergelijks, en is bepalend voor de mate van oppervlakte gladheid van het gietstuk.

De gecreëerde vormholte is nu de gietvorm voor het te gieten product. Er is nu een gietvorm uit één stuk gevormd. Zie onderstaande afbeelding.



Figuur 23 Verloren was methode, bron [81]

De hierboven beschreven methode is ook zonder het coaten van het was-model mogelijk. Hierbij wordt het was-model direct in een gietvorm geplaatst en omgeven door een bepaald gietvorm materiaal. Het was-model wordt op dezelfde wijze uit de gietvorm verwijderd door het eruit te smelten.

De methode met de verloren was is uitermate geschikt voor massaproductie. Hierbij kunnen dan meerdere wasmodellen gebundeld worden tot een was-boom.

Gietvorm-materialen voor de verloren was methode

De gietvormen waarin de de was-modellen worden gefabriceerd, kunnen van diverse materialen zijn, waaronder,

- stalen gietvormen, waarin het was onder druk wordt geïnjecteerd
- gips-gietvormen, de gietvorm dient te worden bevochtigd om het vastplakken van het was te voorkomen. Dit bemoeilijkt anders het lossen van het was-model uit gietvorm.
- flexibele gietvormen zoals rubber

De gietvorm vormt het vloeibare was en behoudt deze totdat het was is gestold. In de gietvorm kunnen ook kernen zitten die de interne holten van het was-model vormen. Zowel de gietvorm als de kernen dragen zorg voor het oppervlakte resultaat en dimensionele nauwkeurigheid van het product.

Model-materialen verloren was methode

Omdat het model in dit proces altijd wordt weg gesmolten, is elk model dus van tijdelijke aard. Elk model wordt maar eenmaal gebruikt. De modellen gaan altijd verloren.

Voor het maken van de was-modellen zijn diverse materialen mogelijk.

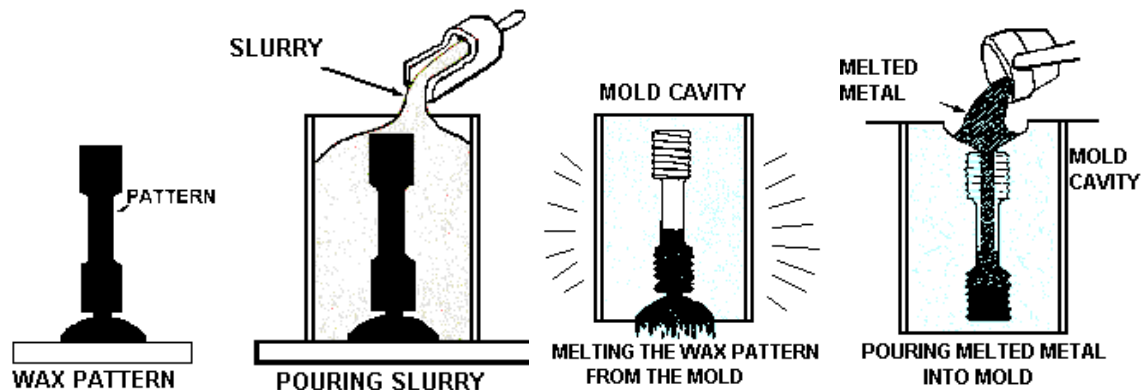
- natuurlijke wassen zoals hars-wassen, bijen-was, planten-wassen
- synthetische wassen zoals parafine-wassen, microkristal-wassen

De smeltpunten van de diverse was-soorten variëren nogal. Smeltpunten van 55 tot 90 graden Celsius zijn bekend.

Aan de was-soorten worden ook wel bepaalde toevoegingen (zoals polymeren) gedaan om verbeteringen te krijgen op het gebied van sterkte en stijfheid van de gietvorm. Enige

nabewerkingen als verwarmen, plaatsen in een drukvat en spuiten van het was-model kunnen zijn mogelijk.

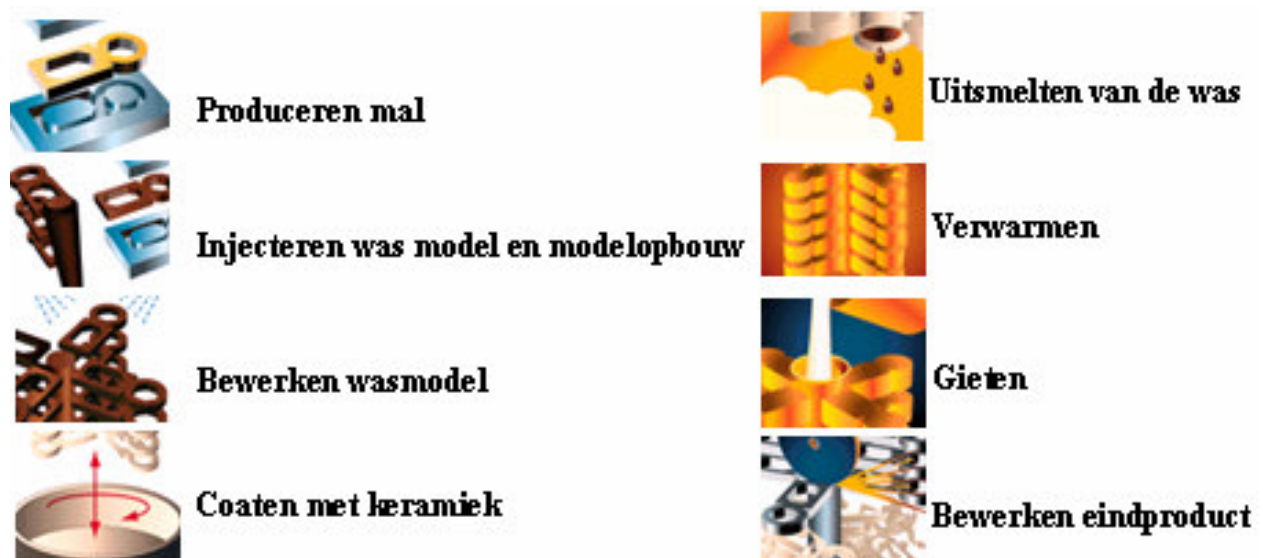
Nadat het was-model compleet is wordt er een vuurvaste coating op aangebracht. Deze coating wordt tot stand gebracht door ondermeer het model onder te dompelen in bad met vloeibaar keramisch materiaal. Ook door middel van spuiten en gieten kan een coating aangebracht worden. Door het aanbrengen van meerdere lagen ontstaat er na droging een stevige en uniforme keramische schil die uiteindelijk het oppervlakte van het gietstuk bepaald. Het drogen van de coating geschiedt meestal door verwarming van het model in een oven. Zoals al eerder gesteld is deze methode ook mogelijk zonder keramische coating van het model. Hieronder een simpele illustratie van het wegsmelten van het was-model (wax-pattern).



Figuur 24 van was model tot gieten van de gietvorm

Vullen van de gietvorm verloren was methode

Het vullen van de gietvorm met vloeibaar metaal kan op verscheidene manieren geschieden. De meest traditionele wijze is waarop van bovenaf wordt gegoten en het vloeibare metaal naar beneden vloeit onder invloed van de zwaartekracht. Een tegenovergestelde methode is waarbij onder druk het gietmetaal van onderaf wordt geïnjecteerd tegen de zwaartekracht in.

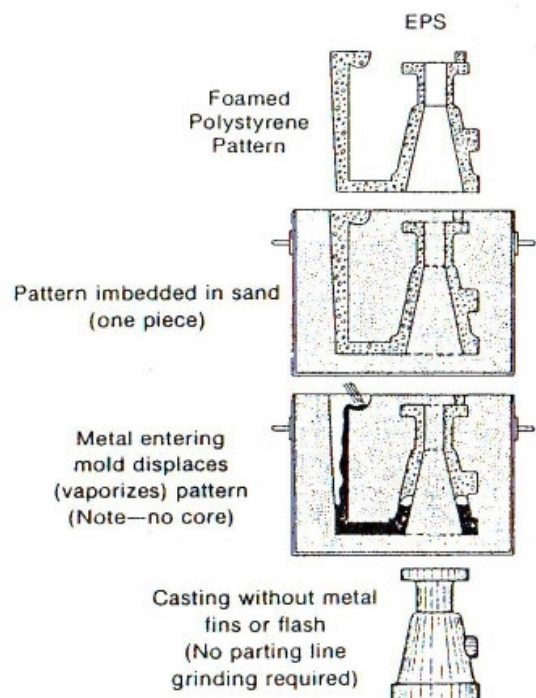


Figuur 25 productie verloren was methode, bron:www.cirex.nl

5.5.3 Verloren schuim methode

Dit proces is erg vergelijkbaar met de hiervoor beschreven ‘verloren was methode’. De modellen worden bij dit proces van schuim gemaakt. De meest gebruikte methode is waarbij de schuimen modellen geplaatst worden in gietvorm en omgeven zijn met ongebonden zand en waarbij daarna door het gieten van het metaal het schuim verdwijnt en vervangen wordt door vloeibaar metaal.

Een variant hierop is dat het schuimen model in wordt omgeven door gebonden zand en waarbij het schuim vooraf wordt verwijderd en vervolgens de holle ruimte wordt opgevuld met gietmetaal. Ook bij deze methode ontstaat er een gietvorm uit één stuk waardoor geen afdrukken van gietvormdeling ontstaan. Zie afbeelding voor illustratie.



Figuur 26 Verloren schuim methode, bron [7]

Gietvorm-materialen verloren schuim methode

De mallen worden meestal gemaakt van (on)gebonden zand. De bindmiddelen kunnen bestaan uit klei, water of kunstmatige toevoegingen. De bindmiddelen dragen zorg voor vormvastheid van het zand voor, tijdens en na het gieten van het vloeibare metaal. Na het stollen is het wenselijk dat het zand makkelijk verwijderbaar is van het gietstuk. Het maken van kernen is met deze methode bijna niet meer nodig.

Model-materialen verloren schuim methode

Een veel gebruikt materiaal voor schuim is polystyreen.

Polystyreen is een product uit ruwe olie en natuurlijk gas en bestaat voor 80% uit koolstof en 8% waterstof. Het vormgeven van het schuim ontstaat door 2 stappen.

De eerste stap is het laten uitzetten van polystyreenkorrels tot een gewenste dichtheid.

Stap twee is het vormen van de polystyreenkorrels in de juiste vorm. En in stap 2 worden korrels tot een geheel gevormd onder invloed van verwarming, stoom en druk.

De modellen uit polystyreen kunnen uit één stuk worden gemaakt of uit meerdere stukken.

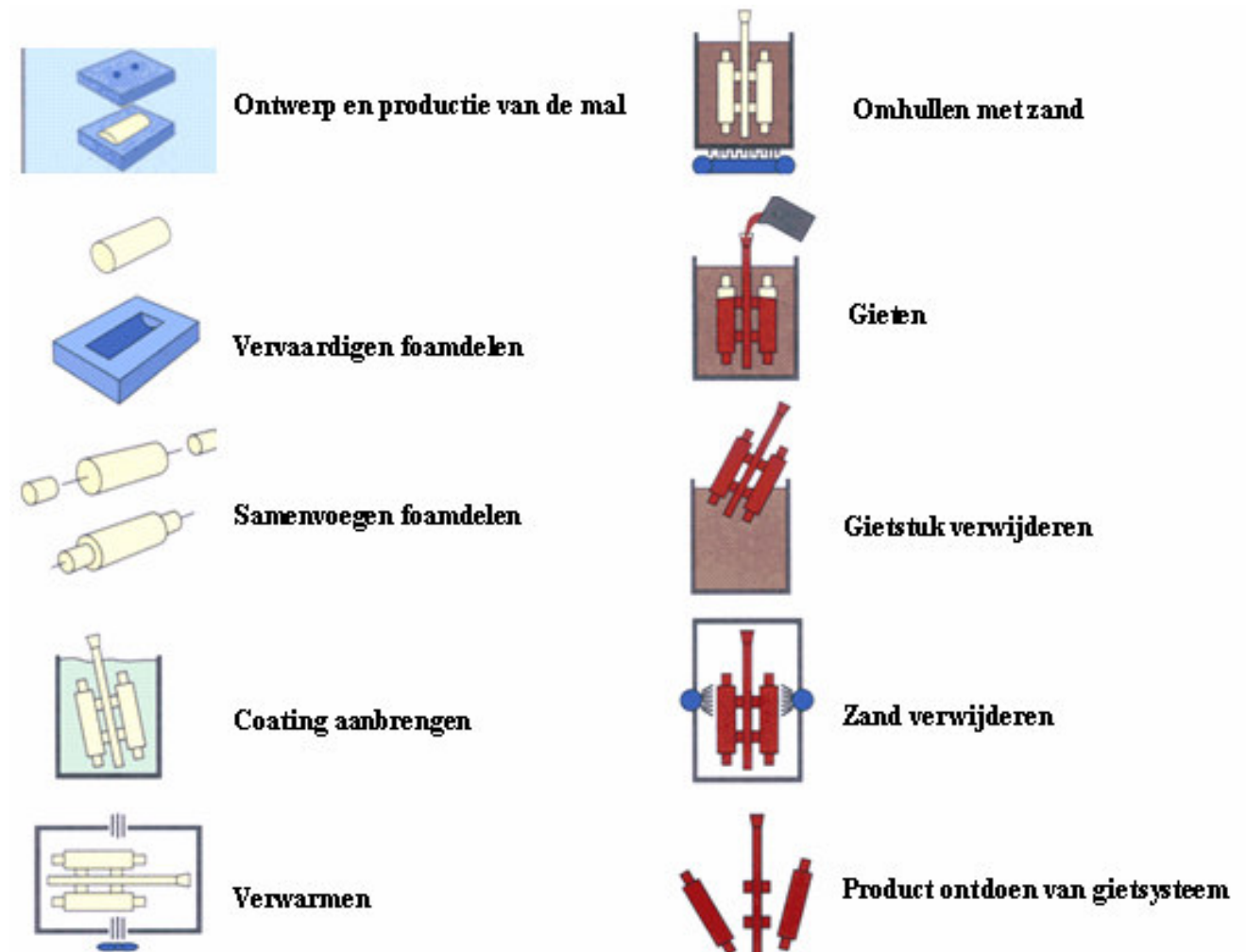
Deze losse stukken kunnen samengevoegd worden tot één geheel door ze te lijmen

Het model wordt omgeven door een hitte bestendig materiaal voordat er gegoten wordt zodat er een keramische coating ontstaat bij afkoeling ervan. Ook bij deze methode wordt de coating tot stand gebracht door ondermeer het model onder te dompelen in een bad met vloeibaar keramisch materiaal, te spuiten of overgieten met vloeibaar keramisch materiaal. Zoals ook bij de verloren was methode is het hier ook mogelijk zonder coating van het model een gietstuk tot stand te brengen.

Vullen van de gietvorm verloren schuim methode

De meest traditionele wijze is waarop van bovenaf wordt gegoten en het vloeibare metaal naar beneden vloeit onder invloed van de zwaartekracht.

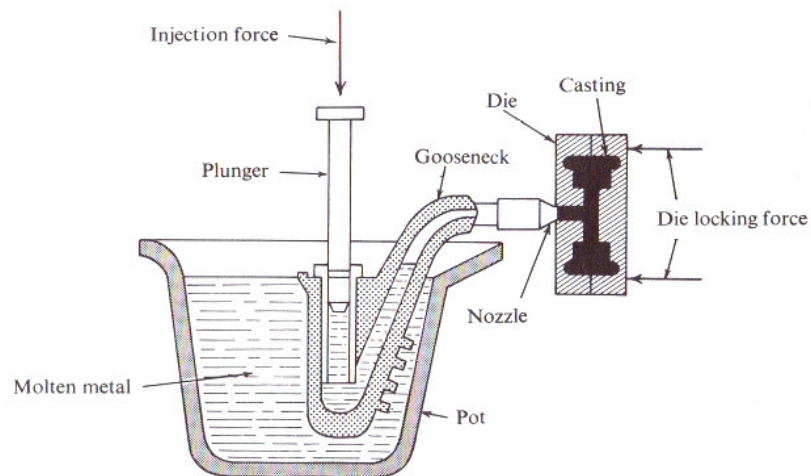
Het polystyrene model, dat zich in een gietvorm met zand bevindt, verdampt en verdwijnt zodra het gietmetaal wordt gegoten.



Figuur 27 Productie verloren schuim methode, bron: www.Lovink.com

5.5.4 Hogedrukgieten

Bij hogedrukgieten wordt gietmetaal met een hoge snelheid en onder druk (of onder invloed van de zwaartekracht) in een stalen matrijs geïnjecteerd. De matrijs wordt vele malen gebruikt. Deze methode wordt met name gebruikt bij massaproductie. Voor enkele stuks of kleine series zijn de matrijskosten veel te hoog.



Figuur 28 spuitgieten, bron [8]

Gietvorm-materialen bij spuitgieten

De gietvorm, ofwel matrijs, wordt gemaakt van staal en bevat de vormholte van het te gieten product. Door vele malen hergebruik van de gietvorm is massaproductie mogelijk. Er is sprake van een permanente gietvorm.

De totale gietvorm bestaat uit twee helften die tijdens het productieproces stevig op elkaar geklemd worden, waarna gietmetaal onder druk wordt geïnjecteerd.

De mallen kunnen simpel tot erg complex van vorm zijn met beweegbare vlakken en kernen hebben.

De kernen voor permanente mallen kunnen van metaal, zand of gips zijn.

Vullen van de gietvorm bij spuitgieten

Het vloeibare gietmetaal wordt onder druk in de vormholte van de gietvorm geïnjecteerd waarbij de beide gietvorm helften stevig op elkaar zijn gedrukt. Hierin kan het gietmetaal afkoelen en stollen waarna het gelost kan worden van de gietvorm.

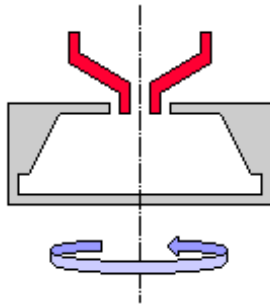
5.5.5 Coquille gieten

De coquille gietmethode maakt gebruik van een permanente metalen gietvorm. De gietvorm bestaat uit twee goed aansluitende delen. Het gietstuk en het daarbij behorende gietsysteem moet lossend zijn ten aanzien van de gietvorm om het gietstuk uit de metalen gietvorm te verwijderen.

Het vullen van de gietvorm geschiedt onder zwaartekracht of lage druk die het vloeibare metaal de vormholte doet instromen. Voor kernen wordt ondermeer zand en metalen kernen gebruikt.

5.5.6 Centrifugaal gieten

Hierbij wordt het gietstuk verkregen door de gietvorm om zijn axiale as te roteren als het metaal erin wordt gegoten. De centrifugale kracht verdeelt het vloeibare metaal in de gietvorm en zorgt voor een grotere dichtheid. Deze techniek is alleen geschikt voor rotatiesymmetrische producten.



**Figuur 29 verticaal
bron [82]**



Figuur 30 horizontaal

5.5.7 Rotatiegieten

Deze methode gebruikt meerdere roterende assen. Twee assen die loodrecht op elkaar staan worden geroteerd. De centrifugale kracht zorgt ervoor dat het vloeibare metaal naar de holle ruimte vloeit en zo de gietvormen vormt.

5.5.8 Maat tolerantie van de gietmethoden

De hiervoor genoemde gietmethoden kennen elk een eigen niveau van maatnauwkeurigheid. De uiteindelijk maat nauwkeurigheid van het gietstuk wordt bepaald door twee factoren:

- Materiaal keuze
- Gietmethode

In het algemeen geldt dat de zandgietmethoden de laagste maatnauwkeurigheid hebben en de verloren was- en schuimmethode de hoogste maatnauwkeurigheid kennen. De onderstaande informatieve tabel uit NEN-EN-ISO 8062-2 illustreert dit. Voor de zandgietmethoden wordt een hogere geometrische tolerantie categorie aanbevolen dan voor de verloren was- en schuimmethode.

Tabel 5 geometrisch tolerantie categorie per gietmethode

Table A.3 — Casting geometrical tolerances grades

Method	Steel	Grey iron	S.G. iron	Malleable iron	Cu alloys	Zn alloys	Light metal alloys	Ni based alloys	Co based alloys
Sand cast, hand moulding	6 to 8	5 to 7	5 to 7	5 to 7	5 to 7	5 to 7	5 to 7	6 to 8	6 to 8
Sand cast, machine moulding and shell moulding	5 to 7	4 to 6	4 to 6	4 to 6	4 to 6	4 to 6	4 to 6	5 to 7	5 to 7
Metallic permanent mould ¹⁾ (except pressure die casting)					3 to 5		3 to 5		
Pressure die casting ¹⁾					2 to 4	2 to 4	2 to 4		
Investment casting	4 to 6	3 to 5	3 to 5	3 to 5	3 to 5	2 to 4	3 to 5	4 to 6	4 to 6
1) During the life cycle of a die or metallic permanent mould the tolerance grade may be increased with 1 tolerance grade									
2) For investment castings applies									
over 100 mm grade 4 to 8									
over 400 mm grade 4 to 9									

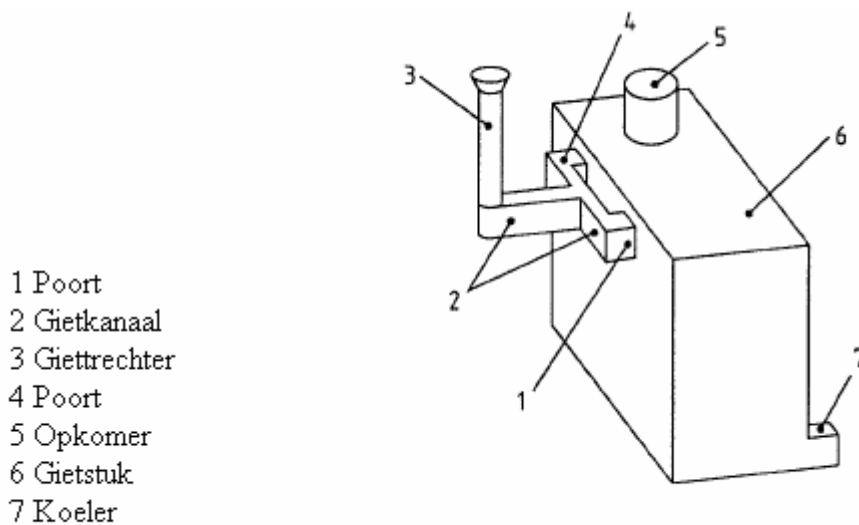
5.6 Het vullen van de gietvorm

De gietvorm wordt gevuld door een geavanceerd gietsysteem. Bronnen: [4-13], [28].

5.6.1 Gietsysteem

Het vullen van de vormholte van de gietvorm met vloeibaar metaal geschiedt via het gietsysteem van de gietvorm. Het gietsysteem is opgebouwd uit:

- Gietbasin
- Giettrechter
- Gietkanalen
- Poorten
- Opkomers
- Koelblokken



Figuur 31 Schematisch Gietsysteem, bron: NEN-EN 8062-1

Het gietsysteem van de gietvorm is niet bepalend voor de uiteindelijke vorm van het gietstuk maar moet zorg dragen voor een compleet en juist gevulde gietvorm.

Een goed gietsysteem heeft als kenmerken:

- De stroom van vloeibaar metaal geschiedt met zo weinig mogelijk turbulentie, dit ter voorkoming van oxidatie van het metaal, luchtinsluitingen, inname van malgassen en zand, en andere insluitingen ten gevolge van erosie en slak.
- Het metaal gaat de gietvorm in zodanig, dat er temperatuurgradiënt in het metaal en in de maloppervlakten ontstaat die zorg draagt dat de stolling progressief verloopt in de richting van opkomers en de vulkanalen
- Het gietsysteem moet groot genoeg zijn, zodat het gietstuk gegoten kan worden en dat percentage afwijkingen binnen de marge blijft.

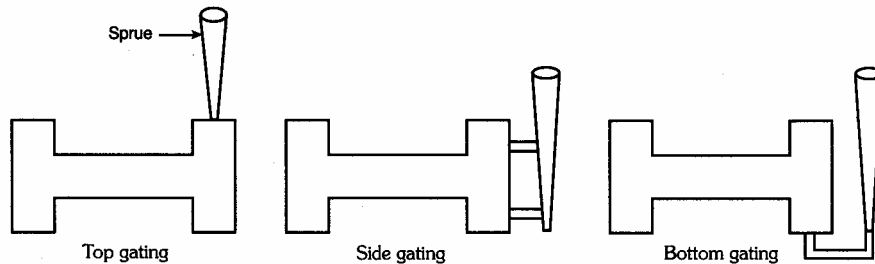
Het verhitte gietmetaal is boven zijn smelttemperatuur een vloeibaar materiaal. De viscositeit is dan vergelijkbaar met dat van water, het gedraagt zich als een vloeistof. Het gedrag van dit materiaal tijdens het gieten kan dan ook benaderd en geanalyseerd worden met de hulp van vloeistof mechanica. In het gietsysteem, waardoor het gietmetaal vloeit, zijn verschijnselen waar te nemen als turbulente- en laminaire stroming. Turbulentie ontstaat bij scherpe hoeken en plotselinge veranderingen van richting in het stromende vloeibare metaal. Het gietsysteem

bestaat daardoor uit gestroomlijnde kanalen waarbij scherpe hoeken gemaakt worden met een bepaalde minimum radius.

Zoals al eerder gesteld kan het gieten gebeuren onder druk en zonder druk. Bij het gieten onder druk wordt dus het gehele gietsysteem onder druk gehouden. Gieten zonder druk geschiedt onder invloed van de zwaartekracht. Het gietsysteem staat niet onder druk.

Het gietsysteem kent diverse configuraties ten aanzien van waar het vloeibare metaal de gietvorm binnen komt. Er kunnen drie hoofdvormen worden onderscheiden:

- top gietsysteem, voeding van bovenaf
- zijkant vulsysteem, voeding van de zijkant
- onderkant gietsysteem, voeding van onderaf



Figuur 32 orientatie gietsysteem, bron [7]

Bij een gietsysteem van onderaf kan nog onderscheid worden gemaakt in voeding van onderaf horizontaal en verticaal.

Vullen van boven is over het algemeen de snelste methode en vulling van de zijkant is de methode die meer tijd in beslag neemt. Vulling van onderaf scoort ten aanzien van snelheid er tussen in.

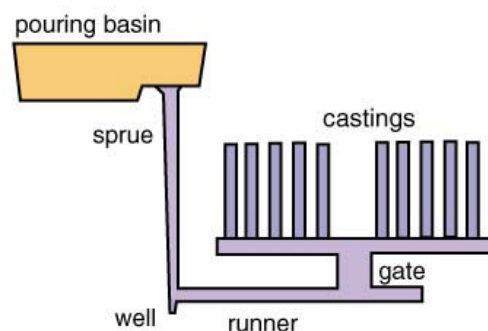
Vulling van onderaf is wel de meest gecontroleerde manier van vullen met vloeibaar metaal. Het metaal stroomt op de meest gecontroleerde manier door de giettrechter en stijgt dan op in een gelijkmatige wijze in de vormholte. Dit is zeer gunstig ten aanzien van bijvoorbeeld de stabiliteit van mallen van zand en ook gunstig ten aanzien van insluitingen van vervuilingen als gassen.

Giettrechter

De giettrechter dient voor een gemakkelijke toegang waar het metaal in gegoten kan worden. Het verloop van de giettrechter is bij voorkeur niet geheel conisch vanwege de vortexwerking die luchtballen kan meenemen. Een vlakke kant kan volstaan om het ontstaan van luchtballen en luchtinsluitingen in het metaal te voorkomen.

Gietbasin

Een gietbasin helpt bij het scheiden afval en slak van het gietmetaal voordat het door het gietsysteem vloeit.



Figuur 33 gietsysteem met gietbasin, bron: [74]

Poort

De poorten die zich aan de eindpunten van gietkanalen bevinden, zijn de uiteindelijk toegang tot de vormholte. Hierdoor vloeit het vloeibare metaal vanuit het kanaal de vormholte in. De poorten moeten ervoor zorgen dat het vloeibare metaal soepel de gietvorm inloopt en voorkomt dat het metaal gaat spatten.

Opkomer

Een opkomer ofwel voeder (riser or feeder) is een reservoir dat in verbinding staat met gietholte. Tijdens het gieten wordt ook de opkomer(s) gevuld met gietmetaal. Vanuit de opkomer wordt het tekort aan gietmetaal aangevuld dat ontstaat door het slinken van het metaal door afkoeling. Er is dus een duidelijk onderscheid in functie van de opkomer en het gietsysteem.

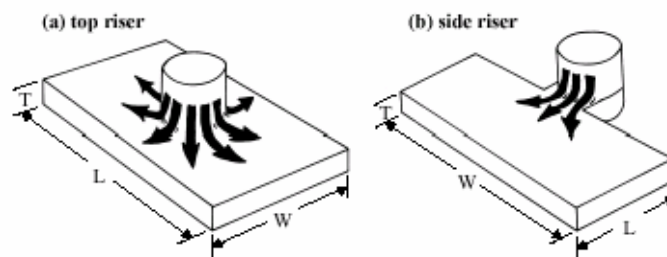
Het gietsysteem vult de vormholte met gietmetaal tijdens het gieten en de opkomer vult het gietstuk aan bij het slinken tijdens het stollen van het vloeibare metaal. De positie en grootte van alle opkomers wordt ook wel het voedingssysteem genoemd.

Het tijdsbestek van het vullen kan soms maar een paar seconden vergen, terwijl het 'voeden' van het gietstuk via de opkomers tijdens het stollingsproces wel een paar minuten kan vergen. Bij hele grote gietstukken kan het gieten zelf minuten vergen en het 'voeden' tijdens stollingsproces zelf uren in beslag nemen.

Ten aanzien van de opkomer kunnen twee belangrijkste eisen worden gesteld. De eerste is dat de opkomer op later dan het gietstuk moet gaan stollen. Tegenwoordig kan dit probleem worden opgelost met behulp computersimulatie van het stollingproces.

De tweede eis is dat de opkomer genoeg vloeibaar metaal moet bevatten om aan de volume verkleining van het gietstuk te voldoen.

Een voeder kan op diverse manieren geplaatst worden in het gietsysteem, zowel voor horizontale voeding en verticale voeding van het gietstuk. Zie afbeelding.



Figuur 34 opkomers bovenaf of zijkant, bron [50]

Koelblokken

De koelers kunnen zowel intern als extern worden toegepast. De koeler zorgt dat het aanliggende metaal als eerste stolt. De koelers zijn vaak gesitueerd in de uiteinden van een gietstuk, zover mogelijk van het gietsysteem en de opkomers vandaan. Koelers worden gebruikt om het stollingsproces te stimuleren op bepaalde plaatsen en zo een juiste stollingsrichting in gang te brengen, van uiteinde naar de opkomers toe.

Materiaal gebruik voor externe koelers zijn onder meer ijzer, grafiet, chromiet, koper en andere.

Koelblokken compenseren de slink tijdens het stollen dus niet, maar verplaatsen en sturen de richting van de stolling.

5.6.2 Insluitingen beheersing

Er worden diverse technieken toegepast ter aanvulling op het gietsysteem die tot doel hebben om de vervuilingen en insluitingen in het vloeibare metaal te verwijderen. Bekende en gebruikte technieken zijn onder meer de toepassing van speciale vormen van slakvangers, filters en draaikolk opvang.

De laatst genoemde techniek, draaikolk opvang, centrifugeert insluitingen met een lagere dichtheid na het middelpunt waar het opgevangen wordt. Het metaal met een hogere dichtheid wordt onder invloed van de centrifugale kracht naar de buitenkant geslingerd waar het ontsnapt door een uitgang. Hierna vervolgt het vloeibare metaal zijn weg naar de gietvorm. De slakvangers, filters en draaikolk opvangs zijn technieken die in het gietsysteem kunnen worden opgenomen ter bevordering van de materiaalkwaliteit van het gietstuk. Afhankelijk van ondermeer het gietmateriaal en het gietsysteem wordt voor een bepaalde filtertechniek gekozen.

Filters hebben niet alleen de functie om insluitingen eruit te filteren, maar dienen ook laminaire stroming van het vloeibare metaal te genereren.

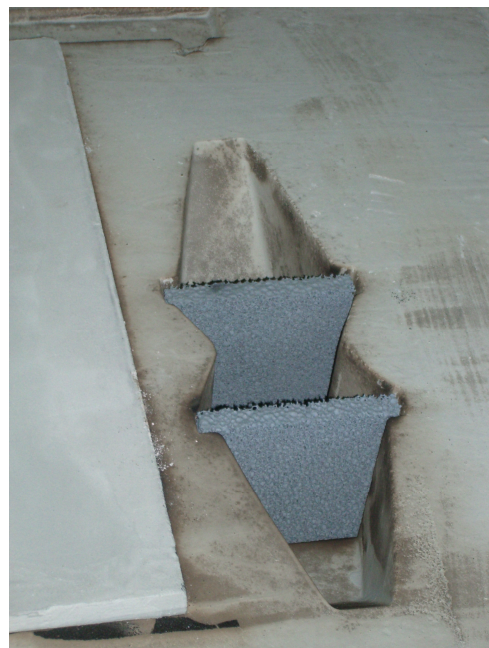
Onderstaand figuur geeft een voorbeeld (uit het tijdschrift Foundry Januari 2006) van een filtermateriaal, in dit geval gaat het om een keramische schuim filter. Het gesmolten metaal stroomt door deze filter en absorbeert en trekt kleine insluitingen aan.

Afhankelijk van het gebruikte gietmetaal, gietstaal of gietijzer, hebben deze filters een andere coating.

Een voorbeeld van plaatsing van zo'n filter is weergegeven in onderstaand figuur, hier is een filter aangebracht in het gietsysteem van een zandmal bij Soester Gieterij.



Figuur 35 keramische filters, bron [28]



Figuur 36 plaatsing filter in gietsysteem, Soester gieterij

Filters worden horizontaal, verticaal of schuin geplaatst, en meestal onderin de gietvorm op de deellijn. Plaatsing in het gietstysteem van de filters is na de debietbepalende vernauwing in het gietkanaal (ook wel choke genoemd), het metaal is drukloos bij het filter en kan goed filteren.

5.6.3 Aandachtspunten

Een aspect dat bij het produceren van gietstukken van gietmetaal veel aandacht verdient, is het stollingsverschijnsel. Het belangrijkste fenomeen is dat zich hierbij voordoet is het slinken van het volume. Een effect dat hierbij komt kijken zijn de vorming van krimpholten. Bij de productie van gietstukken probeert men om deze vorming van krimpporositeit tot een minimum te beperken, aangezien dit een nadelige werking op de kwaliteit van het gietstuk. Tijdens het stollingsproces verlaat warmte energie geleidelijk het vloeibare metaal. Dit proces wordt voornamelijk beïnvloed door drie aspecten:

- warmte transport
- vorm en afmeting van het gietstuk
- gietvorm- en gietmateriaal

5.6.4 Stollingsverschijnsel

Metalen in vast vorm hebben een kristal structuur, elk kristal is opgebouwd uit atomen die in een bepaald patroon zijn gestructureerd. De verschillende soorten metalen vertonen verschillende kristalstructuren.

Stolling op atomair niveau

Als metaal wordt verwarmd wordt de bewegingsenergie van de atomen groter dan de onderlinge aantrekkingskracht tussen de atomen, en wordt het volume waarin ze zich begeven groter. Dit is de oorzaak waarom metalen uitzetten als ze worden verwarmd. Bij het stollen, neemt de bewegingsenergie af en de onderlinge aantrekkingskracht tussen de atomen toe en gaan zich rangschikken naar een bepaalde atoomrooster.

Stolling op macroschaal

De kwaliteit van het gietstuk is erg afhankelijk van het verloop van het stollingsproces. Bij een onjuist verlopen stollingsproces ontstaan al snel afwijkingen in het materiaal. Een gietstuk stolt niet als een geheel in één keer, maar verloopt geleidelijk door het gietstuk heen.

De vorm en afmeting van het gietstuk speelt hierbij een belangrijke rol. Bijvoorbeeld de dunste onderdelen van het gietstuk stollen het eerste onder de invloed van de koude omgevende gietvorm (geforceerde koeling van de gietvorm of een gietvorm op kamertemperatuur) die op deze onderdelen de grootste invloed uitoefent. En bij dit gebeuren onttrekken deze dunste onderdelen vloeibaar metaal van de omgevende dikkere en zwaardere onderdelen van het gietstuk. Op hun beurt stollen deze zwaardere en dikkere onderdelen, waarbij zij weer vloeibaar metaal onttrekken aan de omgeving.

In een goed ontworpen gietstuk verloopt het stollingproces progressief door het gietstuk heen. De zwaardere onderdelen in het gietstuk voeden de dunnere en lichtere onderdelen met vloeibaar metaal. Dit proces zet zich voort totdat de laatste onderdelen stollen en zij vloeibaar metaal onttrekken van opkomers (een onderdeel van het gietsysteem om het volumekrimp op te vangen). Dus een goed ontwerp van het gietsysteem oefent grote invloed uit op het stollingsproces en is zeer van belang voor de uiteindelijke kwaliteit van het gietstuk.

Tijdens het gieten moet het zo zijn dat de uiteinden van het gietstuk de laagste temperatuur in het gietmetaal vertonen en in de opkomers van het gietsysteem de hoogste temperatuur. Op deze wijze zullen de opkomers als laatste stollen.

Wanneer het gietstuk afkoelt en daardoor stolt, zal bewegingsenergie van de atomen in de kristalstructuur met de tijd afnemen. Gestolde kernen ontstaan hierbij die steeds groter en dikker worden. Het gegoten metaal gaat geleidelijk krimpen door dit verschijnsel.

Wanneer een gietstuk is gegoten in de gietvorm, zal het oppervlakte van het gietstaal, dat zich direct naast de maloppervlakte bevindt, onder invloed van de lagere temperatuur van de

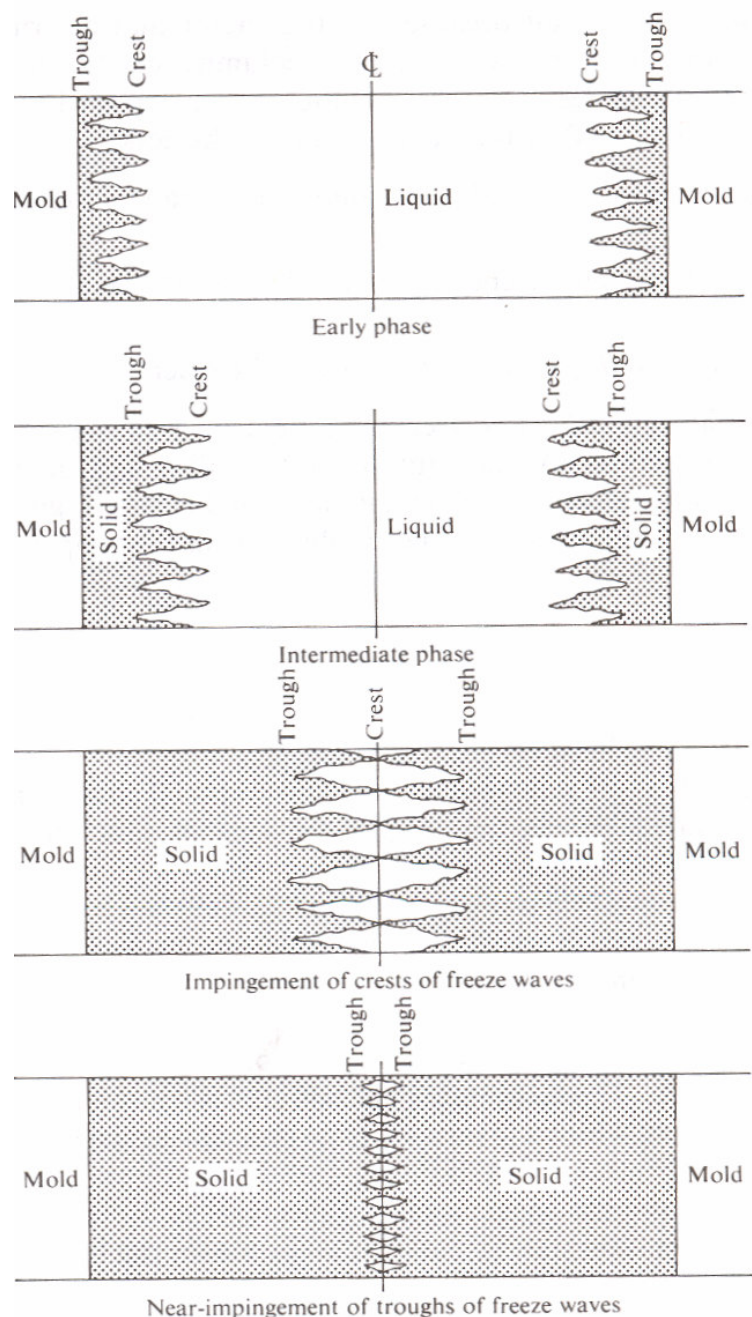
gietvorm als eerste de stollingstemperatuur bereiken en gaan stollen. Er wordt dus warmte onttrokken van de buitenste laag van het gietmetaal en het stollen zet zich voort binnenwaarts naar het midden. Het stollingsproces verloopt van buiten naar binnen, zie figuur 33.

Figuur 34 geeft schematisch weer dat het stollen bij de wanden begint. Het gestolde metaal breidt zich uit met takvormige dendrietten.

Een ander stollingsfenomeen doet zich voor bij hoeken. Bij externe hoeken van het gietstuk stolt het metaal sneller door het grotere volume van de gietvorm die er warmte kan onttrekken aan het gietmetaal. Interne hoeken van het gietstuk stollen minder snel door een kleiner volume aan materiaal waarvan het kou kan onttrekken.

Tijdens het stollen ontstaat als het ware een stollingsgolf die een bepaalde richting heeft. Het stollingsgedrag begint met de groei van gestolde boomstructuur die zich binnenwaarts voortzet.

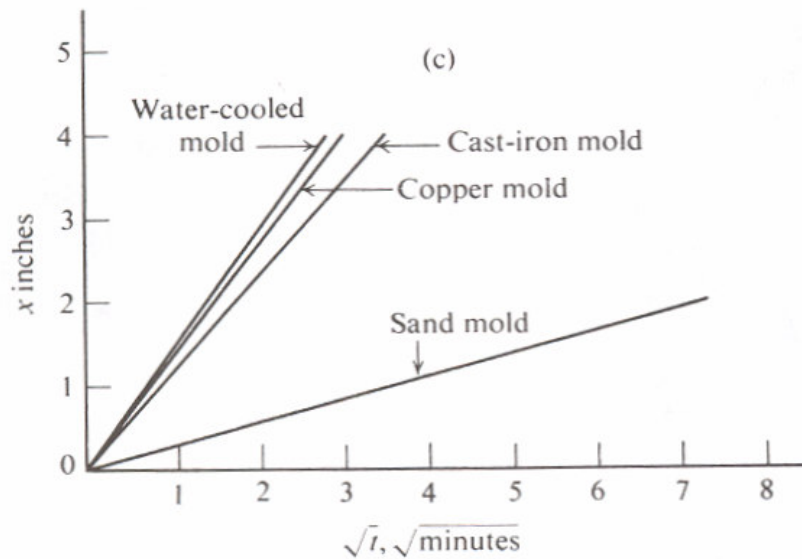
Een illustratie hiervan is te zien in figuur 37.



Figuur 37 stollingsrichting, bron [8]

Een gietvorm materiaal dat een hoge thermische capaciteit bezit draagt bij aan een hogere snelheid van progressieve stolling dan een gietvorm materiaal met een lager thermische capaciteit.

Zowel het materiaal van de gietvorm als de vorm van het gietstuk dragen bij aan de mate en richting waarin de stollingsgroei zich door het gietmetaal manifesteert.



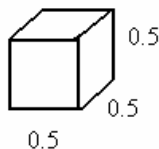
Figuur 38 invloed gietvorm materiaal op stollingsnelheid, bron [8]

Om een indicatie te kunnen geven over de totale stollingstijd van het gietstuk is een gebruikte parameter als de volume/oppervlakte verhouding:

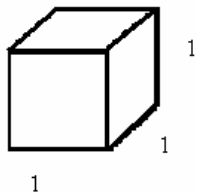
$$Tijd = \left(\frac{Volume}{Oppervlakte} \right)^2$$

Hiermee kan een vergelijking worden gemaakt van de stollingstijd van geometrisch overeenkomstige gietstukken alleen met een andere afmeting.

Met behulp van deze parameter valt bijvoorbeeld een vergelijking af te leiden dat een stalen kubus met ribben van 0.5 meter 4 keer zo snel stolt als een kubus met ribben van 1 meter.



$$\left(\frac{Volume}{Oppervlakte} \right)^2 = 1/36$$



Gietstukken met dezelfde volume/oppervlakte verhouding maar met een compleet andere geometrische vorm (bijvoorbeeld platen in vergelijking met cilinders) kunnen toch een geheel verschillende stollingstijd vertonen. Dit wordt veroorzaakt door de vorm- en afmeting verschillen die van grote invloed zijn op het stollingsproces.

Simulatie stolgedrag met software

Een simulatiepakket simuleert de stolling op macroniveau. Elke legering kent een andere stolling, en de software dient daarop geijkt te worden. Het simulatiepakket voorspelt het stollingsgedrag en de navoeding vanuit nog vloeibare zones.

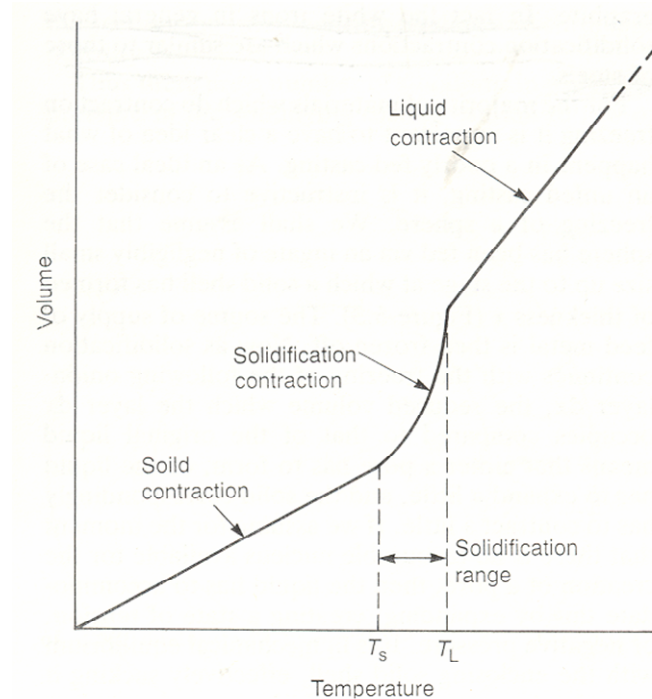
5.6.5 Volume krimpverschijnsel

Het gesmolten metaal in de oven beschikt over een aanzienlijk groter volume dan het uiteindelijk afgekoelde en gestolde gietstuk. Dit verschil in volume voor en na het gieten verdient aandacht voor, na en tijdens het gietproces. Een uitzondering hierop is een aantal soorten grijs gietijzer dat juist uitzet. Het verschijnsel volume krimp van het gegoten metaal in drie stappen:

- Vloeibare slink
- Stollingsslink
- Krimp in vaste toestand

Deze drie stappen in het verschijnsel krimp is in figuur schematisch weergegeven.

Krimpen is de volumereductie in vaste fase en slink is de volumereductie tijdens het stollen.



Figuur 39 stollingsstadia, bron [8]

Zoals de afbeelding weergeeft zijn er drie stadia in het verschijnsel volume krimp. Het eerste stadium, vloeibare krimp, is volgens het normale verschijnsel dat het materiaal krimpt bij een dalende temperatuur. Het verloop hiervan is lineair van aard. Tijdens het gietproces is het dit stadium van slink dat weinig tot geen problematiek kan veroorzaken. De volume slink in de vloeibare fase kan gemakkelijk gecompenseerd worden door het verlies in volume aan te vullen via opkomers in het gietsysteem.

Het tweede stadium in het slinkverschijnsel, de stollingsslink, geschiedt bij stollingstemperatuur van het metaal. De atomen herschikken zich van een redelijke openstructuur naar een meer gesloten pakket.

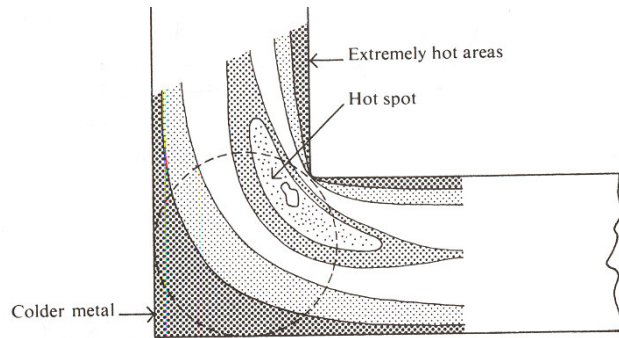
Het laatste stadium in de volumieke krimp is in vaste toestand. Het volume blijft krimpen onder invloed van de dalende temperatuur tot de omgevingstemperatuur is bereikt.

Een van de problemen hierbij is dat het gietstuk wil krimpen en verhindert kan worden door de gietvorm waarbij een bepaalde mate plastische vervorming kan optreden. Ook problemen als 'Hot Tearing' en koudscheurvorming kunnen optreden tijdens deze fase.

De krimp in vaste fase zorgt er voor dat het gietstuk uiteindelijk kleiner is dan de gietvorm waarin het gegoten is. Om krimp te compenseren wordt wel een krimptoetslag van 2-5 procent op de modelplaat gezet. Het model is dus niet exact 1:1 maar iets groter.

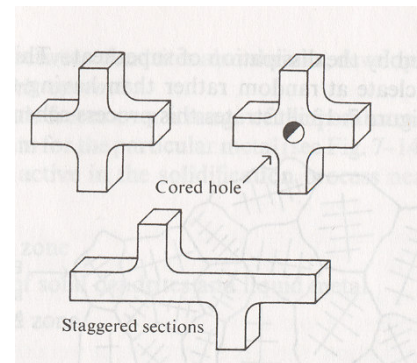
Hoekpunten en kruisingen

Het stollingsproces bij kruisingen en hoekpunten verdient speciale aandacht, omdat deze meer massa bevat dan de aansluitende wanden. Het verschijnsel van het optreden van 'Hot Spots' is bekend fenomeen. Een hot spot is de locatie in de kruising/hoekpunt die als laatste stolt. De locaties waar Hot Spots optreden in aangegeven in onderstaande figuur.



Figuur 40 plaats van hot spot, bron [8]

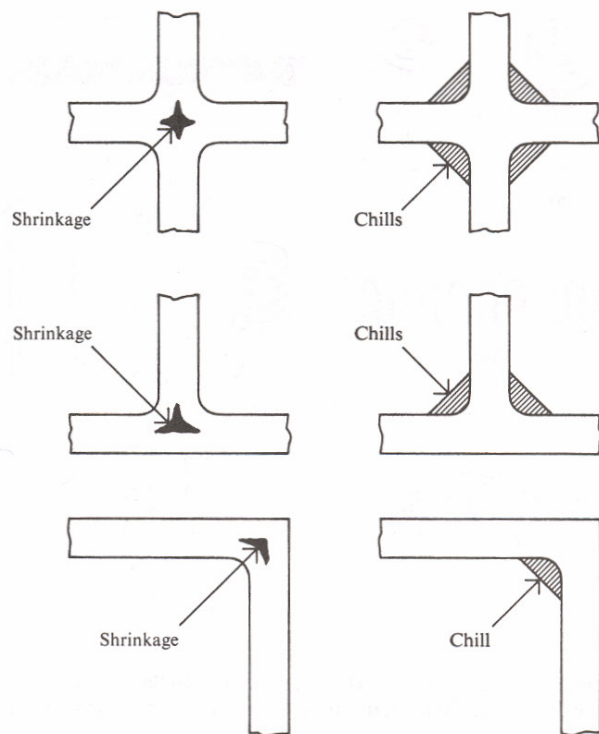
Bekende vormen van kruisingen en hoekpunten zijn; L-, V-, X- en T vormige. De X-vormige kruising vertoont hierbij een groter risico op hot spot problematiek. Oplossing hiervoor zijn een holle kern toepassen in de kruising of een verplaatsing van de aansluitende wanden ten opzichte van elkaar, zie afbeelding.



Figuur 41 voorkomen van hot spots, bron [8]

Koelers

Ook kunnen externe koelers worden gebruikt die tot doel hebben om de kruising/hoekpunt een gelijke stollingsproces te laten doorgaan net als de omliggende omgeving zodat geen problemen ontstaan ten aanzien van verschillende krimptijden. Zie afbeelding.



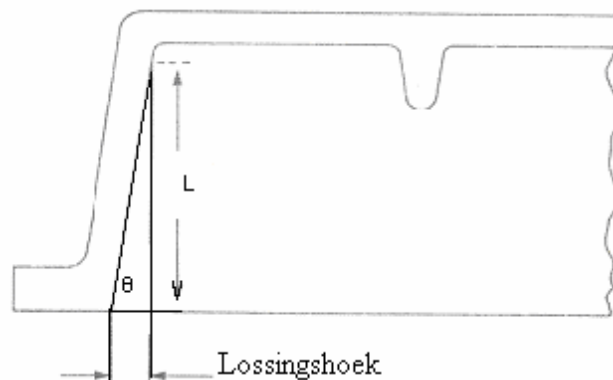
Figuur 42 externe koelers ter voorkoming van hot spots

5.7 Nabewerkingen / Eindproduct

5.7.1 Lossen (ontmallen)

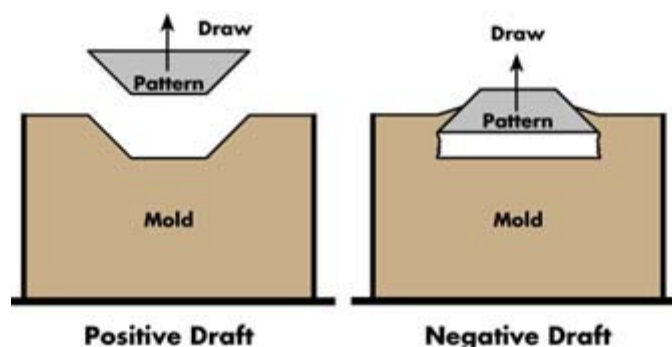
Als het gietstuk eenmaal gegoten, gestold en afgekoeld is, volgen de nabewerkingen van het gietstuk zodat het afgeleverd kan worden aan de afnemer.

De eerste stap is dat het gietstuk verwijderd dient te worden uit gietvorm. Bij de zandgiet technieken is dit een relatief simpel proces waarbij zowel handmatig en machinaal ontmallen van het gietstuk mogelijk is. Met name bij de zandgietsysteem is voor het ontmallen een bepaalde lossingshoek nodig die ervoor zorgt dat het gietstuk te lossen is van de gietvorm. Zie onderstaande afbeelding.



Figuur 43 lossingsschuinite, bron [35]

Er dient opgelet te worden dat de lossingsschuinite correct wordt toegepast. Een negatieve lossingsschuinite kan leiden tot een incorrecte manier van lossen, zie onderstaande afbeelding.



Figuur 44 lossingshoek correct en incorrect, bron [74]

Bij de verloren was- en schuimmethode is het ontmallen wat arbeidsintensiever door het verwijderen van de brandvaste keramische schil die in de gietvorm is aangebracht. Dit gebeurt onder andere door mechanische methoden als trillende hamers en dergelijke. Andere technieken zoals elektrische schok technieken, hoge waterdruk systemen bij het ont-mallen komen ook voor. De achterblijvende keramische resten die bij sommige verwijderingstechnieken aanwezig kunnen blijven, zijn te verwijderen met chemische middelen. Het verwijderen van de gehele keramische laag is met chemische oplossing mogelijk maar kosteneffectief niet wenselijk. Vandaar dat meestal een combinatie van technieken worden gebruikt in het proces van ontmallen en nabewerking.

Vervolgens wordt het gietsysteem ontdaan van het gietstuk. Met behulp van zaag en slijptechnieken kan het gietsysteem worden verwijderd. Het mechanisch verwijderen van de gestolde gietrechter en opkomers kunnen oppervlakte afwijkingen veroorzaken. Vandaar dat

ook het ontwerp en plaatsing van het gietsysteem van invloed is op de uiteindelijke interne en externe kwaliteit van het gietstuk.

Het schoonmaken van het gietstuk is mogelijk met onder andere water- en luchtspuut en mechanische technieken. Het oppervlak van het gietstuk kan zo ontdaan worden van enig achtergebleven vuilresten.

5.7.2 Warmte behandeling

Afhankelijke van de gewenste materiaaleigenschappen kan in deze fase productieproces het gietstuk nog een warmtebehandeling ondergaan. Zo'n warmte behandeling draagt bij aan bepaalde eisen ten aanzien van de gewenste materiaaleigenschappen als treksterkte, hardheid, stijfheid en corrosieweerstand eigenschappen.

5.7.3 Oppervlakte behandeling

Om de gewenste oppervlakte kwaliteit te verkrijgen is binnen de gieterij voldoende mogelijk. Stralingstechnieken (zandstralen, grit blasting met ijzer of staal korrels), schuren, slijpen en aanbrengen van coating en verflagen zijn allemaal mogelijk om de oppervlaktekwaliteit (uitgedrukt in een mate van ruwheid) te verbeteren.

5.7.4 Inspectie

De verscheidene stadia in het gehele productieproces van het gietstuk oefenen invloed uit op de uiteindelijke kwaliteit van het product. De keuze van gietvorm-materialen en vormen, gietmethoden, lossingstechnieken en nabewerking kunnen alle imperfecties en discontinuïteiten veroorzaken in het gietstuk, zowel interne als externe afwijking zijn het gevolg.

Om de kwaliteit van het eindproduct te kunnen waarborgen, zijn er diverse inspectie methoden voor handen om een controle uit te voeren om een scala aan imperfecties te kunnen detecteren.

Bekende en veel voorkomende afwijkingen in en op het gietstuk zijn:

- slakvorming
- insluitels als lucht, gassen, zand, slak e.d.
- scheuren zoals Hot tearing, cold cracking
- krimpporositeit
- braamvorming bij vormdelingen
- vormafwijkingen
- maat afwijkingen

De beschikbare inspectiemethoden die ontwikkeld zijn kunnen ingedeelde worden in

- non destructieve inspectiemethoden
- destructieve inspectiemethoden

Non destructieve methoden zijn onder andere:

- visuele inspectie
- penetrante vloeistoffen inspectie
- chemische inspectie
- magnetische inspectie
- elektromagnetische inspectie
- ultrasone inspectie
- radiografische inspectie

Ze zijn erop gericht om de afwijkingen te detecteren aan het oppervlak en interne materiaalfouten op te sporen. Elke inspectiemethode biedt zijn eigen mogelijkheden om oppervlakte en/of interne aan te tonen.

Non destructief testen is erop gericht om het gietstuk te behouden voor gebruik na inspectie. Dit in tegenstelling tot destructief testen.

Bij destructief testen valt bijvoorbeeld te denken aan het beproeven van materiaal samples en het uitvoeren van testen ter bepaling van bepaalde materiaaleigenschappen (bijvoorbeeld het uitvoeren van een trekproef). Hierbij kunnen kwaliteitswaarborgingen van materiaaleigenschappen gecontroleerd worden of ze aan de eisen van de ontwerper voldoen.

5.7.5 Eindproduct

Nadat alle testen en inspectiemethoden zijn verricht is het aangetoond dat het gietstuk voldoet aan de vooraf gestelde eisen. Eventuele nabewerkingen kunnen nu volgen.

Het aanbrengen van coating en andere mogelijke afwerkings- of kleurlagen kunnen al naar gelang van de wensen van de opdrachtgever plaatsvinden. Coating kan bijvoorbeeld dienen ter bescherming tegen vocht en andere weersinvloeden waaraan het gietstuk onderhevig kan zijn. Uiteraard is een en ander afhankelijk van het uiteindelijke doel van het gietstuk.

Toepassing van het gietstuk voor buiten, binnen, verschillende soorten belastingen (thermisch, druk of trek) vereisen verschillend nabewerkingen.

Al met al is het gietstuk een prefab element die naar geheel naar de wensen van de opdrachtgever ontworpen, gevormd en nabewerkt kan worden.

5.8 Alternatieven op Gieten

Bij het bewerken en (ver)vormen van staal voor de productie constructiedelen zijn een aantal alternatieven op gieten. Om een idee te geven wordt een beknopt overzicht gegeven van mogelijk productie/vervaardigingstechnieken voor staal.

Draaien

Bewerking van staal met een draaibeitel tegen een ronddraaiend stuk staal.

Frezen

Hierbij volgt het te vormen stuk staal een rechtlijnige beweging

Plastisch vervormen

Hierbij valt te denken aan zetten, kanten, rolvormen, dieptrekken, smeden, persen, walsen

Scheidend vormgeven

Knippen, ponsen e.d.

Verbinden vormgeven

Stukken metaal verbinden door felsen, lassen, bouten e.d.

Al deze technieken bieden hun eigen voor- en nadelen mogelijkheden en onmogelijkheden ten aanzien van vormgeving, tolerantie, productieaantallen, kosten, grootte, toepassingsgebied enzovoorts.

Met het gieten heeft de ontwerper een geheel eigenzinnige productiewijze voor constructiedelen.

6 Gietstuk als verbindingselement

Gietstukken zijn uitermate geschikt als constructieve toepassing in verbindingen. Een aantal voorbeelden ter illustratie volgen in dit hoofdstuk. Bronnen: [40-69], [21-26], [29-34], [41], [46], [51].

6.1 *Huidige toepassingen verbindingen*

Gietstukken als verbindingselement in staalconstructies wordt al enige tijd toegepast. Het gietstuk draagt constructief bij aan de samenhang van de totale constructie. De voordelen onder meer op het gebied van de vormvrijheid, geleidelijke doorsnede overgangen en de daardoor gunstigere optredende spanningen worden daarmee benut.

Huidige toepassingen als gietstukken zijn onder andere:

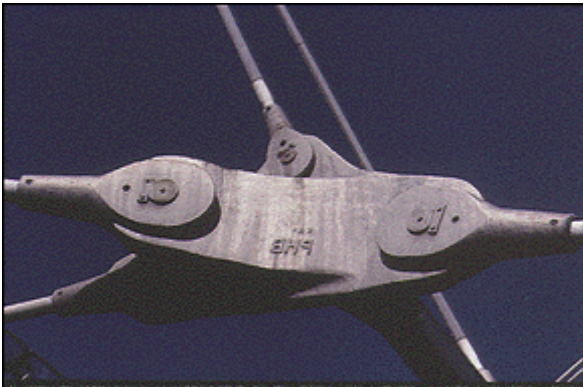
- verbindingen met kabels en massieve staven zoals hangers
- kabel zadels
- verbindingen van buisprofielen
- knooppunten in ruimtevakwerken
- kolomvoeten
- kolom ligger verbindingen
- verbindingen in boomstructuur
- andere combinaties en complexe vormen van verbindingen

De constructieve toepassing belasten de gietstukken mogelijk op trek-, druk-, schuif- en/of buigspanningen.

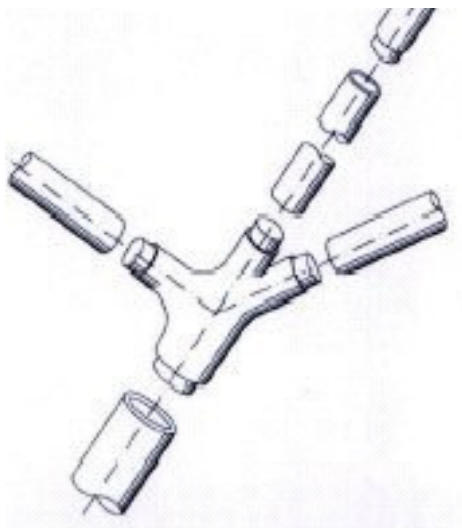
Het gietstuk kan gebruikt worden als een alternatief op gelaste, geboute en andere soorten verbindingen. Met het gietstuk is het mogelijk om een homogene verbinding te maken die geoptimaliseerd kan worden ten aanzien van piekspanningen en een benodigde wanddikte daar waar nodig. Een positief gevolg hiervan is dat gietstukken over het algemeen veel lagere restspanningen bezitten in vergelijking met bijvoorbeeld gelaste verbinding.

Ter illustratie van een klein aantal van de huidige toepassing zie de afbeeldingen op volgende pagina's.

olympiadak München



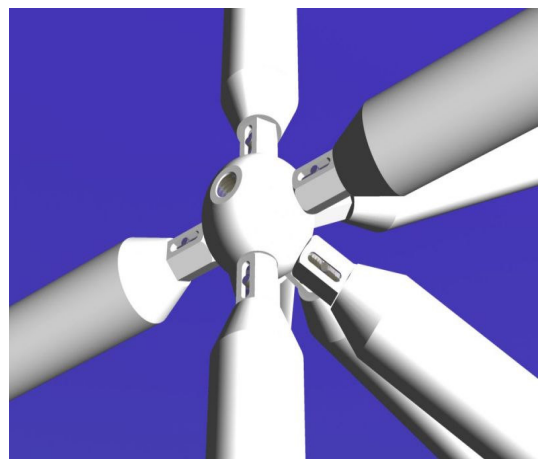
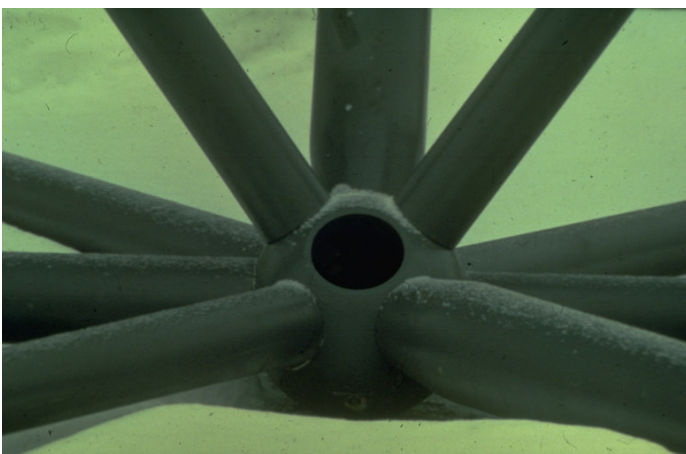
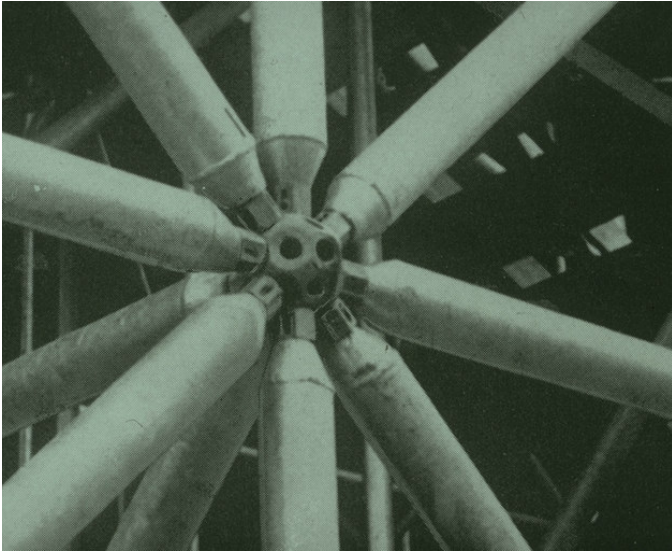
Hanger



holle buis verbinding



Knopen in spaceframes



Gevelconsole Centre Pompidou



Kolomvoet



boomstructuur



Kabelklem hangbrug



kolom boomstructuur



Zadel voor kabels hangbrug



Knoop in offshore constructie



Knoop voor spaceframe



Glazen gevel/dak constructie



Knooppunt Luchthaven Stuttgart

6.2 Gietstukken in buisconstructies

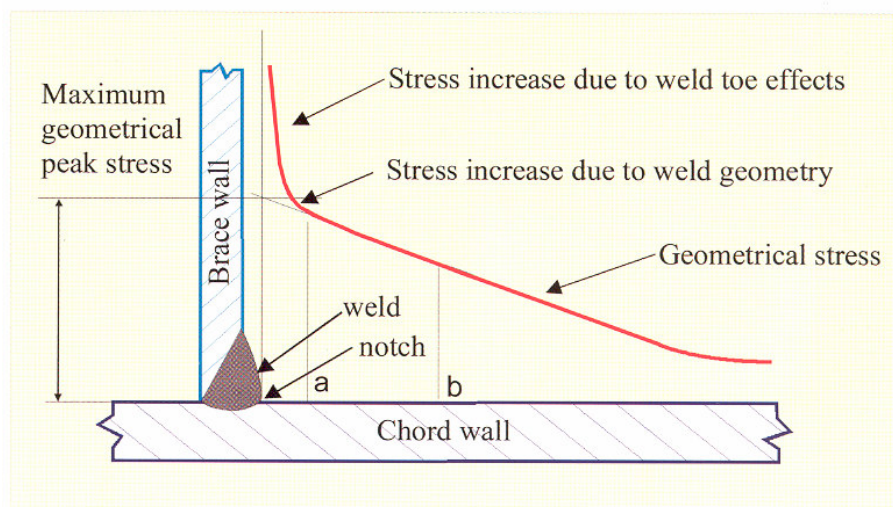
Constructies waar veel buisprofielen worden toegepast zijn hallen, gebouwen, bruggen, offshore constructies e.d. De verbindingen in deze constructies worden voornamelijk tot stand gebracht door bouten en lassen.

Veel voorkomende verbindingen zijn:

- Gelaste I-ligger verbinding met ronde buisprofielen
- Gelaste I-ligger verbinding met vierkante buisprofielen
- Geboute flensplaat verbindingen
- Geboute eindverbindingen
- Geboute hoekplaatverbindingen
- Geboute delingverbindingen

Vermoeiing

Vanwege de aanwezigheid van lassen in deze verbindingen ontstaan er spanningsconcentraties bij de kruising van de las en het buisprofiel. Dit is een belangrijk aspect in het ontwerp van deze verbindingen en beïnvloedt sterk het vermoeiingsgedrag van de verbinding. De maatgevende spanning bij het ontwerpen op vermoeiing is de zogenaamde 'Hot Spot' spanning. De locatie van de maximale spanningsconcentratie wordt wel de 'Hot Spot' genoemd en de corresponderende spanning wordt de 'Hot Spot Spanning' genoemd. De 'Hot Spot' spanning, ook wel geometrische spanning, is een extrapolatie van de nominale spanning in de aansluitende doorsnede van het buisprofiel naar de teen van de las toe.



Figuur 45 extrapoleren nominale spanning, bron [21]

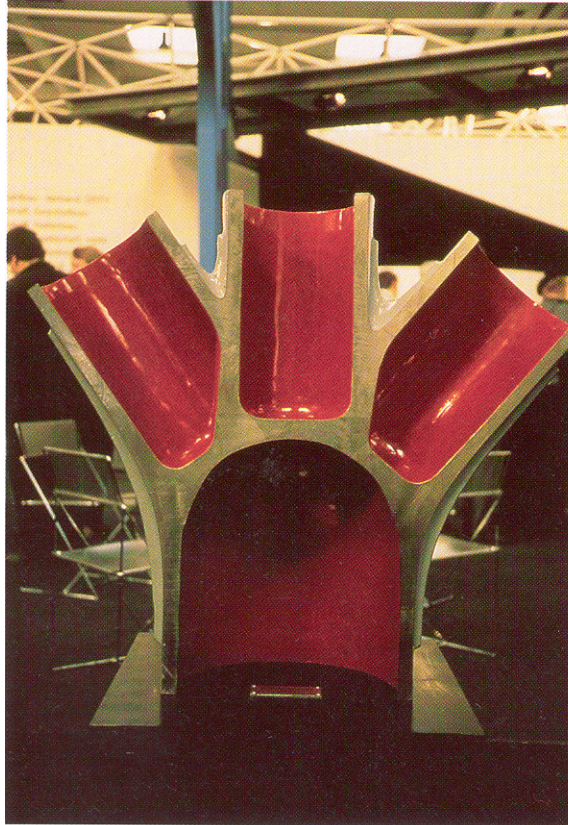
Het verbeterde vermoeiingsgedrag bij gietstuk wordt met name veroorzaakt door de eliminatie van de lasteen defecten en restspanningen uit de kern van de knoop. De las is nu gesitueerd in een minder kritisch gebied buiten de knoop.

Er zijn onderzoeksresultaten bekend waarin lasverbindingen en vergelijkbare gietstukken zijn vergeleken. Gietstukken vertoonden soms wel een verbetering in de vermoeiinglevensduur van wel een factor 10^1 . Dit geeft wel aan dat gietstukken ten aanzien van het vermoeiingsgedrag zeer gunstige invloed.

Om een verbinding aan de vermoeiingseisen te laten voldoen is vaak inefficiënt materiaalgebruik nodig. Dit is een van de redenen waardoor het gebruik van gietstukken in

¹ Antony M. Wood, Recent Advances in the technology of cast steel nodes for use in offshore structures. Offshore Technology conference 1982

buisconstructies meer wordt gebruikt. Gietstukken zijn materiaal efficiënt omdat het materiaal daar geplaatst kan worden waar het nodig is. De vloeiende overgangen, die kenmerkend zijn voor gietstukken, hebben tot gevolg dat de spanningspieken veel lager liggen. Dit is gunstig voor het vermoeiingsgedrag. De onderstaande afbeelding geeft een weergave van een opengewerkte gegoten knooppunt.



Figuur 46 opengewerkt giet knooppunt, bron [46]

Bruggen en offshore

Een van de toepassingen waar vermoeiing een grote rol speelt is bruggen en offshore constructies. De verkeersbelasting op bruggen en golfbelasting (cyclisch van nature) op offshore constructies introduceert spanningswisselingen in de constructie die verantwoordelijk zijn voor vermoeiingsscheuren. Veel aandacht gaat uit de naar het vermoeiingsgedrag van met name de verbindingen in buisconstructies. Een van de belangrijkste voordelen hierbij is dat de lassen zich niet meer in de kritieke locaties bevinden maar daarbuiten liggen waardoor lagere spanningsconcentraties ontstaan.



Figuur 47 Brug over rivier de Traun



Figuur 48 Kronprinzen brug in Berlijn



Figuur 49 Boorplatform

De aansluiting van holle buisprofielen met gegoten knopen biedt de ontwerper ondenkbaar veel mogelijkheden. De ontwerper heeft veel keus in vormgeving van de knoop. Het aansluiten van twee of meerdere buisprofielen in één of meerdere vlakken en eenvoudige of complexe verbindingconfiguraties blijkt heel goed mogelijk met het gietstuk. Het biedt dus voordelen op het gebied van vormgeving en misschien meer belangrijk ook op het gebied vermoeiingseigenschappen biedt gietstukken voordelen ten opzichte van de conventionele verbindingen met onder meer lassen.

6.3 Projectvoorbeelden

Een aantal projectvoorbeelden met giet onderdelen toegepast, om de lezer een idee te geven van de diverse toepassingsmogelijkheden van gietstukken. Bronnen [18], [48], [49]. Voor een zeer uitgebreide lijst van project voorbeelden wordt verwezen naar de SCI publicatie 172: Castings in Construction

6.3.1 Bolscharnier Maeslantkering

In de Maeslantkering bevindt zich een enorm groot scharnier dat drie kanten op moet kunnen draaien:

- In verticale richting om de deuren te kunnen afzinken: 2.85°
- In horizontale richting om de deuren te kunnen openen en dichtten: 53.23°
- Schommelbeweging om golfbeweging te kunnen opvangen: 0.3° over de lengte-as van de vakwerkarm

Het scharnier is uitgevoerd als bolscharnier. Deze bestaat uit een stalen bol met een diameter van 10 meter. De bol draait in een taatskom. De stalen bol draait in tien gietstalen stoelen:

- een grote achterstoel
- een kleine voorstoel
- acht kleine stoelen

De precisie die nodig was om zo weinig mogelijk wrijving te krijgen was met de gietmethode haalbaar. De bol mocht geen grotere maatafwijking hebben dan 2mm en de holle en bolle schalen mochten geen grotere afwijking dan 0.02mm vertonen.



Figuur 50 bolscharnier Maeslantkering

6.3.2 Voetgangersbrug Arena²

De brug voert de aanhangers van bezoekende voetbalclubs vanuit speciale treinen naar gereserveerde vakken in het stadion. De voetganger loopt door een zelfdragende koker, opgebouwd uit trek- en drukstangen, aan elkaar gelast in gegoten knopen. De keuze voor gietstalen knopen is ingegeven door de repetitie (ongeveer 540 stuks), de goede verwerkbaarheid en de maatvoering.

Giet knoop³

De horizontale regels dienen als drukstangen en de diagonalen als trekstangen. De verbinding tussen de regels, de diagonalen en de spanten was een complicerende factor. De spanten lopen taps naar elkaar toe en varieerde daardoor in breedte. Hierdoor ontstonden maatafwijkingen en hoekverdraaiingen. Er is gekozen voor gegoten knoop.

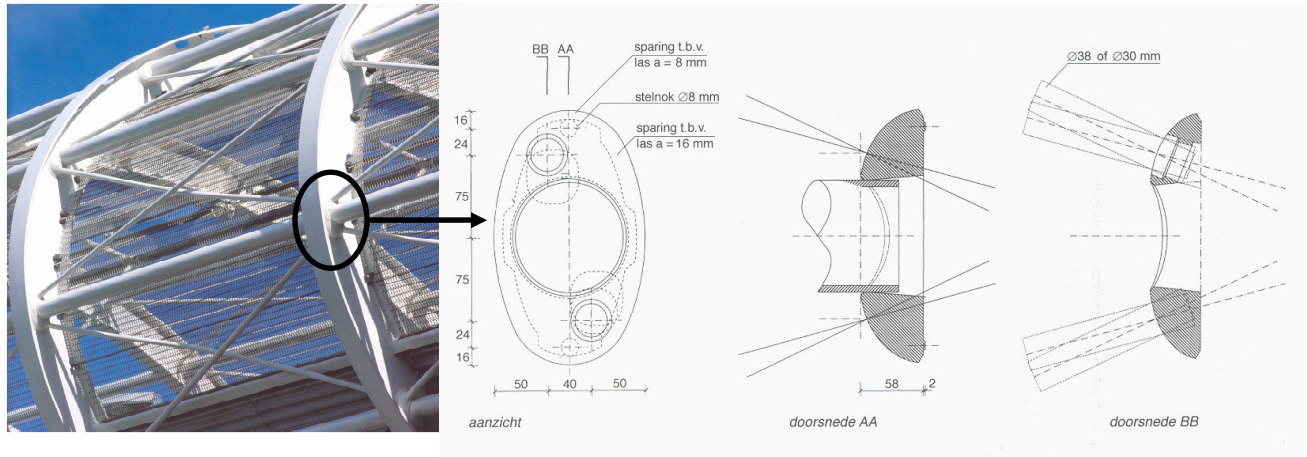
Op de achterkant van de knoop zit een achthoekige contravorm die past op positiemal, die een aan de achterzijde een driehoekige nok heeft. Deze nok past weer in de driehoekjes die in het lijf van de ringspanten zijn uitgesneden ter plaatste van de knoopcoördinaten. Hierdoor wordt de gietknoop precies in de juiste en op de juiste positie op het ringspant gepositioneerd.

² <http://www.classic.archined.nl/extra/staalprijs/arena.html>

³ bouwen met staal 142 1998, p. 50-53

De knoop heeft een ruime passing waardoor elke hoekverdraaiing, die alle horizontale regels ten opzichte van elkaar en de ringspanten maken, gemakkelijk is op te nemen. Nergens is de hoekverdraaiing gelijk doordat de breedte van de brug verloopt van 5m naar 7m.

De gietknoop is hierbij een ingenieuze oplossing geweest voor het opvangen van de alle verschillende hoekverdraaiingen.



Figuur 51 voetgangerbrug arena met gietknoop voor opvangen diverse hoekverdraaiingen

6.3.3 Bush Lane House London⁴

Het uitwendige staalskelet bestaat uit holle buizen en eveneens holle knooppunten. De knooppunten en de holle buizen zijn vervaardigd uit een roestvaste, lasbare gietstaalsoort. Het skelet is gevuld met water vanwege de brandveiligheid. Alle onderdelen zijn na het gieten gebeitst, mechanisch gereinigd en voorbewerkt. Na het lassen is het geheel met glasparels gestraald.



Figuur 52 Bush Lane House, London, bron [83]

⁴ Woord, van der, J, *Gietmetaal en Architectuur. Vormvrijheid bij het gieten en de sterkte van metaal bieden verrassende mogelijkheden.* Bouwen met Staal 110 (1993), p. 25-29

6.3.4 Centre Pompidou⁵

De zichtbare staalconstructie van Centre Pompidou bevat meerdere gietstukken. Met name de kolommen zijn interessant. Deze 21m lange kolommen zijn vervaardigd met de rotatie gietmethode. De buitendiameter bedraagt 850mm en heeft een wanddikte van 80mm. Ook de gevelconsoles zijn gietstukken. Ze wegen elk 9.7 ton en zijn in zand gegoten.



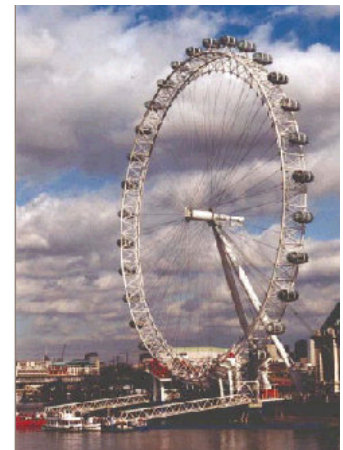
Figuur 53 Centre Pompidou, bron [83]

6.3.5 As Millennium Wheel⁶

Het London Eye is gigantische constructie met een hoogte van 135m. De diameter van de ring bedraagt 121 en kan 800 passagiers 'vervoeren'. Op de bovenkant van het ondersteunende A-frame is een gietstuk gemonteerd waarin monteergaten aangebracht zijn om de as te dragen waar het wiel omheen draait. Deze as is ook vervaardigd uit gietstaal en weegt 350 ton. Het was meeste complexe onderdeel om te produceren. De dimensies van de as zijn enorm; 25m lang, 2.1m diameter en een wanddikte tot wel 300mm. De as geproduceerd bij Skoda in Tsjechië. Deze fabriek heeft een van de grootste gietcapaciteiten van europa.

De as is vervaardigd in zeven afzonderlijke delen die later aan elkaar zijn gelast. Zes delen hiervan zijn gegoten en één ervan is gemaakt uit plaatstaal. Ook de naaf die op as is gemonteerd is een gietstuk.

Zie onderstaande afbeeldingen voor de toegepaste gietstukken in het London Eye.



Figuur 54 London Eye, bron [49]



Figuur 55 gietstuk bovenkant A-frame, bron [49]

Figuur 56 gegoten as, bron [49]

Figuur 57 op as gemonteerde gegoten naaf, bron [49]

⁵ Woord, van der, J. *Gietmetaal en Architectuur. Vormvrijheid bij het gieten en de sterkte van metaal bieden verrassende mogelijkheden.* Bouwen met Staal 110 (1993), p. 25-29

⁶ Mann, A.P. en N. Thompson en M. Smits, *Building the British Airways London eye.* Civil Engineering 144 May 2001, p. 60-72

6.3.6 Winkelcentrum De Bieshof⁷

Dit is een praktisch voorbeeld waarin gietstukken zijn toegepast met kleinere afmetingen dan in de voorgaande voorbeelden. Het winkelcentrum bevat een luifelconstructie waar gebruik is gemaakt van gegoten elementen voor verbindingen.

Toegepaste gietstukken zijn:

- 240 gaffelverbindingen voor de schoorstaven die een variabele diameter konden aansluiten een stuk van de onderkant af te zagen. Materiaalgebruik was gietstaal
- 480 oplegstoeltjes voor de oplegging van de glasplaten Gemaakt van grijs gietijzer.
- 720 schoteltjes, gietaluminium



Figuur 58 gaffelverbinding met variabele staafdiameter aansluiting, bron [15]
Figuur 59 oplegstoel met aluminium plaatje, bron [15]

6.3.7 ROC Twente⁸

Voor de 28 kolommen bij de entree is gekozen voor een gietstalen kolom. Productietechnisch bleek het niet mogelijk om de kolom uit één stuk te produceren. De gietstalen kolom werd in twee delen geproduceerd en middels een betonnen knoop aan elkaar bevestigd.

Ter hoogte van de overgang is in de holle kern van de kolom een wapeningskorf geplaatst, die uiteindelijk de verbinding vormt door het geheel te vullen met zelfverdichtend beton.

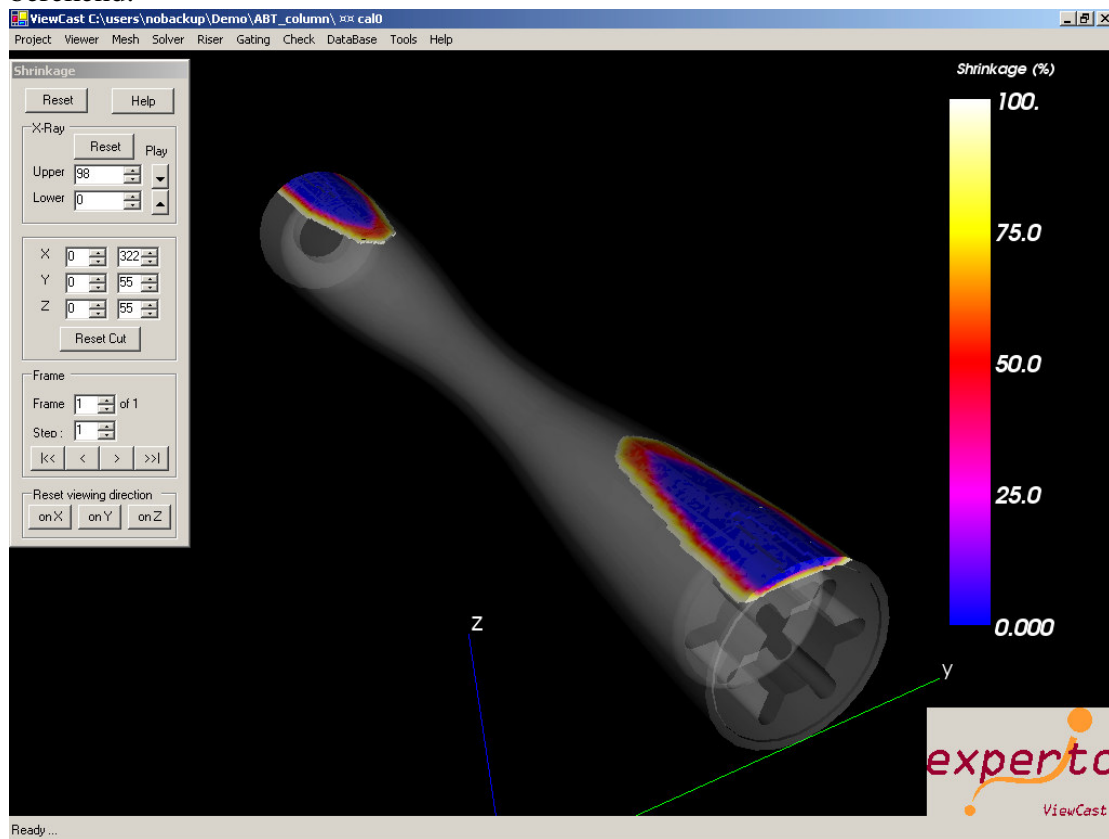


Figuur 60 betonnen knoop en de kolom uit twee delen

⁷ Maarschalkerwaart, H.M.C.M., *Gieten Goed Alternatief*. Bouwen met Staal 129 (1996), p.30-34.

⁸ Weernink, J. *Geknoopt gietijzer*, De Ingenieur 8, 2 juni 2006

In het ontwerpproces is een slinksimulatie uitgevoerd door het software pakket Experto ViewCast van de 4 meter lange lange gietijzeren zuil, zie onderstaande afbeelding voor illustratie. Het WTCM Gieterijcentrum heeft hiermee het juiste gietsysteem met opkomers berekend.



Figuur 61 Slinksimulatie kolom

7 Ontwerpen Gietstuk

Een hoop aspecten beïnvloeden de uiteindelijke kwaliteit en kosten van gietstuk. De belangrijkste worden genoemd in dit hoofdstuk. Geraadpleegde bronnen: [5-12], [15-19], [23-41]

7.1 Algemeen ontwerpproces Gietstuk

Het ontwerpproces van een gietstuk heeft een aantal algemeen voorkomende fasen die elke ontwerper en uiteindelijke producent doorloopt. Een aantal fasen liggen zijn vooral weggelegd voor de ontwerper (architect, constructeur) en andere fasen zal voornamelijk bij de gieterij liggen.

-voorontwerp en materiaalkeuze	(ontwerper)
-beoordelen op gietbaarheid	(gieter)
-welke kwaliteitseisen wil de ontwerper stellen	(ontwerper)
-optimalisatie ontwerp m.b.v. FE modellering en/of gietsimulatie	(ontwerper/gieter)
-vervaardigen 1:1 model	(ontwerper/gieter)
-vervaardigen gietvorm	(ontwerper/gieter)
-ontwerp gietsysteem	(gieter)
-eventueel produceren proefstuk en testen	(gieter)
-in productie nemen definitief ontwerp	(gieter)
-testen op gietfouten	(gieter)
-inspectie en afname klant	(ontwerper)

Door al in een vroeg stadium van het ontwerpproces de gieterij te betrekken, maakt de ontwerper het mogelijk dat er nog veel wisselwerking en keuzevrijheid is in ontwerp, materiaalkeuze en proceskeuze.

7.2 Ontwerpoverwegingen ten aanzien van kosten en kwaliteit

Het uiteindelijke doel van de ontwerper is om een zo goedkoop mogelijk en kwalitatief hoogstaand gietstuk te laten produceren dat aan de wensen voldoet. Omdat de gieterij niet de enige techniek biedt waarop metalen componenten kunnen worden gefabriceerd, moet het concurrerend om de markt werken. In samenspraak met de gieterij kan een ontwerper een relatief kwalitatief en economisch hoogstaand product verkrijgen. Er zijn een aantal aspecten waaraan de ontwerper kan denken om het gietstuk kosten- en technisch effectief te laten produceren.

De ontwerper kan invloed uitoefenen op de uiteindelijke kosten en kwaliteit van een gietstuk. De complexiteit van het ontwerp, de keuze van tolerantieniveau, gewenste oppervlakte kwaliteit, aantal benodigde gietstukken, materiaalkeuze, dimensie, kernen zijn aspecten die de uiteindelijke kostprijs beïnvloeden.

Tijdens het ontwerpproces moet de ontwerper er bewust van zijn dat elke fase van invloed is op de uiteindelijke kwaliteit en produceerbaarheid van het gietstuk.

7.2.1 Algemene kosten

De kosten die gieterijen maken zijn grofweg in drie categorieën te verdelen:

- materiaalgebruik
- arbeidskosten
- overige onkosten

De ruwe materialen en proces materialen die gieterijen gebruiken zijn ondermeer ruw ijzer, schroot ijzer, cokes, zand en andere gietvorm materialen, bindmiddelen, coatings, verfsoorten en andere.

De vergaande mechanisering en automatisering hebben een grote impact gehad op de arbeidskosten in de gieterijbranche. Maar nog steeds maken arbeidskosten een groot deel uit van de totale kosten. De gebruikte gietmethode en beschikbare faciliteiten beïnvloeden de benodigde arbeid.

Bij een kostenberekening van een gietstuk komen in ieder geval de volgende punten aan bod:

- aantal te vullen vormholten per productie cyclus
- aantal te maken modellen en kernen
- volume te gieten in m³
- materiaalkosten
- arbeidsuren voor het maken van de gietvorm, model, gieten, lossen, nabewerken

Een ander aspect dat veel invloed uitoefent op de totale kosten, is de benodigde energie in het productieproces. Het smeltproces vergt veel input van energie in de vorm van verbranding van cokes, olie, gas, gebruik van stroom en andere brandstof. Gezien de huidige hoge prijs ontwikkelingen omtrent olie- en de daaraan gekoppelde gasprijzen is voor te stellen dat deze kosten voor een groot deel medebepalend zijn voor de kostprijs van het gietstuk. Het smelten van het gietmetaal kan wel 50-60 procent⁹ van het totale energieverbruik zijn van een gieterij. Een andere grote kostenpost in gietstukken zijn de gietvormen. Het vervaardigen van de gietvorm kan veel tijd en aandacht vergen. De mate van complexiteit bepaald de vervaardigingskosten van de modellen, mallen en kernen.

7.2.2 Repetitie

Het aantal te produceren gietstukken beïnvloedt de kostprijs per stuk. Vanuit het kosten oogpunt kan het voordelig zijn om grote aantallen te bestellen. Afhankelijk van de productiemethode kan er relatief goedkoop worden geproduceerd. Een giettechniek, zoals verloren was- en schuimmethode, zijn geschikter voor massaproductie dan bijvoorbeeld voor zandgietmethoden. De ontwerper moet zijn ontwerp zo vormgeven dat een zo standaard mogelijke gietmethode gebruikt kan worden.

Vanwege het 'custom made' van gietstukken zijn nauwelijks richtprijzen per kilo of kuub voor gietstukken bekend. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de veel minder complexe prijsdefiniëring van walsprofielen.

Bij het bestellen van een aantal identieke gietstukken ligt het omslagpunt bij het zogenoemde kritische seriegrootte. Deze geeft het omslagpunt aan, van een te bestellen onderdeel, waarbij het goedkoper is om het te laten produceren als gietstuk dan met een andere vervaardigingstechniek.

Uit de praktijk blijkt dat kleine productieaantallen al kostenbesparing kan leveren. Deze kostenbesparing neemt toe naarmate de serieaantallen groter worden.

Gietstukken kunnen een kosten effectieve oplossing zijn. Complexe verbindingen uit conventionele onderdelen zijn vaak constructief inefficiënt en onpraktisch. De arbeidskosten kunnen hierdoor veel hoger uitpakken dan bijvoorbeeld voor een gietstuk. Alleen de investeringskosten (ontwerp, model, gietvorm, lossen e.d.) liggen bij een gietstuk veel hoger, vandaar dat de seriegrootte een rol gaat spelen. Hoe groter de serie, hoe kleiner de kosten per product.

⁹ Avneg, *Elke procent energie besparing betekent concurrentievoordeel.*

Praktijkvoorbeelden repetitie

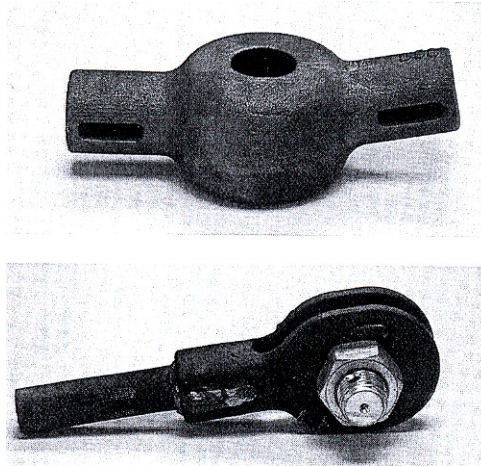
Een van de praktijkvoorbeelden is het Fabrieksgebouw Holec in Hengelo¹⁰. In het tijdschrift Bouwen met Staal 153, p36-40 wordt hiervan een voorbeeld gegeven. Repetitie van een constructie element was doorslaggevend voor de keuze voor een gietstuk.

De fabriekshal bestaat uit drie afzonderlijke hallen met een totaal oppervlakte van 66000 m². Vanwege grote overspanningen en belasting op kraanbanen is gekozen voor constructie met onderspannen liggers. Hiermee is een grote constructiehoogte bereikt.

Bij deze constructie kwam een flink aantal knooppunten voor van wel meer dan 2400 stuks.

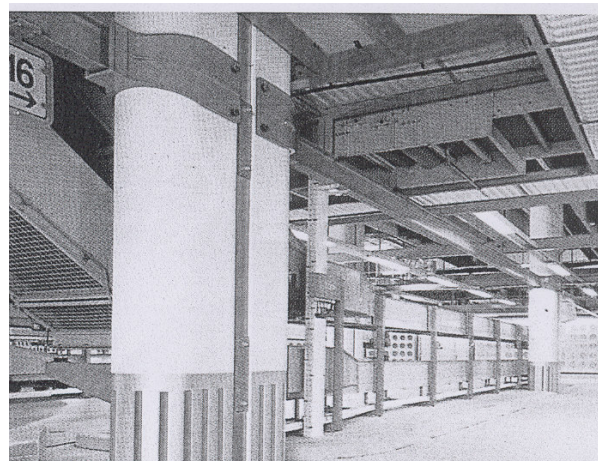
Gietstaal bleek al een winst op te leveren voor het vervaardigen van de knooppunten.

De onderstaande knooppunten kwamen voor in de constructie en werden uit gietstaal vervaardigd.



Figuur 62 gietstukken, bron [17]

Een ander praktijkvoorbeeld¹¹ is van een kolomconsole toegepast in de bagage afhandelingscentrum op schiphol. Hier is een gietijzeren console toegepast bij 308 kolommen. Reden hiervoor was onder meer dat de prijs van een gegoten console lager was dan een gelaste variant. De consoles zijn in nodulair gietijzer uitgevoerd.



Figuur 63 console gietstuk, bron [16]

7.2.3 Dimensie en partiële samenstelling

Bij hele grote gietstukken moet de ontwerper het in overweging nemen om het gietstuk in meerdere componenten te laten opdelen die later aan elkaar gelast kunnen worden. Dit kan

¹⁰ Horsting, J.C., en C. Schreuders, *Grote Repetitie maakt gietstalen knopen goedkoop*. Bouwen met Staal 153 (2000), p. 36-40

¹¹ Woord, van der, J., *Gietmetaal en Architectuur. Vormvrijheid bij het gieten en de sterkte van metaal bieden verrassende mogelijkheden*. Bouwen met Staal 110 (1993), p. 25-29

kostentechnisch veel voordeliger zijn. De ontwerper en de gieter kunnen bepaalde gietproblemen overleggen en zo komen tot een efficiënter produceerbaar gietstuk. Bij zeer grote gietstukken komt de gietbaarheid in het gedrang en kunnen reparatie van gietfouten hoge kosten met zich meebrengen.

Partiele opbouw van een gietstuk kan hierbij een oplossing bieden. Het gietstuk wordt hierbij uit meerdere geometrisch eenvoudige elementen opgedeeld die allen apart worden vervaardigd. Nadien kan het gietstuk worden samengesteld uit de verschillende losse elementen tot één geheel.

Uiteraard brengt deze methode weer hogere arbeidskosten met zich mee. Er dient gezocht te worden naar een economisch optimum.

Een goed voorbeeld hiervan is eerder gegeven, namelijk de kolommen van het ROC in Twente.

7.2.4 Kernen

Het aantal kernen, die nodig zijn om de interne holten te vormen, beïnvloeden in grote mate de productiekosten. Een complex gietstuk vergt over het algemeen meer kernen dan een minder complex gietstuk. De complexiteit van de vormgeving is zeer bepalend voor de kosten van productie.

De minimum diameter van de kern is afhankelijk van dikte van metaal om de kern, lengte van de kern, gietmethode en voorzorgsmaatregelen van gieterij. Een kleinere diameter betekent bijvoorbeeld een grotere warmtebelasting van het metaal en warmte moet gedissipeerd worden door de kern. Een grotere warmtebelasting is nadelig voor het schoonmaken en verwijderen van de kern. De dikte van het metaal om de kern en de lengte van de kern bepalen de buigende spanningen in de kern door de opdrijvende krachten. Kernen kunnen daartoe gewapend worden.

De holten in het ontwerp van het gietstuk moet voldoende grote openingen hebben om de verwijdering van de kern mogelijk te maken.

7.2.5 Stollingsproces

De ontwerper moet bekend zijn met het stollingsproces. Kennis van het principe dat de verste uiteinden als eerste stollen en de opkomers als laatste dienen te stollen, is nodig om ongewenste afwijkingen in het gietstuk te voorkomen. Kennis over het warmte verloop in een gietstuk is onontbeerlijk voor een goed stollingsproces. Het stollingsproces verloopt van buiten naar binnen is een progressief tijdsverloop. Dit proces is cruciaal voor het ontwikkelen van de juiste materiaaleigenschappen en metaalafwijkingen.

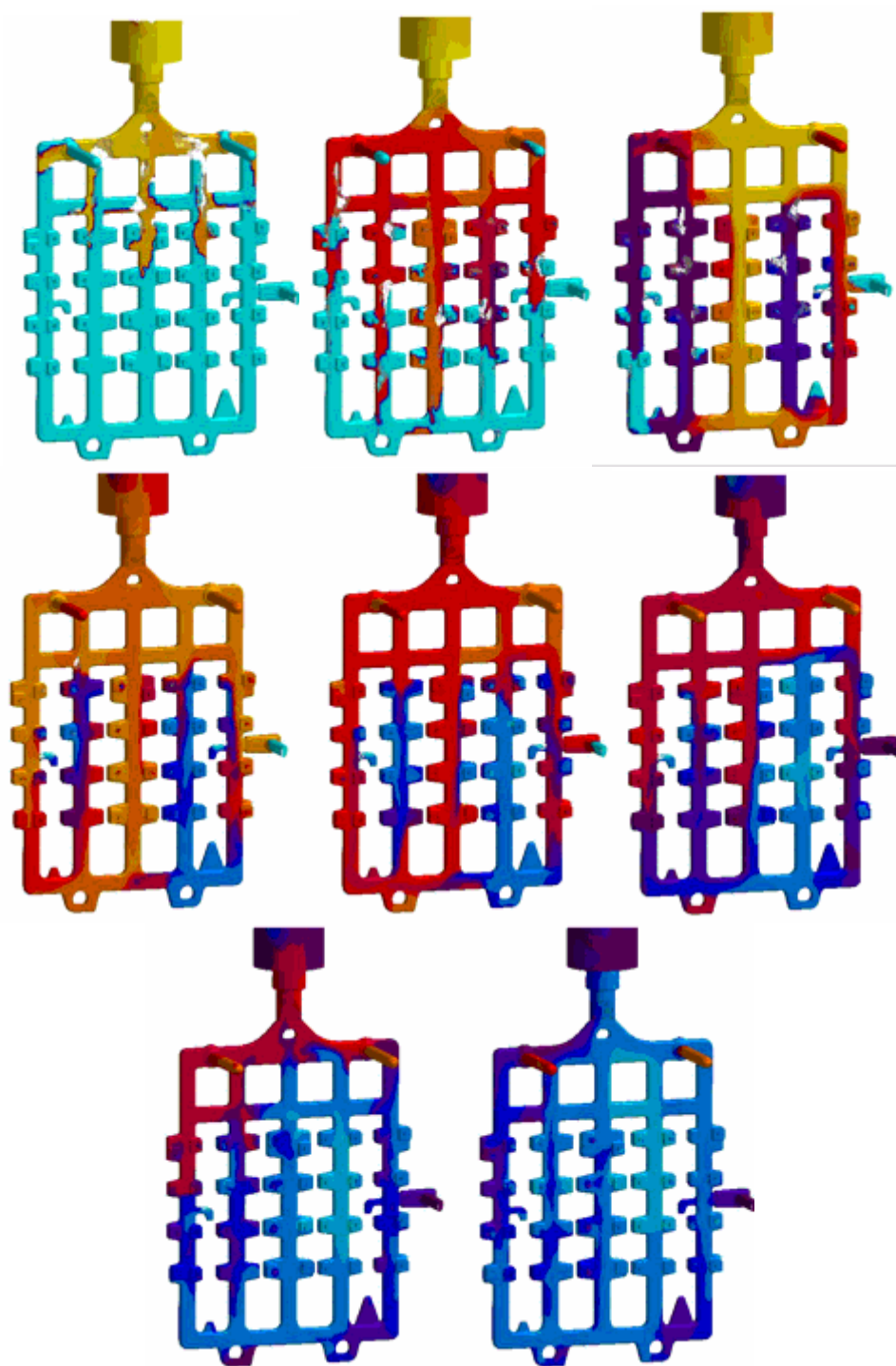
Zoals al eerder beschreven is het belangrijkste effect tijdens het stollingsproces de volumekrimp. Gietijzer vertoont hierbij over het algemeen een lagere volumekrimp dan gietstaal.

Met de huidige beschikbare giet- en stollings simulatie software heeft de ontwerper een hulpmiddel bij het determineren van eventuele problemen in het gietproces. Problemen kunnen op deze voortijdig worden ontdekt.

De volume verkleining tijdens het stollen (= slink) moet gecompenseerd worden door opkomers en aanliggende zwaardere delen.

Een voorbeeld giet simulatie met behulp van software bij een verloren schuimmethode ziet er als volgt uit:

De afbeeldingen zijn afkomstig van www.magmasoft.com.



Figuur 64 Giet en stollingssimulatie

De afbeeldingen geven weer hoe het gietmetaal de gietvorm instroomt en vervolgens hoe het stollingsproces verloopt.

7.2.6 Vormgeving

Ook de vormgeving van het gietstuk kan bijdragen aan het voorkomen van gietafwijkingen, bijdragen aan kostenreductie, verbetering van de technische eigenschappen. Aangeraden wordt om op het gebied van vormgeving te letten op:

- geen scherpe hoeken toe te passen, omdat die moeilijk te gieten zijn
- hele dunne wanden toe te passen in nabijheid van veel zwaardere en dikkere wanden.
- maximale afmeting is beperkt door de vloeibaarheid van het gietmetaal (de mate waarin het metaal in staat is om de vormholte te vullen)
- streven naar een uniforme afmetingen in het gietstuk, abrupte veranderingen in dikte veroorzaakt bijvoorbeeld ongelijke stolling waardoor scheuren kunnen ontstaan.
- te lange of te dunne onderdelen in relatie tot de vloeibaarheid van het metaal, kunnen gietafwijkingen ontstaan.
- aandacht voor kruisingen en hoekpunten van wanden gezien de 'hot spot' problematiek die krimpproblemen kan geven.
- vormgeving van vormdelen. Een gietvorm waarbij één vormscheidingsvlak ontstaat is goedkoper dan waarbij meerdere deelvlakken ontstaan.
- aanhouden van een minimum wanddikte, afhankelijk van de gietmethode. Verloren was- en schuimmethode kunnen kleinere wanddikten produceren dan andere gietmethoden.
- voorkomen van grote horizontale of verticale platte vlakken, treden snel gietfouten op.

7.2.7 Materiaalkeuze

De keuze voor gietstaal of gietijzer moet uiteindelijk door de ontwerper gemaakt worden. Hierbij kunnen belastingtechnische en esthetische eisen een rol spelen. Een derde factor die een rol speelt is kosten.

Over het algemeen gesteld is gietijzer goedkoper dan gietstaal. Dit wordt mede veroorzaakt door:

- gietstaal vereist een hogere omsmelt temperatuur
- de warmtebehandeling bij gietstaal om de sterkte eigenschappen te beïnvloeden
- het gietproces met gietstaal vereist meer omloopmateriaal, ondermeer door de hogere volumekrimp die gietstaal vertoont ten opzichte van gietijzer.

Keuze voor gietijzer kan economisch gezien grote voordelen bieden.

Op gebied van belastingtechnische eisen heeft de ontwerper te maken materiaaleigenschap verschillen tussen gietstaal en gietijzer. Maar de ontwerper moet zich niet laten lijden door de heersende misconcepties over gietijzer, dat het te bros is en niet sterk zou zijn. Gezien de huidige sterkte- en rek eigenschappen van de verschillende gietijzersoorten heeft de ontwerper een materiaal voorhanden dat constructief volop benut kan worden. Het valt dan ook aan te raden om zowel gietstaal als gietijzer in overweging te nemen. Met name op het gebied van gietijzer (naast het bekende gietstaal) heeft de ontwerper toch ook constructief een uitdagend materiaal en dat kostentechnisch soms ook voordelen kan bieden.

De ontwerper moet niet automatisch kiezen voor het materiaal met de hoogste treksterkten en daarbij het belang van de minimale rek vergeten, maar dient de materiaalkeuze te baseren op de uiteindelijke toepassing en de benodigde trek-, druksterkte én rekgrens. De verschillende mogelijke esthetische en constructieve toepassingen, zoals trek-, druk-, afschuiving-, buigingslementen of een combinatie ervan, vergt elk een andere interpretatie van de benodigde vloeispanning en rekgrens.

Ook de toepassing van het constructieve gietstuk in het soort constructie kan daarbij van belang zijn. De soort constructie stelt soms eisen ten aanzien van veiligheidklasse, soort

belastingen en daarmee dus de benodigde vervormingscapaciteit, brandwerendheid, statische sterkte, vermoeiingssterkte e.d. Al deze factoren beïnvloeden de materiaalkeuze.

Toepassingsgebied

De ontwerper heeft met gietstaal en gietijzer materialen tot z'n beschikking die breed inzetbaar zijn. Ook aan specifiekere eisen als:

- hittebestendigheid
- corrosievastheid
- slijtvastheid
- drukbestendigheid
- algemeen constructief gebruik

zijn bepaalde gietstalen en gietijzersoorten die hier speciaal op toegespitst zijn. De onderstaande normen spelen hierop in:

NEN-EN 10295 (en) 1998	: Heat resistant steel castings
NEN-EN 10283 (nl) 1996	: Corrosievast gietstaal
NEN-EN 12513 (en) 1996	: Abrasion resistant cast irons
NEN-EN 10213 1-4 (nl) 1996	: Gietstaal voor drukvaten
NEN-EN 10293 (en) 2005	: Steel castings for general engineering uses
NEN-EN 10340 (en) 2004	: Steel castings for structural uses

7.2.8 Lassen

Speelt lasbaarheid een grote rol bij de uiteindelijke toepassing van het gietstuk dan verdient materiaalkeuze aandacht. Het blijkt dat lassen van gietijzer wel mogelijk is maar veel meer aandacht vergt dan bij gietstaal. Uiteraard speelt dit door in de kosten. Gietstaal is over het algemeen beter te lassen dan gietijzer.

7.2.9 Toleranties

De toelaatbare toleranties worden bepaald door de ontwerper (koper) van het gietstuk om er zeker van te zijn dat het gietstuk naar behoren kan presteren en past in zijn ontworpen omgeving. De hoeveelheid van productie (massa of enkel stuks), vormgeving en de gekozen gietmethode zijn van invloed op de bepaling van de tolerantie eisen.

Toleranties geven aan hoeveel variatie ten aanzien van de gewenste afmetingen toelaatbaar zijn.

Te hoge eisen ten aanzien van tolerantie zijn heel kostbaar en mogelijk onnodig en soms ook onhaalbaar om te produceren.

Te lage eisen aan tolerantie kunnen problemen veroorzaken met het passen en functioneren van een gietstuk.

Elke gietmethode kent zijn eigen tolerantieprestaties. Verloren was- en schuimmethoden staan erom bekend dat ze een hogere mate van nauwkeurigheid hebben in de productie van gietstukken dan bijvoorbeeld de traditionelere zandgietmethode. De te eisen toleranties aan een gietstuk dienen in samenwerking met de gieter worden afgesproken.

NEN 8062 geeft aan dat er 16 algemene gietstuk tolerantie categorieën zijn die afhankelijk zijn van de dimensie grootte van het gietstuk. Zie bijlage 6a voor de tabel met de algemene gietstuk tolerantie categorieën.

En op het gebied van de geometrisch onderscheid NEN EN 8062 tien tolerantie categorieën waarin de toleranties in millimeter worden aangegeven. Zie bijlage 6b voor de tabel met de geometrische tolerantie categorieën.

Hieronder een overzicht van de belangrijkste toleranties die rol spelen ten aanzien van gietstukken:

Lossingsschuinte: NEN ISO 10135 geeft als definitie voor lossingsschuinte:

Helling van vormelementen (bijvoorbeeld op omhullende oppervlakten), nodig om de gevormde producten van de matrijs van elkaar te kunnen scheiden.

De lossingsschuinte moet worden aangegeven in de technische tekening in samenwerking met de gieter.

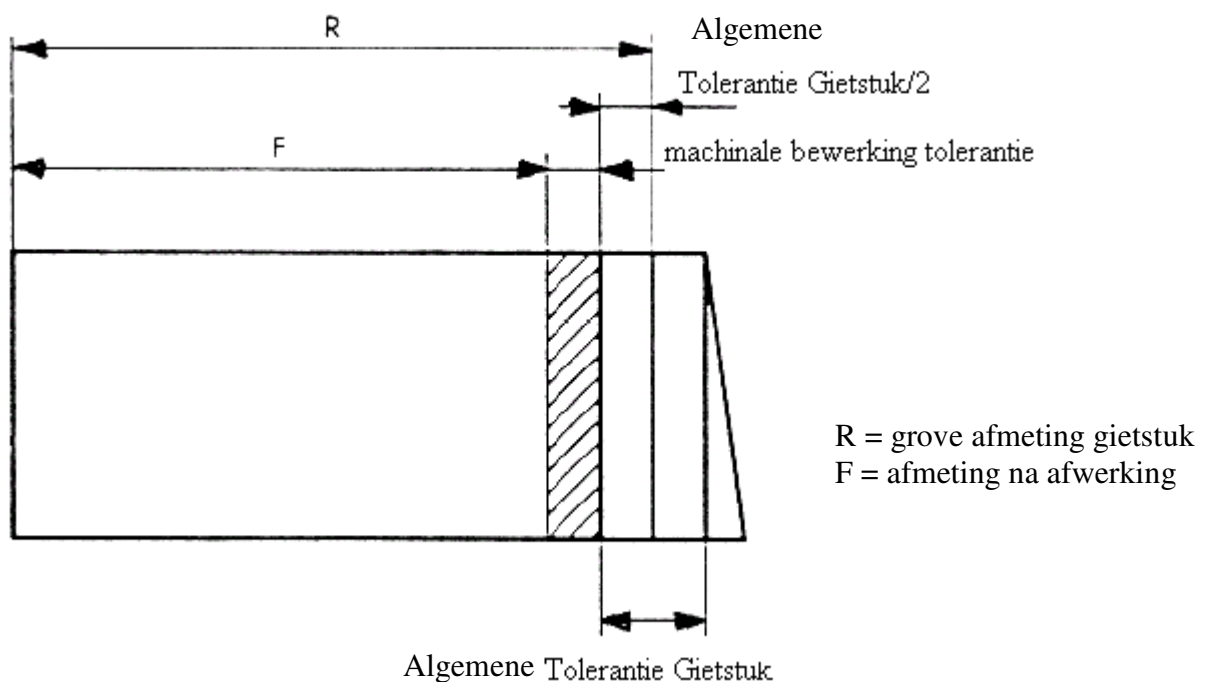
Interne oppervlakten bij zandgieten vereisen over het algemeen hogere eisen aan de lossingsschuinte dan externe oppervlakten.

Bij de verloren was- en schuimmethoden kunnen soms lossingsschuinte geëlimineerd worden.

Machinale afwerkingstolerantie

Gietstukken die machinaal bewerkt moeten genoeg dikte hebben om dit aan te kunnen en is afhankelijk van de afmeting, vorm en distorsie van het gietstuk. Deze tolerantie wordt opgeteld bij lossingsschuinte tolerantie en gietvorm-tolerantie. Deze tolerantie wordt in de tekening aangegeven.

NEN EN 8062 heeft 10 tolerantie niveaus gedefinieerd ten aanzien van de machinale afwerking, A, B, C, D, E, F, G, H, J, K. Zie tabel in bijlage 6c.



Figuur 65 machinale tolerantie, bron [35]

De ligging van de algemene tolerantie zone moet symmetrisch zijn ten opzichte van de nominale dimensies, met een helft aan de positieve kant en de andere helft aan de negatieve kant. Met onderling overleg tussen de koper en de gieter kan hiervan afgeweken worden.

Wanddikte

De toelaatbare afwijking in de wanddikte moet binnen de tolerantie vallen van de gekozen algemene tolerantie categorie (1t/m16).

Oppervlakte

De toelaatbare afwijking in het oppervlakte moet binnen de tolerantie vallen van de gekozen algemene tolerantie categorie (1t/m16)

Geometrische toleranties

Deze toleranties hebben betrekking op de vorm eisen zoals

- Parallelliteit
- Concentriciteit
- Vlakheid
- Rechtheid
- Loodrechtheid
- Symmetrie
- Co-axialiteit

NEN-EN 8062 onderscheidt 7 tolerantie categorieën voor de hier bovenstaande geometrische aspecten. De tabel in bijlage 6b onderscheidt zeven categorieën, 2 tot en met 8.

Gietvorm en model toleranties

Het type gietvorm en model materiaal beïnvloed de uiteindelijke dimensie van het gietstuk. Het type gietvorm beïnvloed sterk het stollingsgedrag. Modellen werken ook onder invloed van vocht en temperatuur waardoor ze kunnen krimpen en uitzetten, de mate van afwijking is afhankelijk van het gekozen materiaal. Hout vertoont bijvoorbeeld een grotere afwijking dan stalen modellen. Dit beïnvloedt de uiteindelijke dimensies van het gietstuk.

Ook de gietvorm zelf werkt tijden het gieten, stollen en afkoelen en vertoont dimensionale veranderingen.

Gewicht toleranties

Eisen kunnen gesteld worden ten aanzien van gewichtsafwijkingen. Ook hier kent de gietmethode die gebruikt zijn eigen tolerantie niveau. Handmatige gietmethode hebben lagere nauwkeurigheid dan machinale gietmethode. De tolerantie prestaties verschillen dan per giettechniek. Er dient overeengekomen te worden in welke toleranties de gewichtsafwijkingen mogen variëren.

Chemische samenstelling

De koper kan eisen stellen ten aanzien van de chemische samenstelling van het gietmetaal. Deze eisen kunnen uitgedrukt worden in afwijking naar massaprocenten van de legeringselementen.

7.2.10 Montage bouw

Tijdens de bouwphase van een constructie wordt het gietstuk op zijn plaats bevestigd om constructief bij te dragen aan de samenhang, sterkte, stijfheid en stabiliteit van het geheel. Uiteraard kan een gietstuk ook een niet-constructieve toepassing hebben. In beide gevallen wordt tijdens de bouwphase het gietstuk gemonteerd op zijn bedoelde plaats.

Prefab element

Het gietstuk kan beschouwd worden als een prefab element. Kenmerkend voor een prefab element is dat al geheel voorbereid kan zijn voor de montage fase om het aantal bewerkingen tijdens de bouw en montagefase tot een minimum te beperken.

Tijdens de montage zal het gietstuk op één of andere wijze in verbinding moeten worden gebracht met andere constructiedelen. Middels lassen, bouten, (scharnier)pennen wordt dit vaak tot stand gebracht.

Tijdens of na het gietproces van het gietstuk kunnen voor de montagefase maatregelen worden aangebracht die montage op de bouwplaats mogelijk maken.

Te denken valt aan:

- aanbrengen van een geschikte lasnaad
- voorboren van gaten
- aanbrengen van schroefdraad
- aanbrengen van ankers voor een mogelijke composiete verbinding met hout of beton

Gietstukken kunnen met deze voorzieningen gemonteerd worden op zijn plaats waar het aansluit op andere constructie elementen.

Montagetijd

Ten aanzien van de bouwtijd kan de montage van een gietstuk een hoop winst opleveren. In vergelijking met een verbinding die samengesteld wordt uit diverse bout en las verbindingen is een 'prefab' gietstuk vaak minder bewerkelijk tijdens montage.

Tijdens de bouwfase van een constructie wordt het gietstuk op zijn plaats bevestigd om constructief bij te dragen aan de samenhang, sterkte (zowel statische sterkte als vermoeiingssterkte), stijfheid en stabiliteit van het geheel. Uiteraard kan een gietstuk ook een niet-constructieve toepassing hebben. In beide gevallen wordt tijdens de bouwfase het gietstuk gemonteerd op zijn bedoelde plaats.

7.2.11 Gieten of samenstellen

In de praktijk zijn er voorbeelden bekend waar gietstukken vergeleken zijn met samengestelde elementen door lassen en andere technieken. Bij een optimalisering van vormgeving, partiele samenstelling en repetitie aantallen kan het gieten een besparing opleveren van wel tientallen procenten ten aanzien van andere vervaardigingstechnieken.

In overleg met de gieterij heeft de ontwerper een aantal ontwerpaspecten in ogenschouw te nemen waarbij aanzienlijke winsten te behalen zijn. Daar waar het gaat om een bouwelement dat een grote mate van repetitie kent, tientallen of honderdtallen, kan met gieten een behoorlijke winst ten aanzien van de kostprijs worden behaald.

7.3 Gietsimulatie

Met gietsimulatie worden een hoop ontwerpfouten opgespoord die tijdens het gieten anders problemen hadden veroorzaakt. Gebruikte bronnen: [42-45].

7.3.1 Wat is gietsimulatie

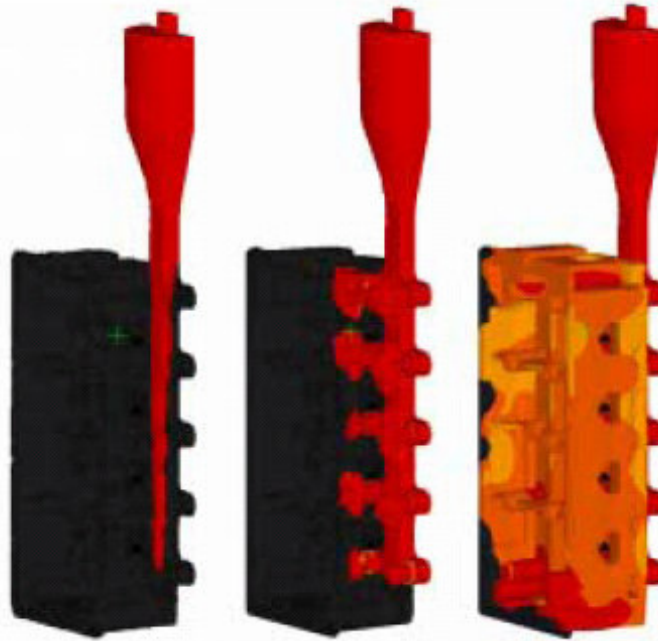
Een handig hulpmiddel dat al reeds jaren wordt gebruikt bij het gietproces is softwarematige simulatie van het gietproces. Het is een 3-D modellering waarmee het complete gietproces wordt gesimuleerd. Het gebruik van de software is nu vrijwel een standaard geworden. Huidige marktontwikkelingen vragen om een snelle reactie van de gieterijen op de vraag van klanten. Nauwkeurige kostencalculatie en snelle productie met hoge kwaliteit zonder gietfouten, maakt het dat gietsimulaties niet meer weg te denken zijn uit deze branche. Tijdens het gieten ontstaan de gietfouten die de kwaliteit negatief beïnvloeden. Veel voorkomende fouten doen zich voor ten aanzien van:

- Oppervlaktekwaliteit
- Gaten
- Porositeit en insluitels
- Voortijdige stolling
- Aantasting van de gietvorm

Zoals eerder omschreven omvat het gietproces ruwweg de volgende stappen in het productieproces, waarin simulatie een grote rol speelt tegenwoordig:

- vullen van de gietvorm met vloeibaar gietmetaal
Belangrijk in deze fase van het gietproces zijn voornamelijk de dimensies en de ligging van gietsysteem. Met name de dimensies en ligging van de giettrechter, gietkanalen en opkomers worden hiermee geoptimaliseerd. Zie onderstaande afbeelding.
- het stollingsproces
Het stollingsproces moet een bepaalde richting en snelheid hebben. Het gewenste stollingsproces verloopt van de uiteinde van het gietstuk, die als eerste moeten stollen, naar de opkomers die als laatste dienen te stollen. Met stollingssimulatie kan dit proces geoptimaliseerd worden door aanpassingen in het gietsysteem te doen totdat het gewenste resultaat is bereikt.
- het ontstaan van restspanningen en vervormingen die overblijven nadat het gietstuk gestold is en tijdens het afkoelen plaats vinden.

Deze volgorde wordt aangenomen in de simulatie. Tijdens het gieten en daarna kan tegelijk temperatuur contouren gevisualiseerd worden. De volgende afbeelding geeft een visualisatie weer van het vullen van een gietvorm met daarbij de temperatuur contouren, die een gietsimulatie softwarepakket weergeeft.



Figuur 66 drie fasen in gieten met temperatuur contouren, bron [52]

Simulatie van het gietproces geeft de gieter inzicht in het gedrag van het gietmetaal tijdens en na het gieten. Belangrijkste vragen die simulaties beantwoorden:

- wordt de gietvorm wel afdoende- en op de juiste wijze gevuld met gietmetaal
- is de stollingsnelheid en -richting wel correct
- waar liggen probleemlocaties

7.3.2 Optimalisatie ontwerp gietstuk

Een gieterij die over gietsimulatie hulpmiddelen beschikt, kan daarmee een grote bijdrage leveren aan de uiteindelijke kwaliteit van het gietstuk. Geschat wordt dat 90%¹² van de fouten in de gietstukken over het algemeen ontwerpfouten zijn, en maar 10% is maar daadwerkelijk te wijten aan productieproblemen. Een hoop fouten kunnen met simulaties voortijdig worden waargenomen zodat tijdens de productie van het gietstuk er geen problemen ontstaan. Zo worden dure mislukte gietstukken voorkomen. Daar waar men voorheen proefstukken maakte om fouten op de sporen gebeurd dit tegenwoordig met 3-D gietsimulatie. De zogenaamde trial-and-error procedure is hiermee verleden tijd. Dit bespaart de gieter en de klant een hoop geld en tijd.

Het gietproces en het gietstuk zijn met behulp van simulatie goed te optimaliseren en verbeterd de kwaliteit en worden productiekosten aanzienlijk gedrukt.

Zowel de gieterij als de afnemer (ontwerper) heeft profijt van simulatie, het lost een hoop ontwerp- en gietproblemen op.

Gietsimulaties in het algemeen kunnen:

- voorspellen van invloed gietsysteem op turbulentie
- detecteren van ontstaan zuurstof insluitsels
- voorspellen stollingsgedrag en tijd
- voorspellen van spanningen en vervormingen
- lokaliseren van probleem gebieden in gietstuk zoals 'hot spots' en porositeit, scheuren
- kostenberekening productie

¹² Louvo, Arno, *Casting simulation as a tool in concurrent engineering*. CT-castech Inc. 1997

-thermisch vermoeiingsgedrag van een permanente gietvorm analyseren

Hierdoor is de gietbaarheid van het gietstuk te verbeteren en wordt een optimaler gietstukontwerp gerealiseerd.

Bijkomende voordelen die deze optimalisatieslag heeft zijn besparingen en verbetering op gebied van:

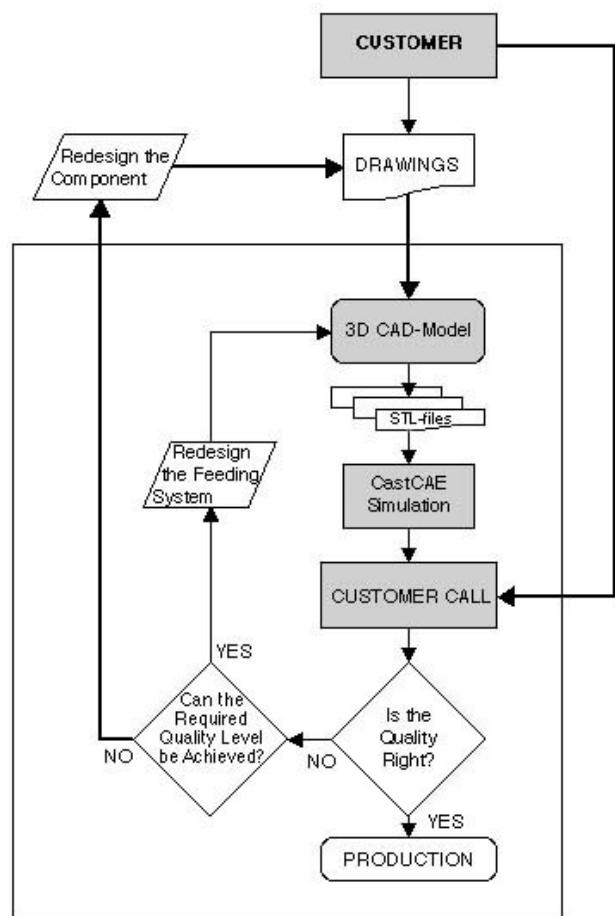
- energiebesparing
- verbeterde productkwaliteit
- minder hersmelten en herbewerking van gietmateriaal
- snellere productietijd en meer productie
- schroot reductie
- gewichtbesparing
- mogelijke eliminatie van dure en tijdrovende inspecties

7.3.3 Plaats van giet simulatie in het ontwerpproces

Gietsimulaties kunnen al in vroeg stadium van het ontwerpproces hulp bieden het ontwerpen van het gietstuk. De gietbaarheid wordt gecontroleerd en zonodig kunnen ontwerpfouten, die gietproblemen veroorzaken, geëlimineerd worden.

De ontwerper heeft hiermee een zeer handig hulpmiddel tot zijn beschikking om kwalitatief en kostentechnisch winst te behalen. De gieterij (of ingehuurde consultant) die gebruik maakt van gietsimulatie kan een grote meerwaarde betekenen voor de ontwerper.

Een ontwerpproces waarin gietsimulatie wordt geraadpleegd ter ondersteuning, ziet er als volgt in een flow diagram.



Figuur 67 flow diagram ontwerpproces met gebruik van gietsimulatie, bron [42]

7.3.4 Beschikbare simulatie software

Op de markt zijn diverse software pakketten beschikbaar. De diverse gietmethoden (zandgieten, verloren was, verloren schuim, spuitgieten, coquille gieten e.d.) die er bestaan, zijn met software te simuleren. Om een idee te geven wordt een beknopt overzicht gegeven van een aantal beschikbare software pakketten die in de praktijk gebruikt worden:

- PAM-Quikcast
- Magmasoft
- ProCAST,
- Solidcast
- AFS solidification system (3-D)
- CastCAE
- EKK metal casting simulation software
- Flow 3-D
- Magmasoft
- Novaflow & Solid
- SimTec
- Experto ViewCast

Niet alle pakketten zijn geschikt om alle gietmethoden te simuleren. De meeste programma's zijn toegespitst op een aantal gietmethoden. Sommigen zijn in staat alle beschikbare gietmethoden te modelleren en andere alleen maar één gietmethode.

7.3.5 Conclusie

Door als ontwerper vroegtijdig in het ontwerpproces, al bij conceptfase, de gieterij in te schakelen kan zijn kennis en gebruik van giet- en stollingssimulaties erg veel voordeel opleveren. Een grote mate van optimalisering van het ontwerp wordt hiermee mogelijk gemaakt. Advies is dan ook om als ontwerper te kiezen voor kwaliteit. Kies tijdens de aanbesteding van het gietstuk niet simpelweg voor de laagste aanbieder maar evalueer de kwaliteit die geboden kan worden. Onder andere de geboden mogelijkheid van simulatietechnologie biedt vele voordelen en kan uiteindelijk kostenefficiënt zijn.

7.4 Rekenwerk

Indien een gietstuk constructief wordt toegepast moet gecontroleerd worden of het gietstuk de opgelegde belastingen kan dragen en eventueel een vermoeiingsduur.

7.4.1 Ontwerpproces

Het constructieve ontwerp van complexe gietstukken is gebaseerd op met name een gedetailleerde spanningsanalyse door middel van een 2- of 3 dimensionale eindige elementen analyse.

Het gehele constructieve ontwerpproces¹³ bestaat uit een aantal stadia:

- Voorontwerp
- Vorbereiding voor eindige elementen analyse
- statische sterkte ontwerp
- indien nodig een vermoeiingssterkte ontwerp

Voorontwerp

Het voorontwerp beslaat ondermeer een totale constructie analyse met een berekening van de optredende staafkrachten en spanningen. Vanuit deze uitgangspositie wordt een voorlopige geometrische configuratie en wanddikte bepaald voor het gietstuk.

Handberekening

Indien mogelijk zal de ontwerper een handberekening doen om maatgevende doorsneden te controleren. Afhankelijk van de complexiteit van het ontwerp is de constructeur in staat om snel en eenvoudige handberekeningen uit te voeren. De maatgevende doorsneden in het gietstuk wordt dan gecontroleerd op eventueel optredende trek, druk, buig en schuifspanningen.

Vorbereiding voor eindige elementen methode (EEM)

Deze fase omvat de computermodellering van het gietstuk met de geldende randvoorwaarden en belastingsgevallen en combinaties.

statische sterkte ontwerp

Na de complete computermodellering van het voorontwerp kunnen zonodig de wanddikte en de geometrische configuratie geoptimaliseerd worden ten aanzien van het optredende spanningsbeeld en totale gewicht van het gietstuk.

Vermoeiingssterkte

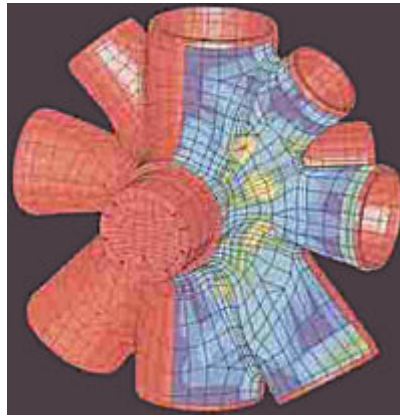
In sommige constructies is een controle op vermoeiingsgedrag nodig. Deze analyse kan ook een optimalisering opleveren van de wanddikte en geometrie.

7.4.2 Eindige elementen methode

De constructieve eigenschappen voor complexe gietstukken kunnen bepaald worden met numerieke proeven aan de hand van eindige elementen methode.

Op het model van het gietstuk wordt een fijnmazig netwerk ingedeeld. Een belangrijk aspect hierbij is de dichtheid ervan. Het netwerk moet dermate verfijnd zijn dat een verdere verfijning geen verdere substantiële veranderingen in de spanningverdeling vertoont.

¹³ Kobe Steel, LTD.



Figuur 68 eindige elementen modellering, bron [51]

Afhankelijk van het te analyseren gedrag zijn er 2- en 3-dimensionale elementen modelleringen.

De EEM is een hulpmiddel waarmee de geometrische eigenschappen van het gietstuk geoptimaliseerd kunnen worden zodat er gunstigere spanningsituaties ontstaan en mogelijke gewichtsbesparing. Parameters als wanddikte en configuratie kunnen als variabelen gemodificeerd worden om tot een optimale spanningsverdeling te komen. Tevens kan door deze optimalisering worden bereikt dat maatgevende draagkracht niet door het gietstuk wordt bepaald maar bijvoorbeeld door de aansluiting van het gietstuk met de daaraan gelaste buisprofiel.

De invoer in een eindige elementen methode bestaat uit:

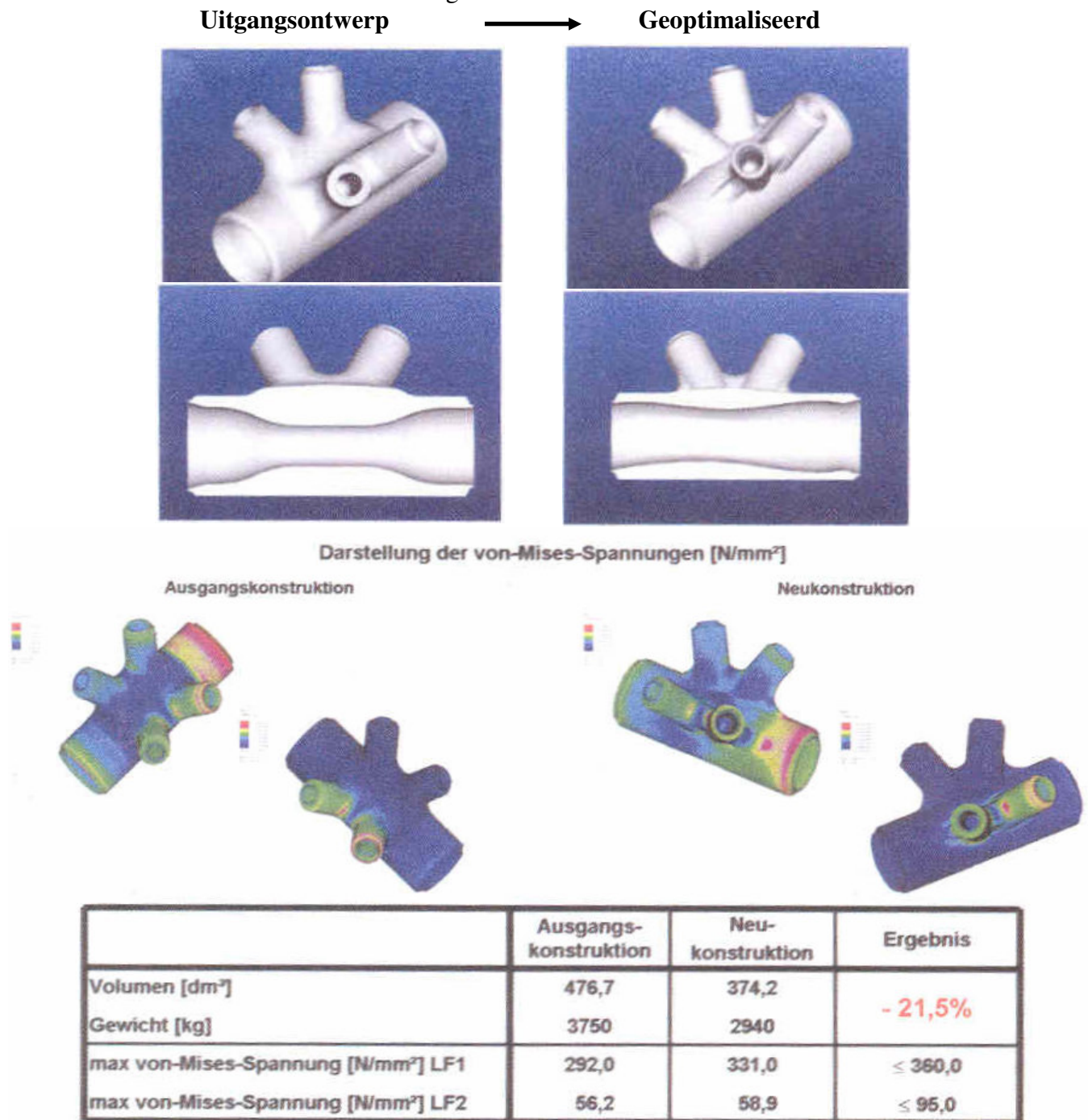
- Geometrie van het gietstuk en de indeling van het netwerk (ofwel 'mesh')
- Materiaal eigenschappen
- representatieve belastingcombinaties en randvoorwaarden

Bij een simpel ontworpen gietstuk is de ontwerper ook in staat op bepaalde maatgevende doorsneden controleren uit te voeren met betrekking tot trek-, druk-, buig-, en schuifspanningen.

Maar daar waar het gietstuk complexe vormen aanneemt is de ontwerper al gauw veroordeeld tot het gebruik van de eindig elementen software die men in de praktijk veel gebruikt.

Constructieve optimalisering

In het tijdschrift Stahlbau 75 (2006) wordt een onderstaande voorbeeld gegeven van een optimalisering van een uitgangsonwerp van het gietstuk. Het gaat hier om gietstuk die 210 keer in de vakwerkconstructie van een brug voorkwam.



Figuur 69 optimalisering knooppunt, bron [33]

Situatie LF1 is gedrag onder sterkteweerstand en LF2 is gedrag onder vermoeiingsweerstand. Men ging uit van een uitgangsonwerp die uiteindelijk is geoptimaliseerd ten aanzien van spanningen en het eigen gewicht van het gietstuk. In dit voorbeeld is met een nagenoeg gelijk gebleven spanningsbeeld toch een gewichtsbesparing van 21 % gerealiseerd. Naast de EEM (eindige elementen methode) voor complexe gietstukken bestaat er nog geen algemeen erkende methode voor een vereenvoudigde berekening van de spanningen.

7.5 *Interactie ontwerper en gieterij*

7.5.1 *Aanbesteding*

Om een gietstuk te kunnen bestellen moet de gieter een tekening of een model worden aangeleverd waaruit opgemaakt kan worden hoe het gietstuk eruit ziet. De meest triviale vorm van aanlevering is een 2 dimensionale tekening van het te gieten element. In de volgende paragraaf wordt ingegaan wat die tekening zoal moet bevatten zodat een gieter daar mee uit de voeten kan. Uiteraard kan een 3 dimensionale tekening daarbij ondersteunend werken ter visualisatie en ruimtelijk inzicht geven. Uit de praktijk blijkt dat niet alle gieterijen ertoe zijn uitgerust om 3 dimensionale tekeningen te kunnen interpreteren en vertalen naar een werkbaar model om een gietstuk te kunnen vervaardigen. Afhankelijk van het technische niveau van de gieter kunnen 2- en/of 3 dimensionale tekeningen worden aangeleverd.

Andere gieterijen werken liever met een aangeleverd model van het gietstuk. Hierbij benadert de gieter een modelmaker die vanuit de aangeleverde tekening een 1:1 model van het gietstuk kan vervaardigen. Met dit model kan de gieter vervolgens aan de slag.

Al met al kan gesteld worden dat de manier van aanbesteding geheel afhankelijk is van het technische niveau waarop de gieter werkt.

In ieder geval ligt aan elke aanbesteding ten grondslag een aanlevering van:

- 2 dimensionale tekening en/of 3 dimensionale tekening aan de gieter
- En/of
- een 1:1 model van het te vervaardigen gietstuk aan de gieter

Met de aangeleverde tekening maakt de gieter een 1:1 model van het gietstuk om hiermee de gietvorm de te kunnen maken waarin het gietmetaal wordt gegoten.

Vanuit deze fase is de tijd aangebroken waarin de communicatie tussen de ontwerper en gieter is gestart.

Deze start in de communicatie kan leiden tot hoofdzakelijk twee werkmethoden:

Gieter produceert

- Deze manier van samenwerken is niet interactief. De gieterij wordt een tekening of model aangeleverd waarop het over gaat tot het maken van concrete afspraken om tot gieten over te gaan. Het ontwerp wordt ter kennisgeving aangenomen en wordt na het afsluiten van een koopcontract in productie genomen.

Gieter betrekken bij ontwerpproces en produceert

- De tweede werkmethode is een vorm van samenwerking waarbij er een nauwere interactie plaatsvindt tussen de gieter en de ontwerper. Het aangeleverde ontwerp kan voor de gieter reden zijn om mee te denken en met zijn kennis en ervaring met de ontwerper samen komen tot een verbeterd ontwerp. Dit proces kan zowel voor gieter als de ontwerper van het gietstuk voordelen bieden (kosten- en vormtechnisch). Groot voordeel van dit proces is dat de gieter met zijn kennis en ervaring en bijvoorbeeld het gebruik van simulatiesoftware (gietsimulatie, stollingssimulatie) eventuele problemen kunnen voorkomen en oplossen. Vroegtijdig en een intensievere vorm van communicatie tussen ontwerper en gieter zal in veel gevallen leiden tot een optimalisatieslag ten aanzien van het voorontwerp van een gietstuk.

De werkwijze van de gieterijen nationaal als internationaal zijn niet eenduidig. De ene gieter is alleen in staat om met simpele aangeleverde tekeningen te werken terwijl de andere gieterij

op een veel hoger kennisniveau werkt waarbij met geavanceerde technieken en hoog opgeleid personeel wordt gewerkt. Met name deze technisch ontwikkelde gieterijen kunnen een meerwaarde betekenen voor de ontwerper om tot een kosten-, vormgeving- en belastingtechnisch effectief product te komen.

7.5.2 Checklist

Voor een correct en produceerbaar gietstuk is de communicatie tussen de ontwerper en de gieter van belang. Uitwisseling van ervaring en kennis komt ten goede aan de kwaliteit en kan kostenbesparend werken. Op een aantal aspecten dienen de ontwerper en de gieter tot een overeenkomst te komen voordat kan worden overgegaan tot het produceren van het gewenste gietstuk.

Voordat het ontwerp van het gietstuk klaar is, wordt het aangeraden dat de koper in overleg treedt met de gieter. NEN-EN 1559-1 geeft in de vorm van een checklist hier informatie over. Hierbij zijn een aantal informatiepunten die verplicht zijn om onderling tussen ontwerper/koper en gieter af te spreken en een hoop informatiepunten die een ontwerper in overleg met de gieter kan afspreken. Deze niet verplichte afspraken zijn geheel afhankelijk van de wensen van de ontwerper. Worden er hoge eisen aan de toleranties gesteld bijvoorbeeld dan levert dat al snel extra afspraken op die (koop)contractueel worden vast gelegd.

Deze checklist omvat de volgende verplichte informatie die uitgewisseld dient te worden:

- Te verstrekken informatie vanuit ontwerper:
 - Aantal gietstukken, in- uitwendige toestand, gietmateriaal, relevante wanddikte, lossingsschuimte, afwerkings-oppervlakten en –tolerantie.
- Afspraken ten aanzien van vervaardiging:
 - Geen verplichte informatie dient te worden afgesproken
- Afspraken ten aanzien van eisen
 - Chemische samenstelling en mechanische eigenschappen gietstuk, niet-destructief onderzoek uitwendige en inwendige toestand en oppervlakte gesteldheid, toleranties op afmeting en bewerking.
- Afspraken ten aanzien van beproeving en documenten over materiaalbeproeving
 - Gebruikte meet- en beproevingsmethoden

Testen van het gietstuk moet garanderen dat het materiaal voldoet aan de eisen van de specificaties. Acceptatievoorwaarden moeten worden afgesproken tussen de ontwerper en de gieter. Het aantal benodigde testen en acceptatievoorwaarden is afhankelijk van het ontwerp en gebruikerseisen.

De acceptatie criteria zijn ondermeer:

- Uitwendige afwijkingen
- Interne materiaalafwijking
- geometrische- en maatafwijkingen

Het niveau van de acceptatievoorwaarden moet in overeenstemming zijn met de gebruikte non-destructieve testmethoden en de mate van complexiteit van de vormgeving van het gietstuk.

7.5.3 Tekening

Bij het bestellen van een gietstuk moet de gieterij een tekening worden aangeleverd door de ontwerper (koper). NEN 8062 geeft aanbevelingen op dit gebied wat een tekening moet omvatten. Diverse aspecten op het gebied van toleranties dienen geïndiceerd te worden op de tekening. De belangrijkste indicaties die op een tekening moeten verschijnen met betrekking tot gietstukken worden hier behandeld.

-Algemeen Gietstuk tolerantie classificatie

In de tekening wordt dat aangegeven met:

General tolerances ISO 8062-2 - CTG12

CTG staat voor Casting Tolerance Grade. Ten aanzien van de algemene toleranties valt het gietstuk in een bepaalde categorie die is afgesproken tussen de ontwerper en de gieter. Deze categorie beschrijft welke tolerantie in mm aanvaardbaar zijn. Er zijn 16 categorieën vastgesteld waarin het gietstuk kan worden ingedeeld. Overschrijding van deze tolerantie mag reden zijn tot het weigeren van het product.

-Oppervlakte afwijking

De toelaatbare oppervlakte afwijking wordt bepaald door het tolerantie categorie (CTG). Maar mochten er op bepaalde oppervlakte extra eisen gewenst zijn dan wordt dat als volgt aangegeven:

General tolerances ISO 8062-2 - CTG12 - maximum surface mismatch 1,5

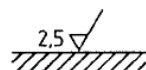
-Machinale afwerkingstolerantie

De tolerantie-eisen ten aanzien de machinale afwerking:

General tolerances ISO 8062-2 - CTG12 - RMA 6 (H)

Waarbij RMA staat voor Required Machining Allowance. Ook hier kunnen extra eisen op bepaalde oppervlakten in de tekening worden aangegeven.

Maar mochten er op bepaalde oppervlakte extra eisen gewenst zijn dan wordt dat als volgt aangegeven in de tekening:



De machinale afwerkingstolerantie kent 10 categorieën die de maximaal aanvaardbare afwijking aangeeft in mm. Overschrijding hiervan mag reden zijn tot weigeren.

-Geometrische toleranties

De geometrisch toleranties volgen uit laatste aanvulling op de indicatie:

General tolerances ISO 8062-2 - CTG12 - RMA 6 (H) - GCTG 7

GCTG staat voor Geometrical Casting Tolerance Grade. Er zijn 7 geometrische tolerantie categorieën waarin het gietstuk kan worden ingedeeld. De geometrische tolerantie kent 7 categorieën die de maximaal aanvaardbare afwijking aangeeft in mm. Overschrijding hiervan mag reden zijn tot weigeren.

Symbolen die gebruikt voor geometrische afwijkingen volgens NEN EN 1101:

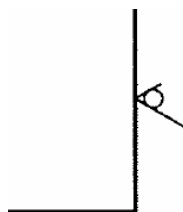
-Parallelliteit	//
-Concentriciteit	⊙
-Vlakheid	▭
-Rechtheid	—
-Loodrechtheid	⊥
-Symmetrie	≡
-Co-axialiteit	⊙

-Lossingsschuinte

De tekening moet aangeven of de lossingsschuinte ten opzichte van de gewenste afmeting

- erbij opgeteld moet worden
- er af getrokken moet worden
- gemiddeld moet worden

In de tekening van het gietstuk wordt dat als volgt weergegeven volgens NEN-EN 8062:



met daarbij aangegeven:

Lossingsschuinte	+
Lossingsschuinte	-
Lossingsschuinte	+/-

De lossingsschuinte mag zowel al een verhouding (zoals 1:10) als een hoek (2°) worden aangegeven.

NEN ISO 10135 geeft aanbevelingen op vereenvoudigde tekenregels, onder meer voor:

-Deellijn

de deellijn van de op elkaar geplaatste vormdelen dient aangegeven te worden in de diverse aanzichten van de tekening van het gietstuk. Tevens kan hierbij worden aangegeven hoe groot de maximale hoogte van de ontstane braam mag zijn.

-Aansnijdingen

Diverse aansnijdingen door bijvoorbeeld naalden, opkomers en afdrukken van uitstootpennen kunnen indien noodzakelijk grafisch worden aangeduid. De afmeting en de plaats ervan zijn met een grafisch symbool aan te geven in de tekening.

-Krimp

Volumekrimp ten gevolge van het stollingsproces wordt over het algemeen niet in de tekening aangegeven. De gieter past een toeslag toe om de krimp van het volume te compenseren. De mallen worden daartoe iets groter gemaakt om de volumekrimp na het stollingsproces te kunnen compenseren. In orde van grootte bedraagt deze krimp een paar procenten, afhankelijk van onder meer de materiaalsoort van het gietmetaal en mallen.

7.6 Voordelen en Nadelen Gieten

Het gieten biedt een hoop voordelen ten opzichte van andere bewerkings- en vormingstechnieken voor staal en ijzer.

De belangrijkste voordelen van gieten zijn:

Vormgeving

- grote vormvrijheid
- grote variatie in dimensies mogelijk (van groot tot klein)
- hoge mate van oppervlaktegladheid
- hoge mate van maatnauwkeurigheid
- kleine details mogelijk
- complexe gietstukken goed mogelijk
- veel denkbare vormen van nabewerking zijn mogelijk

Productie

- mogelijkheid tot massaproductie
- keuze vrijheid materiaalsoort
- hergebruik van mallen en kernen en overbodig gietmateriaal
- lage kosten, bij grote productie aantallen
- diverse gietmethoden beschikbaar, elk met hun eigen mogelijkheden en onmogelijkheden
- hergebruik van schroot voor vervaardigen gietmetaal
- giet en stolling simulatie mogelijk, ter voorkoming van problemen en optimaliseren van het gietstuk.
- het aanpassen van het ontwerp is vrij gemakkelijk doordat het alleen een modificatie van de gietvorm vergt.

Constructief

- in gietstukken zijn de materiaaleigenschappen meer isotroop dan wals producten. Hierdoor kan het veel multi-axiaal belast worden.
- materiaalefficiëntie, het materiaal kan daar geplaatst worden waar het nodig is
- gewichtsreducerend kan er vormgegeven worden
- gemakkelijke verwijdering gietstuk bij uit gebruik nemen van een constructie
- roestvorming, de afgeronde gietstukken stroomt beter water af
- toegankelijk voor inspectie en onderhoud door afgeronde vormen
- effectieve krachtsafdracht door materiaal efficiënt vormgeven
- vloeiende vormgeving geeft veel lagere spanningspieken, gunstig voor vermoeiing
- lassen is mogelijk van zowel gietstaal en gietijzer
- herkenbaarheid van gietstaal in vergelijking met constructiestaal voor de constructeur
- diverse toepassingsgebieden (hitte, druk, corrosie, slijtvast en constructief) mogelijk
- montage is minder bewerkelijk en levert tijdswinst op

7.7 *Waarom gietstuk toepassen*

Gietstukken in vergelijking met andere productiemethoden, biedt de ontwerper een hoop voordelen. Ontwerpers die betrokken zijn bij het ontwikkelen van staalconstructies moeten gietstukken als alternatief opnemen in het ontwerpproces. De creativiteit van de architecten en constructieve uitdagingen die de huidige constructeur daarbij ontmoet, levert complexe verbindingen op met allerlei gelaste/geboute platen, schotten, profielen en verstijvers.

Het gietstuk biedt een uitkomst in deze problematiek.

Op het gebied van vormgeving kan de ontwerper met gietstukken nog verder in zijn creativiteit. De grenzen zijn eindeloos, gietmetalen als gietijzer en gietstaal kan ik elke denkbare vorm worden gegoten.

De belangrijkste ontwerpoverwegingen waarin gietstukken een uitkomst bieden zijn samen te vatten in :

- ***vormgeving***, daar waar kosten ondergeschikt zijn of hoge mate van detaillering vereist is, is een gietstuk de optimale oplossing. De diverse mogelijke materialen, oppervlaktekwaliteiten en nabewerkingstechnieken bieden veel esthetische mogelijkheden.

- ***kostenoverweging***, bepaalde mate van repetitie maakt het gietstuk goedkoper dan een samengestelde verbinding uit las en/of bout. Een project waar repetitie van constructiedelen voorkomt is een gietstuk een optimale oplossing om de kosten ten aanzien van productie en montage te drukken.

- ***constructief*** biedt het grote voordelen. Efficiënte krachtsafdracht en gunstige eigenschappen ten aanzien van vermoeiingsduur door vloeiende vormgeving en de eliminatie van lassen uit kritieke zones.

8 Woordenlijst

Hieronder is een korte woordenlijst gegeven van een aantal belangrijke termen die in dit artikel de revue zijn gepasseerd.

Anisotroop:	de eigenschap dat een materiaal verschillende eigenschappen vertoont in verschillende richtingen.
Bros breken:	breuk waaraan weinig tot geen plastisch vervormen vooraf gaat.
Cokes:	een poreuze grijze onsmeltbare product resulterend uit de droge destillatie van bijvoorbeeld bitumenhoudend kool.
Ferro legering:	zijn legeringen die grotendeels uit ijzer (Fe) bestaan.
Gietsysteem:	het geheel aan kanalen waardoor het vloeibare metaal de gietvorm invloet.
Gietvorm:	de gietvorm waarin het vloeibare materiaal wordt gegoten en die de vorm bepaald van het uiteindelijke product.
Green sand:	een natuurlijk gebonden zand.
Hersmelten:	overblijfselen als voeders, opkomers, gietkanalen, poorten die hersmolten worden.
Hot Spot	de locatie van de maximale spanningsconcentratie wordt wel de 'Hot Spot' genoemd en de corresponderende spanning wordt de 'Hot Spot Spanning' genoemd.
Isotroop:	de eigenschap dat een materiaal dezelfde verschillende eigenschappen vertoont in verschillende richtingen.
Keramisch filter:	filters die de functie hebben om insluitingen eruit te filteren, maar dienen ook laminaire stroming van het vloeibare metaal te genereren.
Kerfslagwaarde:	geeft de mate aan van weerstand tegen bros breken.
Kernen:	een kern is een toevoeging aan de gietvorm om inwendige holten te realiseren.
Koud scheuren:	scheurvorming in koud of bijna koud metaal door overmatige interne spanningen ten gevolge van krimp.
Krimp:	volume reductie van het metaal in vaste fase.
Lamellair gietijzer:	bevat een staalmatrix met daarin regelmatige verdeelde plaatjesvormige grafietdeeltjes (lengte/dikte verhouding 100:1) die ontstaan zijn in giettoestand.
Legering:	een substantie met metallische eigenschappen, die samengesteld is uit twee of meer chemische elementen waarvan er tenminste één een metaal is.
Legeringsstaal:	staal die aanzienlijke hoeveelheden legeringselementen bevat anders dan koolstof en de normale hoeveelheden magnesium, silicium, zwavel en fosfor.
Lossen:	het gietstuk los maken van de gietvorm. Belangrijk hierbij is dat het zonder beschadiging moet plaatsvinden.
Model:	een replica van de vorm, schaal 1:1, van het gietstuk waarmee de vormholte van de wordt gemaakt. In werkelijkheid is het model iets groter dan 1:1 om volumereductie ten gevolge van krimp te voorkomen.
Nodulair gietijzer:	bevat een staalmatrix met daarin een regelmatige verdeelde bolvormige grafietdeeltjes die ontstaan zijn in giettoestand
Non ferro legering:	een legering waarvan het dominante legerings element niet ijzer is, zoals aluminium, koper en zink legeringen.

Ontgasser:	een chemische reactie die resulteert door een toevoeging van een bepaalde stof aan het gesmolten metaal om de gassen in het metaal te verwijderen.
Opkomer:	dit is een reservoir die in verbinding staat met de holte die gevuld wordt met gietmetaal. Vanuit de opkomer wordt de holte aangevuld door het tekort dat ontstaat door het slinken van het gietmateriaal tijdens het stollen en krimpen tijdens het afkoelen. Om krimp te compenseren wordt wel een krimptoetslag van een paar procent op het model geplaatst.
Oxidatie:	een reactie van een element met zuurstof.
Restspanningen:	die spanningen die in het metaal zitten ten gevolge van een non uniforme plastische vervorming of ongelijke afkoeling van een gietstuk.
Slink:	volumereductie van het metaal tijdens vloeibare fase
Smelten:	Met behulp van brandstof zoals cokes, gas, olie of elektriciteit wordt het metaal gesmolten in een hoogoven.
Smeedbaar gietijzer:	bevat een staalmatrix met daarin regelmatig verdeelde clustervormige grafietdeeltjes, die ontstaan zijn na een langdurige warmtebehandeling
Staal:	een legering van ijzer en koolstof die ook andere elementen kunnen bevatten, maar waarvan het koolstof percentage niet groter is dan ongeveer 1.7%
Stollingsverschijnsel:	de fase verandering van het metaal van vloeibare naar vaste fase. Hierbij komt zowel volumereductie kijken ten gevolge van slink en krimp.
Tolerantie:	de toelaatbare afwijkingen van dimensies van de nominale gewenste waarden.
Treksterkte:	de maximale spanning die een metaal kan weerstaan voordat breukvorming optreed.
Verloren schuim-methode:	een giettechniek waarbij het model tijdens het productie proces verloren gaat door het weg te smelten.
Verloren was methode:	een giettechniek waarbij het model tijdens het productie proces verloren gaat door het weg te smelten.
Vermiculair gietijzer:	bevat een staalmatrix met daarin regelmatig verdeelde plaatjesvormige grafietdeeltjes (lengte/dikte verhouding 10:1) die ontstaan zijn in giettoestand.
Vormdelen:	gietvormen bestaan vaak uit meerdere delen. Er kunnen horizontale en verticale delingen voorkomen. De vormdeling is afhankelijk van de wijze waarop het gietstuk wordt gelost. Een gevolg van deze delingen zijn bramen als de vormhelften niet goed op elkaar aansluiten. Deze dienen verwijderd te worden.
Vullen:	het volgieten van de gietvorm met vloeibaar metaal, door een of meerdere kanalen.
Zandgieten:	een techniek waarbij vloeibaar metaal wordt gegoten in een vormholte in zand

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1 Iron Bridge, bron [76].....	8
Figuur 2 Simulatie met magma software	12
Figuur 3 Microstructuur Nodulair Gietijzer, bron [3]	14
Figuur 4 Microstructuur Lamellair gietijzer, bron [3].....	15
Figuur 5 symbolen grijs gietijzer	19
Figuur 6 symbolen smeedbaar gietijzer	20
Figuur 7 symbolen nodulair gietijzer	20
Figuur 8 symbolen ongelegeerd gietstaal.....	20
Figuur 9 Range van treksterkten	21
Figuur 10 Range in rekgrens	22
Figuur 11 flow diagram productieproces gieten	26
Figuur 12 smeltkroesoven, bron: [77]	27
Figuur 13 luchtoven, bron: [4]	27
Figuur 14 elektroboog oven, bron[78]	28
Figuur 15 kernloze inductieoven, bron [79].....	28
Figuur 16 kanaal inductieoven, bron[80]	28
Figuur 17 haardoven, bron[78].....	29
Figuur 18 Koepel oven, bron [74].....	29
Figuur 19 simpele enkele gietvorm en één uit twee vormdelen.....	31
Figuur 20 stalen model voor maken boven en ondervorm, bron [74].....	31
Figuur 21 posities kernen, bron: [8]	32
Figuur 22 vullen zandgietvorm bij Soester Gieterij	32
Figuur 23 Verloren was methode, bron [81]	33
Figuur 24 van was model tot gieten van de gietvorm	34
Figuur 25 productie verloren was methode, bron:www.cirex.nl.....	34
Figuur 26 Verloren schuim methode, bron [7].....	35
Figuur 27 Productie verloren schuim methode, bron: www.Lovink.com.....	36
Figuur 28 spuitgieten, bron [8].....	37
Figuur 29 verticaal Figuur 30 horizontaal.....	38
Figuur 31 Schematisch Gietsysteem, bron: NEN-EN 8062-1.....	39
Figuur 32 orientatie gietsysteem, bron [7]	40
Figuur 33 gietsysteem met gietbasin, bron: [74].....	40
Figuur 34 opkomers bovenaf of zijkant, bron [50]	41
Figuur 35 keramische filters, bron [28].....	42
Figuur 36 plaatsing filter in gietsysteem, Soester gieterij	42
Figuur 37 stollingsrichting, bron [8]	44
Figuur 38 invloed gietvorm materiaal op stollingsnelheid, bron [8].....	45
Figuur 39 stollingsstadia, bron [8]	46
Figuur 40 plaats van hot spot, bron [8]	47
Figuur 41 voorkomen van hot spots, bron [8].....	47
Figuur 42 externe koelers ter voorkoming van hot spots	47
Figuur 43 lossingsschuimte, bron [35]	48
Figuur 44 lossingshoek correct en incorrect, bron [74]	48
Figuur 45 extrapoleren nominale spanning, bron [21]	56
Figuur 46 opengewerkt giet knooppunt, bron [46]	57
Figuur 47 Brug over rivier de Traun Figuur 48 Kronprinsen brug in Berlijn.....	57

Figuur 49 Boorplatform	58
Figuur 50 bolscharnier Maeslantkering.....	59
Figuur 51 voetgangerbrug arena met gietknoop voor opvangen diverse hoekverdraaiingen ..	60
Figuur 52 Bush Lane House, London, bron [83]	60
Figuur 53 Centre Pompidou, bron [83]	61
Figuur 54 London Eye, bron [49].....	61
Figuur 55 gietstuk bovenkant A-frame, bron [49]	61
Figuur 56 gegoten as, bron [49]	61
Figuur 57 op as gemonteerde gegoten naaf, bron [49].....	61
Figuur 58 gaffelverbinding met variabele staafdiameter aansluiting, bron [15].....	62
Figuur 59 oplegstoel met aluminium plaatje, bron [15].....	62
Figuur 60 betonnen knoop en de kolom uit twee delen	62
Figuur 61 Slinksimulatie kolom.....	63
Figuur 62 gietstukken, bron [17].....	66
Figuur 63 console gietstuk, bron [16]	66
Figuur 64 Giet en stollingssimulatie	68
Figuur 65 machinale tolerantie, bron [35].....	71
Figuur 66 drie fasen in gieten met temperatuur contouren, bron [52]	75
Figuur 67 flow diagram ontwerpproces met gebruik van gietsimulatie, bron [42].....	76
Figuur 68 eindige elementen modellering, bron [51].....	79
Figuur 69 optimalisering knooppunt, bron [33]	80

Lijst met tabellen

Tabel 1 naamgeving gietmetalen in symbolen	19
Tabel 2 naamgeving gietmetalen in nummers.....	19
Tabel 3 vergelijking metalen op taaiheid	22
Tabel 4 vergelijking constructie- en gietstaal.....	24
Tabel 5 geometrisch tolerantie categorie per gietmethode.....	38

Literatuurlijst

Literatuur:

- [1] Ouden, den Alex, *Een hoekstaal van de maatschappij. Constructiewerkplaatsen in Nederland van 1840 tot heden* (1994). Stichting Nederlandse Staalbouw, 1994.
- [2] Foekema, G.A.M., *Staalkwaliteiten*. 7^e druk. Rotterdam, Bouwen met Staal.
- [3] *Overspannen Staal*. Rotterdam: Stichting Kennisoverdracht SG. Deel 1: Basisboek / samenstelling W.H. Verburg, 1993.
- [4] The American Foundrymen's Society, *Casting Buyer's Guide. For buyers, designers, engineers, specifiers, producers and users of casting*. Third printing. Illinois 1998
- [5] Campbell, John, *Castings*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.
- [6] Clegg, A.J., *Precision Casting Processes*. First Edition. Pergamon Press, 1991.
- [7] Monroe, Raymond W, *Expendable Pattern Casting*. Illinois: The American Foundrymen's Society, 1992.
- [8] Sylvia, Gerin, J., *Cast Metals Technology*. Illinois: American Foundrymen's Society, 1995.
- [9] Hurst, Steve, *Metal Casting . Appropriate technology in the small foundry*. Southampton: Intermediate Technology Publication Ltd, 1996
- [10] Beeley, P.R., en R.F. Smart, *Investment Casting*. Cambridge: The university Press, 1995.
- [11] Andresen, Bill, *Die Casting Engineering. A hydraulic, Thermal, and Mechanical Process*. New York: Marcel Dekker, 2005.
- [12] Woord, van der, Jan, en E.C. van der Eerden en S.G.M. Dijkstra, *Het Oervormen. Vormgeving door gieten, sinteren en materiaal-aangroei-technieken*. Delft: Publikatieburo Bouwkunde, 1995.
- [13] Röhrig, Klaus, en E. Brunhuber, *Taschenbuch der gießerei-Praxis*. Berlin: Fachverlag Schiele & Schön GmbH.
- [14] Lipinski, Marek Dariusz, *Mold filling simulation for casting processes*. Aachen: Fotodruck J. Mainz GmbH, 1996.
- [15] Maarschalkerwaart, H.M.C.M., *Gieten Goed Alternatief*. Bouwen met Staal 129 (1996), p.30-34.
- [16] Woord, van der, J, *Gietmetaal en Architectuur. Vormvrijheid bij het gieten en de sterkte van metaal bieden verrassende mogelijkheden*. Bouwen met Staal 110 (1993), p. 25-29.
- [17] Horsting, J.C., en C. Schreuders, *Grote Repetitie maakt gietstalen knopen goedkoop*. Bouwen met Staal 153 (2000), p. 36-40.
- [18] Lamoën, van, K., *Huid van Gietijzer*. Bouwen met Staal 142 (1998), p. 40-41.
- [19] Maarschalkerwaart, H.M.C.M., *Gietijzer in de 19^e eeuw. Opkomst van de spoorwegen stimuleerde onderzoek en ontwikkeling*. Bouwen met Staal 111 (1993), p. 7-11.
- [20] www.gietstaal. Bouwen met Staal 172 (2003), p. 54-55.
- [21] Wardenier, J, *Hollow Sections in Structural Applications*. Rotterdam: Bouwen met Staal, 2002
- [22] Romeijn, A, *Fatigue*. Tudelft: 2002
- [23] Craddock, P, *The use of steel castings in building structures*. Steel construction Today, January 2002, p. 3-6.
- [24] Marston, G.J., *Design opportunities with cast components*. The oilman, Augustust 1985, p. 79-81.
- [25] Fitzpatrick, M, *Architectural use of castings*. New Steel constructions, April/Mei1997, p. 20-22.

- [26] Marston, G.J, *Steel Castings. Better topsides engineering and cost efficiency*. Noroil, April 1988, p. 59-60.
- [27] Deelen, van Paul, *Vloeibaar vormgeven. Gegoten metaal verdient beter*. Bouw nr. 8, April 1993, p. 16-21.
- [28] Foundry, *Databook 2005 & 2006*. January 2005 & 2006
- [29] Werning, H, *Integrierte Fertigung durch Giessen*. Konstruieren und Giessen 7 (1982), Nr. 4, p. 26-34
- [30] Kriemann, E, *Konstrukteur-Giesser: Erfolgreiche zusammenarbeit*. Konstruieren und Giessen 7 (1982), Nr. 4, p. 18-19.
- [31] Steinbauer, G, *Bestellung von Guss: Die häufigsten fehler*. Konstruieren und Giessen 6 (1981), Nr. 1, p. 4-9.
- [32] Nakamura, Ken-ichi, *Structural Characteristics of overlapped cast steel nodes*. Kobelco technical bulletin-1105 1986.
- [33] Denzer, Gundolf en Ulrich Weyer en Christof Dieckman, *Die Talbrücke St. Kilian-Entwurf und ausführung*. Stahlbau 75 (2006), Heft 2, p. 105-116.
- [34] Schlaich, Jorg en Hans Schober, *Rohrknoten aus Stahlguß*. Stahlbau 68 (1999), Heft 8, p. 652-665
- [35] *Steel Castings handbook. Supplement 3. 2003 Dimensional Capabilities*. Steel founders' Society of America.
- [36] *Steel Castings handbook. Supplement 10. A glossary of foundry terms*. Steel founders' Society of America.
- [37] *Steel Castings handbook. Supplement 2. 1999 Summary of standard specifications for steel castings*. Steel founders' Society of America.
- [38] *Guide to quality and inspection requirements for steel castings*. CAEF The European Foundry Association Steel Castings Group.
- [39] Romeijn, A, *Steel Bridges*. Tudelft: 2002
- [41] Nakamura, K., *Static and fatigue strength design of overlapped case steel node*. Offshore Technology Conference 1986.
- [42] Louvo, Arno, *Casting Simulation as a tool in concurrent engineering*. Presentation at Casting 1997- International ADI and simulation conference.
- [43] Marques, Maria José, *CAE techniques for casting optimization*. INEGI, Portugal.
- [44] Shamasundar, S., *Computer simulation and analysis of investment casting process*. Prosim-AFTC en Texmo Precision casting.
- [45] Midea, Tony C. en David Schmidt, *Casting simulation software survey*. Modern Casting, Mei 1999.
- [46] Eekhout, Mick, *Buis constructies in de architectuur*. Cidect 1996.
- [47] Avneg, *Elke procent energie besparing betekent concurrentievoordeel*.
- [48] Verburg, M.J. en H.TH. Rekveld, *Wand van gaas beteugelt supportersgeweld*. Bouwen met staal 142 (1998), p. 50-53.
- [49] Mann, A.P. en N. Thompson en M. Smits, *Building the British Airways London eye*. Civil Engineering 144 Mei 2001, p. 60-72.
- [50] *Feeding & risering Guidelines for steel castings*. Steel founders'society of America 2001
- [51] Architecture Steel Stahl Acier 16 2004, p.15.
- [52] Paine, Adrian en Matthias Gaumann en Marco Gremaud, *Simulating the lost foam casting process*. www.esi-group.com
- [53] Blair, M en Raymond Monroe, *Castings or Forgings? A realistic evaluation*. Steel founders' society of America, 2000.
- [54] Weernink, J. *Geknoopt gietijzer*, De Ingenieur 8, 2 juni 2006

Geraadpleegde Normen:

NEN-EN-ISO 1101 (nl) 2006
NEN-EN 1559-2 (en) 2000
NEN-EN 1559-1 (en) 1997
NEN-EN 1559-3 (nl) 1997
NEN-EN 1560 (nl) 1997
NEN-EN 1561 (nl) 1997
NEN-EN 1564 (nl) 1997
NEN-EN 1561 (nl) 1997
NEN-EN-ISO 8062-2 (en) 2000
NEN-EN-ISO 8062-1 (en) 2000
NEN-EN 10027-1 (en) 2005
NEN-EN 10027-2 (en) 1993
NEN-ISO 10135 (nl) 1994
NEN-EN 12833 (en) 2000
NEN-EN 12890 (en) 2000
NEN-EN 12892 (en) 2000
NEN-EN 10283 (nl) 1998
NEN-EN 10293 (en) 2005
NEN-EN 10340 (en) 2004
NEN-EN 10213-1 (nl) 1996
NEN-EN 10213-2 (nl) 1996
NEN-EN 10213-3 (nl) 1996
NEN-EN 10213-4 (nl) 1996
NEN-EN 10213 (en) 2004
NEN-EN 10295 (en) 2002
NEN-EN 1011-8 (en) 2004
NEN-EN 1563 (nl) 1997
NEN-EN 1562 (nl) 1997

Elektronische bronnen:

- [40] <http://www.Metaalgieten.nl>
- [41] <http://www.mukogawa-u.ac.jp/.../sundom2e/tyukyaku.htm> afbeelding
- [42] <http://www.alustema.webdesign.nl>
- [43] <http://www.sheffieldforgemasters.com>
- [44] http://www.atlascastings.com/product_10.html
- [45] <http://www.octatube.nl/>
- [46] <http://www.sfsa.org/>
- [47] <http://foundry.texterity.com/foundry/200511/>
- [48] <http://www.caef.org/downloads/kategorie.asp?kat=8>
- [49] <http://www.soestergieterij.nl/>
- [50] http://www.atlascastings.com/product_01.html
- [51] <http://www.sheffieldforgemasters.com/>
- [52] <http://www.cirex.nl>
- [53] <http://www.deglobe.com>
- [54] <http://www.geraedtsijzergieterij.nl>
- [55] <http://www.lovink.com>
- [56] <http://www.nijhuispompen.nl>
- [57] <http://www.nijg.com>
- [58] <http://www.rademakersgieterij.com>
- [59] <http://www.ijzergieterij.nl>
- [60] <http://www.vanvoorden.nl>
- [61] <http://www.mvh.nl>
- [62] <http://www.nvvgt.nl>
- [63] <http://www.newell-allard.com>
- [64] <http://www.icme.org.uk>
- [65] <http://www.caef-eurofoundry.org>
- [66] <http://www.magmasoft.com>
- [67] <http://www.steel-sci.org>
- [68] <http://www.cidect.de/>
- [69] <http://www.bouwenmetstaal.nl>
- [70] <http://www.castech.fi>
- [71] <http://www.esi-group.com>
- [72] <http://www.gjuteriforeningen.se/eng/md/dc/gjsim.htm>
- [73] <http://www.casting-source.com/sand-castings.htm>
- [74] <http://www.castingsforindustry.com/castings-glossary.htm>
- [75] <http://www.ironbridge.org.uk>
- [76] <http://www.transportcafe.co.uk>
- [77] <http://www.technologystudent.com>
- [78] <http://mech2006.vtk.be>
- [79] <http://212.23.45.27/lwwcm/publishing.nsf>
- [80] <http://www.ajaxtocco.ca>
- [81] www.berknerdesigns.com
- [82] www.me.gatech.edu
- [83] <http://www.steelconstruct.com>
- [84] ocw.mit.edu

Bijlage 1a Aanduiding van gietijzer met symbolen volgens NEN-EN 1560

Positie 1 verplicht behalve 4.2.2	Positie 2 verplicht		Positie 3 optioneel		Positie 4 optioneel		Positie 5 verplicht, kies a) of b)				Positie 6 optioneel	
Voorvoeg- sel	Soort metaal		Grafietstructuur		micro- of macrostructuur		a) mechanische eigenschappen		b) chemische samenstelling		Aanvullende eisen	
		Symbool		Symbool		Symbool		Symbool		Symbool		Symbool
EN-	Gietijzer	GJ	lamellair	L	austeniet	A	aa) treksterkte: getal met 3 of 4 cijfers, die de minimumwaarde in N/mm ² aangeven	bijv. 350	ba) letter als symbool voor de aanduiding van de chemische samenstelling	X	gietstuk in gegoten toestand	D
			nodulair	S	ferriet	F					warmtebe- handeld gietstuk	H
			smeedbaar ¹⁾	M	perliet	P						
			vermiculair	V	martensiet	M	ab) rek: een koppeltken en een getal met 1 of 2 cijfers, die de minimumwaarde in % aangeven	bijv. -19	bb) koolstofgehalte in procent $\times 100$, maar alleen indien het koolstofgehalte belangrijk is	bijv. 300	lasbaarheid voor las- verbindingen	W
			geen grafiet (hard), ledeburitisch	N	ledeburiet	L	ac) 1 letter die de vervaardiging van monsters aangeeft:		bc) chemische symbolen van de legeringselement en	bijv. Cr	aanvullende eisen gespecifi- ceerd tijdens de bestelling	Z
			speciale structuur aangegeven in de relevante materiaalnorm	Y	afgeschrikt	Q	- apart gegoten monster	S	bd) percentages van de legerings- elementen, van elkaar gescheiden met een koppel- teken	bijv. 9-5-2		
					veredeld	T	- aangegoten monster	U				
					frisijzer met zwarte kern ²⁾	B						
					gefrist smeedbaar gietijzer ²⁾	W						

Bijlage 1b Aanduiding van gietijzer met nummer volgens NEN-EN 1560

Positie 1 tot en met 3	Positie 4	Positie 5		Positie 6		Positie 7 en 8		Positie 9		
Voorvoegsel	Soort metaal	letter	Grafietstructuur	letter	Belangrijkste eigenschap		Individueel materiaal		Specifieke eis van het individuele materiaal	
						getal		getal		getal
EN-	gietijzer	J	lamellair	L	reserve	0	nummers die door de materiaalnorm worden toegekend	00 tot en met 99	geen specifieke eis	0
			nodulair	S	treksterkte	1			apart gegoten monster	1
			smeedbaar ¹⁾	M	hardheid	2			aangegoten monster	2
			vermiculair	V	chemische samenstelling	3			monster genomen uit een gietstuk	3
			geen grafiet (hard) ledeburitisch	N	reserve	4 tot 9			kerfslagwaarde bij omgevingstemperatuur	4
			speciale structuur, aangegeven in de relevante materiaalnorm	Y					kerfslagwaarde bij lage temperatuur	5
									gespecificeerde lasbaarheid	6
									gietstuk in gegoten toestand	7
									warmtebehandeld gietstuk	8
									aanvullende eisen gespecificeerd tijdens de bestelling of combinaties van individuele eisen gespecificeerd in de materiaalnorm	9

1) Inclusief gefrist smeedbaar gietijzer.

1) Inclusief gefrist smeedbaar gietijzer.

Bijlage 2a Aanduiding van gietstaal 'G' met symbolen volgens NEN-EN 10027-1

Table 13 — Non-alloy steels with an average manganese content ≥ 1 %, non-alloy free-cutting steels and alloy steels (except high speed steels) where the content, by weight, of every average alloying element is < 5 %

Principal symbols						Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products													
G						n		n		n		a ..		n-n ..				+an +an		a	
Principal symbols						Additional symbols															
Letter		Carbon content ^b		Alloying elements		For steel				For steel products											
						Group 1		Group 2													
G = steel casting (where necessary)		nnn = 100 x specified average carbon percentage content. Where the carbon content is not specified by a range, a suitably representative value shall be selected by the responsible body (see 4.3)		a = chemical symbols indicating alloying elements ^c that characterise the steel followed by: n-n = numbers, separated by hyphens, representing respectively the average percentage content of the elements multiplied by the following factors		-				Tables 16 and 18											
				Element		Factor															
				Cr, Co, Mn, Ni, Si, W		4															
				Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr		10															
				Ce, N, P, S		100															
				B		1000															
^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.																					
^b To distinguish between two similar steel grades, the number indicating carbon content may be increased by 1.																					
^c The sequence of symbols shall be in decreasing order of the values of the average percentage content; where the values of contents are the same for two or more elements, the corresponding symbols shall be indicated in alphabetical order.																					

Bijlage 2b Aanduiding van gietstaal 'GS' met symbolen volgens NEN-EN 10027-1

Principal symbols				Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products	
G	S	n	n	n	an	+an +an	a
Principal symbols		Additional symbols					
Letter	Mechanical property	For steel				For steel product	
		Group 1 ^b			Group 2 ^{c d}		
G = steel casting (where necessary) S = structural steel	nnn = specified minimum yield strength ^e in MPa ^f for the smallest thickness range	Impact property Energy Joules (J)			Test temperature	C = Special cold forming D = Hot dip coating E = Enamelling F = Forgings H = Hollow section L = Low temperature M = Thermomechanically rolled N = Normalised or normalised rolled P = Sheet piling Q = Quenched and tempered S = Ship building T = Tubes W = Weather resistant an = Chemical symbol of specified additional elements, e.g. Cu, together, where necessary, with a single digit representing 10 x the average (rounded to 0,1%) of that specified range of the content of that element	Tables 16, 17 and 18
		27J	40J	60J	°C		
		JR	KR	LR	20		
		J0	K0	L0	0		
		J2	K2	L2	-20		
		J3	K3	L3	-30		
		J4	K4	L4	-40		
		J5	K5	L5	-50		
		J6	K6	L6	-60		
		A = Precipitation hardening M = Thermomechanically rolled N = Normalised or normalised rolled Q = Quenched and tempered G = Other characteristics followed, where necessary by 1 or 2 digits					

^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.

^b Symbols A, M, N and Q in Group 1 apply to fine grain steels.

^c Symbols of Group 2, other than chemical symbols, may be suffixed by one or two digits in order to distinguish between qualities in accordance with the relevant product standard.

^d If two of the symbols of this Group are needed the chemical symbol shall be the last one.

^e The term "yield strength" refers to upper or lower yield strength (R_{eH}) or (R_{eL}) or proof strength (R_p), or proof strength total extension (R_t) depending on the requirement specified in the relevant product standard.

^f 1 MPa = 1 N/mm².

Bijlage 2c Aanduiding van gietstaal 'GP' met symbolen volgens NEN-EN 10027-1

Table 2 — Steels for pressure purposes

Principal symbols			Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products	
G	P	nnn	an		+an + an a	
Principal symbols			Additional symbols			
Letter	Mechanical property	For steel			For steel products	
		Group 1 ^b		Group 2 ^c		
G = steel casting (where necessary) P = steels for pressure purposes	nnn = specified minimum yield strength ^d in MPa ^e for the smallest thickness range	B = Gas bottles M = Thermomechanically rolled N = Normalised or normalised rolled Q = Quenched and tempered S = Simple pressure vessels T = Tubes G = Other characteristics followed, where necessary, by 1 or 2 digits		H = High temperature L = Low temperature R = Room temperature X = High and low temperature	Tables 16, 17 and 18	

^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.

^b Symbols M, N and Q in group 1 apply to fine grain steels.

^c Symbols of group 2, other than chemical symbols, may be suffixed by one or two digits in order to distinguish between qualities in accordance with the relevant product standard.

^d The term "yield strength" refers to upper or lower yield strength (R_{eH}) or (R_{eL}) or proof strength (R_p), or proof strength total extension (R_t) depending on the requirement specified in the relevant product standard.

^e 1 MPa = 1 N/mm².

Bijlage 2d Aanduiding van gietstaal 'GE' met symbolen volgens NEN-EN 10027-1

Table 4 — Steels for engineering

Principal symbols			Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products	
G	E	n n n	an		+an + an	
Principal symbols			Additional symbols			
Letter	Mechanical property	For steel		For steel products		
		Group 1	Group 2			
G= steel casting (where necessary) E= engineering steels	nnn = specified minimum yield strength ^b in MPa ^c for the smallest thickness range	G = other characteristics followed, where necessary by 1 or 2 digits or in case where impact properties are specified the rules of Table 1 Group 1 shall be applied	C = suitability for cold drawing	Table 18		

^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.

^b The term "yield strength" refers to upper or lower yield strength (R_{eH}) or (R_{eL}) or proof strength (R_p), or proof strength total extension (R_t) depending on the requirement specified in the relevant product standard.

^c 1 MPa = 1 N/mm².

Bijlage 2e Aanduiding van gietstaal 'GX' met symbolen volgens NEN-EN 10027-1

Table 14 — Stainless steels and other alloy steels (except high speed steels) where the average content by weight of at least one alloying element is $\geq 5\%$

Principal symbols					Additional symbols for steel	Additional symbols for steel products
G	X	n	n	n	a ... n-n...	an..... +an +an
PM	X	n	n	n	a ... n-n...	

Principal symbols			Additional symbols		
Letter	Carbon content ^b	Alloying elements	For steel ^d		For steel products
			Group 1	Group 2	
G = steel casting (where necessary) PM = powder metallurgy (where necessary for tool steel) X = the average content of at least one alloying element $\geq 5\%$	nnn = 100 x specified average carbon percentage content. Where the carbon percentage content is not specified by a range, a suitable representative value shall be selected by the responsible body (see 4.3)	a = chemical symbols indicating alloying elements ^c that characterize the steel followed by: n-n = numbers, separated by hyphens representing respectively the average percentage of the elements rounded to the nearest integer	a = chemical symbol, separated by a hyphen, indicating an alloying element that characterizes the steel and whose content is in the range of 0,20 % up to 1,0 % followed by: n = 10 x specified average content for the alloying element		Tables 16 and 18

^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.

^b To distinguish between two similar steel grades, the number indicating carbon content may be increased by 1.

^c The sequence of symbols shall be in decreasing order of the values of the average percentage content; where the values of contents are the same for two or more elements, the corresponding symbols shall be indicated in alphabetical order.

^d An example is given for a steel having high nitrogen content (see below).

Bijlage 2f Aanduiding met Staalnummers gietstaal volgens NEN-EN 10027-2

nr.	ongelegeerde staalsoorten				gelegeerde staalsoorten									
	staal voor algemeen gebruik		kwaliteitsstaal		speciaalstaal	kwaliteitsstaal		speciaalstaal						
								gereedschapsstaal	diverse staalsoorten	corrosievaste en hittebestendige staalsoorten	constructiestaal voor drukvaten			
0	00	90			10 staalsoorten met bijzondere fysische eigenschappen			20 Cr	30	40 corrosievaste staalsoorten met Ni < 2,5 % zonder Mo, Nb, Ti	50 Mn-Si-Cu	60 Cr-Ni met $\geq 2,0 < 3$ % Cr	70 Cr Cr-B	80 Cr-Si-Mo Cr-Si-Mn-Mo Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mn-Mo-V
1			01	91	constructiestaal voor algemeen gebruik $R_m < 500$ N/mm ²			21 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si	31	41 corrosievaste staalsoorten met Ni < 2,5 % met Mo, zonder Nb, Ti	51 Mn-Si Mn-Cr	61	71 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mn-V
2			02	92	constructiestaal voor speciaal gebruik, niet bestemd voor een warmtebehandeling $R_m < 500$ N/mm ²			22 Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si	32 snelstaal met Mo	42	52 Mn-Cu Mn-V, Si Mn-Si-V	62 Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu	72 Cr-Mo met < 0,35 % Mo Cr-Mo-B	82 Cr-Mo-W Cr-Mo-W-V
3			03	93	staalsoorten met gemiddeld C < 0,12 % of $R_m < 400$ N/mm ²			23 Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V	33 snelstaal zonder Mo	43 corrosievaste staalsoorten met Ni $\geq 2,5$ % zonder Mo, Nb, Ti	53 Mn-Ti Si-Ti	63 Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu Ni-Mo-V Ni-Mn-V	73 Cr-Mo met $\geq 0,35$ % Mo	83
4			04	94	staalsoorten met gemiddeld C $\geq 0,12$ % < 0,25 % of $R_m \geq 400$ < 500 N/mm ²			24 W Cr-W	34	44 corrosievaste staalsoorten met Ni $\geq 2,5$ % met Mo, zonder Nb, Ti	54 Mo Nb, Ti, V W	64	74	84 Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti
5			05	95	staalsoorten met gemiddeld C $\geq 0,25$ % < 0,55 % of $R_m \geq 500$ < 700 N/mm ²			25 W-V Cr-W-V	35 kogellagerstaal	45 corrosievaste staalsoorten met bijzondere toevoegingen	55 B Mn-B < 1,65 % Mn	65 Cr-Ni-Mo met < 0,4 % Mo + < 2,0 % Ni	75 Cr-V met < 2,0 % Cr	85 nitreerstaal
6			06	96	staalsoorten met gemiddeld C $\geq 0,55$ % of $R_m \geq 700$ N/mm ²			26 W buiten de klassen 24, 25 en 27	36 materiaal met bijzondere magnetische eigenschappen zonder Co	46 corrosievaste en hittebestendige staalsoorten, Ni gelegeerd	56 Ni	66 Cr-Ni-Mo met < 0,4 % Mo + $\geq 2,0 < 3,5$ % Ni	76 Cr-V met $\geq 2,0$ % Cr	86
7			07	97	staalsoorten met een hoog gehalte aan P of S			27 met Ni	37 materiaal met bijzondere magnetische eigenschappen met Co	47 hittebestendige staalsoorten met Ni < 2,5 %	57 Cr-Ni met < 1,0 % Cr	67 Cr-Ni-Mo met < 0,4 % Mo + Ni $\geq 3,5 < 5,0$ % of $\geq 0,4$ % Mo	77 Cr-Mo-V	87 staalsoorten niet bestemd om bij de gebruiker een warmtebehandeling te ondergaan
8					18 gereedschapsstaal	08	98	28 andere	38 materiaal met bijzondere fysische eigenschappen zonder Ni	48 hittebestendige staalsoorten met Ni $\geq 2,5$ %	58 Cr-Ni met $\geq 1,0$ < 1,5 % Cr	68 Cr-Ni-V Cr-Ni-W Cr-Ni-V-W	78	88 lasbare staalsoorten met een hoge treksterkte
9					19	09	99	29	39 materiaal met bijzondere fysische eigenschappen met Ni	49 staalsoorten met eigenschappen bij verhoogde temperaturen	59 Cr-Ni met $\geq 1,5$ < 2,0 % Cr	69 Cr-Ni buiten de klassen 57 tot 68	79 Cr-Mn-Mo Cr-Mn-Mo-V	89 lasbare staalsoorten met een hoge treksterkte

1. De indeling van staalgroepen is overeenkomstig de indeling volgens EN 10020.

2. De volgende informatie is in de vakken van de tabel gegeven:

a) het nummer van de staalgroep (links boven)

b) het hoofdkenmerk van de staalgroep

c) R_m = treksterkte.

De grenswaarden voor de chemische samenstelling en de treksterkte (R_m) zijn slechts ter informatie gegeven.

Bijlage 3a Mechanische eigenschappen van soorten grijs gietijzer volgens NEN-EN 1561

Tabel 1: Treksterkte van soorten grijs gietijzer

Materiaalaanduiding		Maatgevende wanddikte ¹⁾		Treksterkte R_m ²⁾ Verplichte waarden		Treksterkte R_m ⁴⁾ Verwachte waarden in gietstuk ⁵⁾
Symbol	Nummer	mm		Apart gegoten monster ³⁾ N/mm ²	Aangegoten monster N/mm ² min.	N/mm ² min.
groter dan	tot en met					
EN-GJL-100	EN-JL1010	5 ⁶⁾	40	100 tot 200 ⁷⁾	–	–
EN-GJL-150	EN-JL1020	2,5 ⁶⁾	5	150 tot 250 ⁷⁾	–	180
		5	10		–	155
		10	20		–	130
		20	40		120	110
		40	80		110	95
		80	150		100	80
		150	300		90 ⁵⁾	–
EN-GJL-200	EN-JL1030	2,5 ⁶⁾	5	200 tot 300 ⁷⁾	–	230
		5	10		–	205
		10	20		–	180
		20	40		170	155
		40	80		150	130
		80	150		140	115
		150	300		130 ⁵⁾	–
EN-GJL-250	EN-JL1040	5 ⁶⁾	10	250 tot 350 ⁷⁾	–	250
		10	20		–	225
		20	40		210	195
		40	80		190	170
		80	150		170	155
		150	300		160 ⁵⁾	–
EN-GJL-300	EN-JL1050	10 ⁶⁾	20	300 tot 400 ⁷⁾	–	270
		20	40		250	240
		40	80		220	210
		80	150		210	195
		150	300		190 ⁵⁾	–
EN-GJL-350	EN-JL1060	10 ⁶⁾	20	350 tot 450 ⁷⁾	–	315
		20	40		290	280
		40	80		260	250
		80	150		230	225
		150	300		210 ⁵⁾	–

1) Indien een aangegoten monster moet worden gebruikt, moet de maatgevende wanddikte tijdens de bestelling worden overeengekomen.

2) Indien tijdens de bestelling het aantonen van de treksterkte is overeengekomen, moet het soort monster in de bestelling worden genoemd (zie 8.2). Indien er geen overeenkomst is over het soort monster, wordt dit aan de fabrikant overgelaten.

3) Voor aanvaardbaarheidsdoeleinden moet de treksterkte van een gegeven soort tussen zijn nominale waarde n (positie 5 van het materiaalsymbool) en $(n + 100)$ N/mm² liggen.

4) Deze kolom geeft een leidraad voor de waarschijnlijke variatie in treksterkte voor verschillende maatgevende wanddikten indien een gietstuk met een eenvoudige vorm en uniforme wanddikte met een gegeven soort grijs gietijzer wordt gegoten. Voor gietstukken met een niet-uniforme wanddikte of gietstukken met kernkasten zijn de waarden in de tabel slechts een benaderde leidraad voor de waarschijnlijke treksterkte in verschillende delen en het ontwerp van gietstukken zou moeten zijn gebaseerd op de gemeten treksterkte in kritische delen van het gietstuk.

5) Deze waarden dienen als richtlijn. Zij zijn niet verplicht.

6) Deze waarde is opgenomen als de ondergrens van het maatgevende wanddiktegebied.

7) De waarden betreffen monsters met een middellijn zoals gegoten van 30 mm; dit komt overeen met een maatgevende wanddikte van 15 mm.

OPMERKINGEN

1) 1 N/mm² is gelijk aan 1 MPa.

2) Voor een hoge dempingscapaciteit en thermische geleiding is EN-GJL-100 (EN-JL1010) het meest geschikte materiaal.

3) De materiaalaanduiding is volgens EN 1560.

4) De in vet afgedrukte getallen geven de minimumtreksterkte aan waaraan het symbool van de soort is gerelateerd.

Bijlage 3b Mechanische eigenschappen van soorten smeedbaar gietijzer volgens NEN-EN 1562

Tabel 1: Mechanische eigenschappen van frisijzer

Materiaalaanduiding		Nominale middellijn van de proefstaaf d mm	Treksterkte R_m N/mm ² min.	Rek $A_{3,4}$ % min.	0,2%-rek-grens $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Hardheid volgens Brinell (slechts ter informatie) HB max.
Symbol	Nummer					
EN-GJMW-350-4	EN-JM1010	6	270	10	— ¹⁾	230
		9	310	5	—	
		12	350	4	—	
		15	360	3	—	
EN-GJMW-360-12 ²⁾	EN-JM1020 ²⁾	6	280	16	— ¹⁾	200
		9	320	15	170	
		12	360	12	190	
		15	370	7	200	
EN-GJMW-400-5	EN-JM1030	6	300	12	— ¹⁾	220
		9	360	8	200	
		12	400	5	220	
		15	420	4	230	
EN-GJMW-450-7	EN-JM1040	6	330	12	— ¹⁾	220
		9	400	10	230	
		12	450	7	260	
		15	480	4	280	
EN-GJMW-550-4	EN-JM1050	6	—	—	— ¹⁾	250
		9	490	5	310	
		12	550	4	340	
		15	570	3	350	

1) Door de problemen bij het bepalen van de rek-grens op kleine proefstaven, moesten de waarden en de meetmethode tussen de fabrikant en de koper tijdens de bestelling worden overeengekomen.

2) Het meest geschikte materiaal voor lassen.

OPMERKINGEN

1) 1 N/mm² is gelijk aan 1 MPa.

2) De materiaalaanduiding is volgens EN 1560.

3) De in vet afgedrukte getallen geven de minimumtreksterkte en de minimumrek $A_{3,4}$ aan waaraan het symbool van de soort is gerelateerd en de gewenste nominale middellijn van de proefstaaf en de overeenkomende minimale 0,2%-rek-grens.

Tabel 2: Mechanische eigenschappen van temperijzer

Materiaalaanduiding		Nominale middellijn van de proefstaaf ¹⁾ d mm	Treksterkte R_m N/mm ² min.	Rek $A_{3,4}$ % min.	0,2%-rek-grens $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Hardheid volgens Brinell (slechts ter informatie) HB
Symbol	Nummer					
EN-GJMB-300-6 ²⁾	EN-JM1110 ²⁾	12 of 15	300	6	—	150 max.
EN-GJMB-350-10	EN-JM1130	12 of 15	350	10	200	150 max.
EN-GJMB-450-6	EN-JM1140	12 of 15	450	6	270	150 tot 200
EN-GJMB-500-5	EN-JM1150	12 of 15	500	5	300	165 tot 215
EN-GJMB-550-4	EN-JM1160	12 of 15	550	4	340	180 tot 230
EN-GJMB-600-3	EN-JM1170	12 of 15	600	3	390	195 tot 245
EN-GJMB-650-2	EN-JM1180	12 of 15	650	2	430	210 tot 260
EN-GJMB-700-2	EN-JM1190	12 of 15	700	2	530	240 tot 290
EN-GJMW-800-1	EN-JM1200	12 of 15	800	1	600	270 tot 320

1) Indien een proefstaaf met een middellijn van 6 mm representatief is voor de maatgevende wanddikte van een gietstuk, mag deze maat van de proefstaaf worden gebruikt volgens overeenkomst tussen de fabrikant en de koper tijdens de bestelling. De minimale eigenschappen die in deze tabel zijn gegeven gelden.

2) Materiaal specifiek bedoeld voor toepassing waarbij de drukkichtheid belangrijker is dan een hoge mate van sterkte en vervormbaarheid.

OPMERKINGEN

1) 1 N/mm² is gelijk aan 1 Mpa.

2) De materiaalaanduiding is volgens EN 1560.

3) De in vet afgedrukte getallen geven de minimumtreksterkte en de minimumrek $A_{3,4}$ van de soort aan.

Bijlage 3c Mechanische eigenschappen van soorten nodulair gietijzer volgens NEN-EN 1563

Tabel 1: Mechanische eigenschappen gemeten op proefstaven vervaardigd uit apart gegoten monster

Aanduiding van het materiaal		Treksterkte R_m N/mm ² min.	0,2%-rekgrens $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Rek A % min.
Symbol	Materiaal- nummer			
EN-GJS-350-22-LT ¹⁾	EN-JS1015	350	220	22
EN-GJS-350-22-RT ²⁾	EN-JS1014	350	220	22
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	350	220	22
EN-GJS-400-18-LT ¹⁾	EN-JS1025	400	240	18
EN-GJS-400-18-RT ²⁾	EN-JS1024	400	250	18
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	400	250	18
EN-GJS-400-15	EN-JS1030	400	250	15
EN-GJS-450-10	EN-JS1040	450	310	10
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	500	320	7
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	600	370	3
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	700	420	2
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	800	480	2
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	900	600	2

1) LT voor lage temperatuur.
2) RT voor omgevingstemperatuur.

OPMERKING 1
De waarden van deze materialen gelden voor in zandvormen gegoten gietstukken met vergelijkbare thermische eigenschappen. Afhankelijk van bij de bestelling overeengekomen aanvullingen, kunnen zij voor gietstukken, die met een andere methode zijn verkregen, gelden.

OPMERKING 2
Onafhankelijk van de gebruikte methode voor het vervaardigen van de gietstukken, zijn de soorten gebaseerd op de mechanische eigenschappen gemeten op proefstaven genomen uit apart gegoten monsters in een zandvorm of een vorm met vergelijkbare thermische eigenschappen.

OPMERKING 3
1 N/mm² = 1 MPa.

OPMERKING 4
De aanduiding van de materialen is volgens EN 1560.

Bijlage 3d Mechanische eigenschappen van soorten gietstaal volgens NEN-EN 10293

Table 3 — Mechanical properties

Designation		Heat treatment ^a			Thickness <i>t</i> mm	Mechanical properties				
						Tensile test at room temperature			Impact test ^b	
Name	Number	Symbol ^c	Normalizing or austenitizing °C	Tempering °C		<i>R_m</i> _{0,2} MPa ^d min.	<i>R_m</i> MPa ^d	<i>A</i> %	<i>KV</i> J min.	Temperature °C
GE200	1.0420	+ N	900 to 980 ^e	-	<i>t</i> ≤ 300	200	380 to 530	25	27	RT ^f
GS200	1.0449	+N	900 to 980 ^e	-	<i>t</i> ≤ 100	200	380 to 530	25	35	RT ^f
GE240	1.0446	+ N	900 to 980 ^e	-	<i>t</i> ≤ 300	240	450 to 600	22	27	RT ^f
GS240	1.0455	+N	880 to 980 ^e	-	<i>t</i> ≤ 100	240	450 to 600	22	31	RT ^f
GE300	1.0558	+ N	880 to 960 ^e	-	<i>t</i> ≤ 30	300	600 to 750	15	27	RT ^f
					30 < <i>t</i> ≤ 100	300	520 to 670	18	31	RT ^f
G17Mn5	1.1131	+ QT	920 to 980 ^{e,g}	600 to 700	<i>t</i> ≤ 50	240	450 to 600	24	27 70	-40 RT ^f
G20Mn5	1.6220	+ N	900 to 980 ^e	-	<i>t</i> ≤ 30	300	480 to 620	20	27 50	-30 RT ^f
		+ QT	900 to 980 ^{e,g}	610 to 660	<i>t</i> ≤ 100	300	500 to 650	22	27 60	-40 RT ^f
G24Mn6	1.1118	+ QT1	880 to 950 ^g	520 to 570	<i>t</i> ≤ 50	550	700 to 800	12	27	-20
		+ QT2		600 to 650	<i>t</i> ≤ 100	500	650 to 800	15	27	-30
		+ QT3		650 to 680	<i>t</i> ≤ 150	400	600 to 800	18	27	-30
G28Mn6	1.1165	+ N	880 to 950 ^e	-	<i>t</i> ≤ 250	260	520 to 670	18	27	RT ^f
		+ QT1	880 to 950 ^g	630 to 680	<i>t</i> ≤ 100	450	600 to 750	14	35	RT ^f
		+ QT2	880 to 950 ^g	580 to 630	<i>t</i> ≤ 50	550	700 to 850	10	31	RT ^f
G20Mo5	1.5419	+ QT	920 to 980 ^g	650 to 730	<i>t</i> ≤ 100	245	440 to 590	22	27	RT ^f
to be continued										
G10MnMoV6-3	1.5410	+ QT1	950 to 980 ^e	640 to 660	<i>t</i> ≤ 50	380	500 to 650	22	27 60	-20 RT ^f
					50 < <i>t</i> ≤ 100	350	480 to 630	22	60	RT ^f
					100 < <i>t</i> ≤ 150	330	480 to 630	20	60	RT ^f
					150 < <i>t</i> ≤ 250	330	450 to 600	18	60	RT ^f
		+ QT2	950 to 980 ^g	640 to 660	<i>t</i> ≤ 50	500	600 to 750	18	27 60	-20 RT ^f
					50 < <i>t</i> ≤ 100	400	550 to 700	18	60	RT ^f
					100 < <i>t</i> ≤ 150	380	500 to 650	18	60	RT ^f
					150 < <i>t</i> ≤ 250	350	460 to 610	18	60	RT ^f
		+QT3	950 to 980 ^g	740 to 760	<i>t</i> ≤ 100	400	520 to 650	22	27	-20
				+600 to 650					60	RT ^f
G15CrMoV6-9 ^h	1.7710	+ QT1	950 to 980 ^g	650 to 670	<i>t</i> ≤ 50	700	850 to 1 000	10	27	RT ^f
		+ QT2	950 to 980 ^g	610 to 640	<i>t</i> ≤ 50	930	980 to 1 150	6	27	RT ^f
G17CrMo5-5	1.7357	+ QT	920 to 960 ^{e,g}	680 to 730	<i>t</i> ≤ 100	315	490 to 690	20	27	RT ^f
G17CrMo9-10	1.7379	+ QT	930 to 970 ^{e,g}	680 to 740	<i>t</i> ≤ 150	400	590 to 740	18	40	RT ^f
G26CrMo4	1.7221	+ QT 1	880 to 950 ^{e,g}	600 to 650	<i>t</i> ≤ 100	450	600 to 750	16	40	RT ^f
					100 < <i>t</i> ≤ 250	300	550 to 700	14	27	RT ^f
		+ QT 2	880 to 950 ^g	550 to 600	<i>t</i> ≤ 100	550	700 to 850	10	18	RT ^f
G34CrMo4	1.7230	+ QT 1	880 to 950 ^g	600 to 650	<i>t</i> ≤ 100	540	700 to 850	12	35	RT ^f
					100 < <i>t</i> ≤ 150	480	620 to 770	10	27	RT ^f
		+ QT 2	880 to 950 ^g	550 to 600	<i>t</i> ≤ 100	330	620 to 770	10	16	RT ^f
					<i>t</i> ≤ 100	650	830 to 980	10	27	RT ^f

to be continued

					$t \leq 100$	min.		min.	min.	
G42CrMo4	1.7231	+ QT1	880 to 950 g	600 to 650	$t \leq 100$	600	800 to 950	12	31	RT ^f
					$100 < t \leq 150$	550	700 to 850	10	27	RT ^f
					$150 < t \leq 250$	350	650 to 800	10	16	RT ^f
		+ QT2	880 to 950 g	550 to 600	$t \leq 100$	700	850 to 1 000	10	27	RT ^f
G30CrMoV6-4	1.7725	+ QT1	880 to 950 g	600 to 650	$t \leq 100$	700	850 to 1 000	14	45	RT ^f
					$100 < t \leq 150$	550	750 to 900	12	27	RT ^f
					$150 < t \leq 250$	350	650 to 800	12	20	RT ^f
		+ QT2	880 to 950 g	530 to 600	$t \leq 100$	750	900 to 1 100	12	31	RT ^f
G35CrNiMo6-6	1.6579	+ N	860 to 920 g ^e		$t \leq 150$	550	800 to 950	12	31	RT ^f
					$150 < t \leq 250$	500	750 to 900	12	31	RT ^f
		+ QT1	860 to 920 g ^e	600 to 650	$t \leq 100$	700	850 to 1 000	12	45	RT ^f
					$100 < t \leq 150$	650	800 to 950	12	35	RT ^f
					$150 < t \leq 250$	650	800 to 950	12	30	RT ^f
		+ QT2	860 to 920 g	510 to 560	$t \leq 100$	800	900 to 1 050	10	35	RT ^f
G9Ni14	1.5638	+ QT	820 to 900 g	590 to 640	$t \leq 35$	360	500 to 650	20	27	- 90
GX9Ni5	1.5681	+ QT	800 to 850 g	570 to 620	$t \leq 30$	380	550 to 700	18	27	- 100
G20NiMoCr4	1.6750	+ QT	880 to 930 g ^e	650 to 700	$t \leq 150$	410	570 to 720	16	27	- 45
									40	RT ^f
G32NiCrMo8-5-4	1.6570	+ QT1	880 to 920 g ^e	600 to 650	$t \leq 100$	700	850 to 1 000	16	50	RT ^f
					$100 < t \leq 250$	650	820 to 970	14	35	RT ^f
		+ QT2	880 to 920 g ^e	500 to 550	$t \leq 100$	950	1 050 to 1 200	10	35	RT ^f
G17NiCrMo13-6	1.6781	+ QT	890 to 930 g ^e	600 to 640	$t \leq 200$	600	750 to 900	15	27	- 80

to be continued

Table 3 (concluded)

Designation		Heat treatment ^a			Thickness t mm	Mechanical properties				
						Tensile test at room temperature			Impact test ^b	
Name	Number	Symbol ^c	Normalizing or austenitizing °C	Tempering °C		$R_{p0.2}$ MPa ^d min.	R_m MPa ^d	A % min.	KV J min.	Temperature °C
G30NiCrMo14	1.6771	+ QT1	820 to 880 g ^e	600 to 680	$t \leq 100$	700	900 to 1 050	9	30	RT ^f
					$100 < t \leq 150$	650	850 to 1 000	7	30	RT ^f
					$150 < t \leq 250$	600	800 to 950	7	25	RT ^f
		+ QT2	820 to 880 g ^e	550 to 600	$t \leq 50$	1 000	1 100 to 1 250	7	20	RT ^f
GX3CrNi13-4	1.6982	+ QT	1 000 to 1 050 g ^e	670 to 690 g ^e + 590 to 620	$t \leq 300$	500	700 to 900	15	27	- 120
GX4CrNi13-4	1.4317	+ QT	1 000 to 1 050 g ^e	590 to 620	$t \leq 300$	550	760 to 960	15	50	RT ^f
GX4CrNi16-4	1.4421	+ QT1	1 020 to 1 070 g ^e	580 to 630	$t \leq 300$	540	780 to 980	15	60	RT ^f
		+ QT2	1 020 to 1 070 g ^e	450 to 500	$t \leq 300$	830	1 000 to 1 200	10	27	RT ^f
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	+ QT	1 020 to 1 070 g ^e	580 to 630	$t \leq 300$	540	760 to 960	15	60	RT ^f
GX23CrMoV12-1	1.4931	+ QT	1 030 to 1 080 g ^e	700 to 750	$t \leq 150$	540	740 to 880	15	27	RT ^f

^a Temperature (for information only).

^b If two impact values are given, see 7.2.2.3.

^c + N means: Normalizing, + QT or + QT1 or + QT2 means: Quenching (air or liquid) + Tempering.

^d 1 MPa = 1N/mm².

^e Cooling in air (for information only).

^f RT means Room Temperature.

^g Cooling in liquid (for information only).

^h This grade G15CrMoV6-9 is applicable for short time uses at elevated temperature and the following yield strength values can be agreed:

	350 °C	450 °C	500 °C	550 °C
G15CrMoV6-9 + QT1	610	550	510	420
+ QT2	750	670	610	520

Bijlage 4 Lasbaarheid Gietstaal

Table A.1 — Welding conditions

Designation Name	Number	Preheat temperature °C ^a	Interpass temperature °C max.	Post heat treatment °C	
GP240GH	1.0619	20 to 150	350	No heat treatment necessary	
GP280GH	1.0625	20 to 150	350	No heat treatment necessary	
G20Mo5	1.5419	20 to 200	350	≥ 650	
G17CrMo5-5	1.7357	150 to 250	350	≥ 650	
G17CrMo9-10	1.7379	150 to 250	350	≥ 680	
G12MoCrV5-2	1.7720	200 to 300	400	≥ 680	
G17CrMoV5-10	1.7706	200 to 300	400	≥ 680	
GX15CrMo5	1.7365	150 to 250	350	≥ 650	
GX8CrNi12	1.4107	100 to 200	350	Same as normal tempering temperature	
GX3CrNi13-4	1.6982	20 to 200	b	b	
GX4CrNi13-4	1.4317	100 to 200	300	Same as normal tempering temperature	
GX23CrMoV12-1	1.4931	200 to 450	450	≥ 680 °C after cooling under 80 °C to 130 °C	
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	No preheat	200	Same as normal tempering temperature	
G17Mn5	1.1131	20 to 150	350	No heat treatment necessary	
GX2CrNiMoCuN25-6-3	1.4468	20 to 100	250	+ AT	+ AT
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	20 to 100	250	+ AT	+ AT
G20Mn5	1.6220	20 to 150	350	No heat treatment necessary	
G18Mo5	1.5422	20 to 200	350	≥ 650	
G9Ni10	1.5636	20 to 150	350	≥ 570	
G17NiCrMo13-6	1.6781	20 to 200	350	≥ 580	
G9Ni14	1.5638	20 to 200	300	≥ 560	
				Minor welds ^c	Major welds ^d
GX2CrNi19-11	1.4309	No preheat	b	No heat tr. necess.	No heat tr. necess. ^e
GX5CrNi19-10	1.4308			+AT ^{f,g}	
GX5CrNiNb19-11	1.4552			No heat tr. necess., but ^h	
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409			No heat tr. necess.	No heat tr. necess. ^e
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408			+AT ^{f,g}	
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581			No heat tr. necess., but ^h	
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	20 to 100	150	No heat tr. necess, but ^c	+AT ⁱ
GX10NiCrSiNb 32-20	1.4859	No preheat	200	For wall thickness > 80 mm, annealing at ≥ 850 °C is necessary to reduce residual stresses	
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	20 to 100	250	+ AT ^{ij}	+ AT ^j
GX3CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	20 to 100	250	+ AT ^{ij}	+ AT ^j
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	20 to 100	250	+ AT ^{ij}	+ AT ^j

^a The preheating temperature is related to the geometry and the thickness of the casting and climate conditions.

^b At the discretion of the manufacturer unless otherwise agreed.

^c For minor welds, were applicable, special arrangement shall be agreed upon according to corrosion conditions.

^d In general production welds are considered major when the depth of the cavity prepared for welding exceeds 40 % of the wall thickness.

^e For use at low temperature + AT is required.

^f The heat treatment for all the mentioned steels is + AT (solution annealing) ; it is usually made by liquid quenching or by air quenching if so agreed for very small and thin castings.

^g For use at high temperature + AT may be suppressed.

^h For improving the corrosion resistance a special stabilising heat treatment (stress relieve and carbide precipitation) in the range of 600 °C to 650 °C for GX5CrNiNb19-11 and 550 °C to 600 °C for GX5CrNiMoNb19-11-2 may be agreed.

ⁱ + AT may only be suppressed if welding is performed with restricted heat input conditions.

^j The heat treatment for all the mentioned steels is + AT (solution annealing). Air Quenching may be agreed for very small and thin castings. After solution annealing at high temperatures, castings may be cooled down to between 1 050 °C and 1 010 °C prior to water quenching in order to improve corrosion resistance and prevent cracks in complex shapes.

Tabel A1 NEN-EN 10340

Table A.1 — Guidance data for welding

Designation		Preheat temperature ^a	Interpass temperature max.	Post weld heat treatment
Name	Number	°C	°C	°C
GE200	1.0420	20 to 150	350	none
GS200	1.0449	20 to 150	350	none
GE240	1.0446	20 to 150	350	none
GS240	1.0455	20 to 150	350	none
GE300	1.0558	150 to 300	350	≥ 650
G17Mn5	1.1131	20 to 150	350	none
G20Mn5	1.6220	20 to 150	350	none
G24Mn6	1.1118	20 to 150	350	b
G28Mn6	1.1165	20 to 150	350	b
G20Mo5	1.5419	20 to 200	350	≥ 650 ^b
G10MnMoV6-3	1.5410	20 to 150	350	none or ^b
G15CrMoV6-9	1.7710	200 to 300	350	b
G17CrMo5-5	1.7357	150 to 250	350	≥ 650 ^b
G17CrMo9-10	1.7379	150 to 250	350	≥ 680 ^b
G26CrMo4	1.7221	150 to 300	350	b
G34CrMo4	1.7230	200 to 350	400	b
G42CrMo4	1.7231	200 to 350	400	b
G30CrMoV6-4	1.7725	200 to 350	400	b
G35CrNiMo6-6	1.6579	200 to 350	400	b
G9Ni14	1.5638	20 to 200	300	≥ 560
GX9Ni5	1.5681	20 to 200	350	b
G18NiMoCr3-6	1.6759	20 to 200	350	b
G20NiMoCr4	1.6750	150 to 300	350	b
G32NiCrMo8-6-4	1.6570	200 to 350	400	≥ 560
G17NiCrMo13-6	1.6781	20 to 200	350	≥ 560
G30NiCrMo14	1.6771	300 to 350	350	b
GX3CrNi13-4	1.6982	20 to 200	c	c
GX4CrNi13-4	1.4317	100 to 200	300	d
GX4CrNi16-4	1.4421	no preheat	200	d
GX4CrNiMo16-6-1	1.4405	no preheat	200	d
GX23CrMoV12-1	1.4931	20 to 450	450	≥ 680 ^e

^a The preheating temperature is related to the geometry, the thickness of the casting and climate conditions.

^b The post weld heat treatment temperature shall be at least 20 K but not more than 50 K below the tempering temperature, (e.g.: for a tempering temperature of 650 °C the post weld heat treatment temperature shall be between 600 °C and 630 °C).

^c At the discretion of the manufacturer unless otherwise agreed.

^d Same as normal tempering temperature.

^e After cooling to a temperature between 80 °C to 130 °C.

Tabel A1 NEN-EN 10293

Bijlage 5 Checklist voor bestellen gietstuk

Table A.1 - Check list

Clause, subclause	Title	Agreement ^a		Remarks
		shall be specified	may be specified	
		●	●●	
4 Informations to be supplied by the purchaser				
4.1	Mandatory information			See 4.3.1 of EN 1559-1:1997 See 4.3.1 and 4.3.2 of EN 1559-1:1997 See 7.3.3 of EN 1559-1:1997 and EN 1559-2
	Number of castings (a)	1		
	Cast material and product standard (b)	1		
	Specifications (c)	1		
	Patterns (d)	1		
	Outer and inner conditions (e)	1		
	Relevant wall thickness	2		
4.2	Optional information		1 and 2	See text itself
4.3	Drawings, patterns and other tools			
	Taper, surfaces to be machined, machining allowance (4.3.1)	1		
	Pattern furnished (4.3.2)		1	
	Machining allowance out of standard (4.3.3)	1		
4.4	Information on the mass		1	
4.5	Preliminary sample		1	
4.6	Initial sample		1	
5 Designation				
6 Manufacture				
6.1	Manufacturing process		1	
	Type of heat treatment (6.1.2.1)		2	
	Condition of the heat treatment (6.1.2.2)		2	
6.2	Welding operations			
	Production welding (6.2.2.1)		1	
	Welding procedure (6.2.2.2)		1	
	Areas where welding is permitted (6.2.2.2)		1	
	Exceptional stress (6.2.2.3)		1	
	Documentation of welded areas (6.2.2.4)		1	
	Heat treatment after welding (6.2.2.5)		1	
	Mapping (6.2.2.6)		2	
	Criteria for excavation (6.2.2.7)		2	
	Documents (6.2.2.8)		2	
7 Requirements				
7.2.1	Chemical composition			See text itself
7.2.2	Mechanical properties		1 and 2	Specified by product standard
	Hardness test (7.2.2)		2	
7.2.3	Other properties		1	
"to be continued"				

"to be continued"

Tabel A1 NEN-EN 1559-2 2000

Bijlage 6a Algemene Tolerantie categorieën

Table 1 — Dimensional tolerance grades

All dimensions in millimetres

Raw casting nominal dimensions		Casting tolerance grade CTG ¹⁾															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 ²⁾
-	10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	-	-	-	-
10	16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	-	-	-	-
16	25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10	12
25	40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9	11	14
40	63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	10	12	16
63	100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11	14	18
100	160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12	16	20
160	250	-	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14	18	22
250	400	-	-	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16	20	25
400	630	-	-	-	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18	22	28
630	1000	-	-	-	-	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20	25	32
1000	1600	-	-	-	-	-	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23	29	37
1600	2500	-	-	-	-	-	-	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26	33	42
2500	4000	-	-	-	-	-	-	-	4,4	6,2	9	12	17	24	30	38	49
4000	6300	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	14	20	28	35	44	56
6300	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	16	23	32	40	50	64

1) For wall thicknesses in grade CTG1 to CTG15, one grade coarser applies (see clause 7)
2) Grade 16 exists only for wall thicknesses of castings generally specified to CTG15.

Tabel A1 NEN-EN 8062-2

Bijlage 6b Geometrische tolerantie categorieën**Table 2 — Straightness tolerance grades**

All dimensions in millimetres

Raw casting nominal dimension of the feature		Casting geometrical tolerance grade (GCTG)						
Over	up to and including	2	3	4	5	6	7	8
10	10	0,08	0,12	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9
30	30	0,12	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4
100	100	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0
300	300	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0
1000	1000	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6
3000	3000	-	-	-	2,0	3,0	4,6	6,8
10000	10000	-	-	-	3,0	4,6	6,8	10

Table 3 — Flatness tolerance grades

All dimensions in millimetres

Raw casting nominal dimension of the feature		Casting geometrical tolerance grade (GCTG)						
Over	Up to and including	2	3	4	5	6	7	8
10	10	0,12	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4
30	30	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0
100	100	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0
300	300	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6
1000	1000	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8
3000	3000	-	-	-	3,0	4,6	6,8	10
10000	10000	-	-	-	4,6	6,8	10	15

Table 4 — Tolerance grades on roundness, parallelism, perpendicularity and symmetry

All dimensions in millimetres

Raw casting nominal dimension of the feature		Casting geometrical tolerance grade (GCTG)						
Over	Up to and including	2	3	4	5	6	7	8
10	10	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0
30	30	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0
100	100	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6
300	300	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8
1000	1000	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8	10
3000	3000	-	-	-	4,6	6,8	10	15
10000	10000	-	-	-	6,8	10	15	23

Table 5 — Tolerances on coaxiality

All dimensions in millimetres

Raw casting nominal dimension of the feature		Casting geometrical tolerance grade (GCTG)						
Over	Up to and including	2	3	4	5	6	7	8
10	10	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0
30	30	0,4	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6
100	100	0,6	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8
300	300	0,9	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8	10
1000	1000	1,4	2,0	3,0	4,6	6,8	10	15
3000	3000	-	-	-	6,8	10	15	23
10000	10000	-	-	-	10	15	23	35

Bijlage 6c Benodigde Machinale afwerkingstolerantie categorieën

Table 6 — Required machining allowance

All dimensions in millimetres

Largest dimension ¹⁾		Required machining allowance									
		Required machining allowance grade									
Over	Up to and including	A ²⁾	B ³⁾	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
160	250	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
400	630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
630	1000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
1000	1600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
1600	2500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18
2500	4000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
4000	6300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16	22
6300	10000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	17	24

1) Largest overall dimension of the casting, after final machining
2) Grades A and B shall only be applied in special cases, for example with series production in which the pattern equipment, the casting procedure and the machining procedure with regard to clamping surfaces and datum surfaces or targets have been agreed between the customer and the foundry
3) Sand casting and metallic permanent mould for steel, gray iron, S G iron and malleable iron of dimension of less than equal 100 mm may apply 2 - 3 larger grade of required machining allowance, when required machining allowance of this table is smaller.