

**MASTER**

**Een tolerantie-modeller in een CAD/CAM-omgeving**

Krom, R.

*Award date:*  
1993

[Link to publication](#)

**Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

# Een tolerantie-modeller in een CAD/CAM-omgeving

WPA-rapport 1608

R. Krom  
Eindhoven, november 1993

## **Toelichting:**

IDM is een ontwerpsysteem dat een produktmodel opbouwt met in principe maakbare objecten (MO's). Tijdens deze opbouw wordt continu gecontroleerd op maakbaarheid. Dit afstudeerwerk behandelt het probleem van een éénduidige en consistente beschrijving en verwerking van toleranties van MO's. Hiervoor is een dimensie- en tolerantie-model voor MO's opgesteld en een tolerantie-modeller ontwikkeld.



**Technische Universiteit Eindhoven**  
**faculteit Werktuigbouwkunde,**  
**vakgroep Produktietechnologie en -Automatisering (WPA)**

Afstudeeronderzoek van: R. Krom  
Afstudeerhoogleraar: Prof. Dr. Ir. A.C.H. van der Wolf  
Begeleiders: Dr. Ir. F.L.M. Delbressine  
Ir. W.A.H. de Vries

## Samenvatting

Sinds enkele jaren is een deel van de huidige marktsituatie zodanig veranderd, dat er grote behoefte is aan kleine produktseries, korte doorlooptijden en hoge kwaliteit. Deze marktsituatie vereist dat het traject van de ontwerp- naar de fabricagefase sneller wordt doorlopen. Dit kan bereikt worden door de "right first time" benadering van het fabricageproces. De "right first time" benadering is alleen mogelijk indien de ontwerper maakbare ontwerpen creëert. Het onderzoeksproject IDM (Integration of Design and Manufacturing) is gebaseerd op de "right first time" benadering. Binnen IDM wordt een beschrijving gemaakt van het produkt, het produktmodel, door maakbare objecten (MO's) toe te passen op het ontwerpuitgangsmateriaal. Het produktmodel bestaat onder andere uit de afmetingen, de locaties en de toleranties van de toegepaste MO's. Vanwege de vereiste juiste beschrijving van het produktmodel treedt het probleem op dat de conventionele technieken voor dimensioneren en tolereren, tekort schieten inzake een éénduidige en consistente representatie van de dimensies en toleranties van MO's (éénduidig=slechts voor één uitleg vatbaar; consistent=vrij van fouten). Dit afstudeerwerk zal de ontwikkeling geven van een MO-gebaseerd dimensie- en tolerantie-model. Het manco van het tolerantie-model is de kans op inconsistente toleranties. Ten behoeve van dit manco is een tolerantie-modeller ontwikkeld waarmee op inconsistentie kan worden gecontroleerd.

Het MO-gebaseerde dimensiemodel gaat uit van de Implicit Location van een MO waarbij de locatie van een deel van een MO ten opzichte van een deel van een ander object (MO, toegepaste MO, Stock) moet kunnen worden opgegeven. Het nieuwe MO-gebaseerde dimensiemodel maakt gebruik van de referentie-elementen (punten, lijnen en vlakken) van MO's. Referentie-elementen zijn zodanig aan MO's toegekend dat alle mogelijke functionele ontwerpen kunnen worden beschreven. Deze toekenning van referentie-elementen aan MO's sluit aan bij de opbouw van MO's uit primitieve objecten (PO's), daar de referentie-elementen de scheidingselementen tussen PO's zijn. De dimensies van MO's worden onderverdeeld in parameter- en locatiedimensies. Locatiedimensies zijn dimensies die de locaties van delen van MO's beschrijven. Parameterdimensies zijn de dimensies van de beschrijvende parameters (de afmetingen) van de MO's. Indien de dimensies functioneel zijn, dan is er sprake van "user defined" dimensies. Indien de dimensies niet functioneel zijn, dan is er sprake van "don't care" dimensies, ook wel impliciete dimensies of volgmaten genoemd. Het geheel van dimensies van de toegepaste MO's wordt in een éénduidige dimension-graph opgeslagen.

Het MO-gebaseerde tolerantie-model is gebaseerd op het toekennen van dimensionele toleranties aan alle "user defined" dimensies waardoor een éénduidig tolerantie-model optreedt. Tevens kunnen aan de referentie-elementen die gebruikt zijn bij het dimensiemodel, geometrische toleranties worden toegekend. Hierbij zijn vormtoleranties attributen op de desbetreffende elementen. Alle toleranties worden opgeslagen in een éénduidige tolerance-graph. In deze tolerance-graph kunnen inconsistente toleranties optreden in de vorm van onbepaalde, overcomplete en interfererende toleranties. De ontwikkelde tolerantie-modeller controleert de toleranties op inconsistentie.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting .....</b>	<b>II</b>
<b>1. Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Ontwerptoleranties versus fabricage-afwijkingsbronnen .....</b>	<b>2</b>
2.1. De ontwerpfunctie en toleranties .....	2
2.2. Toleranties en de fabricage-afwijkingsbronnen .....	3
2.2.1. Slechte communicatie tussen ontwerp en fabricage .....	3
2.2.2. Afwijkingen bewerkingsmachines en gereedschappen .....	3
2.2.3. Inadequate beheersing van het fabricageproces .....	4
2.2.4. De menselijke fout .....	4
<b>3. Het IDM-systeem .....</b>	<b>5</b>
3.1. Representatie schema's .....	5
3.2. Inleiding in IDM .....	7
3.3. Dimensioneren en tolereren binnen IDM .....	8
3.3.1. Scheiding van interne en externe parameters .....	9
3.3.2. Knelpunten bij scheiding interne en externe parameters .....	9
<b>4. Het nieuwe dimensie- en tolerantie-model binnen IDM .....</b>	<b>12</b>
4.1. Het MO-gebaseerde dimensiemodel .....	12
4.1.1. Referentie-elementen .....	12
4.1.2. Parameter- en locatiedimensies .....	13
4.1.3. Relaties tussen parameter- en locatiedimensies .....	14
4.1.4. De beschrijvende parameters van MO's .....	16
4.1.5. Dimension-graph .....	16
4.2. Het MO-gebaseerde tolerantie-model .....	20
4.2.1. Dimensionele toleranties .....	20
4.2.2. Geometrische toleranties .....	23
4.2.3. Tolerance-graph .....	23
4.2.4. Speciale gevallen van toleranties .....	25
4.3. Tolerantie-overdracht bij het produkt in wording .....	26
4.3.1. Maakbaarheid bewerkingsvlakken van toegepaste MO's .....	28
4.3.2. Set-up planning .....	29
<b>5. Functionaliteit van een tolerantie-modeller .....</b>	<b>30</b>
5.1. Instantiatie van de Stock en de MO's .....	31
5.2. Interferentiecontrole van dimensionele toleranties .....	32
5.3. Bepaaldheidscontrole van dimensionele toleranties .....	33
5.4. Modificatie van dimensionele toleranties .....	34
5.5. Geometrische tolereren van MO's .....	34
5.6. Syntaxcontrole van geometrische toleranties .....	35
5.6.1. Validiteitscontrole van geometrische toleranties .....	35
5.6.2. Compleetheidscontrole van geometrische toleranties .....	36
5.6.3. Hiërarchiecontrole van toleranties .....	37
<b>6. Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>38</b>
6.1. Conclusies .....	38
6.2. Aanbevelingen .....	39
<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>40</b>
<b>Lijst van afkortingen .....</b>	<b>43</b>

## Bijlagen

Bijlage A: Eindstudieopdracht .....	44
Bijlage B: Manufacturable Objects .....	45
Bijlage C: Primitive Objects .....	47
Bijlage D: Referentie-elementen van MO's.....	50
Bijlage E: Functionele configuraties van MO's .....	52
Bijlage F: Referentie en referentiesysteem .....	57
Bijlage G: Toleranties volgens NEN-ISO 1101 .....	58
Bijlage H: Gedetailleerde beschrijving toleranties .....	59
Bijlage I: Lengtematen van toleranties .....	60
Bijlage J: Validiteitscontrole van Valisys.....	61

## **1. Inleiding**

In het verleden was de persoon die het ontwerp van een produkt maakte, ook degene die het produkt fabriceerde. Hiervoor was inzicht door deze persoon vereist in de te vervullen functies en de beschikbare produktiemiddelen. Bij het toenemen van de produktconsumptie en het gebruik van meerdere en ingewikkelder productieprocessen werden de ontwerp- en fabricagefasen gescheiden. De produktgegevens werden hierbij via technische werktekeningen overgedragen. Ook in de zeventiger jaren, bij de komst van CAD (Computer Aided Design) en CAM (Computer Aided Manufacturing) bleven de ontwerp- en fabricagefasen gescheiden. Sinds enkele jaren is een bepaald deel van de huidige marktsituatie echter zodanig veranderd, dat grote er behoefte is aan kleine produktseries, korte doorlooptijden en hoge kwaliteit. Deze marktsituatie vereist dat het traject van de ontwerp- naar de fabricagefase sneller wordt doorlopen. Dit kan worden bereikt door de "right first time" benadering van het fabricageproces. De "right first time" benadering is slechts mogelijk indien de ontwerper maakbare ontwerpen creëert. Hierbij is een goede communicatie vereist tussen ontwerp, werkvoorbereiding en fabricage. Sinds enkele jaren wordt op de Technische Universiteit Eindhoven een systeem ontwikkeld dat de "right first time" benadering nastreeft door het integreren van de ontwerp- en fabricagefasen. Dit systeem, het IDM-systeem (Integration of Design and Manufacturing, [Delb89]) is gebaseerd op het concept van "feature based design" [Shah88].

Binnen IDM wordt ontworpen met behulp van in principe maakbare grondvormen, de zogeheten Manufacturable Objects (MO's). Deze MO's worden toegepast op het ontwerpuitgangsmateriaal, de Stock, waarbij continu op maakbaarheid wordt gecontroleerd. Dit vereist een juiste beschrijving van het produkt in het zogeheten produktmodel. Een produktmodel bestaat onder andere uit de afmetingen, de locaties en de toleranties van de toegepaste MO's. Vanwege de vereiste juiste beschrijving van het produktmodel treedt het probleem op dat de conventionele technieken voor dimensioneren en tolereren, tekort schieten inzake een éénduidige en consistente beschrijving van de dimensies en toleranties van toegepaste MO's (éénduidig=slechts voor één uitleg vatbaar; consistent=vrij van fouten). Dit afstudeerwerk beschrijft deze problematiek en zal hiervoor een nieuwe theorie opstellen.

In hoofdstuk 2 wordt een beschouwing gegeven over de relatie tussen toelaatbare afwijkingen (toleranties) gespecificeerd in de ontwerpfase en de oorzaken van afwijkingen in de fabricagefase. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 een beschrijving worden gegeven van het IDM-systeem en de huidige wijze van dimensioneren en tolereren binnen dit systeem. Hoofdstuk 4 geeft de beschrijving van het nieuwe MO-gebaseerde dimensie- en tolerantie-model. Ten behoeve van een consistent tolerantie-model wordt in hoofdstuk 5 de ontwikkeling gegeven van een tolerantie-modeller.

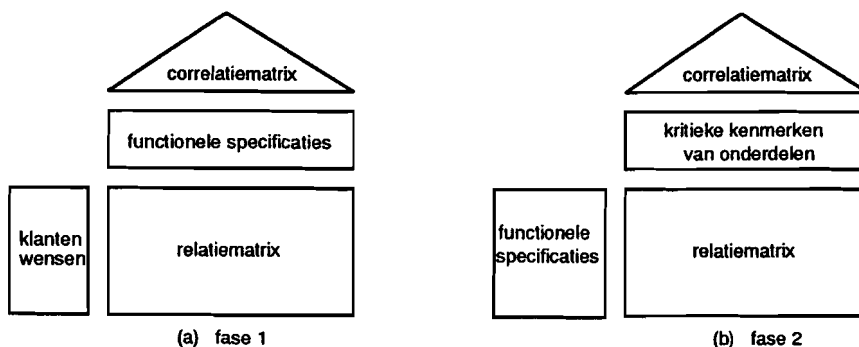
## 2. Ontwerptoleranties versus fabricage-afwijkingbronnen

In de inleiding is beschreven dat de ontwerp- en fabricagefasen lange tijd gescheiden zijn geweest en dat deze fasen binnen IDM worden geïntegreerd. Deze integratie brengt een grote stroom aan gegevens over dimensies en toleranties met zich mee. Dimensies zijn van belang omdat deze de geometrie en functionaliteit van een produkt beschrijven. Aangezien een nominale geometrie niet gerealiseerd kan worden door het fabricageproces, dienen toleranties te worden gespecificeerd. Toleranties zijn toelaatbare afwijkingen op de nominale geometrie en zijn in eerste instantie afgeleid van de functionele eisen. Om zicht te krijgen in dimensies en toleranties en de oorzaken van de toleranties wordt in dit hoofdstuk eerst de relatie tussen de ontwerpfunctie en de toleranties beschreven en vervolgens de relatie tussen toleranties en de fabricage-afwijkingbronnen.

### 2.1. De ontwerpfunctie en toleranties

"Functioneel" kan worden beschreven als het voldoen aan de gewenste functie van een produkt [Weil88a]. Deze beschrijving van "functioneel" is een gegeneraliseerde definitie, die op verschillende manieren kan worden geïnterpreteerd met betrekking tot de functionele eisen van een produkt. Met behulp van *Quality Function Deployment* (QFD) [Sull86] zullen de functionele eisen ondubbelzinnig worden gedefinieerd.

QFD staat bekend als de regelkaart voor het ontwerpproces. Vertrekpunt bij het ontwerpproces zijn de klantenwensen welke in algemene termen worden geformuleerd en gegroepeerd. Een klantenwens is bijvoorbeeld dat het produkt goed functioneert wat kan betekenen dat het produkt altijd werkt, makkelijk te onderhouden en veilig is. Vervolgens kunnen de functionele specificaties van de klantenwensen worden gespecificeerd. De verbinding tussen de klantenwensen en de functionele specificaties wordt gevormd door een relatiematrix. In een relatiematrix kunnen relaties staan die elkaar beïnvloeden, daarom zijn belangrijkheidsrelaties uitgezet in een correlatiematrix. Bovenstaand verhaal levert een schema op dat het *House of Quality* [Haus88] wordt genoemd (zie figuur 1a).



figuur 1: "Houses of Quality"

Vervolgens kunnen de functionele specificaties verder uiteen worden gerafeld met als doel het selecteren van de beste wijze waarop aan de functionele specificaties kan worden voldaan. Het uiteenrafelen van de functionele specificaties kan gebeuren door het vormen van een volgend *House of Quality*, waarbij de kritieke kenmerken van onderdelen tegen de functionele specificaties worden uitgezet (zie figuur 1b).

**Functionele eisen** zijn de eisen op de kritieke kenmerken van onderdelen met betrekking tot het functioneren van het produkt [ISO/R 129]. De kritieke kenmerken van onderdelen bestaan uit de grootte en de ruimtelijke relaties van geometrische elementen en/of onderdelen.

**Dimensies** beschrijven de nominale geometrie en de functionaliteit van een produkt.

**Toleranties** zijn toelaatbare afwijkingen op de nominale geometrie van een produkt en zijn primair afgeleid van de functionele eisen van het produkt.

Bij het functioneel dimensioneren en tolereren van een produktontwerp worden naast de specifieke functionele eisen ook veelvuldig fabricage-, inspectie- en assemblage-eisen gespecificeerd [Weill88a].

## 2.2. Toleranties en de fabricage-afwijkingsbronnen

Zoals reeds behandeld in §2.1 zijn toleranties toelaatbare afwijkingen op de nominale geometrie van een produkt. De meest voorkomende afwijkingen op de nominale geometrie worden veroorzaakt door [Boer90], [Bosc93]:

1. slechte communicatie tussen ontwerp en fabricage,
2. afwijkingen van bewerkingsmachines en gereedschappen,
3. inadequate beheersing van het fabricageproces,
4. de menselijke fout.

Bovenstaande factoren worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

### 2.2.1. Slechte communicatie tussen ontwerp en fabricage

De ontwerper geeft regelmatig nauwkeuriger toleranties op dan nodig is, met de daarbij horende stijgende fabricagekosten. De werkvoorbereider mag formeel de toleranties niet veranderen, echter de praktijk wijst regelmatig anders uit. Bij het veranderen van de toleranties kunnen deze worden vergroot of verkleind. Het verkleinen van toleranties zal geen negatieve uitwerking geven op het functioneren van een mechanisch produkt, maar zal (meestal) de kosten doen stijgen. Het vergroten van toleranties zal gebeuren indien de werkvoorbereider aanzienlijke kosten en moeite kan vermijden. Indien bij het vergroten van de toleranties de ontwerper niet door de werkvoorbereider wordt geraadpleegd, dan kunnen hierdoor fouten optreden die leiden tot een niet goed functionerend produkt. Samengevat bestaat er dus nogal eens onzekerheid ten aanzien van de gestelde toleranties.

### 2.2.2. Afwijkingen bewerkingsmachines en gereedschappen

Elke bewerkingsmachine heeft een beperkt bereik met afwijkingen tussen enerzijds de gewenste positie en oriëntatie van het werkstuk en de gereedschapsbanen, en anderzijds de bereikte positie en oriëntatie van het werkstuk en de gereedschapsbanen. Voor CNC-machines kunnen deze afwijkingen worden onderverdeeld in:

- a. besturingsafwijkingen, veroorzaakt door de kleinst programmeerbare incrementale translatie(s) van de slede(s) en rotatie(s) van de draaitafel,
- b. geometrische afwijkingen, veroorzaakt door geometrische afwijkingen van de spil, sledes, de draaitafel en de pallet,
- c. deformatie afwijkingen, optredend door deformatie van de opspanningen, gereedschappen en de machine-opbouw door de diverse massa's,
- d. thermische afwijkingen, optredend door thermische vervormingen van de machines en gereedschappen.



### 2.2.3. Inadequate beheersing van het fabricageproces

Alle processen die bij de fabricage horen, kunnen afwijkingen veroorzaken. Enkele van deze afwijkingen worden veroorzaakt door opspanningsfouten, het gebruik van gesleten gereedschap en inadequate generatie van gereedschapsbanen door het gebruik van verkeerde algoritmes. Van invloed op de beheersing van het fabricageproces zijn tevens de gebruikte materialen en de invloeden van de bewerkingen van ruw basismateriaal tot halffabrikaat.

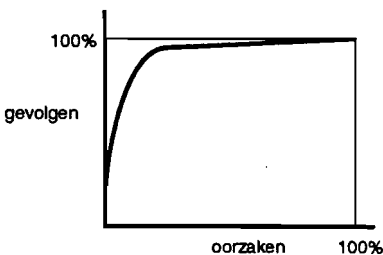
### 2.2.4. De menselijke fout

Grote invloed op mogelijke afwijkingen heeft de menselijke fout. Deze treedt op indien de ontwerper een ontwerp heeft getolereerd waarbij toleranties inconsistent of onéénduidig zijn. Een andere menselijke fout wordt veroorzaakt door type-, lees- en rekenfouten.

### Contributies van de afwijkingen

Afwijkingen bestaan uit toevallige en systematische afwijkingen. Systematische afwijkingen kunnen worden gecompenseerd door de bewerkingsmachines en gereedschappen of door de mensen binnen het fabricageproces. Toevallige afwijkingen vereisen het controleren van de foutenbron, maar kunnen niet als zodanig geheel worden voorkomen.

Een verdeling geven van de contributies van de afwijkingen is speculatief. Dit komt ondermeer omdat machineleveranciers vaak de nauwkeurigheid van de geleverde machines niet kunnen of niet willen vrijgeven. Tevens is er weinig onderzoek gedaan op de werkvloer waardoor veel afwijkingen veroorzaakt door het fabricageproces niet zijn genoteerd en/of verklaard [Boer90]. De praktijk levert een Pareto-verdeling voor afwijkingen op, namelijk een klein deel van de oorzaken brengt het merendeel van de gevolgen met zich mee (zie figuur 2) [Bosc93].



figuur 2: de Pareto-verdeling

Bij toepassing van de Pareto-verdeling op de eerder genoemde afwijkingen kan worden gezegd dat indien de opleiding en de communicatie binnen een bedrijf niet goed zijn, de fouten die hierdoor optreden overheersend zijn. Indien de opleiding en de communicatie wel goed zijn, dan zullen de bewerkingsmachines en gereedschappen de grootste afwijkingen opleveren.

### 3. Het IDM-systeem

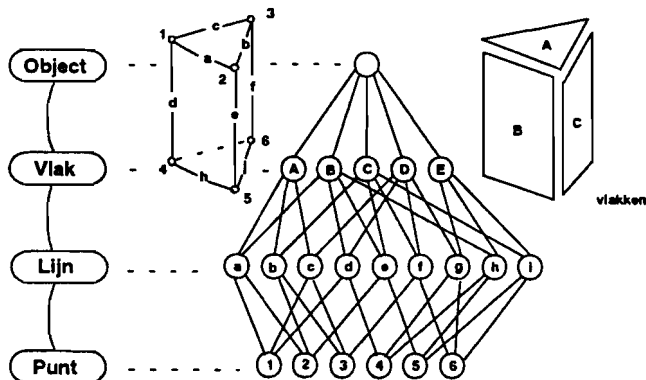
Sedert een aantal jaren zijn er representatieschema's voor CAD-systemen ontwikkeld die gebruik maken van solid-modellers. Een solid-model kan een 3D-ontwerp geometrisch compleet representeren. De meeste solid-modellers maken gebruik van een **B-rep** (Boundary representation) of een **CSG** (Constructive Solid Geometry) [Requ80]. Beide representatieschema's worden in paragraaf 3.1 beschreven. Het IDM-systeem (Integration of Design and Manufacturing) is geen conventioneel ontwerpsysteem maar een systeem dat een integratie van ontwerp, werkvoorbereiding en fabricage tracht te realiseren. Een dergelijk systeem vereist naast de overdracht van geometrische gegevens ook de overdracht van technologische gegevens. Paragraaf 3.2 beschrijft de gebruikte solid-modeller binnen IDM en geeft een inleiding in de werking van IDM. Eén van de problemen bij de huidige generatie solid-modellers is de expliciete representatie van dimensies en toleranties. Dimensies en toleranties zijn van belang omdat deze de geometrie en functionaliteit van een produkt beschrijven. Paragraaf 3.3 beschrijft de huidige wijze van dimensioneren en tolereren binnen IDM. In de volgende hoofdstukken worden een aantal begrippen geïntroduceerd, waarbij het zinvol is om deze af te korten en daarom wordt verwezen naar de lijst van afkortingen op pagina 43.

#### 3.1. Representatie schema's

Bij de volgende beschrijving van de Boundary-representatie en de CSG-representatie worden de voornaamste voor- en nadelen gegeven.

##### Boundary-representatie

*Omschrijving:* de B-rep beschrijft een geometrisch object compleet als een set van vlakken, lijnen en punten en hun topologische relaties (zie figuur 3).



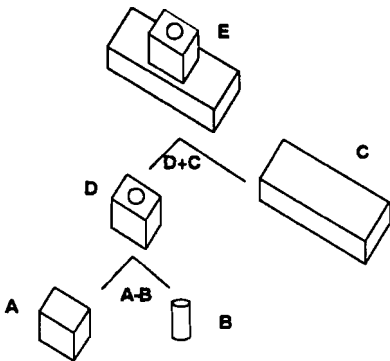
figuur 3: Boundary-representatie

*Voordeel van B-rep:* de mogelijkheid tot het gebruik van punten, lijnen en vlakken voor het dimensioneren en tolereren van het produktontwerp en voor visualisatie van het ontwerp door hidden lines removal.

*Nadeel van de B-rep:* het grootste nadeel van de B-rep is dat de ontwerphistorie niet kan worden bewaard, hij geeft alleen de eindtoestand van het te fabriceren produkt.

**CSG-representatie**

*Kenmerk:* de CSG-representatie beschrijft een geometrisch object compleet door met een aantal (eenvoudige) solids, booleaanse operaties (and, or, xor, etc) uit te voeren (zie figuur 4).

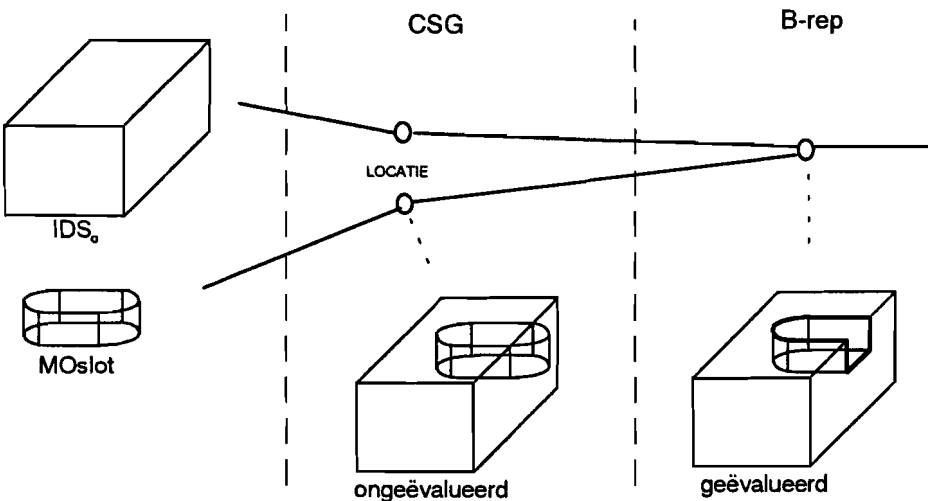


figuur 4: CSG-representatie

*Voordeel van CSG:* alle toegepaste solids worden opgeslagen waardoor de ontwerphistorie bewaard blijft. De conversie naar een Boundary-representatie is exact mogelijk.

*Nadeel van CSG:* de representatie is niet uniek, een bepaalde beschrijving van een geometrisch object kan vaak volgens meerdere wegen bereikt worden. Het grootste nadeel is dat door dit type solid-modeller geen dimensie- en tolerantiegegevens aan punten, lijnen en vlakken kunnen worden opgegeven.

In het geval van de CSG-representatie is er sprake van een zogeheten ongeëvalueerd model, de ontwerphistorie blijft bewaard (zie figuur 5). In het geval van de B-rep is er sprake van een zogeheten geëvalueerd model, de ontwerphistorie blijft niet bewaard (zie figuur 5).

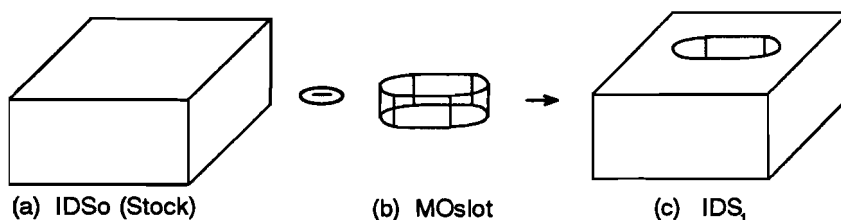


figuur 5: het ongeëvalueerde en geëvalueerde model

### 3.2. Inleiding in IDM

Een relatief nieuwe ontwikkeling is het integreren van de ontwerp- en de fabricagefasen, wat gebeurt in IDM (Integration of Design and Manufacturing). Hiervoor zijn de conventionele solid ontwerpsystemen niet meer geschikt omdat er onvoldoende geometrische, topologische en technologische gegevens beschikbaar zijn in de CAD-databases. Het IDM-systeem combineert de CSG-representatie met de Boundary-representatie waardoor de individuele voordelen kunnen worden benut. Het grootste voordeel is de mogelijkheid tot het combineren van de gegevens van de CSG-representatie met gegevens van punten, lijnen en vlakken.

Binnen het IDM-systeem maakt de ontwerper een beschrijving van het uiteindelijke produkt, door op het ontwerpuitgangsmateriaal maakbare ontwerptransformaties uit te voeren. Het uitvoeren van maakbare ontwerptransformaties wordt ook wel het toepassen van een Manufacturable Object genoemd (*ApplyMO*). Het volgende beschrijft de basisbegrippen van IDM, een uitvoerigere beschrijving van IDM staat in [Delb89] en [Groo93].



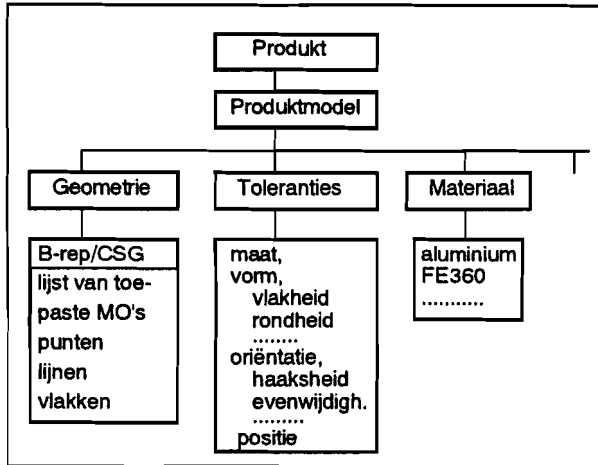
figuur 6: voorbeelden van een IDSo, een MO en een IDS1

Het ontwerpuitgangsmateriaal, *de Stock*, is een mogelijke initiële toestand van het ontwerpproces (zie figuur 6). De fysieke toestand van de zogenaamde Stock hoeft niet hetzelfde te zijn als een stuk materiaal dat direct uit een magazijn komt. Dit stuk materiaal kan nog enige voorbereidingen nodig hebben. De maakbare ontwerptransformaties zijn volume verwijderende operaties welke toepassingen zijn van *Manufacturable Objects* (zie figuur 6). Een Manufacturable Object (MO) is een in principe maakbare geometrische grondvorm [Delb89]. De toegepaste toestand van een MO wordt ook wel *AppliedMO* genoemd. De termen MO en toegepaste MO dienen gescheiden te worden aangezien zij essentieel verschillende betekenissen hebben. Door het gehele verslag heen wordt pas over een toegepaste MO gesproken als alle informatie over de MO bekend is (type, afmetingen, locatie, toleranties, etc.) en toegepast is op een Intermediate Design State.

Een *Intermediate Design State* (IDS) is een toestand van het produktmodel tijdens de ontwerpfase. Een mogelijke IDS1 toont figuur 6. Er zijn twee speciale IDSs, de Initial Design State (IDSo) en de Final Design State (FDS). De IDSo (of Stock) is de toestand van het produktmodel zolang nog geen MO is toegepast. De FDS is de toestand van het produktmodel nadat er geen MO's meer worden toegepast.

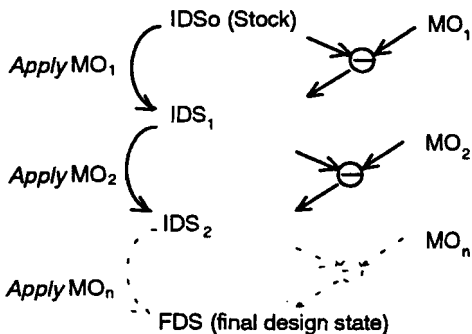
Een *Implicit Location* is de specificatie van de locatie (positie en oriëntatie) van een MO ten opzichte van andere objecten [Delb89]. Onder andere objecten worden MO's (in het geval van de vorming van samengestelde MO's (CMO's)), toegepaste MO's en de Stock verstaan. Uit de definitie van een Implicit Location volgt dat de specificaties van delen van een MO afhankelijk kunnen zijn van delen van meerdere objecten.

Een *produktmodel* of produktdefinitie is de abstractie van een produkt dat een ontwerper wil realiseren. Het produktmodel beschrijft de geometrische, de topologische en de technologische eigenschappen van het produkt (zie figuur 7).



figuur 7: inhoud van een produktmodel

De *Design Tree* (DT) of ontwerpboom is een CSG-representatie waarin de begintoestand ( $IDS_0$ ) en alle hierop toegepaste ontwerpoperaties worden opgeslagen (zie figuur 8). De Design Tree beschrijft naast de eindtoestand van het ontwerp tevens de wijze en alle stappen waarop de eindtoestand wordt bereikt.



figuur 8: een Design Tree

De Design Tree wordt afgebeeld op de Manufacturing Tree. De *Manufacturing Tree* (MT), ook wel werkvoorbereidingsplan genoemd, is een datastructuur waarin de volgorde van de set-ups, de benodigde bewerkingsprocessen per set-up en de opspanning per set-up is opgeslagen. De Design Tree, de Manufacturing Tree en de afbeelding van de Design Tree op de Manufacturing Tree zijn uitgebreid beschreven door Vernooij [Vern92].

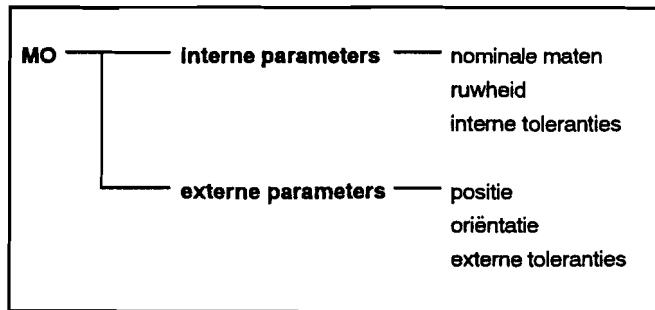
### 3.3. Dimensioneren en tolereren binnen IDM

Eén van de nadelen van de Boundary-representatie en de CSG-representatie is de beperkte mogelijkheid tot het representeren van dimensies en toleranties bij het integreren van CAD/CAM. Door het gebruik van een hybride CSG/B-rep solid-modeller binnen IDM zijn alle gegevens beschikbaar (punten, lijnen, vlakken en solids) om ontwerpen te dimensioneren en tolereren.

Binnen het huidige IDM-systeem worden MO's als geheel gepositioneerd en georiënteerd. De toleranties op de nominale positie en nominale oriëntatie worden voor de gehele MO opgegeven. Naast de positie en oriëntatie van de MO dienen voor een compleet ontwerp de beschrijvende parameters (lengte, breedte, hoogte en straal) van de MO en toleranties hierop te worden gespecificeerd. Een dergelijke manier resulteert in een scheiding van interne en externe parameters.

### 3.3.1. Scheiding van interne en externe parameters

De scheiding van interne en externe parameters wordt gegeven in figuur 9.



figuur 9: scheiding van interne en externe parameters

*Interne toleranties* zijn toleranties op de vorm (rechtheid, vlakheid etc.) van geometrische elementen (punten, lijnen en vlakken) binnen een MO en toleranties op de beschrijvende parameters van MO's.

*Externe toleranties* zijn toleranties op de positie en oriëntatie van gehele MO's.

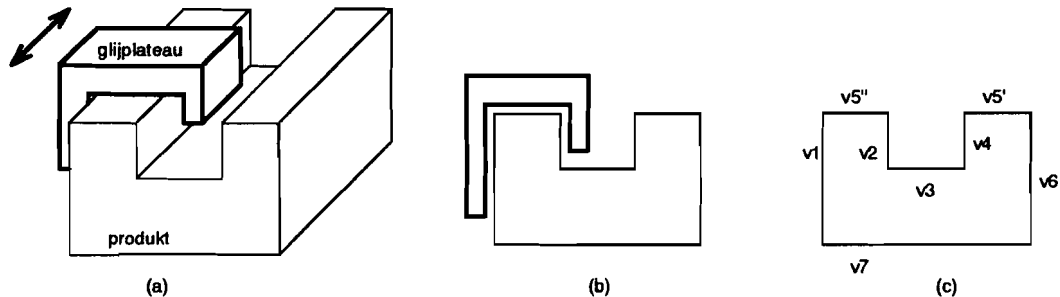
### 3.3.2. Knelpunten bij scheiding interne en externe parameters

De strikte scheiding van interne en externe parameters stelt een aanzienlijke beperking aan de functionele ontwerpvrijheid. De scheiding van interne en externe parameters is dan ook een beperking van de oorspronkelijke definitie van een Implicit Location [Delb89]. De knelpunten bij de scheiding van interne en externe parameters zijn als volgt:

**knelpunt 1:** bij de interne parameters moet expliciet een maat en een tolerantie worden opgegeven aan de beschrijvende parameters van MO's. Dit betekent dat de door een expliciete parameter gekoppelde geometrische elementen van een MO, tevens functioneel afhankelijk zijn. Deze functionele afhankelijkheid bestaat in de praktijk echter vaak niet.

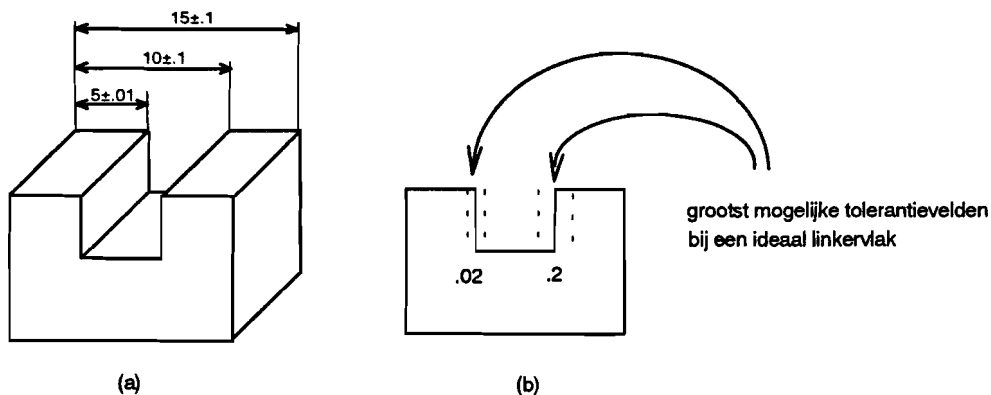
**knelpunt 2:** bij de externe parameters moet de locatie en de locatietolerantie van de gehele MO ten opzichte van een andere (toegepaste) MO of de Stock worden aangegeven. Dit betekent dat de locatie en de toleranties van verschillende delen van een MO niet afzonderlijk kunnen worden aangegeven. Hieruit volgt dat verschillende delen van een (toegepaste) MO niet afhankelijk kunnen zijn van meerdere andere (toegepaste) MO's. In de praktijk kan deze afhankelijkheid echter van functioneel belang zijn.

Met behulp van het functionele produktontwerp uit figuur 10 zullen beide knelpunten worden verduidelijkt.



figuur 10: een functioneel produktontwerp

Figuur 10a representeert in 3D een glijplateau en een produkt. Figuur 10b toont een vooraanzicht en figuur 10c toont een aantal vlakken ( $v_1$ ,  $v_2$ , ...,  $v_7$ ) in het vooraanzicht van het produkt. De dimensies en toleranties van de vlakken zijn afgeleid van de functionele eisen van het produkt en worden voor een aantal vlakken gerepresenteerd in figuur 11a.



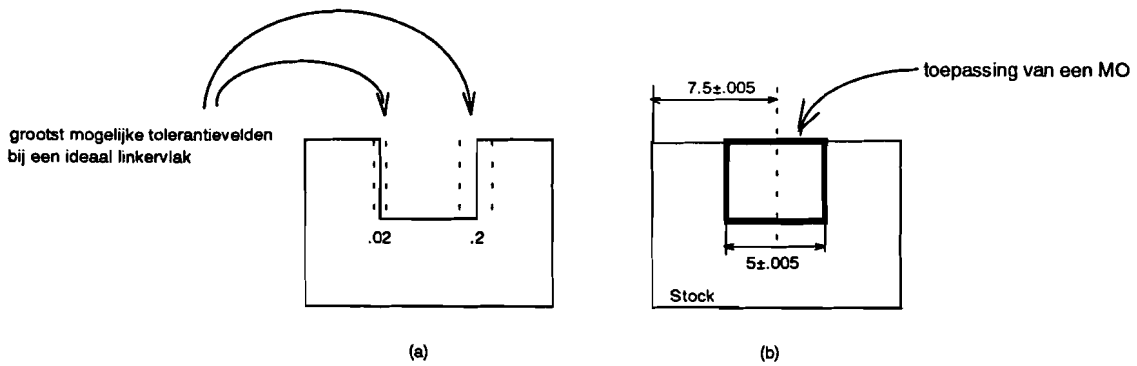
figuur 11: dimensies en toleranties van het produktontwerp

De vlakken ( $v_1$ ,  $v_5$ ,  $v_6$  en  $v_7$ ) maken deel uit van het uitgangsmateriaal. De sleuf ( $v_2$ ,  $v_3$  en  $v_4$ ) wordt door toepassing van  $MO_1$  gerealiseerd. De eerder beschreven knelpunten treden op bij de toepassing van  $MO_1$ :

**knelpunt 1** treedt op aangezien de breedte en de breedtetolerantie van de toegepaste  $MO_1$  niet expliciet worden gegeven omdat deze niet functioneel zijn,

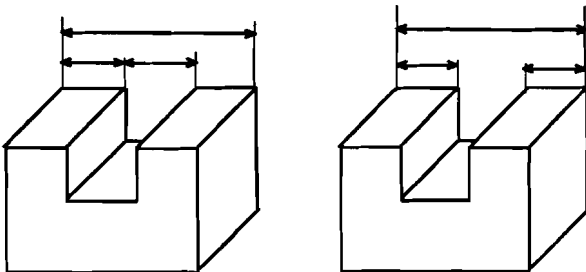
**knelpunt 2** treedt op aangezien afzonderlijke delen van toegepaste  $MO_1$  worden gelocaliseerd.

Bij het huidige ontwerpproces binnen IDM wordt dit functionele ontwerp gerealiseerd door toepassing van een  $MO$ , waarvan de "worst case" toestand aan de ontwerpeisen voldoet. Met andere woorden, de toe te passen  $MO$  moet zodanig getolereerd worden dat de strengste functionele eis (vlak  $v_2$ ) voor de gehele toegepaste  $MO$  geldt (zie figuur 12). De toegepaste  $MO$  zal door deze wijze van dimensioneren en tolereren onnodig nauwkeurig worden gefabriceerd met de daarbij horende hoge kosten.



figuur 12: "worst case" toestand van een toegepaste MO

De beide knelpunten bij de scheiding van interne en externe parameters gelden ook voor de functionele ontwerpen in figuur 13 [Ning87]. Al deze ontwerpen hebben een gelijke nominale geometrie maar kunnen verschillende te vervullen functies hebben. Deze functies worden gerepresenteerd door de van functionele eisen afgeleide dimensies en toleranties.



figuur 13: produkten van gelijke nominale geometrie met verschillende functies

Een aangepaste manier van dimensioneren en tolereren van MO's is wenselijk om beter de gewenste functionaliteit van een produktontwerp te representeren. Deze aangepaste wijze zal de fundamenteel goede wijze van de Implicit Location moeten volgen. Deze manier wordt behandeld in hoofdstuk 4 met de introductie van een nieuw MO-gebaseerd dimensiemodel.



## **4. Het nieuwe dimensie- en tolerantie-model binnen IDM**

Dit hoofdstuk behandelt een nieuwe wijze van dimensioneren en tolereren van MO's binnen IDM en introduceert hiertoe een MO-gebaseerd dimensie- en tolerantie-model. Paragraaf 4.1 introduceert een aantal definities en begrippen welke de basis vormen van het nieuwe MO-gebaseerde dimensiemodel. Paragraaf 4.2 geeft het nieuwe MO-gebaseerde tolerantie-model en beschrijft hoe de toleranties kunnen en moeten worden gespecificeerd. Tot slot wordt in paragraaf 4.3 beschreven op welke wijze de tolerantiegegevens bij het produkt in wording worden gebruikt.

### **4.1. Het MO-gebaseerde dimensiemodel**

Het nieuwe MO-gebaseerde dimensiemodel zal uitgaan van de definitie van de Implicit Location. Een Implicit Location is de specificatie van de locatie van een MO ten opzichte van een ander object [Delb89]. Onder andere objecten kunnen MO's, toegepaste MO's en de Stock worden verstaan. Er wordt pas over een toegepaste MO gesproken als alle informatie over de MO bekend is (type, afmetingen, locatie, toleranties, etc.) en toegepast is op een IDS. Uit de definitie van een Implicit Location volgt dat de specificaties van delen van een MO afhankelijk kunnen zijn van delen van meerdere objecten. Hieruit volgt dat meerdere locaties van delen van een MO, de beschrijvende parameter (lengte, breedte, etc.) van de MO kunnen bepalen (zie ook paragraaf 4.1.4).

Het doel van het nieuwe dimensiemodel is het kunnen beschrijven van (vrijwel) alle mogelijke functionele produktontwerpen. Het dimensiemodel maakt gebruik van de volgende facetten:

1. referentie-elementen,
2. parameter- en locatiedimensies,
3. relaties tussen parameter- en locatiedimensies,
4. de beschrijvende parameters van MO's,
5. de dimension-graph.

Deze facetten zullen in de volgende paragrafen worden behandeld.

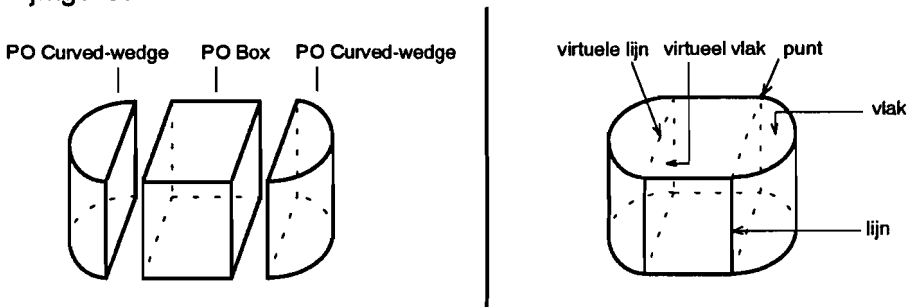
#### **4.1.1. Referentie-elementen**

Manufacturable Objects (MO's) zijn geometrisch opgebouwd uit vijf geometrische elementen (zie ook figuur 14):

1. vlak,
2. lijn,
3. punt,
4. virtueel vlak,
5. virtuele lijn.

Een virtueel vlak en een virtuele lijn onderscheiden zich van het vlak, de lijn en het punt door het ontbreken van een fysieke grens. Referentie-elementen (RE's, reference elements) zijn hulpmiddelen die worden gebruikt om MO's te dimensioneren. Alle geometrische elementen van een (toegepaste) MO kunnen gebruikt worden als referentie-element. Bijlage D geeft van een aantal MO's de mogelijke referentie-elementen. De referentie-elementen volgen uit de opbouw van MO's uit Primitive Objects (PO's), een voorbeeld hiervan toont figuur 14. Het concept van PO's is ontwikkeld door De Vries [Vrie92]. PO's zijn primitieve objecten welke eigen ontwerp regels hebben en welke niet per definitie maakbaar zijn. Voorbeelden

van PO's zijn de Box en de Curved-Wedge, voor meer PO's wordt verwezen naar bijlage C.

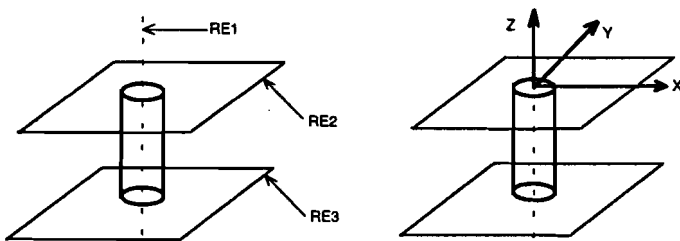


figuur 14: vorming van MOslot uit PO's

De referentie-elementen zijn verdeeld in fysieke referentie-elementen (PRE's, physical reference elements) en virtuele referentie-elementen (VRE's, virtual reference elements). De PRE's refereren naar referentie-elementen die fysiek zijn opgeslagen in de Boundary-representatie van een produktmodel (vlakken, lijnen en punten). De VRE's refereren naar referentie-elementen die niet origineel zijn opgeslagen in de Boundary-representatie van een produktmodel, zoals de as van een gat of een middenvlak.

### Locale assenstelsels

Locale assenstelsels zijn een speciaal soort referentie-elementen van MO's. Deze locale assenstelsels zijn op hun beurt gedefinieerd door een aantal referentie-elementen. De vorming van een lokaal assenstelsel wordt in figuur 15 getoond. Dit lokale assenstelsel bestaat uit de z-as (gevormd door referentie-as RE<sub>1</sub>) en de x- en y-as (gevormd door twee loodrechte assen liggend in referentie-vlak RE<sub>2</sub> en snijdend met referentie-as RE<sub>1</sub>). Het hier gedefinieerde lokale assenstelsel is een virtueel referentie element. Locale assenstelsels zijn een veel gebruikte hulp bij ontwerpen in 3D.



figuur 15: de vorming van een lokaal assenstelsel

### 4.1.2. Parameter- en locatiedimensies

Door het mogelijke gebruik van alle geometrische elementen als referentie-element kunnen de volgende vijftien verschillende dimensierelaties optreden [Roy90]:

(1) vlak - vlak	(6) lijn - lijn	(11) punt - virtueel vlak
(2) vlak - lijn	(7) lijn - punt	(12) punt - virtuele lijn
(3) vlak - punt	(8) lijn - virtueel vlak	(13) virtueel vlak - virtueel vlak
(4) vlak - virtueel vlak	(9) lijn - virtuele lijn	(14) virtueel vlak - virtuele lijn
(5) vlak - virtuele lijn	(10) punt - punt	(15) virtuele lijn - virtuele lijn

Bij de vijftien verschillende dimensierelaties moet een onderscheid worden gemaakt tussen locatiedimensies (LD's) en parameterdimensies (PD's). Deze worden in het onderstaande beschreven.

### Locatiedimensies

Locatiedimensies (LD, locate dimension) worden gebruikt om de posities en oriëntaties van referentie-elementen van MO's ten opzichte van de omgeving vast te leggen. Er kan gesproken worden over het vastleggen van de relaties tussen ouder referentie-elementen en kind referentie-elementen. Kind referentie-elementen behoren bij een toe te passen MO, ouder referentie-elementen behoren bij de omgeving. De omgeving kan een deel van een andere (toegepaste) MO of een deel van de Stock zijn.

### Parameterdimensies

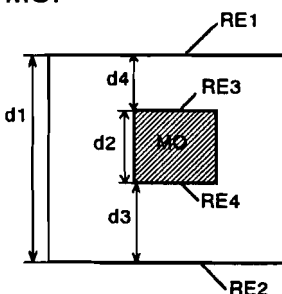
Een parameterdimensie (PD, parameter dimension) correspondeert met een beschrijvende parameter van een (toegepaste) MO (lengte, breedte, etc). De beschrijvende parameter wordt gevormd door twee referentie-elementen van één (toegepaste) MO (uitzonderingen zijn de straal en de diameter). Het aantal PD's van een (toegepaste) MO is dus gelijk aan het aantal beschrijvende parameters van de (toegepaste) MO.

#### 4.1.3. Relaties tussen parameter- en locatiedimensies

Van groot belang bij het dimensioneren van een produktontwerp zijn de relaties tussen de parameter- en de locatiedimensies van MO's. Deze relaties bepalen het gedrag van de MO's en hebben betrekking op de dimensiekettingen van (toegepaste) MO's. De functionele dimensiekettingen van MO's moeten zodanig worden gevormd dat elke dimensie in de ketting éénduidig vaststaat. Bij het éénduidig dimensioneren van MO's dienen de volgende punten te worden gerespecteerd:

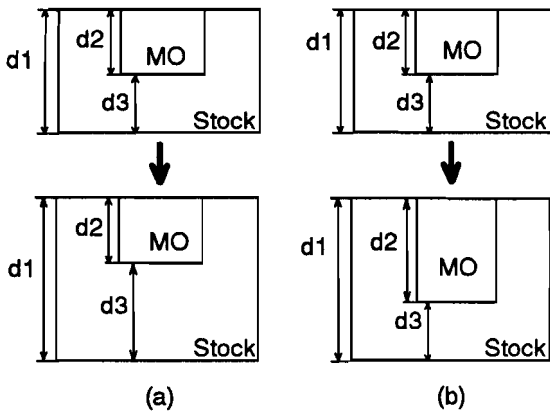
1. de locatie van de toegepaste MO moet vastliggen,
2. alle beschrijvende parameters van de toegepaste MO moeten te bepalen zijn.

Figuur 16 geeft een éénvoudige vorm van een algemeen dimensieschema van een MO.



figuur 16: een algemeen dimensieschema van een MO

De algemene vorm van een dimensieschema kan een aantal relaties opleveren, welke voor twee toestanden in figuur 17 worden getoond. Voor beide toestanden wordt  $d4$  nul gesteld omdat dit de benaderingsrichting is. Dit wordt ook wel aangeduid met "user defined"=:0. In figuur 17a is de beschrijvende parameter  $d2$  van de MO van functioneel belang. Indien de dikte van de Stock  $d1$  verandert dan zal  $d2$  niet veranderen maar  $d3$  wel. In figuur 17b is de afstand van de onderkant van de Stock tot de onderkant van de MO functioneel. In dit geval zal bij een verandering van  $d1$ ,  $d3$  niet veranderen, maar  $d2$  wel.



figuur 17: twee functionele dimensieschema's van MO's

Uit het voorgaande volgt dat er verschillende classificaties van dimensies bestaan. De dimensies kunnen geclassificeerd worden als "user defined" (UD) dimensies en "don't care" (DC) dimensies.

**"Don't care" dimensies** zijn niet functionele dimensies die echter wel een waarde hebben. De DC dimensies kunnen veranderen bij het veranderen van gerelateerde UD dimensies en zijn dus impliciet.

**"User defined" dimensies** zijn functionele dimensies die de DC dimensies beïnvloeden. UD dimensies zijn alleen door de ontwerper te veranderen.

In figuur 17a zijn d1, d2, d3 en d4 met de eerder geïntroduceerde begrippen als volgt geclassificeerd en gecodeerd:

d1: "user defined" parameterdimensie, tussen twee fysieke referentie-elementen (d1=:UD;PD;PRE\_PRE)

d2: "user defined" parameterdimensie, tussen twee fysieke referentie-elementen (d2=:UD;PD;PRE\_PRE)

d3: "don't care" locatiedimensie, tussen twee fysieke referentie-elementen (d3=:DC;LD;PRE\_PRE)

d4: "user defined" locatiedimensie, tussen twee fysieke referentie-elementen (d4=:UD;LD;PRE\_PRE)

In figuur 17b zijn d1, d2, d3 en d4 als volgt gecodeerd:

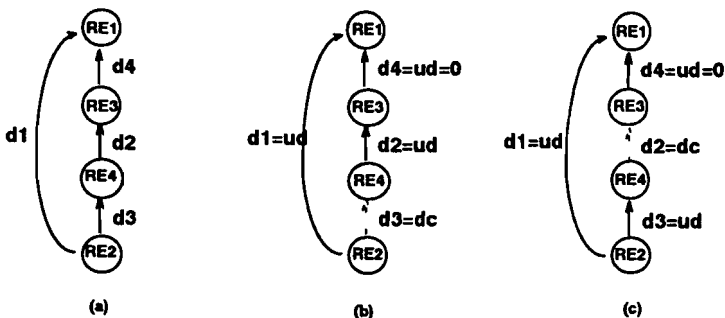
(d1=:UD;PD;PRE\_PRE),

(d2=:DC;PD;PRE\_PRE),

(d3=:UD;LD;PRE\_PRE),

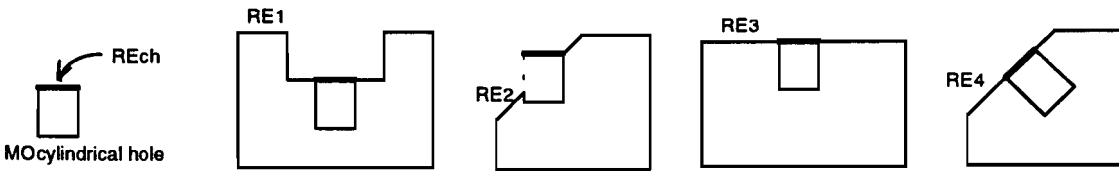
(d4=:UD;LD;PRE\_PRE).

Van het bovenstaande voorbeeld kunnen dimensiekettingen worden opgebouwd. Figuur 18a representeert de algemene vorm van de dimensieketting. Figuur 18b representeert het behandelde voorbeeld van figuur 17a en figuur 18c representeert het behandelde voorbeeld van figuur 17b. Merk op dat iedere dimensieketting één "don't care" dimensie mag en moet hebben. Dit is gelijk aan de hoofdvergelijking van Balakschin waarbij altijd een slotmaat optreedt in een assemblage [Wolf].



figuur 18: vormen van dimensiekettingen ten behoeve van de Implicit Location

Met behulp van referentie-elementen kunnen alle mogelijke functionele produktontwerpen worden beschreven. Deze produktontwerpen zijn een combinatie van varianten van toepassingen van MO's. Figuur 19 geeft een aantal varianten van toepassing van een MO<sub>cylindrical hole</sub>.



figuur 19: varianten van het gebruik van een referentie-element

In figuur 19 heeft ieder aangegeven referentie-element van het ontwerpuitgangsmateriaal (RE<sub>1</sub>, ..., RE<sub>4</sub>) een functionele samenhang met het referentie-element RE<sub>ch</sub> van de MO<sub>cylindrical hole</sub>. Deze functionele samenhangen luiden als volgt:

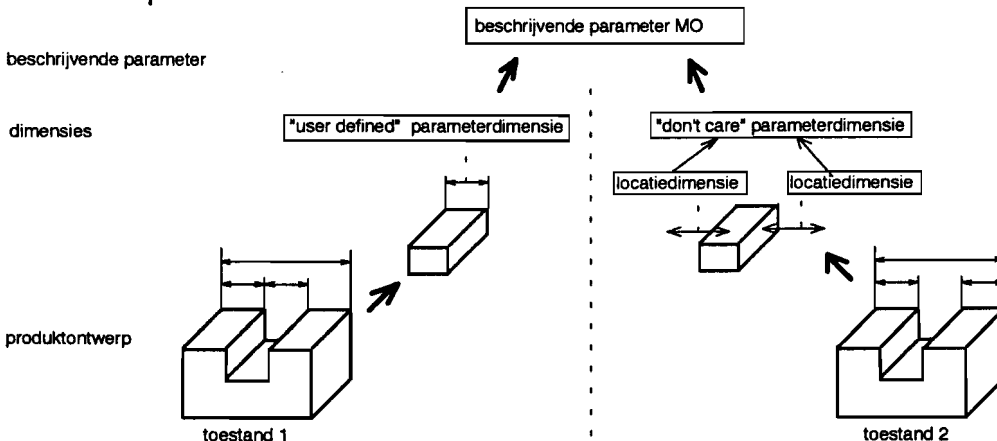
- RE<sub>ch</sub> heeft een bepaalde afstand tot RE<sub>1</sub>,
- RE<sub>ch</sub> maakt een bepaalde hoek met RE<sub>2</sub>,
- RE<sub>ch</sub> valt samen met RE<sub>3</sub>,
- RE<sub>ch</sub> valt samen met RE<sub>4</sub>.

**4.1.4. De beschrijvende parameters van MO's**

Zoals reeds beschreven in paragraaf 4.1.3 moeten bij een éénduidig gedimensioneerd ontwerp alle beschrijvende parameters en de locaties van de toegepaste MO's vastliggen. De beschrijvende parameters van toegepaste MO's (lengte, breedte etc.) treden kunnen in de volgende twee toestanden optreden :

1. de beschrijvende parameter van een toegepaste MO is specifiek door de ontwerper ingegeven, deze beschrijvende parameter wordt als "user defined" parameterdimensie geclassificeerd,
2. de beschrijvende parameter van een toegepaste MO wordt bepaald uit meerdere locatiedimensies, deze beschrijvende parameter is dus een volgmaat en wordt als "don't care" parameterdimensie geclassificeerd.

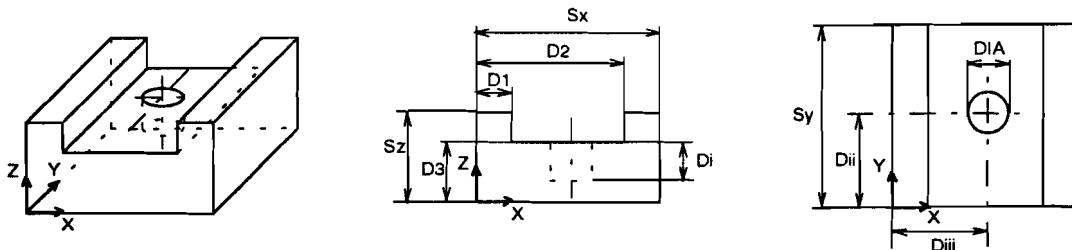
Figuur 20 toont beide toestanden en wijze waarop de beschrijvende parameters worden bepaald.



figuur 20: toestanden van de beschrijvende parameters

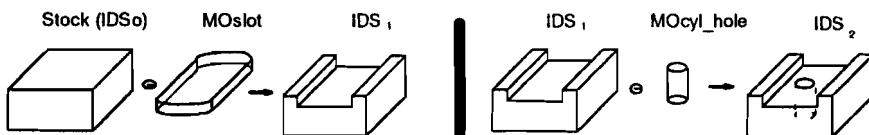
**4.1.5. Dimension-graph**

Alle gegevens (referentie-elementen, ouder, kind, dimensiewaarden) over de parameter- en locatiedimensies worden opgeslagen in een schema die de dimension-graph (d-graph) wordt genoemd. Met het gedimensioneerde produktontwerp van figuur 21 zal de vorming van een dimension-graph worden getoond.



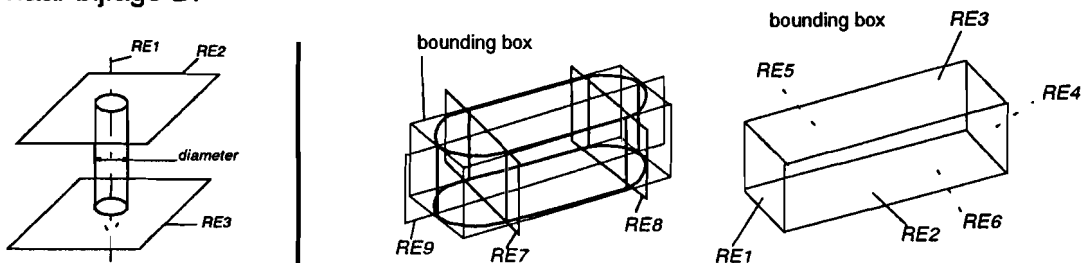
figuur 21: een gedimensioneerd produktontwerp

Het produktontwerp wordt via de volgende twee ontwerpstappen bereikt:

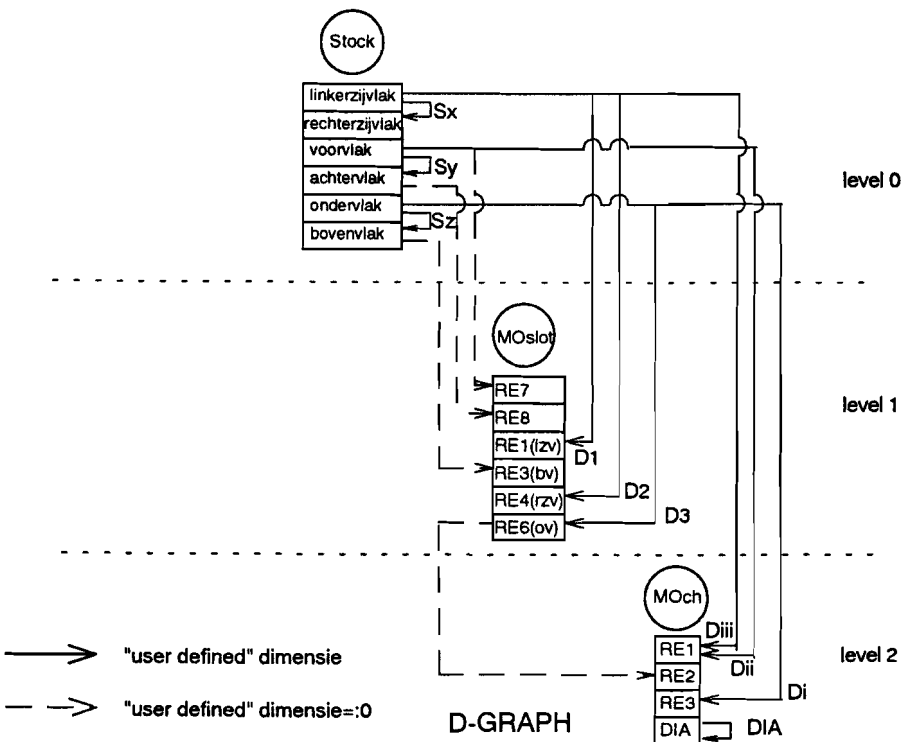


figuur 22: twee ontwerpstappen

Van deze twee ontwerpstappen kan de dimension-graph (d-graph) worden opgesteld (zie figuur 24). Figuur 23 geeft de referentie-elementen van MOslot en de MOrectangular pocket.. Voor een uitgebreider overzicht van deze referentie-elementen wordt verwezen naar bijlage D.

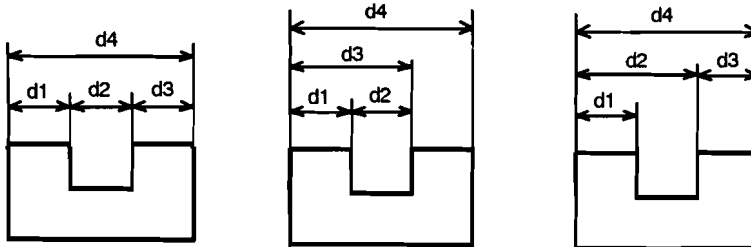


figuur 23: referentie-elementen van MOcylindrical hole en MOslot



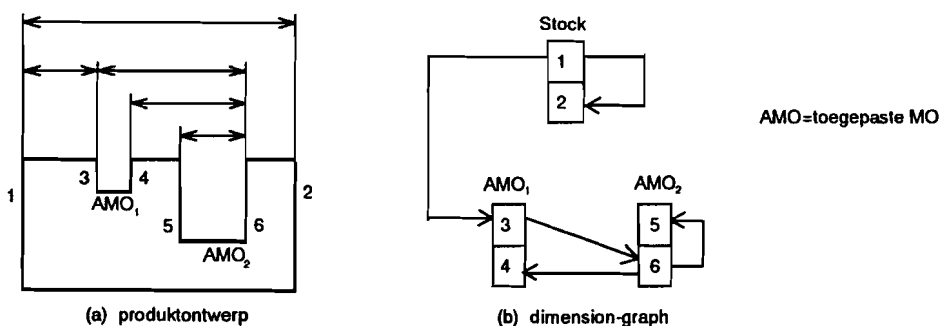
figuur 24: de dimension-graph

Binnen de dimension-graph moeten circulaire dimensiestructuren worden uitgesloten. Er kunnen twee typen circulaire dimensiestructuren worden herkend. Het eerste type circulaire dimensiestructuur wordt veroorzaakt door overcomplete van dimensies. Figuur 25 toont enkele overcomplete dimensiestructuren. Deze methoden van dimensioneren moeten worden uitgesloten omdat slechts drie van de vier dimensies door een werkvoorbereidingsplan kunnen worden beschouwd. Overcomplete dimensiestructuren worden uitgesloten door het gebruik van de Implicit Locations van MO's [Net93].



figuur 25: overcomplete circulaire dimensiestructuren

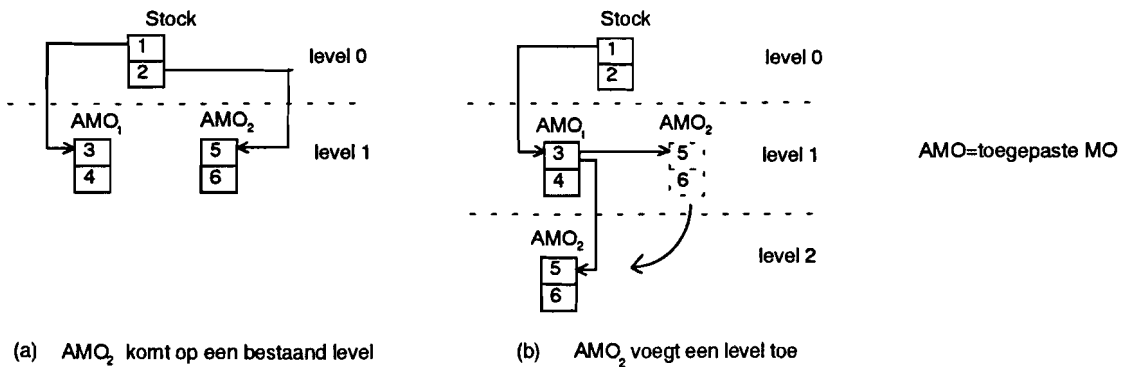
Het tweede type circulaire dimensiestructuur houdt verband met de filosofie van IDM dat na iedere toepassing van een MO op maakbaarheid wordt gecontroleerd. Hierdoor zal een in een eerder stadium toegepaste MO nooit afhankelijk mogen zijn van een later toe te passen MO. Figuur 26a toont een produktontwerp en figuur 26b toont een dimension-graph waarin een circulaire dimensiestructuur voorkomt. Hierbij is enerzijds de toegepaste MO<sub>1</sub> afhankelijk van de Stock en de toegepaste MO<sub>2</sub> en anderzijds is de toegepaste MO<sub>2</sub> afhankelijk van de toegepaste MO<sub>1</sub>.



figuur 26: een circulaire dimensiestructuur

De oplossing voor het tegengaan van circulaire dimensiestructuren is het werken met levels van toegepaste MO's. Hierbij wordt de Initial Design State (IDSo) op level 0 geplaatst. Indien nu een MO wordt toegepast dan zal deze op level 1 belanden. Bij elke volgende toepassing van een MO zijn twee mogelijkheden (zie ook figuur 27):

1. de toegepaste MO komt op een bestaand level,
2. de toegepaste MO voegt een level toe.



figuur 27: gedrag van levels bij toepassing van MO2

Het voorkomen van een circulaire dimensiestructuur bestaat uit het verbieden van dimensies van toegepaste MO's die vanaf een lager level naar een hoger level wijzen. Tevens mogen geen dimensies tussen toegepaste MO's op gelijke levels worden aangegeven. Uit deze restricties volgt dat het produktontwerp uit figuur 26 niet te realiseren is. Dit stelt een (te) grote beperking stelt aan de ontwerper, hier zijn echter een aantal oplossingen voor:

oplossing 1

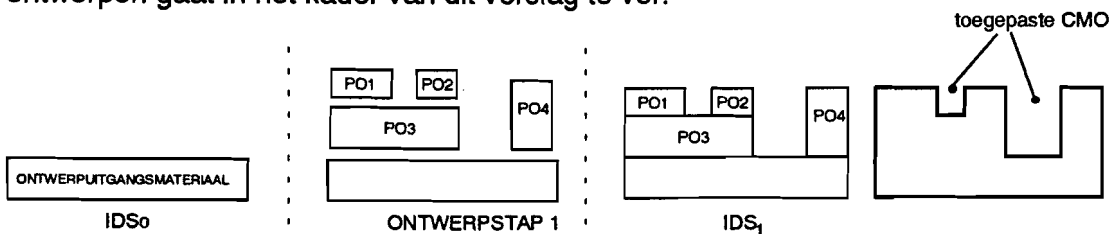
Het is mogelijk om het produktontwerp zodanig te veranderen dat de MO's wel één voor één kunnen worden toegepast. Dit is geen goede methode omdat de gewenste functionaliteit van het produkt uit het oog wordt verloren.

oplossing 2

Indien de ontwerper meerdere MO's samenvoegd tot een samengestelde MO (CMO, Composed Manufacturable Object), dan kan deze CMO door één ontwerphandeling op één level worden geplaatst. Een dergelijke manier van ontwerpen vereist een groot inzicht van de ontwerper om MO's reeds voor de toepassing samen te voegen.

oplossing 3

Een ontwerpmethodede die ook gebaseerd is op CMO's werkt met behulp van simpele ontwerpoperaties. Deze methode wordt ontwikkeld door de Vries [Vrie93] en kan ook wel de "Think Positive" benadering van het ontwerpproces worden genoemd. Hierbij wordt met behulp van simpele positieve objecten (PO's) het gewenste produktontwerp gerealiseerd (zie figuur 28). Deze PO's hebben hun eigen ontwerpregels en zijn niet per definitie maakbaar. Merk op dat bij positief ontwerpen het ontwerpuitgangsmateriaal "groeit". Een uitgebreidere beschrijving van positief ontwerpen gaat in het kader van dit verslag te ver.



figuur 28: ontwerpen met positieve volumina

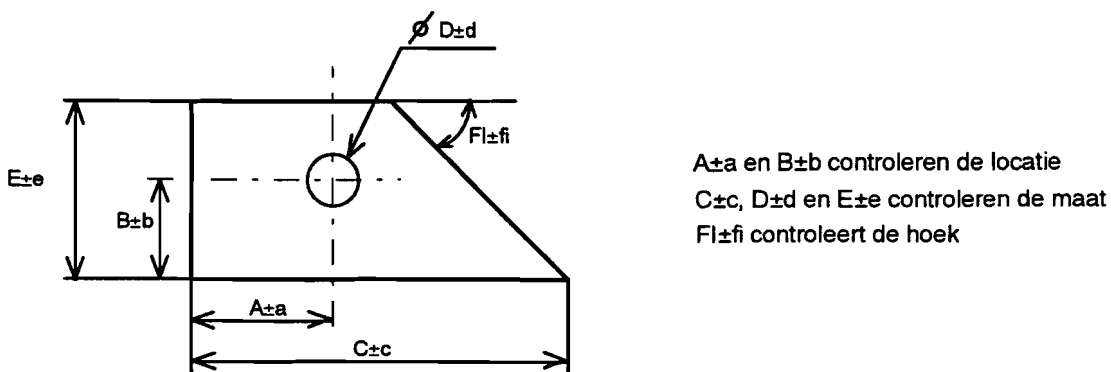


## 4.2. Het MO-gebaseerde tolerantie-model

De International Standardization Organisation (ISO) en het American National Standards Institute (ANSI) hebben een aantal normen voor het toelaten van mechanische onderdelen. Deze normen hebben betrekking op dimensionele en geometrische toleranties welke op verschillende manieren zijn te interpreteren. De volgende paragrafen beschrijven de wijze waarop dimensionele en geometrische toleranties in het IDM-systeem worden geïnterpreteerd en gebruikt bij het MO-gebaseerde tolerantie-model.

### 4.2.1. Dimensionele toleranties

Dimensionele toleranties, ook wel conventionele toleranties genoemd, hebben betrekking op afwijkingen van dimensies die de locatie, de grootte en de hoek van geometrische elementen beschrijven (zie figuur 29).



figuur 29: vormen van dimensionele toleranties

Dimensionele toleranties hebben de volgende drie grote tekortkomingen:

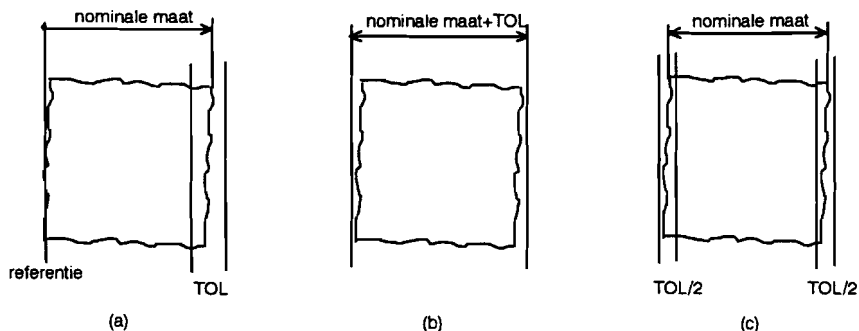
1. niet alle aspecten van de vorm kunnen worden beschreven,
2. het concept van referentie wordt niet gebruikt,
3. de locaties van een object kunnen alleen in een xyz- en een  $\phi r$ -coördinatensysteem worden opgegeven.

Ten behoeve van punt 1 en punt 3 zijn geometrische toleranties ingevoerd, zie hiervoor paragraaf 4.2.2. Ten behoeve van punt 2 kunnen referenties voor dimensionele toleranties worden ingevoerd. Bij deze invoering van referenties zijn de volgende elementen van belang:

- de verschillende interpretaties van dimensionele toleranties,
  - de invoering van referenties en een referentiesysteem,
  - mogelijke toepassingen en specifieke interpretaties van dimensies en toleranties.
- Deze elementen zullen achtereenvolgens behandeld worden.

### Verschillende interpretaties van dimensionele toleranties

Volgens Requicha [Requ83] kunnen dimensionele toleranties op twee manieren worden geïnterpreteerd (zie figuur 30a en 30b). Eén interpretatie die aan Requicha's interpretaties kan worden toegevoegd wordt gerepresenteerd in figuur 30c. In deze figuren stelt TOL de tolerantiezone voor.

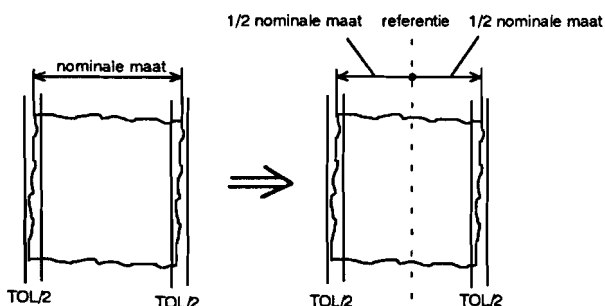


figuur 30: Interpretaties van dimensionele toleranties

In de interpretatie van figuur 30a is het linkervlak de referentie en moet het rechtervlak binnen de tolerantiezone liggen. De tolerantie heeft in deze interpretatie één richting. Een referentie hoeft niet per definitie een nauwkeurig bewerkt element te zijn.

De tweede interpretatie gaat niet uit van een referentie. Hierbij wordt geen richting gegeven aan de tolerantiezone. De uiteindelijke maat tussen het linker- en rechtervlak dient slechts binnen de nominale maat plus de tolerantiezone te liggen. Deze interpretatie wordt vooral gebruikt bij passingen.

Bij de interpretatie van figuur 30c wordt uitgegaan van een referentie in het midden van waaruit het linker- en rechtervlak binnen " $\frac{1}{2}$  nominale maat  $\pm \frac{1}{4}$  tolerantiezone" moet liggen (zie figuur 31).

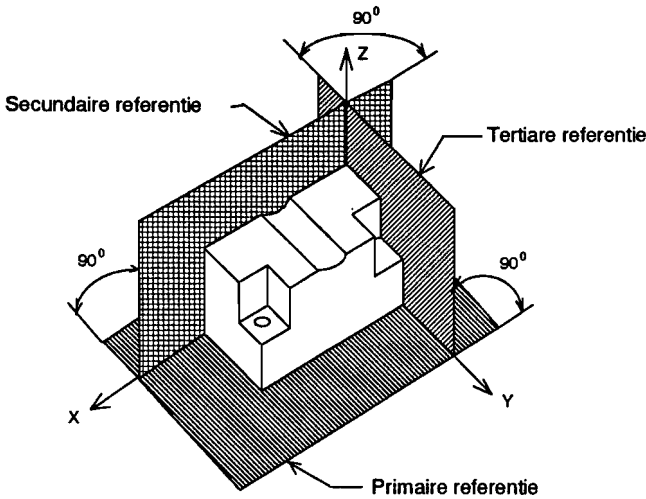


figuur 31: gebruik van een referentie

### Invoering van referenties en een referentiesysteem

In de dimension-graph worden ketens gevormd van ouder-kind referentie-elementen. Hierbij staat het ontwerpuitgangsmateriaal aan het begin van deze ketens. Dit is in principe niets anders dan het definiëren van een referentiesysteem en het vormen van ketens van referenties. Ook het nieuwe MO-gebaseerde tolerantie-model zal uitgaan van een expliciet gedefinieerd referentiesysteem bij het ontwerpuitgangsmateriaal. Tevens zal gebruik worden gemaakt van de ketens van referenties. Het belangrijkste hiervan is dat de dimensionele toleranties één richting zullen hebben (uitzonderingen zijn een straal en de diameter van een gat). Het vormen van referenties en een referentiesysteem ten behoeve van dimensionele toleranties is in navolging van aanbevelingen van Requicha [Requ83] en Zeid [Zeid91] en Bernstein [Bern89], veelgebruikte ISO-representaties en het huidige gebruik van een

referentiesysteem binnen het IDM-systeem. Door het gebruik van referenties en een referentiesysteem kunnen alle mogelijke produktontwerpen worden beschreven. Figuur 32 toont een eindproduct en het hierbij gebruikte referentiesysteem.

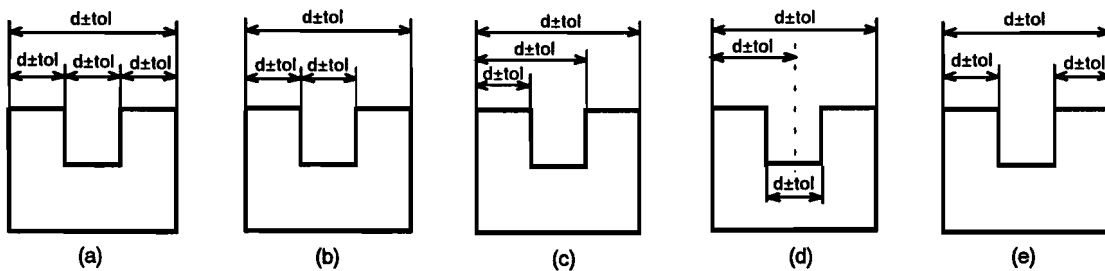


figuur 32: definitie van een referentiesysteem

Bijlage F geeft een nadere beschrijving van ideale referenties (datums), referentie-elementen (datum features), referenties (simulated datum features) en referentiesystemen (datum systems).

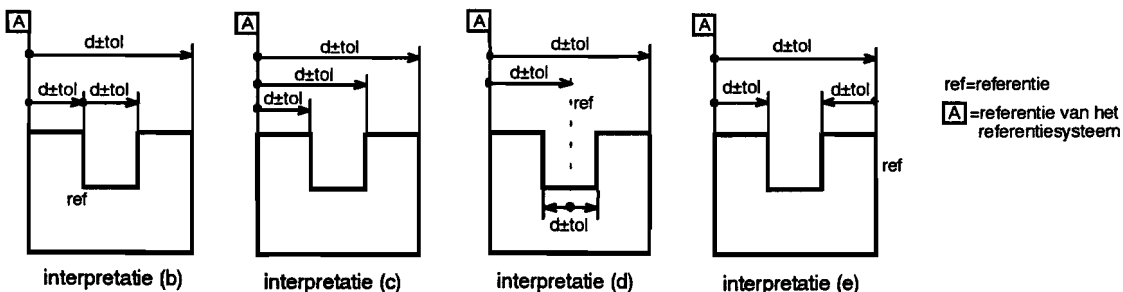
Mogelijke toepassingen en specifieke interpretaties van dimensies en toleranties

Figuur 33 toont een aantal mogelijke toepassingen van dimensies en toleranties van een produkt met gelijke nominale geometrie met verschillende te vervullen functies (uit [Zeid91] en ISO129).



figuur 33: mogelijke toepassingen van dimensies en toleranties

Door het aannemen van referenties en een referentiesysteem worden de representaties van figuur 33b, c, d en e volgens figuur 34 geïnterpreteerd.



figuur 34: interpretaties van toleranties uit figuur 33 met behulp van referenties

#### 4.2.2. Geometrische toleranties

Dimensionele toleranties kennen twee grote tekortkomingen die door geometrische toleranties worden aangevuld. Deze tekortkomingen uiten zich in de zin dat niet alle aspecten van de vorm van een object kunnen worden beschreven en dat de locaties van een object alleen in een xyz- en een  $\phi$ -coördinatensysteem kunnen worden opgegeven. Ten behoeve van deze tekortkomingen zijn geometrische toleranties ingevoerd. De vormafwijking van een object kan hierbij door vorm- en oriëntatietoleranties worden beschreven. De locatie-afwijking van een object kan door een positietolerantie worden beschreven. De geometrische toleranties zijn dan ook als volgt geclassificeerd:

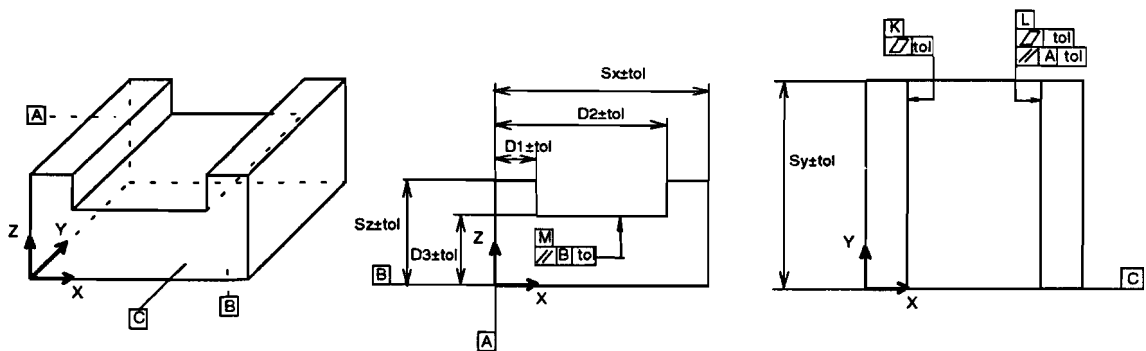
- vormtoleranties zijn beperkingen aan de geometrische elementgrenzen en worden uitgedrukt in rechtheid, vlakheid, rondheid en cilindriciteit van de geometrische elementen.
- oriëntatietoleranties zijn beperkingen aan de relaties tussen twee geometrische elementgrenzen en worden uitgedrukt in evenwijdigheid, haaksheid en hoekzuiverheid van de geometrische elementen,
- positietoleranties zijn beperkingen aan de relaties van twee geometrische elementen en worden uitgedrukt in positie, concentriciteit en symmetrie van de geometrische elementen.

Bijlage G geeft de NEN-ISO 1101 norm van geometrische toleranties en bijlage H geeft hiervan een gedetailleerde beschrijving. Van de fundamentele definities van geometrische toleranties kan worden gezegd dat deze nog steeds (moeten) worden bijgewerkt (zie ook Wirtz [Wirt88]). Hierop zal in dit afstudeerverslag niet verder worden doorgegaan.

#### 4.2.3. Tolerance-graph

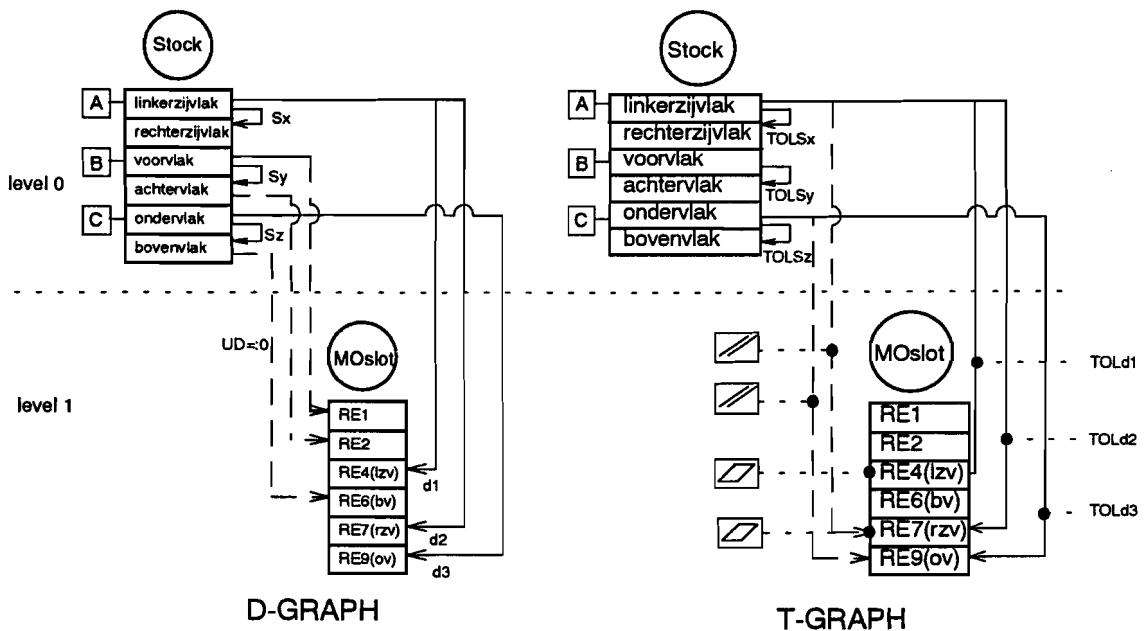
De tolerance-graph (t-graph) is een schema waarin alle MO-gebaseerde tolerantiegegevens (waarde, karakter, etc.) van een produktontwerp worden opgeslagen. De tolerance-graph gaat uit van het MO-gebaseerde tolerantie-model waarbij toleranties aan "user defined" dimensies worden toegekend en waarbij geometrische toleranties op relevante referentie-elementen kunnen worden toegepast.

Het toekennen van toleranties kan gebeuren door alle toleranties handmatig in te voeren of door deze automatisch te genereren (de zogenaamde defaults). De praktijk levert een combinatie op van defaults en handmatig ingevoerde toleranties. Met behulp van het volledig gedimensioneerde en getolereerde produktontwerp van figuur 35 zal de opbouw van een tolerance-graph worden getoond.



figuur 35: een gedimensioneerd en getolereerd produktontwerp

Het produktontwerp wordt door de toepassing van een  $MO_{slot}$  op de Stock gerealiseerd, de gegevens hiervan worden opgeslagen in het produktmodel. Van het produktontwerp wordt de dimension-graph opgesteld (zie figuur 36). Vervolgens kunnen aan alle "user defined" dimensies, dimensionele toleranties worden toegekend. Tevens kunnen de gewenste geometrische toleranties worden toegepast op de relevante geometrische elementen. Van het geheel van toleranties kan de tolerance-graph worden opgesteld (zie figuur 36). Vormtoleranties zijn in deze tolerance-graph attributen op de desbetreffende referentie-elementen. Voor een overzicht van de referentie-elementen van MO's wordt verwezen naar bijlage D.

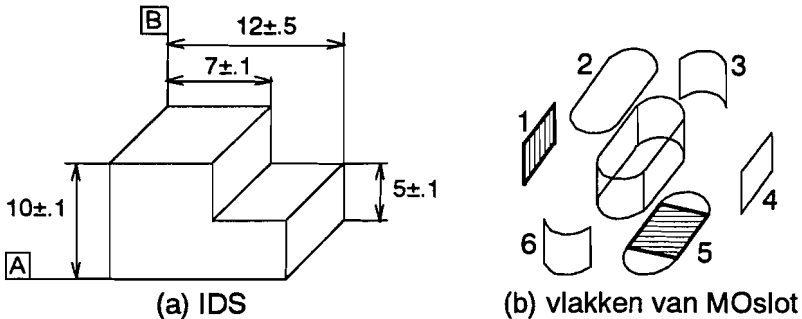


figuur 36: vorming van een dimension-graph en een tolerance-graph

Door het gebruik van het MO-gebaseerde dimensie- en tolerantie-model zijn de toleranties altijd éénduidig ingevoerd. De toleranties kunnen hierbij nog inconsistent zijn. Ten behoeve van de inconsistentie moeten de toleranties gecontroleerd worden door een tolerantie-modeller. Deze tolerantie-modeller zal in hoofdstuk 5 worden beschreven.

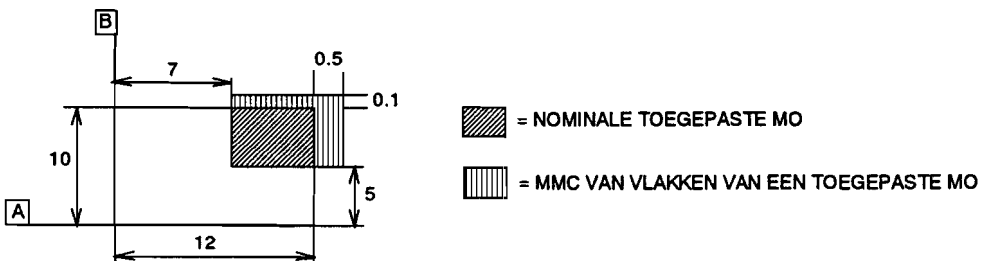
#### 4.2.4. Speciale gevallen van toleranties

Bij de toepassing van een MO op de IDS treden een aantal fysiek bestaande vlakken op, een voorbeeld hiervan toont figuur 37. De rest van de vlakken van de toegepaste MO verdwijnen door materiaal verwijderende operaties. Omdat deze vlakken verdwijnen is het zinloos deze vlakken nauwkeurig te bewerken. Logischerwijs hoeven de vlakken dus ook niet nauwkeurig te worden getolereerd.



figuur 37: fysiek bestaande vlakken van MOslot bij toepassing op de IDS

Indien de verdwijnende vlakken van een MO worden gebruikt om de MO te localiseren dan kunnen deze vlakken "user defined=:0" dimensies zijn, welke volgens het MO-gebaseerde tolerantie-model getolereerd moeten worden. Door deze "user defined=:0" dimensies de nominale maat plus de grootst mogelijke tolerantie van de omgeving (de ouder) aan te laten nemen, hoeft er geen tolerantie te worden opgegeven. In deze gevallen treedt de maximum materiaal conditie (MMC) van de desbetreffende vlakken van een toe te passen MO op (zie figuur 38).



figuur 38: de maximum materiaal conditie van een MO

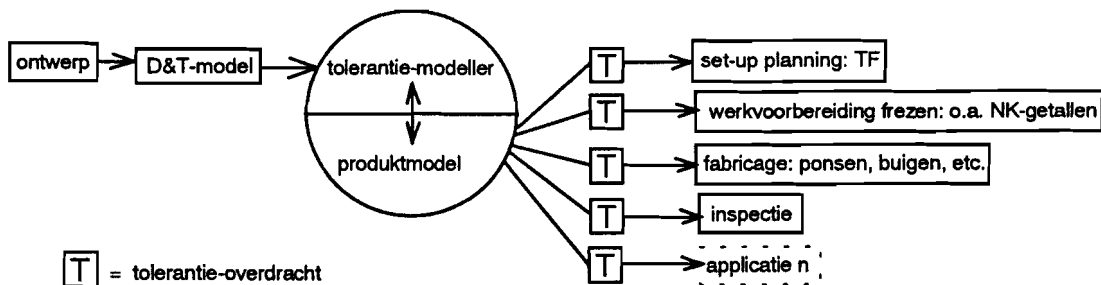
### 4.3. Tolerantie-overdracht bij het produkt in wording

Door toepassing van het MO-gebaseerde dimensie- en tolerantie-model en de tolerantie-modeller (zie hoofdstuk 5) zijn de dimensie- en tolerantiegegevens van het ontwerp éénduidig en consistent aanwezig in het produktmodel. Deze gegevens moeten op een bepaalde manier worden gebruikt bij de processen van het produkt in wording. Een produkt in wording is onderdeel van het gehele traject van uitgangsmateriaal tot gebruikersprodukt. Tabel 1 geeft een opsomming van een aantal processen in wording [Bosc93]:

proces	activiteit van het proces
ontwerp	<i>legt de dimensies en toleranties van het produktontwerp vast</i>
werkvoorbereiding	<i>interpreteert en transformeert het produktontwerp</i>
fabricage	<i>realiseert het produkt</i>
inspectie	<i>controleert het gerealiseerde produkt</i>
assemblage	<i>manipuleert met het gerealiseerde produkt</i>

tabel 1: opsomming van processen bij het produkt in wording

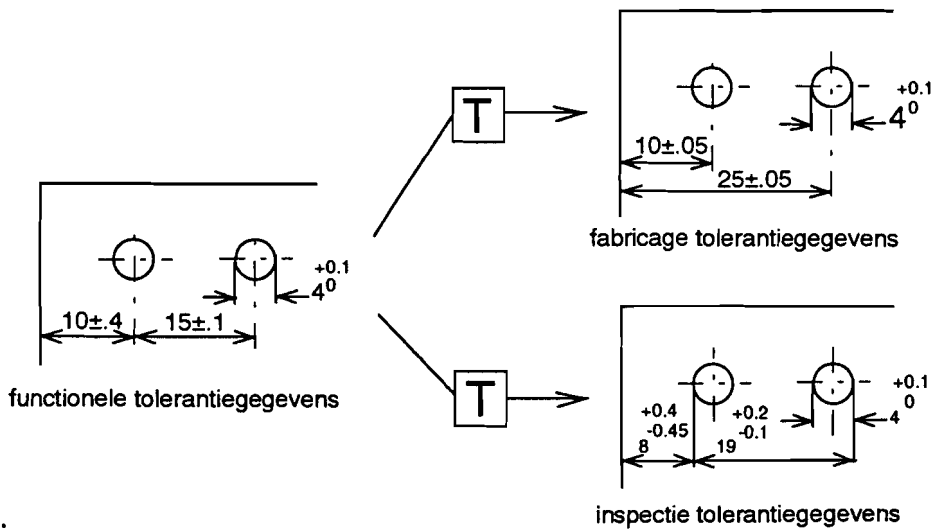
De processen in wording gebruiken de tolerantiegegevens op verschillende manieren. Daarom zullen vanuit het éénduidige en ondubbelzinnige produktmodel de diverse tolerantie-overdrachten plaatsvinden (zie figuur 48).



figuur 39: tolerantie-overdracht van ontwerp naar andere applicaties

Figuur 48 toont dat bij het ontwerp de toleranties en dimensies van een functioneel produkt worden ingegeven, hierbij gebruik makend van een MO-gebaseerd dimensie- en tolerantie-model (D&T-model). De dimensie- en tolerantiegegevens worden gecontroleerd op inconsistentie door de tolerantie-modeller waardoor een produktmodel optreedt met éénduidige en consistente dimensie- en tolerantiegegevens. De tolerantie-overdracht zorgt voor de overdracht van tolerantiegegevens uit het produktmodel naar de diverse processen in wording.

Een voorbeeld van tolerantie-overdracht en het gebruik van de verschillende tolerantiegegevens toont figuur 40 (uit [DIN 406]). Figuur 40 toont de specificatie van de functionele eisen van een produkt en de tolerantie-overdracht naar fabricage en inspectie tolerantiegegevens.



figuur 40: tolerantie-overdracht van ontwerp naar fabricage en inspectie

De tolerantie-overdracht naar de fabricage hangt van veel factoren af. Enkele factoren zijn de fabricagecapaciteiten en -middelen, de opspanningen, de vereiste fabricagenauwkeurigheid en de meest gunstige distributie van toleranties.

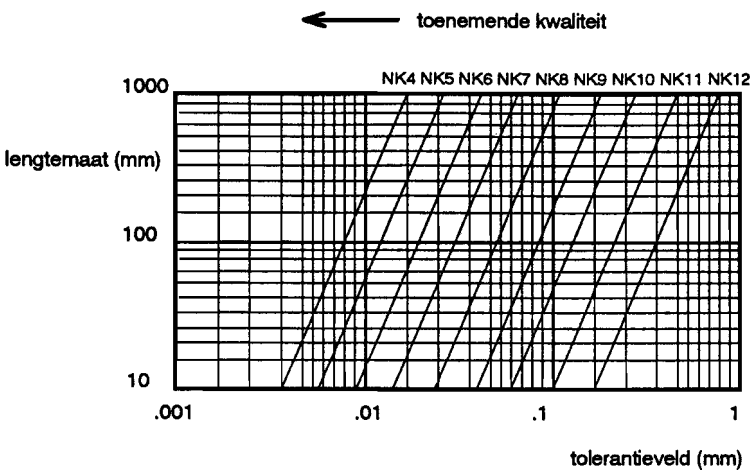
De tolerantie-overdracht naar de inspectie hangt onder andere af van de beschikbare meetmiddelen (o.a. coördinaten meetmachine (CMM), micrometers en sluitmaten), de opspanningen, de vereiste meetnauwkeurigheid, het inspectiesoort (o.a. "in-process" inspectie, eindinspectie), het aantal te inspecteren produkten en het aantal te meten parameters [Stru93]. Een aantal standaard meetstrategieën zijn in voorbereiding, deze worden vastgelegd in ISO-normen (o.a. ISO10360, ISO 3599). De volgende paragrafen zullen de wijze beschrijven van de tolerantie-overdracht van het ontwerp naar de set-up planning en naar de maakbaarheid van bewerkingsvlakken.



### 4.3.1. Maakbaarheid bewerkingsvlakken van toegepaste MO's

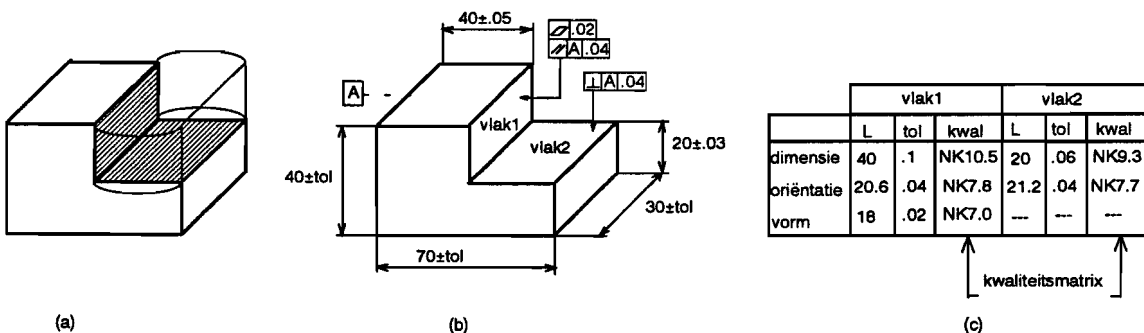
De maakbaarheid van bewerkingsvlakken wordt onder andere bepaald door de geometrie van deze vlakken, de verschillende tolerantie-eisen die op deze vlakken zijn gesteld en de beschikbare fabricagemiddelen. Alle tolerantie-eisen die op de bewerkingsvlakken staan, worden door de tolerantie-overdracht omgerekend naar kwaliteitsgetallen (NK-waarden) waardoor de verschillende tolerantie-eisen kunnen worden vergeleken [Vrie92]. Een lager kwaliteitsgetal betekent dat een tolerantie nauwkeuriger is en dus moeilijker te maken is.

De tolerantie-overdracht gaat als volgt: na het aanpassen van de lengtematen van de verschillende toleranties (zie bijlage I) worden met behulp van het kwaliteitsgetalendiagram (zie figuur 41) en de nominale tolerantiewaarden, de kwaliteitsgetallen berekend. In plaats van het selecteren van de laagste NK-waarde van alle toleranties [Vrie92], moet rekening worden gehouden met de NK-waarden van zowel de dimensie-, de vorm-, de oriëntatie en positiertoleranties waardoor een kwaliteitsmatrix optreedt. Het concept van een kwaliteitsmatrix toont gelijkenis met de vectoriële tolerantiematrix van Wirtz [Wirt88].



figuur 41: kwaliteitsgetalendiagram

Een voorbeeld van het berekenen van een kwaliteitsmatrix toont figuur 42. Figuur 42a representeert de toepassing van een MO op de IDS. Figuur 42b toont de gestelde tolerantie-eisen van de toegepaste MO. Figuur 42c toont het resultaat van de tolerantie-overdracht. In figuur 42c is L de aangepaste lengtemaat (zie bijlage I), tol de nominale tolerantiewaarde en kwal het kwaliteitsgetal. De kolommen met kwaliteitsgetallen stellen de tolerantiematrix voor.

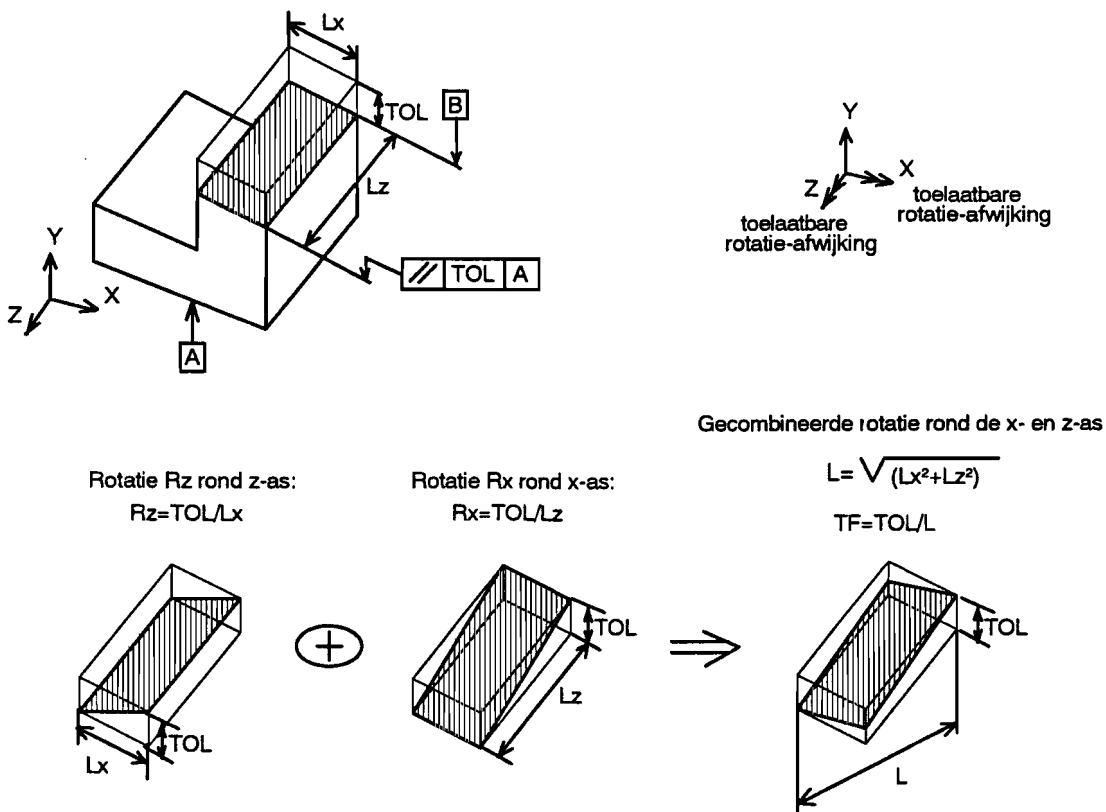


figuur 42: vorming van een kwaliteitsmatrix

### 4.3.2. Set-up planning

De tolerantie-overdracht van het ontwerp naar de set-up planning gaat met behulp van tolerantiefactoren (TF, tolerance factor) [Boer88]. Een nauwkeurige tolerantie vereist dat de bewerkingsoperaties van de onderling afhankelijke (delen van) toegepaste MO's zo laat mogelijk in de fabricagevolgorde worden opgenomen. Om een goed vergelijkingsmiddel tussen de verschillende tolerantie-relaties te hebben worden de tolerantiefactoren uitgerekend. Nauw verwante (delen van) toegepaste MO's worden gegroepeerd in een set-up als ook hun bewerkingsrichtingen overeenkomen. Het doel van deze set-up verdeling is het reduceren van het aantal kritische toleranties tussen (delen van) toegepaste MO's verdeeld over meerdere set-ups waardoor zo min mogelijk kritische tolerantie-relaties worden gebroken [Groo93]. Door het minimaliseren van het aantal set-ups vindt dit zo min mogelijk plaats waardoor de bewerkingstijd van een produkt wordt verlaagd en de produktiekosten dalen.

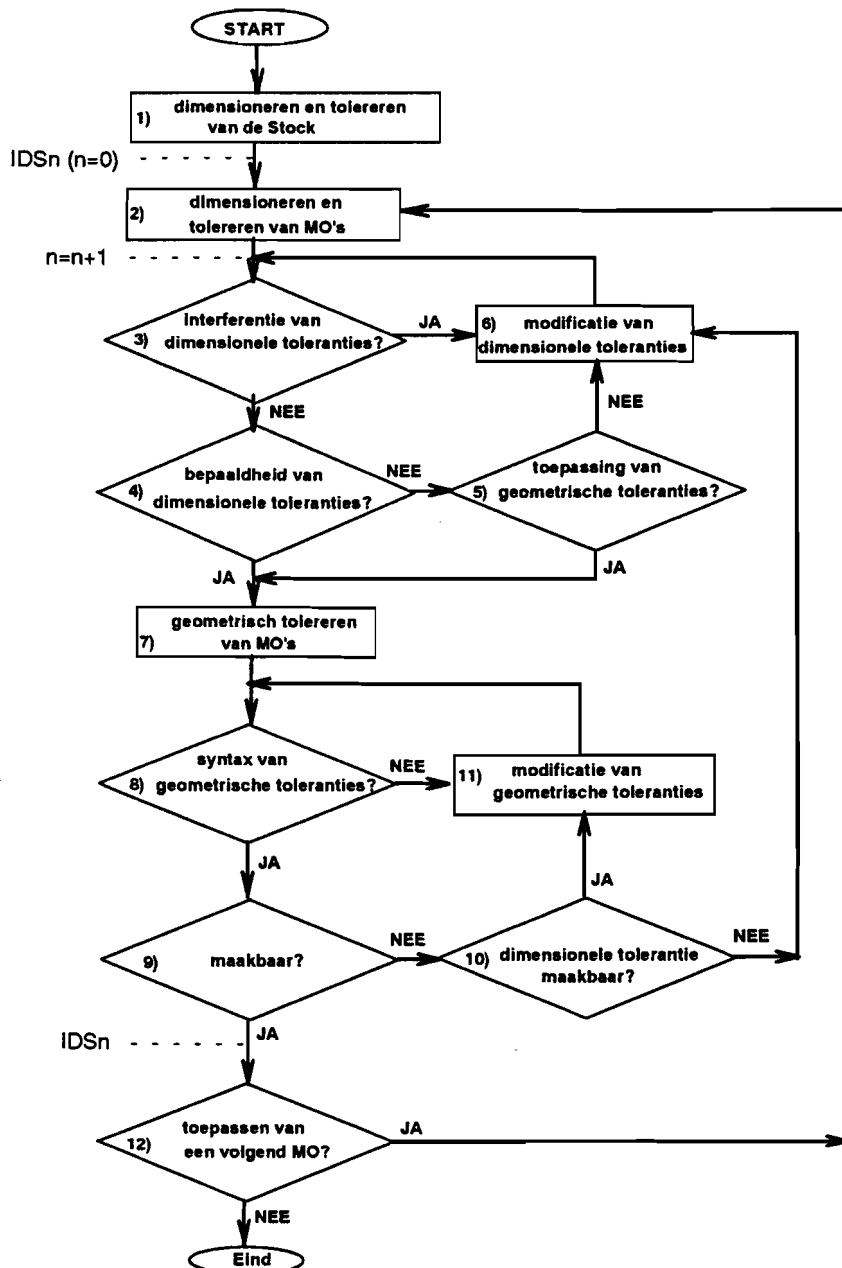
Figuur 43 toont de evenwijdigheidstolerantie van vlak B. Bij de tolerantie-overdracht van het ontwerp naar de set-up planning worden de tolerantiefactoren uitgerekend. De tolerantiefactor van de evenwijdigheid is de tolerantie (TOL) gedeeld door de langste diagonaal (L) van het getolereerde geometrische vlak. De langste diagonaal wordt berekend uit de relevante lengtes van het vlak. De afwijkingen van vlak B kunnen bestaan uit rotatie-afwijkingen rond de X- en de Z-as, de relevante lengtes van vlak B zijn dan ook  $L_x$  en  $L_z$ .



figuur 43: berekening van een tolerantiefactor (TF) in het geval van een evenwijdigheidstolerantie

## 5. Functionaliteit van een tolerantie-modeller

Dimensionele en geometrische toleranties worden door het gebruik van het nieuwe MO-gebaseerde dimensie- en tolerantie-model op éénduidige wijze ingevoerd. De éénduidige toleranties dienen hierna op inconsistentie te worden gecontroleerd. Hiertoe zal in dit hoofdstuk een tolerantie-modeller worden ontwikkeld. Het onderstaande functionaliteitsdiagram van een tolerantie-modeller geeft de wijze waarop toleranties moeten worden gecontroleerd op inconsistentie.



figuur 44: functionaliteitsdiagram van een tolerantie-modeller

Het functionaliteitsdiagram bestaat uit een aantal bewerkingen, een aantal analyses en een aantal beslissingscriteria. Deze zijn als volgt:

#### **bewerkingen**

- dimensioneren en tolereren van de Stock (1),
- dimensioneren en tolereren van MO's (2),
- geometrisch tolereren van MO's (7),
- modificatie van dimensionele toleranties (6),
- modificatie van geometrische toleranties (11).

#### **analyses**

- interferentiecontrole van dimensionele toleranties (3),
- bepaaldheidscontrole van dimensionele toleranties (4),
- syntaxcontrole van geometrische toleranties (8),
- maakbaarheidscontrole van de tolerantiespecificatie (9),
- haalbaarheid van toleranties (10).

#### **beslissingscriteria**

- het toepassen van een volgend MO (12),
- het toepassen van geometrische toleranties (5).

De meeste elementen van de bewerkingen en analyses zullen in de volgende paragrafen worden behandeld. Deze paragrafen behandelen zoveel mogelijk de chronologische volgorde van het functionaliteitsdiagram. De bewerkingen en de analyses worden zoveel mogelijk volgens een bepaalde structuur behandeld. Deze structuur is als volgt:

#### **analyse**

stap 1: het definiëren van de desbetreffende analyse,

stap 2: het toelichten van de definitie uit stap 1,

stap 3: het beschrijven van de vervolconfiguratie,

stap 4: implementatie binnen IDM.

#### **bewerking**

stap 1: het geven van de bewerkingstoestand,

stap 2: het geven van een oplossing, indien stap 1 een probleem oplevert,

stap 3: het vervolgen van het functionaliteitsdiagram van de tolerantie-modeller.

### **5.1. Instantiatie van de Stock en de MO's**

De instantiatie van de Stock door onder andere de dimensies en toleranties van de Stock levert  $IDS_o$  op. De beschrijvende parameters van de Stock (lengte, hoogte en breedte) zullen over het algemeen functionele dimensies zijn, welke bepaald zijn door de ontwerper. Dit zijn "user defined" dimensies, waarvoor elk een tolerantie moet worden opgegeven.

Na de instantiatie van de Stock moeten de MO's één voor één worden toegepast. Deze toepassing geschiedt door de Implicit Locations en het tolereren van de MO's. De volgorde van de Implicit Locations en het tolereren van MO's gaat als volgt:

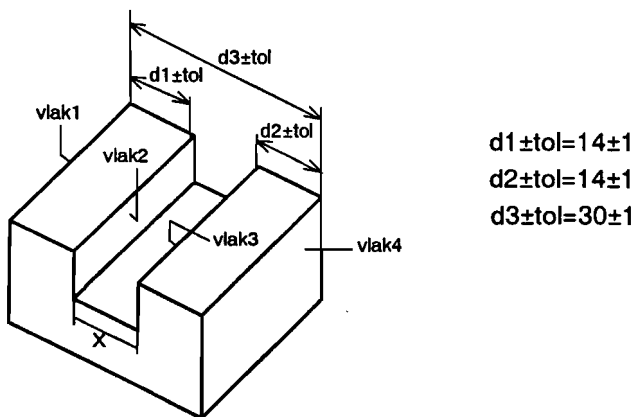
1. het bepalen van het gewenste MOtype ( $MO_{slot}$ ,  $MO_{rectangular\ pocket}$ , etc.)
2. identificeren van referentie-elementen ten behoeve van de locatie,
3. het localiseren van de MO,
4. het dimensioneel tolereren van de "user defined" dimensies,
5. het invoeren van geometrische toleranties.

Na de toepassing van de MO's moeten een aantal analyses worden uitgevoerd. Deze worden in de volgende paragrafen behandeld.

## 5.2. Interferentiecontrole van dimensionele toleranties

**Definitie:** "interferentie" van dimensionele toleranties is het overlappen van de "worst case" toestanden van de geometrische elementen van een produktontwerp door te ruim opgegeven dimensionele toleranties.

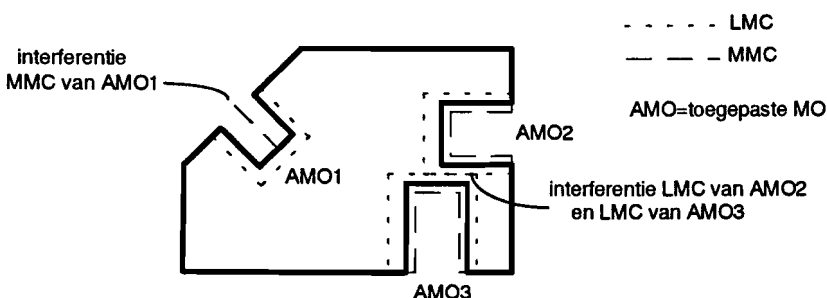
**Toelichting:** het produktontwerp van figuur 45 toont een voorbeeld van "interferentie" van dimensionele toleranties. Door het "worst case" geval van  $d1 \pm tol = 15$  en  $d2 \pm tol = 15$  en  $d3 \pm tol = 29$  zal interferentie optreden, namelijk  $X = -1$ .



figuur 45: "interferentie" van dimensionele toleranties

**Vervolg:** bij "interferentie" dienen of de dimensionele toleranties te worden verkleind (zie §5.4) of de dimensies te worden verkleind. Indien geen "interferentie" optreedt, dan kan de bepaaldheidscontrole van dimensionele toleranties worden uitgevoerd (zie §5.3).

**Implementatie:** de interferentiecontrole van de tolerantie-modeller binnen IDM moet alle bounding boxes van de toegepaste MO's bepalen en controleren op interferentie. De bounding boxes bestaan uit de minimale materiaal condities (LMC) en de maximum materiaal condities (MMC) van de toegepaste MO's. Zowel de bounding boxes van een individuele toegepaste MO (intern) als de bounding boxes van alle toegepaste MO's (extern) moeten worden gecontroleerd op interferentie. Deze interferentiecontrole is MO-gebaseerd in de zin dat voortdurend de gehele toegepaste MO's moeten worden gecontroleerd op interferentie. Figuur 46 geeft een ontwerp waarbij een interne interferentie optreedt van de toegepaste MO<sub>1</sub> en een externe interferentie optreedt tussen de toegepaste MO<sub>2</sub> en MO<sub>3</sub>.

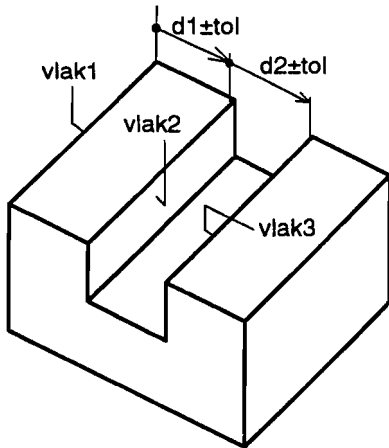


figuur 46: interferentie van dimensionele toleranties

### 5.3. Bepaaldheidscontrole van dimensionele toleranties

**Definitie:** "bepaaldheid" van dimensionele toleranties impliceert dat functionele ontwerptoleranties van geometrische elementen ten behoeve van fabricage- en inspectiedoeleinden binnen vast te stellen tolerantievelden vallen.

**Toelichting:** van het ontwerp van figuur 47 is vlak<sub>3</sub> "onbepaald", omdat vlak<sub>2</sub> een zodanige tolerantie heeft dat vlak<sub>3</sub> ten behoeve van fabricage- en inspectiedoeleinden buiten het vastgestelde tolerantieveld kan vallen.



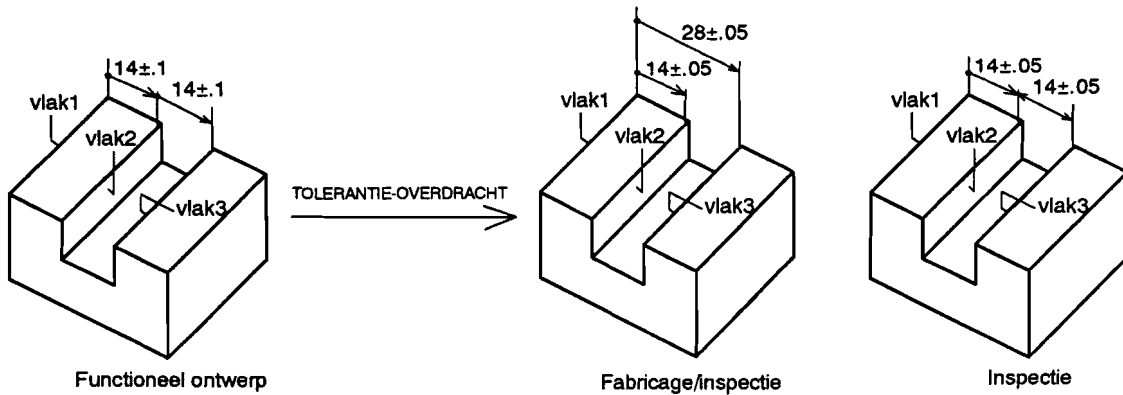
figuur 47: "onbepaalde" functionele toleranties

```
Dimensie&Tolerantie_Informatie
[d1±tol
  referentie vlak1 <--Ouder,
  referentie vlak2 <--Kind,
  DimValue(Ouder-->Kind)=:14,
  TolValue=±.1]
[d2±tol
  referentie vlak2 <--Ouder,
  referentie vlak3 <--Kind,
  DimValue(Ouder-->Kind)=:14,
  TolValue=±.1]
```

**Vervolg:** de vervolgsituaties bij "onbepaalde" dimensionele toleranties zijn als volgt:

1. de toleranties zijn uit functioneel oogpunt "onbepaald" gekozen. In deze gevallen moeten de ontwerptoleranties worden vertaald naar fabricage- en inspectie-toleranties door de zogenaamde tolerantie-overdracht.
2. de desbetreffende dimensionele tolerantie moet worden verkleind (zie §5.4),
3. geometrische toleranties moeten worden ingevoerd (zie §5.5).

Een voorbeeld van de wijze waarop de tolerantie-overdracht van ontwerptoleranties naar fabricage- en inspectietoleranties kan gaan toont figuur 48.



figuur 48: tolerantie-overdracht van ontwerptoleranties

**Implementatie:** feitelijk controleert de bepaaldheidscontrole niets anders dan de "bepaaldheid" van de opgestelde dimensie- en tolerantiekettingen. De bepaaldheidscontrole van de tolerantie-modeller binnen IDM moet dan ook de gehele dimension-graph en tolerance-graph van een uit MO's opgebouwd product volgen. Deze bepaaldheidscontrole is semi MO-gebaseerd, namelijk na iedere toepassing van een MO wordt gecontroleerd of de dimensie- en tolerantiekettingen van de toegepaste MO's "bepaald" zijn.

#### 5.4. Modificatie van dimensionele toleranties

Dimensionele toleranties moeten worden gemodificeerd bij de volgende toestanden:

1. "interferentie" van dimensionele toleranties,
2. ongewenste "onbepaaldheid" van dimensionele toleranties,
3. niet maakbaarheid van dimensionele toleranties.

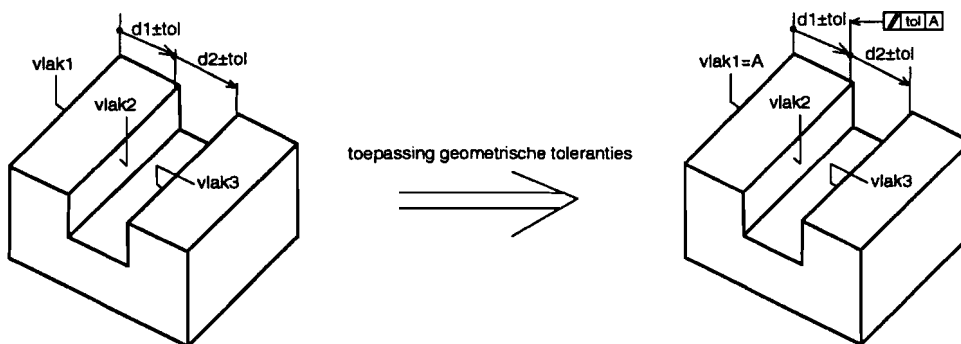
Bij "interferentie" moeten de dimensionele toleranties worden verkleind. Bij ongewenste "onbepaaldheid" moeten de dimensionele toleranties worden verkleind. Bij niet maakbaarheid moeten de dimensionele toleranties worden vergroot of verkleind. Na de modificatie van dimensionele toleranties moeten deze toleranties nogmaals het diagram van de tolerantie-modeller doorlopen.

#### 5.5. Geometrische tolereren van MO's

**Toestand:** bij dit bewerkingselement zijn de volgende toestanden mogelijk:

1. de dimensionele toleranties zijn "onbepaald",
2. de dimensionele toleranties zijn "bepaald".

**Oplossing:** alleen de ongewenste toestand van de "onbepaaldheid" levert een probleem op, deze is behandeld in §5.3. De oplossing van het daar geschetste probleem is het toepassen van bijvoorbeeld een evenwijdigheidstolerantie (zie figuur 49) waardoor "onbepaalde" dimensionele toleranties "bepaald" worden door geometrische toleranties.



figuur 49: oplossing voor "onbepaalde" dimensionele toleranties

#### Dimensie&Tolerantie\_Informatie

##### [d1±tol

referentie vlak1 <--Ouder,  
referentie vlak2 <--Kind,  
DimValue(Ouder<-->Kind)=:14,  
TolValue=:±.1]

##### [d2±tol

referentie vlak2 <--Ouder  
referentie vlak3 <--Kind,  
DimValue(Ouder<-->Kind)=:14,  
TolValue=:±.1]

##### [Evenwijdigheid

referentie vlak1 <--Ouder A  
referentie vlak2 <--Kind  
Tol(Ouder A<-->Kind, evenwijdigheid)=:.01]

Vervolg: indien de dimensionele toleranties "bepaald" zijn, dan kan het diagram van de tolerantie-modeller op normale wijze worden vervolgd.

## 5.6. Syntaxcontrole van geometrische toleranties

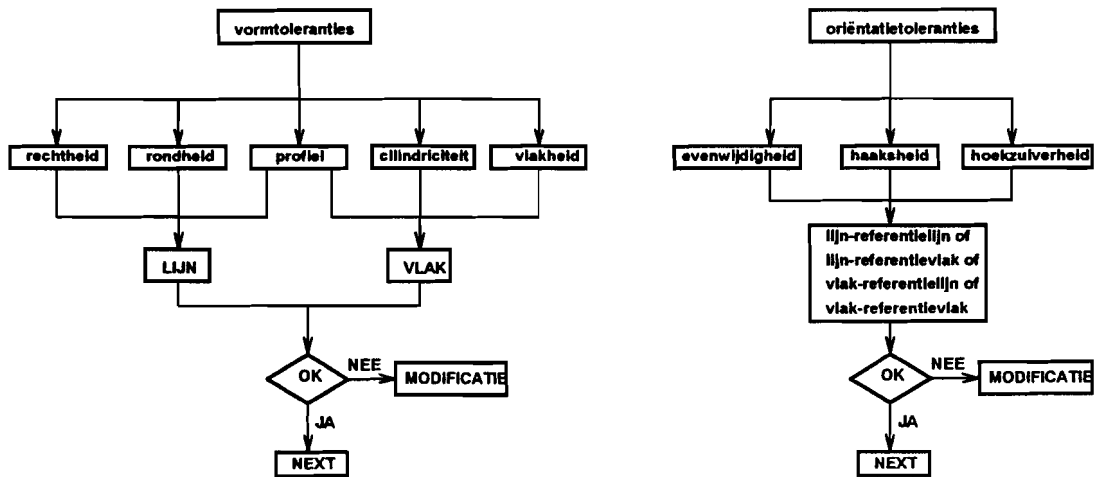
De syntax van geometrische toleranties moet op de juiste wijze én op de juiste geometrische elementen toegepast zijn. Hiertoe moeten controles worden uitgevoerd die de validiteit, de overcompleteheid en de hiërarchie van toleranties controleren.

### 5.6.1. Validiteitscontrole van geometrische toleranties

Definitie: "validiteit" impliceert dat op geometrische elementen de juiste geometrische toleranties worden toegepast.

Toelichting: een voorbeeld van een invalide geometrische tolerantie is de cilindriciteitstolerantie van een lijn. Voor vorm- en oriëntatietoleranties zal de validiteitscontrole volgens de volgende diagrammen gebeuren. Deze diagrammen (zie figuur 50) zijn een verwerking van de uitgewerkte ISO toleranties uit bijlage H en lijkt op de validiteitschecking van Valisys (zie bijlage J). Valisys is een module van Unigraphics welke een bepaalde kwaliteit binnen de ontwerp-, de fabricage- en inspectiefasen integreert [Vali89].



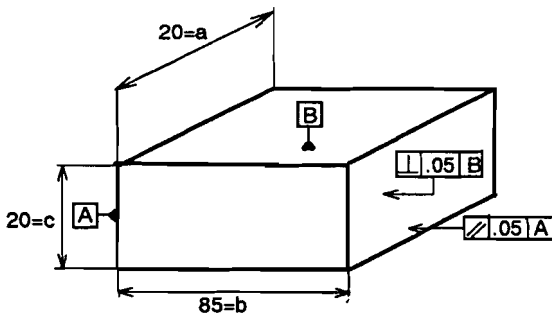


figuur 50: validiteitscontrole van vorm- en oriëntatietoleranties

### 5.6.2. Compleetheidscontrole van geometrische toleranties

**Definitie:** Compleetheid van geometrische toleranties impliceert dat slecht één gelijksoortige tolerantie-eis op één geometrisch element wordt gesteld.

**Toelichting:** figuur 51 geeft een ontwerp met overcompleteheid van geometrische toleranties, namelijk meerdere gelijksoortige tolerantie-eisen zijn gesteld op het rechterzijvlak (een haaksheids- en een evenwijdigheidstolerantie).



figuur 51: overcompleteet rechterzijvlak

**Vervolg:** overcompleteheid van toleranties in het ontwerpproces heeft de meeste invloed op de verwerking van deze overcomplete toleranties in de fabricagefase.

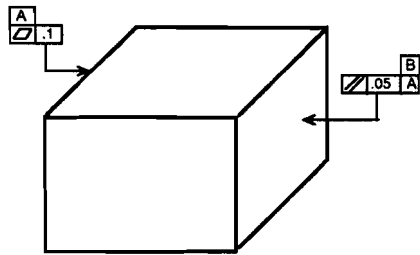
Met behulp van kwaliteitsgetallen kan de nauwkeurigste tolerantie-eis voor de fabricage worden bepaald. In figuur 51 heeft het rechterzijvlak zowel een haaksheids- als een evenwijdigheidstolerantie. Met het gebruik van kwaliteitsgetallen kan de nauwkeurigste fabricage-eis worden berekend (zie ook paragraaf 4.3.1 en bijlage I).

$$\text{voor de haaksheid geldt: } L = \frac{1}{2} \sqrt{(a^2 + c^2)} = 14.1 = NK9.4$$

$$\text{voor de evenwijdigheid geldt: } L = \frac{1}{2} \sqrt{((\frac{1}{2}b)^2 + a^2 + c^2)} = 25.5 = NK8.9$$

Hieruit volgt dat de evenwijdigheidseis doorslaggevend is voor de fabricage en dient te worden meegenomen in de tolerantie-overdracht van ontwerp naar fabricage.

Naast overcompleteheid kan ook een foutieve combinatie van toleranties optreden. Een voorbeeld hiervan toont figuur 52, referentievlaak<sub>A</sub> heeft een zodanige "worst case" vlakheid dat de evenwijdigheid van vlak<sub>B</sub> niet gerealiseerd kan worden.



figuur 52: foutieve combinatie van geometrische toleranties

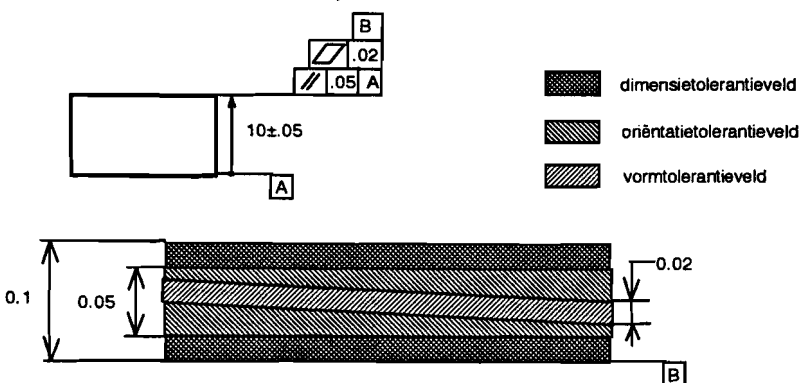
Een oplossing voor de foutieve combinatie van geometrische toleranties is het modificeren van de desbetreffende geometrische toleranties of door een tolerantie-eis te laten vallen. Voor figuur 52 kan de foutieve combinatie van geometrische toleranties onder andere worden voorkomen door het verkleinen van de vlakheidstolerantie van vlak<sub>A</sub> of door het vergroten van de evenwijdigheids-tolerantie van vlak<sub>B</sub>.

### 5.6.3. Hiërarchiecontrole van toleranties

Er bestaat een zekere hiërarchie tussen de toleranties die bij het ontwerpen van een mechanisch produkt gerespecteerd dient te worden. Deze hiërarchie is als volgt:

$$\text{vormtolerantieveld} \leq \text{oriëntatietolerantieveld} \leq \text{dimensietolerantieveld}$$

De hiërarchie volgt uit het feit dat het dimensietolerantieveld een vaste positie en een vaste oriëntatie heeft, het oriëntatietolerantieveld een vaste oriëntatie en een variabele positie heeft en het vormtolerantieveld een variabele oriëntatie en een variabele positie heeft (zie figuur 53). Indien er op een geometrisch element meerdere tolerantie-eisen worden gesteld, dan dient de hiërarchie te worden gerespecteerd.



figuur 53: hiërarchische tolerantiestructuur

Implementatie van de syntaxcontrole: de syntaxcontrole van de tolerantie-modeller binnen IDM moet voortdurend alle nieuw gespecificeerde tolerantierelaties van een toe te passen MO controleren op de "validiteit", overcompleteheid en de hiërarchie.

## **6. Conclusies en aanbevelingen**

### **6.1. Conclusies**

Bij het functioneel dimensioneren en tolereren van een produktontwerp worden naast de specifieke functionele eisen van een produkt ook veelvuldig fabricage-, inspectie- en assemblage-eisen gespecificeerd.

De huidige wijze van dimensioneren en tolereren binnen IDM is niet toereikend. Dit komt door een strikte scheiding van interne en externe parameters van MO's. Hierdoor kunnen de diverse functionele eisen van een produkt niet voldoende worden beschreven en is de ontwerper niet in staat om ieder gewenst produktontwerp te creëren.

In dit afstudeerverslag is een nieuw MO-gebaseerd dimensiemodel ontwikkeld. Het dimensiemodel is gebaseerd op de fundamenteel goede methode van de Implicit Locations van MO's. De Implicit Locations maken gebruik van de referentie-elementen van MO's. Referentie-elementen zijn zodanig aan MO's toegekend dat alle te vervullen functies van de toegepaste MO's kunnen worden beschreven.

Uit het MO-gebaseerde dimensiemodel volgt dat locaties van de diverse delen van een MO de afmetingen van de desbetreffende MO kunnen beïnvloeden.

Het geheel van dimensies wordt opgeslagen in een dimension-graph. In de dimension-graph worden de toegepaste MO's op levels geplaatst waardoor circulaire dimensiestructuren worden voorkomen.

Het ontwikkelde MO-gebaseerde tolerantie-model gaat uit van het toekennen van dimensionele toleranties aan de van functionele eisen afgeleide "user defined" dimensies. Hierdoor worden de tolerantiegegevens functioneel en éénduidig ingevoerd.

Door het invoeren van een referentiesysteem en het gebruik van referenties wordt een richting gegeven aan de dimensionele toleranties. Het geheel van dimensionele toleranties van een produktontwerp wordt opgeslagen in een tolerance-graph. In deze tolerance-graph kunnen ook de geometrische toleranties worden opgeslagen. Vormtoleranties moeten in de tolerance-graph worden gezien als attributen op de desbetreffende referentie-elementen.

De tolerantiegegevens van een produktontwerp worden door de ontwikkelde tolerantie-modeller gecontroleerd op inconsistentie. Enkele controles van deze tolerantie-modeller zijn een bepaaldheids-, een interferentie- en een validiteitscontrole.

De dimensies en toleranties van een produktontwerp zijn essentieel voor de tolerantie-overdracht van de ontwerpfase naar de diverse processen van het produkt in wording. De meeste processen in wording gebruiken de dimensie- en tolerantiegegevens op verschillende manieren. Zo gaat de tolerantie-overdracht van de ontwerpfase naar de maakbaarheidscontrole van vlakken via kwaliteitsgetallen en de tolerantie-overdracht van de ontwerpfase naar de set-up planning via tolerantiefactoren.

## 6.2. Aanbevelingen

De theorie van het MO-gebaseerde dimensiemodel is zodanig uitgewerkt dat het raadzaam is om het model snel binnen het IDM-systeem te implementeren. Als enige dient de Implicit Location te worden uitgewerkt met betrekking tot het bijhouden van alle dimensies waarmee een MO wordt gelocaliseerd en geparametriseerd. Bij het uitwerken van de Implicit Location is het raadzaam om kritisch de mogelijke functionele dimensierelaties van MO's te evalueren en hierbij een selectie te maken van reële functionele mogelijkheden.

Het gebied van de geometrische toleranties is zeer groot, nog steeds in ontwikkeling en reeds op enkele punten herzien/in herziening. Voordat het tolerantie-model en de tolerantie-modeller worden geïmplementeerd is het aan te bevelen om eerst een selectie te maken van primair te ondersteunen geometrische toleranties (o.a. vlakheid, cilindriciteit, evenwijdigheid, haaksheid en positiezuiverheid).

Het MO-gebaseerde dimensie- en tolerantie-model is dermate object-georiënteerd dat deze ook kan worden toegepast bij PO's en CMO's. Het is aanbevolen om nader te onderzoeken hoe deze toepassing verloopt.

De maakbaarheidscontrole binnen IDM garandeert een maakbaar produktontwerp. Nadat het produkt gefabriceerd is bestaat de reële mogelijkheid dat het produkt niet inspecteerbaar en/of assembleerbaar is. Naast de controle op maakbaarheid dient het produktontwerp in principe ook op inspecteerbaarheid en assembleerbaarheid te worden gecontroleerd. Om dit te realiseren dient de tolerantie-overdracht van de ontwerpfase naar de inspectie- en assemblagefasen verder te worden onderzocht.

Bij het specificeren van de functionele eisen van een produkt wordt binnen IDM geen rekening gehouden met het kostenaspect van een produkt. Het kostenaspect dient te worden onderzocht aangezien naast de technische haalbaarheid van een produkt, de werkelijke haalbaarheid van een produkt sterk zal afhangen van de kosten.

## Literatuurlijst

- [Bake92],  
Bakerjien, R.,  
Tool & Manufacturing Engineers Handbook, 1992.
- [Bern89],  
Bernstein, N.S., Preiss, K.,  
Representation of tolerance information in solid models.
- [Boer90],  
Boerma, J.R.,  
The design of fixtures for prismatic, 1990
- [Bosc93],  
Bosch, G.,  
mondelinge informatie,  
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, 1993
- [Bjor89],  
Bjorke, O.,  
Computer Aided tolerancing, 1989.
- [Chas88],  
Chase, K.W., Greenwood, W.H.,  
Design issues in mechanical tolerance analysis. In: Manufacturing Review vol. 1, no 1, Mar. 1988
- [Ciad85],  
CIAD,  
Geometric Modelling, eindrapport CIAD projectgroep, 1985.
- [Delb89],  
Delbressine, F.L.M.,  
On the Integration of Design and Manufacturing. Dissertatie, Faculteit Werktuigbouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, 1989.
- [Delb90],  
Delbressine, F.L.M., Wolf, A.C.H. van der,  
Integrating Design and Manufacturing. In: Annals of CIRP Vol. 39/1/1990
- [Farm86],  
Farmer, L.E., Gladman, C.A.,  
Tolerance Technology - Computer-Based Analysis. In: Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986
- [Groo93],  
Groot, R. de,  
Het automatisch genereren van set-ups en fixtures binnen IDM Process Planning, W.P.A.-rapport 1553, 1993
- [Haus88],  
Hauser, J.R., Clausing, D.,  
The House of Quality. In: Harvard Business Review, May-June 1988
- [Jaya89],  
Jayaraman, R., Srinivasan, V.,  
Geometric tolerancing: Virtual boundary requirements and Conditional tolerances. In: IBM Journal of Research and Development Vol. 33 No. 2 March 1989

- [Just92],  
Juster, N.P.,  
Modelling and representation of dimensions and tolerances: a survey. In: Computer-Aided Design Vol. 24 number 1 January 1992
- [Krom93],  
Krom, R.,  
Geometrische toleranties, W.P.A.-rapport 1446, 1993
- [Kuma92],  
Kumar, S., Raman, S.,  
Computer-aided tolerancing: the past, the present and the future. In: Journal of Design and Manufacturing (1992) 2
- [Mull91],  
Mullins, S.H., Anderson, D.C.,  
Feature-based tolerance representation for design and analysis. In: Journal of Design and Manufacturing (1991) 1
- [Net93],  
Net, A.J., van der,  
Implicit Locations, nog uit te komen.
- [Ning87],  
Ning, R.,  
Bemasen und tolerieren in CAD-systemen mit volumenmodellerieren, 1987.
- [Requ80],  
Requicha, A.G.,  
Representations for rigid solids: theory, methods and systems. In ACM Computer Surv., Vol. 12, No. 4, 1980
- [Requ83],  
Requicha, A.G.,  
Toward a Theory of Geometric Tolerancing. In: The International Journal of Robotics Research, Vol. 2, No. 4, Winter 1983
- [Requ84],  
Requicha, A.G.,  
Representation of tolerances in solid modeling: issues and alternative approaches. In: Solid modeling by computers, by Pickett, M.S., 1984
- [Requ89],  
Requicha, A.G.,  
Geometric modelling and programmable automatation. In: Applications of computers to engineering design, manufacturing and management. IFIP 1989
- [Roy91],  
Roy, U., Liu, C.R., Woo, T.C.,  
Review of dimensioning and tolerancing: representation and processing. In: Computer-Aided Design Vol. 23 number 7 september 1991
- [Shah88],  
Shah, J.J., Rogers, M.T.,  
Functional requirements and conceptual design of the feature-based modelling system. In: Computer-Aided Engineering Journal. February 1988
- [Shah90],  
Shah, J.J., Miller, D.W.,  
A Structure for Supporting Geometric Tolerances in Product Definition Systems for CIM. In: Manufacturing Review. Vol. 3, No. 1, March 1990

- [Sull86],  
Sullivan, L.P.,  
Quality Function Deployment. In: Quality Progress, June 1986
- [Stru93],  
Struik, K.G.,  
mondelinge informatie,  
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, 1993
- [Tipn88],  
Tipnis, V.A.,  
Research needs and technological opportunities in mechanical tolerancing.  
Results of an international workshop. Orlando, Florida 1988. CRTD-15
- [Trus88],  
Truslove, K.C.E.,  
The implications of tolerancing for computer-aided mechanical design. In:  
Computer-Aided Engineering Journal, April 1988
- [Turn90],  
Turner, J.U.,  
Exploiting solid models for tolerance computations. In: Geometric modeling for  
product engineering, IFIP 1990
- [Vali89],  
Valisys reference manual, 1989
- [Vrie92],  
Vries, W.A.H. de,  
Ontwerpregels bij CAD-CAM, W.P.A.-rapport 1285, 1992
- [Vrie93],  
Vries, W.A.H. de,  
Werkplan uitwerking (onofficieel document),  
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde 1993
- [Weil88a],  
Weill, R.,  
Tolerancing for Function. In: Annals of the CIRP Vol. 37/2/1988
- [Weil88b],  
Weill, R.,  
Integrating Dimensioning and Tolerancing in Computer-Aided Process Plan-  
ning. In: Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 4 No. 1/2 1988
- [Wolf],  
Wolf, A.C.H. van der,  
Werktuigen voor de machinefabriek, dictaat.
- [Wozn90],  
Wozny, M.J., Turner, J.U., Preis, K.,  
A geometry modelling system: beyond solid modelling. In: Geometric modeling  
for product engineering, IFIP 1990
- [Wirt88],  
Wirtz, A.,  
Vectorielle Tolerierung: Das Bindeglied zwischen CAD, CAM und CAQ. In:  
Neu-Technikum Buchs, Schweiz
- [Zeid91],  
Zeid,  
CAD/CAM theory and practise

## Lijst van afkortingen

ANSI	American National Standards Institute
B-rep	Boundary Representation
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CSG	Constructive Solid Geometry
CMM	Coordinate Measurements Machine
CMO	Composed Manufacturing Object
DC	"Don't Care"
FDS	Final Design State
IDM	Integration of Design and Manufacturing
IDS	Intermediate Design State
IDS <sub>o</sub>	Initial Design State
ISO	International Standardization Organisation
LD	Locate Dimension, locatiedimensie
LMC	Least Material Condition
MMC	Maximum Material Condition
MO	Manufacturable Object
NK	Kwaliteitsgetal
PD	Parameter Dimension, parameterdimensie
PO	Primitive Object
PRE	Physical Reference Element, fysiek referentie-element
RE	Reference Element, referentie-element
TF	Tolerance Factor, tolerantie-factor
UD	"User Defined"
VRE	Virtual Reference Element, virtueel referentie-element



## Bijlage A: EINDSTUDIEOPDRACHT



**TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN**  
Faculteit Werktuigbouwkunde  
Vakgroep Produktietechnologie en Automatisering



Student : R. Krom  
Hoogleraar : Prof. Dr. Ir. A.C.H. van der Wolf  
Begeleiders : Dr. Ir. F.L.M. Delbressine  
: Ir. W.A.H. de Vries  
Titel : Een tolerantie-modeller in een CAD/CAM-omgeving

### Toelichting

Het IDM-systeem (Integration of Design and Manufacturing) is een prototype ontwerpsysteem dat een integratie probeert te realiseren van ontwerp, werkvoorbereiding en fabricage. In het IDM-systeem wordt een produkt beschreven door de toepassing van Manufacturable Objects (MO's) op een ontwerputgangsmateriaal. Na iedere toepassing van een MO wordt het ontwerp gecontroleerd op maakbaarheid.

De definitie van een produkt, het produktmodel, dient volledig en zonder tegenstrijdigheden te zijn beschreven. Hierbij treedt het probleem op dat de conventionele technieken voor dimensioneren en tolereren tekort schieten inzake een éénduidige en consistente representatie van de dimensies en toleranties van het produktmodel. De onéénduidigheid kan worden voorkomen door het opstellen van een éénduidig MO-gebaseerd dimensie- en tolerantie-model. De resulterende inconsistentie van toleranties kan door een tolerantie-modeller worden gecontroleerd.

### Opdracht

- Stel het pakket van eisen op waaraan een MO-gebaseerd dimensie- en tolerantie-model binnen het IDM-systeem moet voldoen.
- Definieer de functionaliteit en de werking van de tolerantie-modeller.

Prof. Dr. Ir. A.C.H. van der Wolf

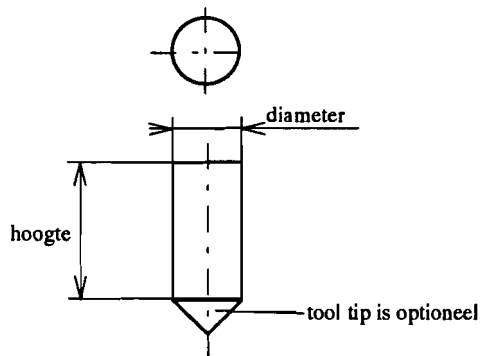
Dr. Ir. F.L.M. Delbressine

Ir. W.A.H. de Vries

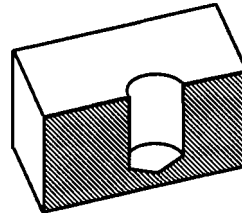
R. Krom

## Bijlage B: Manufacturable Objects

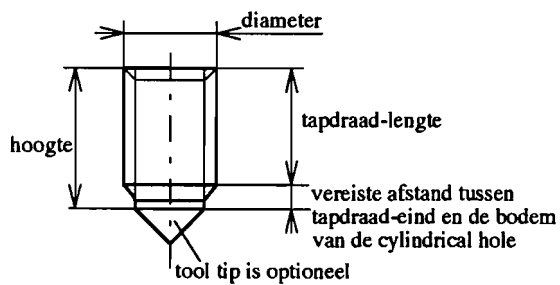
### MO Cylindrical-hole:



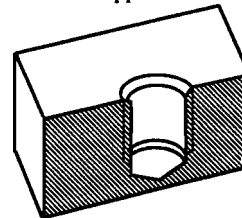
Voorbeeld van applied MO Cylindrical-hole



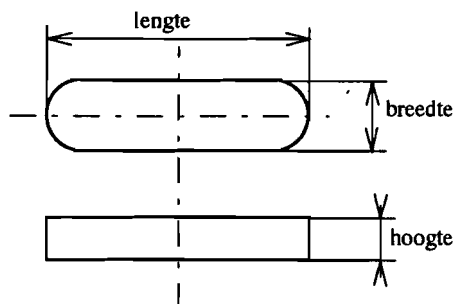
### MO Threaded-hole:



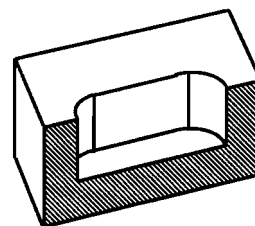
Voorbeeld van applied MO Threaded-hole



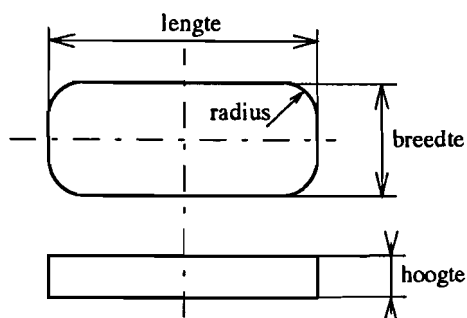
### MO Slot:



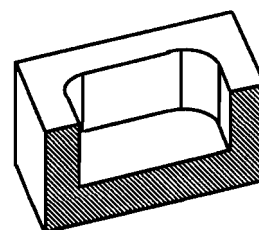
Voorbeeld van applied MO Slot



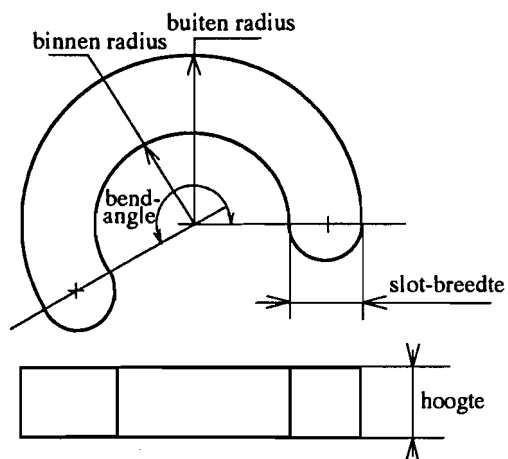
### MO Rectangular-pocket:



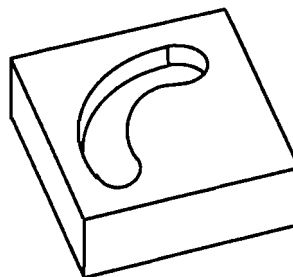
Voorbeeld van applied MO Rectangular-pocket



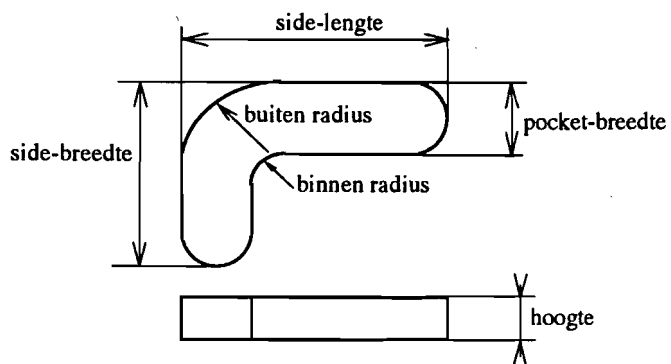
**MO Bended-slot:**



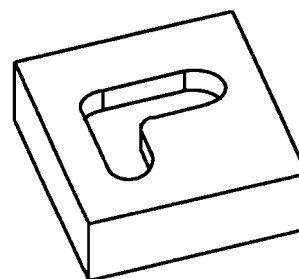
Voorbeeld van applied MO Bended-slot



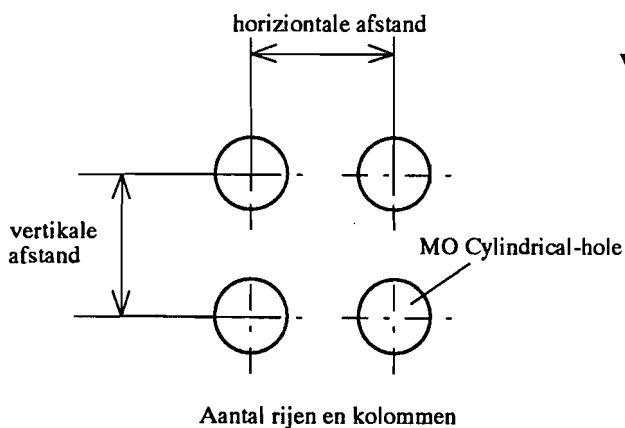
**MO Curved-pocket:**



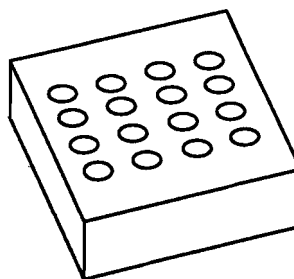
Voorbeeld van applied MO Curved-pocket



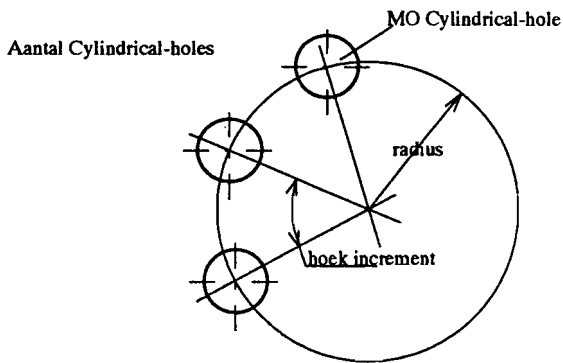
**MO Holes-matrix:**



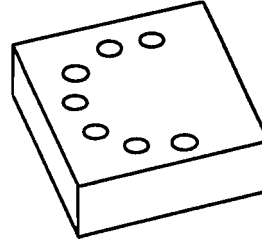
Voorbeeld van applied MO Holes-matrix



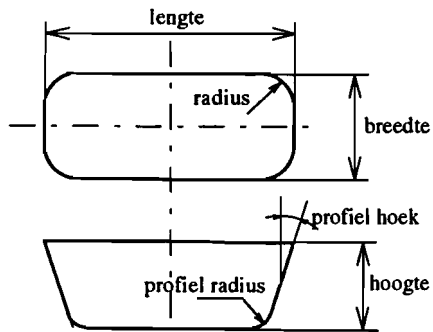
MO Holes-arc:



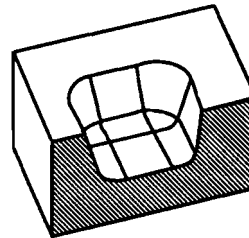
Voorbeeld van applied MO Holes-arc



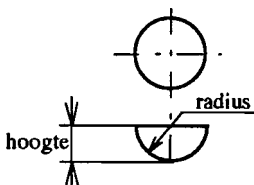
MO Rounded-pocket:



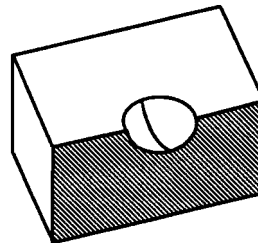
Voorbeeld van MO Rounded-pocket



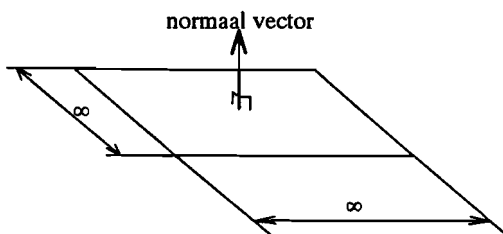
MO Spherical-hole:



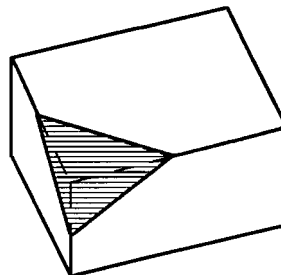
Voorbeeld van applied MO Spherical-hole



MO Planar-material-removal:

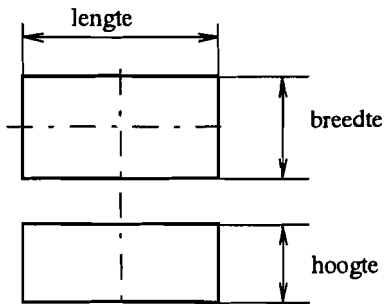


Voorbeeld van applied MO Planar-material-removal

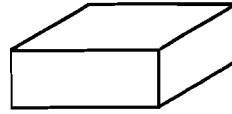


## Bijlage C: Primitive Objects

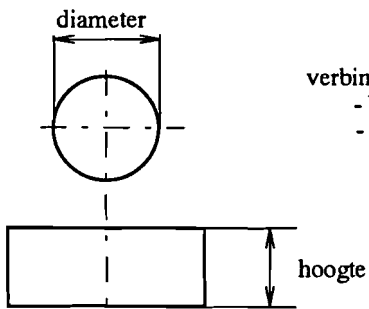
### PO Box:



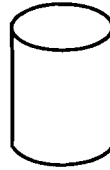
verbindings-vlakken:  
- 6 platte vlakken



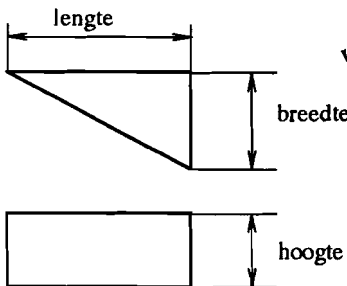
### PO Cylinder:



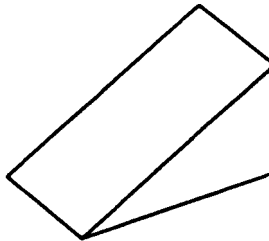
verbindings-vlakken:  
- bovenvlak  
- bodenvlak



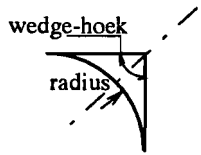
### PO Wedge:



verbindings-vlakken:  
- 4 platte vlakken  
- 1 schreef vlak

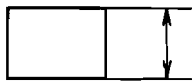


PO Hollow-wedge:



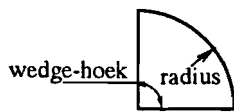
verbindings-vlakken:

- bovenzvlak
- bodemvlak
- 2 platte zijvlakken
- cilindrisch zijvlak



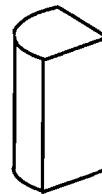
hoogte  $0^\circ < \text{wedge-hoek} < 180^\circ$

PO Curved-wedge:



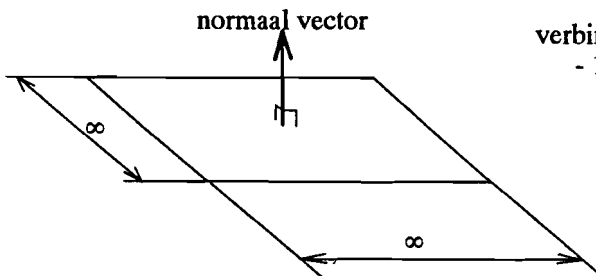
verbinding-vlakken:

- bovenzvlak
- ondervlak
- 2 platte zijvlakken
- cilindrisch zijvlak



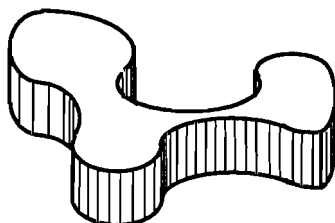
hoogte  $0^\circ < \text{wedge-hoek} < 360^\circ$

PO Planar-removal:



verbindings-vlakken:  
- 1 vlak

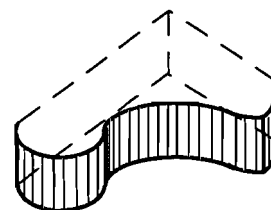
PO Freeform-pocket:



verbindings-vlakken:

- bovenzvlak
- bodemvlak
- platte zijvlakken
- gekromde vlakken ( $90^\circ$ ) van de contour

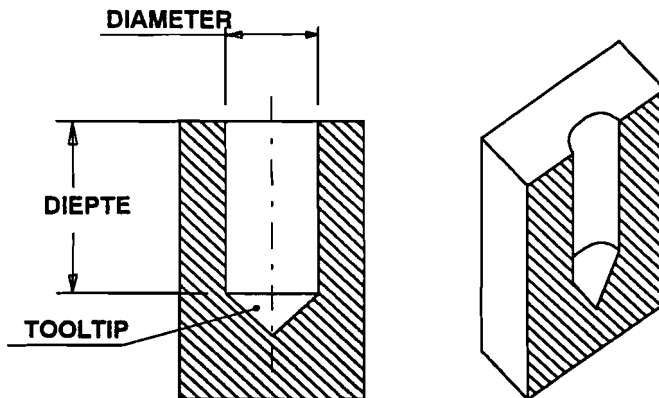
PO Contour:



## Bijlage D: Referentie-elementen van MO's

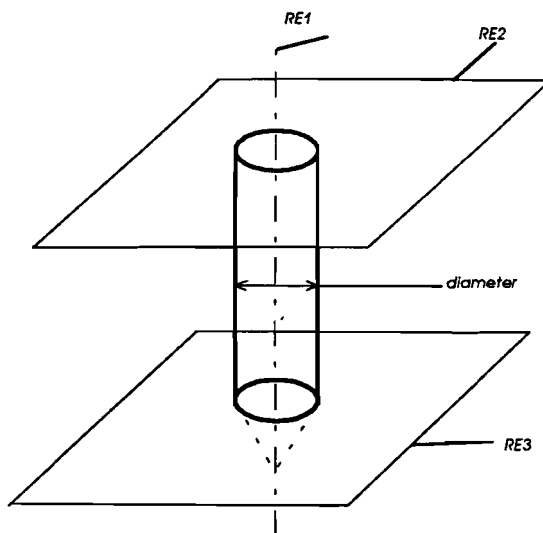
Deze bijlage geeft van drie MO's de referentie-elementen. Deze referentie-elementen worden gebruikt bij het dimensioneren (parametriseren en localiseren) van de MO's.

### CYLINDRICAL HOLE



---

#### REFERENTIE-ELEMENTEN VAN MO<sub>cylindrical hole</sub>

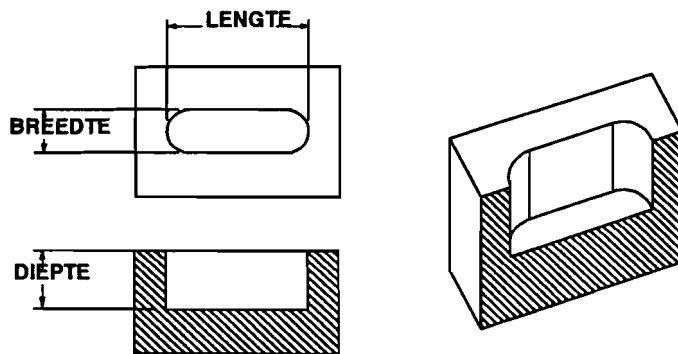


---

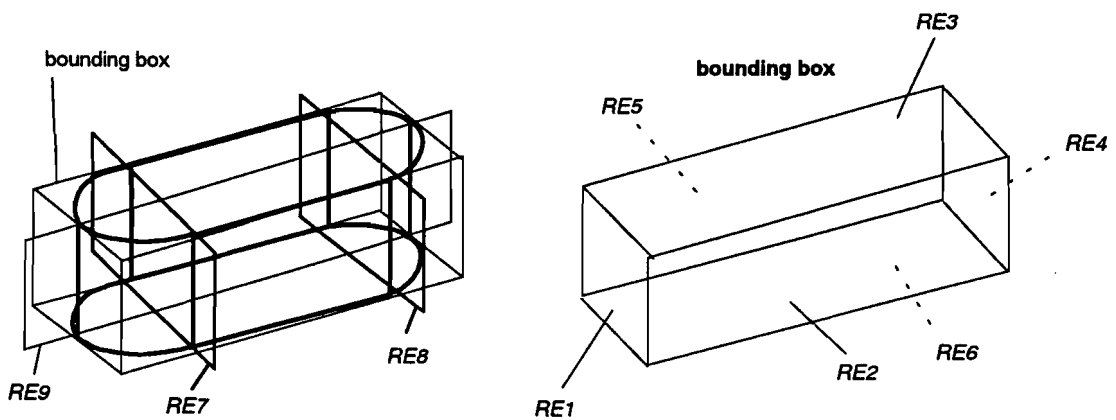
De referentie-elementen van MO<sub>cylindrical hole</sub> zijn als volgt geclassificeerd:

RE1=:VRE1 (as)  
RE2=:PRE2 (vlak)  
RE3=:PRE3 (vlak)

## SLOT



### REFERENTIE-ELEMENTEN VAN MO<sub>slot</sub>

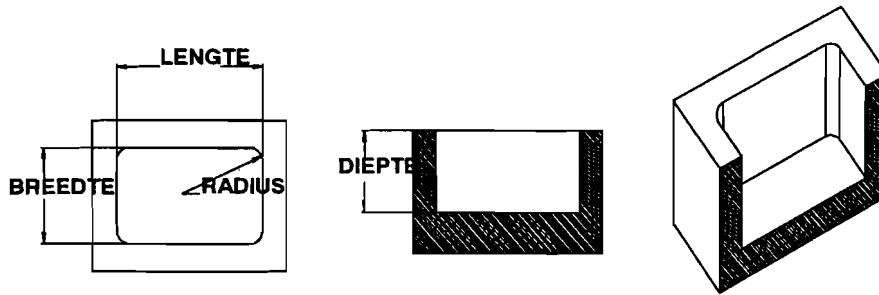


De referentie-elementen van MO<sub>slot</sub> zijn als volgt geclassificeerd:

- RE7=:VRE7 (vlak)
- RE8=:VRE8 (vlak)
- RE9=:VRE9 (vlak)
- bounding box:
- RE1=:VRE1 (linker zijvlak, lzv)
- RE2=:PRE2 (voorvlak, vv)
- RE3=:PRE3 (bovenvlak, bv)
- RE4=:VRE4 (rechter zijvlak, rzv)
- RE5=:PRE5 (achtervlak, av)
- RE6=:PRE6 (ondervlak, ov)

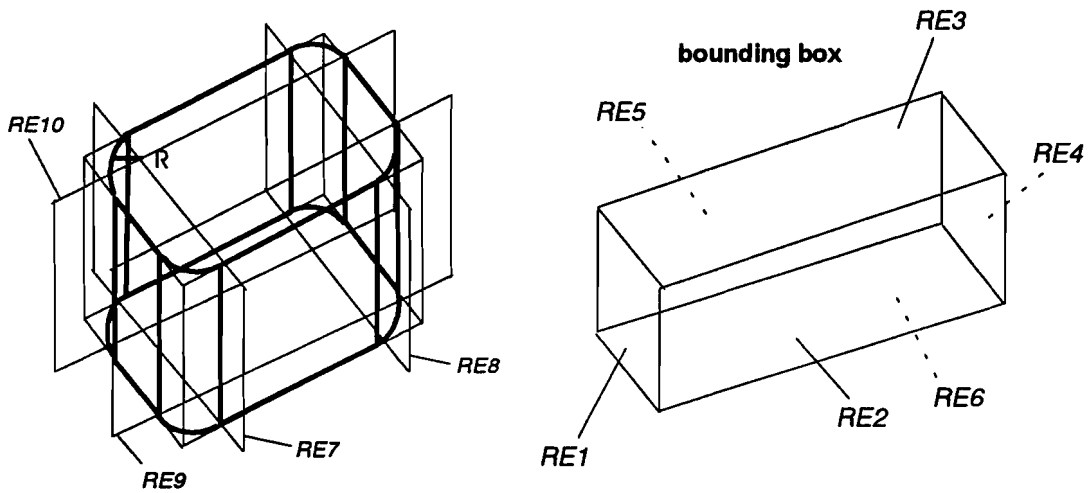


## RECTANGULAR POCKET



---

### REFERENTIE-ELEMENTEN VAN MOrectangular pocket



---

De referentie-elementen van MO<sub>rectangular pocket</sub> zijn als volgt geclassificeerd:

RE7=:VRE7 (vlak)  
RE8=:VRE8 (vlak)  
RE9=:VRE9 (vlak)  
RE10=:VRE10 (vlak)  
bounding box:  
RE1=:VRE1 (lzv)  
RE2=:PRE2 (vv)  
RE3=:PRE3 (bv)  
RE4=:VRE4 (rzv)  
RE5=:PRE5 (av)  
RE6=:PRE6 (ov)

## Bijlage E: Functionele configuraties van MO's

Deze bijlage geeft de functionele configuraties van drie MO's, te weten *MO<sub>cylindrical hole</sub>*, *MO<sub>slot</sub>* en *MO<sub>rectangular pocket</sub>*. De opzet van deze bijlage is als volgt:

**Type MO** geeft het type MO en zijn referentie-elementen. In bijlage D staan de referentie-elementen uitgebreider beschreven.

**fase 1** geeft de beschrijvende parameters van een MO. Tevens worden alle mogelijke functionele configuraties van een toegepaste MO getabelleerd.

De tabel moet als volgt worden geïnterpreteerd:

	functionele configuraties van de MO (Conf1, ..., Conf_n)
beschrijvende parameters	configuratie van de beschrijvende parameters
	aantal functioneel beschrijvende parameters

De betekenis van de configuratie van de beschrijvende parameters is als volgt:

- Fp is een functioneel beschrijvende parameter, hierbij kan worden aangenomen dat deze parameter een "user defined" dimensie is,
- NFp is een niet functioneel beschrijvende parameter, hierbij kan worden aangenomen dat deze parameter een "don't care" dimensie is.

**fase 2** bestaat uit het toekennen van mogelijke dimensies aan de referentie-elementen van de desbetreffende toegepaste MO. De dimensies worden geïnterpreteerd met behulp van:

1. "don't care" (DC) dimensies
2. "user defined" (UD) dimensies.

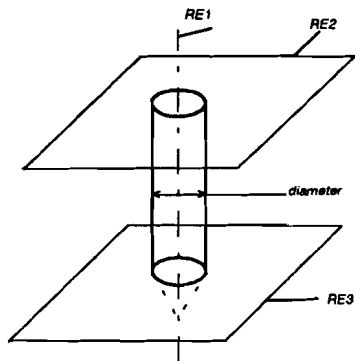
Hierbij wordt bekend of deze dimensies:

1. parameterdimensies (PD) of
2. locatiedimensies (LD) zijn.

Het vastleggen van de delen van een MO ten opzichte van andere delen van een andere MO wordt ook wel Implicit Location genoemd. De basis van Implicit Locations moet ervan uitgaan dat alle beschrijvende parameters van de toegepaste MO's bekend worden. Dit moet zodanig worden gedaan dat ook de locatie van de toegepaste MO vast komt te liggen.

Voor de *MO<sub>cylindrical hole</sub>* zijn alle mogelijke Implicit Locations gegeven omdat dit een beperkt aantal mogelijkheden zijn. Voor de andere MO's is dit niet gedaan, dit wordt in het onderzoek van de Implicit Locations van MO's bestudeerd [Net93].

**Type: MO<sub>cylindrical hole</sub>**



figuur 1: referentie-elementen MO<sub>cylindrical hole</sub>

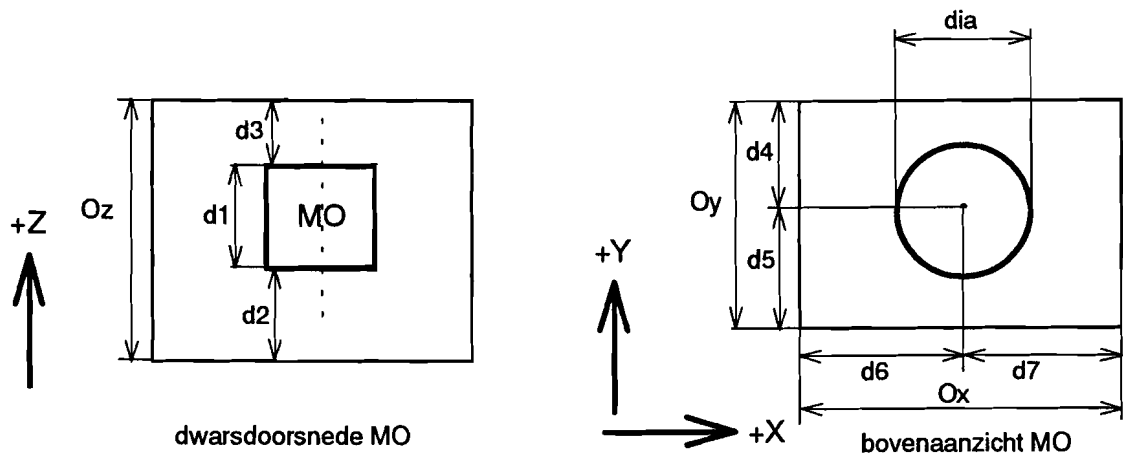
**fase 1**

De beschrijvende parameters van MO<sub>cylindrical hole</sub> zijn de lengte en de diameter. Merk op dat de diameter altijd een functionele waarde is.

	Conf1	Conf2
Lengte	Fp	NFp
Diameter	Fp	Fp
	2-Fp	1-Fp

tabel 1: mogelijke functionele configuraties van MO<sub>cylindrical hole</sub>

**fase 2**



figuur 2: dimensiekettingen van MO<sub>cylindrical hole</sub>

**Implicit Locations voor beide configuraties:**

**configuratie 1**

*x-richting* [(Ox=:UD), (dia=:UD)] in combinatie met:  
 A [(d6=:UD), (d7=:DC)] of  
 B [(d6=:DC), (d7=:UD)]

*y-richting* [(Oy=:UD)] in combinatie met:  
 C [(d4=:UD), (d5=:DC)] of  
 D [(d4=:DC), (d5=:UD)]

*z-richting* [(Oz=:UD), (d1=:UD)] in combinatie met:  
 E [(d2=:DC), (d3=:UD=0)] of  
 F [(d2=:UD=0), (d3=:DC)] .

De Implicit Locations van de MO in de eerste configuratie kunnen uit de volgende mogelijkheden bestaan:

(1) A, C, E	(5) B, C, E
(2) A, C, F	(6) B, C, F
(3) A, D, E	(7) B, D, E
(4) A, D, F	(8) B, D, F

**configuratie 2**

*x-richting* [(Ox=:UD), (dia=:UD)] in combinatie met:  
 A [(d6=:UD), (d7=:DC)] of  
 B [(d6=:DC), (d7=:UD)]

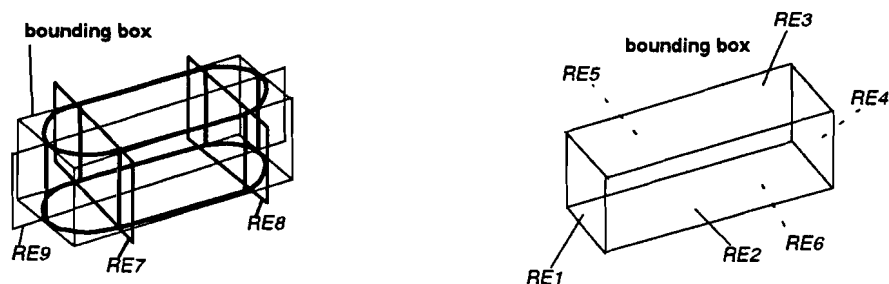
*y-richting* [(Oy=:UD)] in combinatie met:  
 C [(d4=:UD), (d5=:DC)] of  
 D [(d4=:DC), (d5=:UD)]

*z-richting* [(Oz=:UD)] in combinatie met:  
 E [(d1=:DC), (d2=:UD), (d3=:UD=0)]

De Implicit Locations van de MO in de tweede configuratie kunnen uit de volgende mogelijkheden bestaan:

(1) A, C, E
(2) B, D, E
(3) A, C, E
(4) B, D, E

**Type: MO<sub>slot</sub>**



figuur 3: referentie-elementen MO<sub>slot</sub>

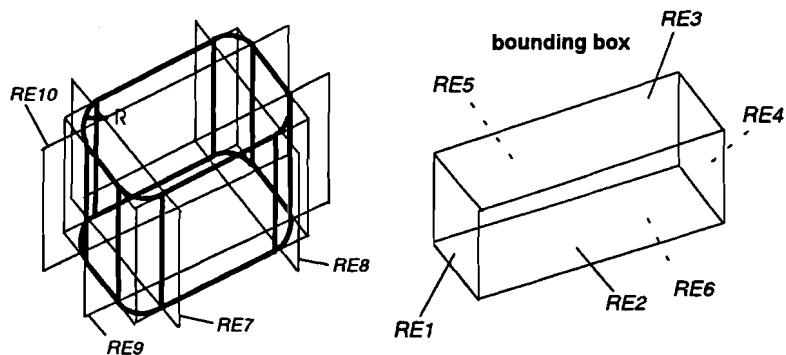
**fase 1**

De beschrijvende parameters van de MO<sub>slot</sub> zijn de lengte, de breedte en de diepte.

	Conf1	Conf2	Conf3	Conf4	Conf5	Conf6	Conf7	Conf8
Lengte	Fp	Fp	Fp	NFp	Fp	NFp	NFp	NFp
Breedte	Fp	Fp	NFp	Fp	NFp	Fp	NFp	NFp
Hoogte	Fp	NFp	Fp	Fp	NFp	NFp	Fp	NFp
	3-Fp	2-Fp			1-Fp			0-Fp

tabel 2: mogelijke functionele configuraties van MO<sub>slot</sub>

**Type: MO<sub>rectangular pocket</sub>**



figuur 4: referentie-elementen MO<sub>rectangular pocket</sub>

**fase 1**

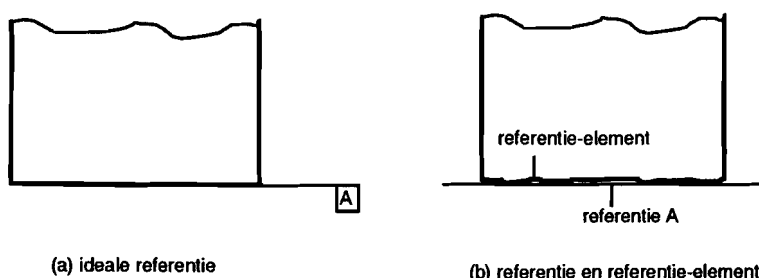
De beschrijvende parameters van MO<sub>rectangular pocket</sub> zijn de lengte, de breedte, de hoogte en de straal.

	Conf1	Conf2	Conf3	Conf4	Conf5	Conf6	Conf7	Conf8
Lengte	Fp	Fp	Fp	NFp	Fp	NFp	NFp	NFp
Breedte	Fp	Fp	NFp	Fp	NFp	Fp	NFp	NFp
Hoogte	Fp	NFp	Fp	Fp	NFp	NFp	Fp	NFp
Straal	Fp	Fp	Fp	Fp	Fp	Fp	Fp	Fp
	3-F	2-F			1-F			0-F

tabel 3: mogelijke functionele configuraties van MO<sub>rectangular pocket</sub>

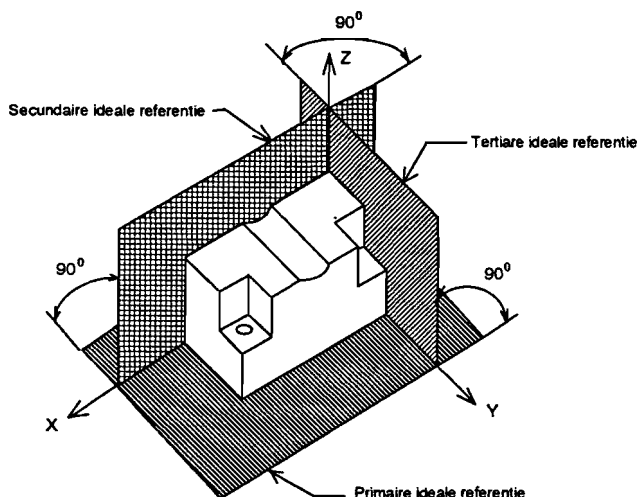
## Bijlage F: Referentie en referentiesysteem

Referenties en referentiesystemen worden gebruikt om de functionele samenhang tussen geometrische elementen te bepalen. Een verschil moet worden gemaakt tussen een ideale referentie (in engels: datum), een referentie-element (in engels: datum feature) en een referentie (in engels: simulated datum feature). Een ideale referentie is een theoretisch exact geometrisch element vanwaar referentie-elementen kunnen worden geplaatst. Een referentie-element is een reëel geometrisch element van een produkt. Een referentie is de praktische belichaming van ideale referenties tijdens fabricage en inspectie. Deze referentie is feitelijk het raakvlak of de raaklijn aan een referentie-element (zie figuur 5).















figuur 5: Ideale referentie en het contact tussen een referentie en referentie-element

Indien er sprake is van meerdere referenties, dan zal onderscheid moeten worden gemaakt in de belangrijkheid (rangorde) ervan. In figuur 6 is vlak A de belangrijkste referentie, de primaire referentie. Vlak B is de op één na belangrijkste referentie, de secundaire referentie. Vlak C is de "minst" belangrijke referentie, de tertiaire referentie. Bij het nu gevormde referentiesysteem raakt de primaire referentie met drie punten het primaire referentie-element. De secundaire referentie contacteert het secundaire referentie-element met twee punten en de tertiaire referentie contacteert het tertiaire referentie-element met één punt. De nu gevormde referenties A, B en C staan orthogonaal op elkaar. De ontwerper baseert de rangorde- en het aantal van de referenties op de belangrijkheid van onder andere de functionele-, assemblage-, fabricage- en inspectie-eisen van het mechanische onderdeel.



figuur 6: de definitie van een referentiesysteem

## Bijlage G: Toleranties volgens NEN-ISO 1101

elementen	toleranties	getolereerd kenmerk <sup>1)</sup>	symbool
enkelvoudig element	vorm-tolerantie	rechtheid	—
		vlakheid	
		rondheid	
		cilindriciteit	
enkelvoudige of verbonden elementen		profielzuiverheid van een lijn	
		profielzuiverheid van een vlak	
verbonden elementen	richting-tolerantie	evenwijdigheid	//
		haaksheid	
		hoekzuiverheid	
	plaats-tolerantie	plaatszuiverheid	
		concentriciteit en co-axialiteit	
		symmetrie	
	slag-tolerantie	circulaire slag	
		totale slag	

## BIJLAGE H: Gedetailleerde beschrijving toleranties

### DIMENSIONELE TOLERANTIES

#### VORMTOLERANTIES:

- Rechtheidstolerantie
- Vlakheidstolerantie
- Rondheidstolerantie
- Cilindriciteitstolerantie
- Profieltolerantie van een lijn
- Profieltolerantie van een vlak

#### ORIENTATIETOLERANTIES:

- Evenwijdigheidstolerantie van een  
lijn met betrekking tot een referentielijn,  
lijn met betrekking tot een referentievlak,  
vlak met betrekking tot een referentielijn,  
vlak met betrekking tot een referentievlak
- Haakheidstolerantie van een  
lijn met betrekking tot een referentielijn,  
lijn met betrekking tot een referentievlak,  
vlak met betrekking tot een referentielijn,  
vlak met betrekking tot een referentievlak
- Hoekzuiverheidstolerantie van een  
lijn met betrekking tot een referentielijn,  
lijn met betrekking tot een referentievlak,  
vlak met betrekking tot een referentielijn,  
vlak met betrekking tot een referentievlak

#### POSITIETOLERANTIES:

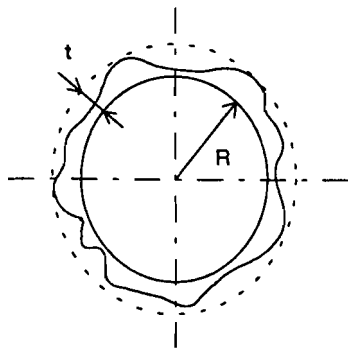
- Positiezuiverheidstolerantie van een  
punt,  
lijn,  
plat vlak of symmetrievlak
- Concentriciteitstolerantie van een punt
- Co-axialiteitstolerantie van een hartlijn
- Symmetrietolerantie van een  
symmetrievlak  
lijn of een hartlijn

#### SLAGTOLERANTIES:

- Circulaire slagtolerantie  
radiaal,  
axiaal,  
in willekeurige richting,  
volgens een voorgeschreven richting
- Totale slagtolerantie  
radiaal,  
axiaal

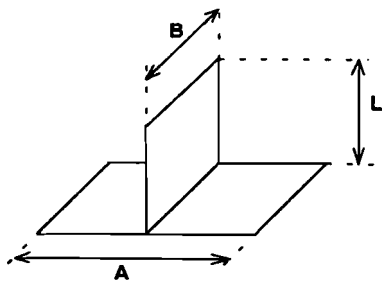


## BIJLAGE I: Lengtematen van toleranties



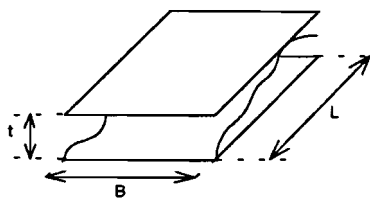
### RONDHEID

Het tolerantieveld ligt enkelvoudig in het verlengde van de lengtemaat (radius R). De rondheidstolerantie geldt echter over de gehele omtrek waardoor gecompenseerd wordt met de factor 2, **lengtemaat = 2\*R**



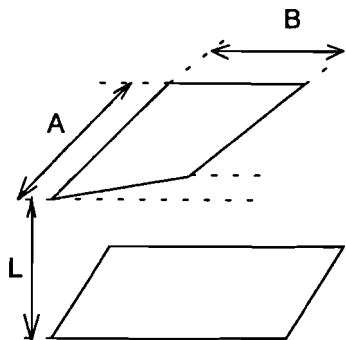
### HAAKSHEID

Omdat zowel de hoogte als de breedte van het opstaande vlak een grote invloed hebben op het tolerantieveld wordt als lengtemaat de diagonaal hiervan gekozen. Het tolerantieveld staat loodrecht op de lengtemaat; er moet dus worden gecorrigeerd met de factor  $\frac{1}{2}$ , **lengtemaat =  $\frac{1}{2}\sqrt{B^2+L^2}$**



### VLAKHEID

Het tolerantieveld staat loodrecht op de lengtemaat. Gecorrigeerd wordt met de factor  $\frac{1}{2}$ , **lengtemaat =  $\frac{1}{2}\sqrt{B^2+L^2}$**



### EVENWIJDIGHEID

De afmetingen van het bovenzvlak hebben een grotere invloed op het tolerantieveld dan de afstand van dit vlak tot de referentie. Hierdoor moeten de afmetingen van het vlak zwaarder worden meegenomen. Het tolerantieveld staat loodrecht op bovenzvlak waardoor wordt gecorrigeerd met de factor  $\frac{1}{2}$ . De afmetingen van het bovenzvlak worden 2 keer zo zwaar meegenomen als de afstand tot de referentie, **lengtemaat =  $\frac{1}{2}\sqrt{(\frac{1}{2}L)^2+A^2+B^2}$**

## Bijlage J: Validiteitscontrole van Valisys

 =VALID. NOT YET IMPLEMENTED




















	HOLE	PIN	THR HOLE	THR PIN	PLANAR	SLOT	TAB	POINT	DERIVE LINE	SURF OFREV	CONST XSECT	SINGL XSEC
FLATNESS					VALID							
STRAIGHTNESS	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID							
CIRCULARITY	VALID	VALID								VALID		
CYLINDRICITY	VALID	VALID										
PERPENDICULARITY	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID							
ANGULARITY	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID							
PARALLELISM	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID							
PROFILE OF A SURFACE	VALID	VALID			VALID					VALID	VALID	
PROFILE OF A LINE										VALID	VALID	VALID
CIRCULAR RUNOUT	VALID	VALID			VALID					VALID		
TOTAL RUNOUT	VALID	VALID			VALID					VALID		
POSITION	VALID	VALID	VALID	VALID								
SIZE	VALID	VALID				VALID	VALID					
PLUS/MINUS	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID			
DATUM	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID				

Figure 3-9