

Ontwikkelingen in het gebruik van CAD, CAM en CAE : computerondersteuning in de werktuigbouwkunde

Citation for published version (APA):

Kaas, E. A., & Stakenborg, M. J. L. (1990). Ontwikkelingen in het gebruik van CAD, CAM en CAE : computerondersteuning in de werktuigbouwkunde. *I-twee werktuigbouwkunde*, (3), 17-20.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

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
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Computerondersteuning in de werktuigbouwkunde

Ontwikkelingen in het gebruik van CAD, CAM en CAE

De wijze waarop computers binnen de werktuigbouw zijn ingezet, is sterk bepaald door de technische ontwikkeling die in de computers de afgelopen decennia hebben doorgemaakt. Dankzij de ontwikkelingen op het gebied van hardware is de software op het gebied van achtereenvolgens CAM, 2D CAD, 3D CAD en CAE praktisch inzetbaar geworden voor industriële toepassingen. Zo is het bijvoorbeeld pas mogelijk geworden om grafisch interactief aan een beeldscherm te werken na de introductie van de kathodestraalbuizen. De historische ontwikkelingen van computerondersteuning in de werktuigbouwkunde is dan ook bepaald door de ontwikkelingen op hardware-gebied.

Een globaal overzicht van de ontwikkelingen op hardware-gebied wordt in figuur 1 gegeven.

In de periode tussen 1960 en 1970 bleef het computergebruik in technische sectoren beperkt tot het uitvoeren van berekeningsprogramma's, die via ponsband of ponskaarten werden aangeboden voor batchverwerking. Bij batchverwerking worden programma's achter elkaar ingelezen en vervolgens verwerkt. Tijdens de uitvoering van het programma kan de gebruiker niet ingrijpen. Karakteristiek voor deze manier van werken was de relatief lange periode, tussen het aanbieden van het programma en het ter beschikking komen van de resultaten. Het werken met computers in technische toepassingen bleef voornamelijk beperkt tot onderwijs- en research-instellingen en de research-afdelingen van enkele grote bedrijven.

E.A. KAAS en M.J.L. STAKENBORG

Ir. E.A. Kaas is docent CAD/CAM/CAE bij de faculteit der Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.
M.J.L. Stakenborg is CAE-consultant.

Tot omstreeks 1960 was er nauwelijks sprake van computertoepassingen in de ontwerp- en fabricage-afdelingen van bedrijven. Het computergebruik richtte zich vooral op de dienstverlenende en administratieve sectoren, zoals de banken, verzekeringsmaatschappijen en administratiekantoren. Het ging daarbij voornamelijk om het verwerken en opslaan van grote hoeveelheden gegevens. De toepassingen in de techniek bleven in die tijd beperkt tot het gebruik van berekeningsprogramma's, waarbij gebruik werd gemaakt van de mogelijkheden om met behulp van computers grote hoeveelheden gegevens te manipuleren.

Een geheel nieuwe manier van werken werd mogelijk na 1970 met de invoering van grafische beeldschermen en de mogelijkheid om interactief te werken via een grafische terminal, gekoppeld aan een mainframe computer. Het feit dat nu vrijwel direct het resultaat van een berekening ter beschikking kwam, betekende een enorme vooruitgang voor de gebruiker. In die periode werd het ook technisch mogelijk om tekeningen te maken met behulp van de computer: het begin van 2D CAD.

Vanaf omstreeks 1980 zorgden de snelle ontwikkelingen op het gebied van processoren, computergeheugen en randapparatuur voor het ter beschikking komen van steeds krachtiger lokale apparatuur in de vorm van PC's en grafische werkstations, al dan niet in netwerken. Doordat de prijs/prestatieverhouding snel verbeterde werd de invoering van computerondersteunende technieken op grotere schaal mogelijk.

Ontwikkelingen CAM

CAM staat voor "Computer Aided Manufacturing" ofwel computerondersteunend fabriceren. Hieronder wordt verstaan: computerondersteuning bij dat gedeelte uit het productieproces, dat betrekking heeft op NC-programmering, werkvoorbereiding en

het eigenlijke fabricageproces via numeriek bestuurd bewerkingen.

In 1953 werd op het MIT (Massachusetts Institute of Technology) in de Verenigde Staten een eerste proefmodel van een numeriek bestuurd (NuBe) machine in gebruik genomen. In de daarop volgende jaren werd, voornamelijk in de vliegtuigindustrie in de VS, in toenemende mate gebruik gemaakt van NuBe-machines.

Omdat het ondoenlijk bleek de besturing van deze machines met de hand te blijven coderen werden al snel speciale computertalen voor NuBe ontwikkeld, zoals APT (Automatically Programmed Tools).

Hiermee kon een werkstukprogrammeur met behulp van de gegevens uit een technische tekening de uit te voeren bewerkingen stap voor stap invoeren in een computer, die daarna een ponsband afleverde voor aansturing van een NuBe-machine. Sindsdien zijn varianten van APT ontwikkeld, maar het is nog altijd de belangrijkste besturingstaal voor NuBe.

Voor het programmeren van numerieke besturingen was een grafisch beeldscherm niet direct vereist, zodat CAM veel eerder tot ontwikkeling kon komen dan CAD.

Begonnen bij freesbewerkingen werd het NuBe-pakket in toenemende mate uitgebreid met andere verspanende bewerkingen, zoals lassen, snijbranden en knippen

van plaatmateriaal, buigen van platen en pijpen, vonkverspanen, elektrochemische bewerkingsmethoden en lasersnijden.

De besturingsmethoden om materiaal te bewerken bleken ook toepasbaar voor manipulatie en transport van produkten en gereedschappen ("product and tool handling"). Gereedschappen werden automatisch van de magazijnen naar de gereedschaphouders op de werkplek gebracht.

Daarmee was de mogelijkheid geschapen om robots in te voeren. Aanvankelijk waren de robots eenvoudig uitgevoerd. Met behulp van geprogrammeerde instructies konden materialen en produkten worden opgepakt en naar een andere plaats in een andere stand worden overgebracht. In latere uitvoeringen werden gewenste verplaatsingen en acties in het geheugen van de robot opgeslagen, waarna de gewenste operaties vele malen achter elkaar exact konden worden uitgevoerd.

Ontwikkelingen 2D CAD

De term CAD heeft twee verschillende betekenissen, namelijk "Computer Aided Drafting" en "Computer Aided Design". Hier worden deze begrippen als volgt gehanteerd:

2D CAD: computerondersteund tekenen (Computer Aided Drafting)

3D CAD: computerondersteund modelleren (Computer Aided Design).

Bij 2D CAD, computerondersteund tekenen, wordt de computer gebruikt om op een beeldscherm tweedimensionale (2D) tekeningen te maken. Het gebruik van 2D CAD-systemen kan worden gezien als een vorm van tekenkamer-automatisering. Het tekenen op papier wordt op een beeldscherm nabootst.

De opkomst van de computer graphics rond 1970 opende de mogelijkheden voor het uitvoeren van het 2D tekenproces met behulp van de computer. Er ontstonden diverse technieken op het gebied van de interactieve computer graphics. Onder interactieve computer graphics wordt verstaan het interactief invoeren van geometrische gegevens (met behulp van een lichtpen, een grafisch tablet, een muis of het toetsenbord), de interne verwerking en representatie van de gegevens in het computergeheugen en het genereren en wijzigen van afbeeldingen op het beeldscherm.

Met de opkomst van computer graphics ontstond ook het stereotiepe beeld van de constructeur, die zittend achter een grafisch beeldscherm, een tekening interactief opbouwt en verandert.

Ontwikkelingen 3D en CAD

Bij 3D CAD, computerondersteund 3D modelleren, wordt het produkt driedimensionaal gemodelleerd. Dit kan met behulp van

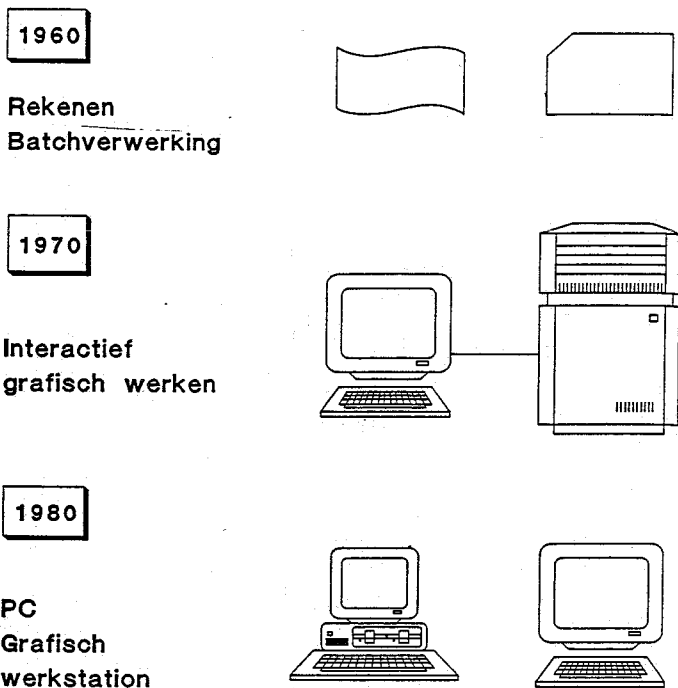


Fig. 1. Computergebruik bij technische toepassingen

"wire frame models" (draadmodellen), "surface models" (oppervlakte-modellen) of "solid models" (volumenmodellen).

In de beginfase van het ontwerpproces vindt de eerste beeldvorming van een produkt, bij de ontwerper, van nature in ruimtelijke beelden plaats. Het ligt dan ook voor de hand om dit concept ruimtelijk te visualiseren.

Het conventionele 2D tekenen is in feite een uit nood geboren hulpmiddel, ontstaan door de beperkende mogelijkheden van het vlakke tekenpapier.

Door het tweedimensionaal vastleggen van ruimtelijke voorwerpen ontstaan bij de ontwerper op twee plaatsen conversieproblemen. Allereerst moet de ruimtelijke voorstelling, die de ontwerper in gedachten heeft, worden vertaald naar een aantal eenduidige 2D aanzichten en doorsneden op papier of op een beeldscherm. Als het ontwerp is uitgewerkt is voor de interpretatie van de tekeningen weer een extra inspanning nodig om uit de doorsneden en aanzichten opnieuw een ruimtelijk beeld van het ontwerp te vormen.

Door de noodzaak om een produkt op tweedimensionale wijze vast te leggen wordt dus twee keer een vertaalslag gevraagd. Dit is niet alleen een mogelijke bron van fouten, maar vereist ook opleiding en training in het lezen en interpreteren van 2D tekeningen, zodat niet-werktuigbouwkundigen vaak problemen ondervinden bij het beoordelen van een ontwerp.

Een logische volgende stap in de ontwikkeling is dan ook het werken met 3D CAD op basis van een solid modeller. Hierbij heeft een fundamenteel andere benadering van het

ontwerpproces plaats. Het werken met een solid modeller vertoont een bepaalde overeenkomst met het boetseren van klei. Men gaat uit van een bepaalde basisvorm (een blok, bol of cilinder) waar andere basisvormen aan kunnen worden toegevoegd of er van kunnen worden verwijderd. Solid modellering sluit dan ook direct aan bij het ruimtelijke beeld dat de ontwerper in gedachten heeft.

Ontwikkelingen CAE

CAE betekent "Computer Aided Engineering". Hieronder wordt verstaan: het gebruik van een computersysteem bij het ontwerpen van produkten, waarbij, naast het vormgeven ook het numeriek analyseren en optimaliseren van ontwerp-alternatieven een belangrijke rol speelt.

Aan een CAE-systeem zijn dus twee aspecten te onderscheiden: enerzijds het vormgeven en anderzijds het analyseren en optimaliseren.

De analyse en optimalisatie heeft betrekking op het doorrekenen van een ontwerp op mechanische eigenschappen (sterkte, stijfheid), het analyseren van het kinematische en dynamisch gedrag, het simuleren van bewegingen of vervormingen en het onderzoeken van thermodynamische, aërodynamische of trillingsverschijnselen.

CAE-systemen zijn meestal gebaseerd op solid models.

Vanaf 1960 werd de computer al ingezet voor het uitvoeren van complexe berekeningen. De mogelijkheden werden het eerst onderkend bij de vliegtuig- en de elektronische industrie. Vooral de vliegtuigindustrie in de Verenigde Staten zag de voordelen om bij

vliegtuigvleugels en andere onderdelen met behulp van nieuwe rekenmethoden het aërodynamische- en sterkte-gedrag te verifiëren en te optimaliseren.

In de daarop volgende jaren werden de rekenmethoden verbeterd en uitgebreid, en op steeds grotere schaal gebruikt in diverse toepassingsgebieden, zoals de werktuigbouwkunde, de scheepsbouwkunde en de automobiellindustrie. De toepassingen bleven echter beperkt tot losstaande gespecialiseerde rekenprogramma's voor numerieke analyse- en optimalisatiemethoden.

Omstreeks 1980 ontstond de mogelijkheid tot het inzetten van CAE-technieken, zoals die thans bekend zijn. Het gebruik van CAE stelt hoge eisen aan de hardware. CAE vereist snelle rekenprocessoren, geavanceerde grafische processoren en een relatief grote geheugencapaciteit.

Door het toepassen van 3D modelleertechnieken kunnen moeilijk beschrijfbaar vormen van onderdelen worden vastgelegd. Hiermee kunnen de modellen niet alleen op visuele aspecten worden beoordeeld, maar ze leveren ook de geometriebeschrijving, die nodig is voor het uitvoeren van analyse- en optimalisatiemethoden. Het presenteren van de analyse-resultaten gebeurt ook op 3D grafische wijze en in kleur, waardoor de interpretatie van de berekende resultaten wordt vereenvoudigd. Door verbetering en uitbreiding van de mogelijkheden van 3D interactieve computer graphics worden de CAE software-pakketten steeds gebruikersvriendelijker.

Vergelijken van de ontwikkelingen CAD, CAM en CAE

De historische ontwikkelingen van de technische toepassingen van CAD, CAM en CAE, zoals hiervoor beschreven, worden weergegeven in figuur 2.

De invloed van de stand van de techniek is duidelijk herkenbaar.

CAM kwam als eerste tot ontwikkeling, omdat grafische weergave hiervoor niet vereist was.

Pas toen grafisch interactief werken mogelijk was, kon de ontwikkeling van de 2D CAD-technieken beginnen.

De laatste belangrijke vooruitgang werd geboekt toen rond 1980 geavanceerde grafische werkstations met snelle processoren en grote geheugencapaciteit ter beschikking kwamen. Hierdoor werd het mogelijk 3D CAD- en CAE-technieken in te zetten in het ontwerpproces.

Belangrijk is ook de achtergrond waaruit de verschillende ontwikkelingen zijn ontstaan. CAM is ontstaan vanuit de productie-afdelingen, doordat men daar behoefte kreeg aan

systemen voor het besturen van gereedschapswerktuigen.

Geheel los van deze ontwikkeling, en ook op een later tijdstip, is 2D CAD ontstaan vanuit de tekenkamer. In eerste instantie werd daarbij geen rekening gehouden met de reeds bestaande ontwikkelingen op CAM-gebied. Met de problemen die hieruit zijn voortgekomen werd men later nadrukkelijk geconfronteerd bij het tot stand brengen van een koppeling tussen CAD en CAM.

De ontwikkeling van CAE vanuit de analyse-afdelingen stond weer geheel los van zowel CAM als 2D CAD. Zelfs toen systemen om geometrie vast te leggen bij CAE werden ingevoerd, bleken de verschillende doelstellingen te leiden tot een andere benadering van de geometrie-representatie dan bij een 2D CAD-systeem. Bij de 2D CAD-toepassing lag de nadruk vooral op het zeer gedetailleerd vastleggen van de geometrie met bemating, toleranties en dergelijke. Bij CAE-toepassingen was deze gedetailleerde geometrische informatie overbodig. De

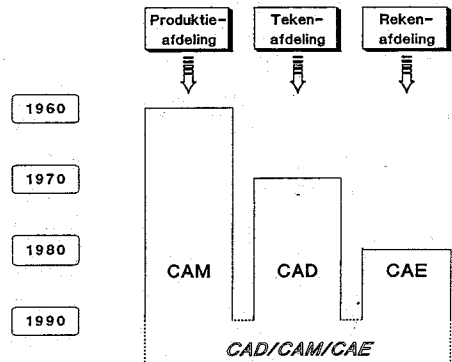


Fig. 2. Overzicht van de ontwikkelingen in CAD, CAM en CAE

CAE-gebruiker had meer behoefte aan andere gegevens, zoals optredende spanningen, temperaturen en verplaatsingen in relatie tot de globale geometrie.

CAE vraagt bovendien om geavanceerde grafische werkstations dan 2D CAD en CAM.

In het overzicht van figuur 2 valt op dat er globaal om de tien jaar een duidelijke mijlpaal is aan te wijzen in de gevolgde ontwikkelingen. Als deze lijn wordt doorgetrokken betekent dit dat rond 1990 een volgende mijlpaal te verwachten is. Deze volgende stap zou dan een geïntegreerd CAD/CAM/CAE-systeem kunnen zijn, waarbij alle acties om een product tot stand te brengen in één systeem zijn verenigd.

De vooruitgang op het gebied van CAD/CAM-koppelingen enerzijds en de mogelijkheden ten aanzien van het gebruik van 3D modellen bij CAD en CAE anderzijds, wijzen hierbij duidelijk in de goede richting. Wellicht behoort, als volgende mijlpaal, in

het jaar 2000 zelfs een geïntegreerd CIM-systeem tot de mogelijkheden.

De werktuigbouwkunde is gericht op het uitdenken en realiseren van nieuwe producten of op het verbeteren of veranderen van reeds bestaande producten. Dit kan betrekking hebben op het ontwerpen en fabriceren van een complete machine, een onderdeel, een gereedschap of een totaal werktuigbouwkundig systeem.

De totstandkoming van producten

Vanuit een werktuigbouwkundige optiek kan het tot stand komen van een product worden verdeeld in een aantal chronologische fasen, beginnend bij de opdracht en eindigend met het afleveren van het uiteindelijke product. De belangrijkste fasen in dit proces zijn: de conceptfase, de optimalisatiefase, de detailleringfase, de werkvoorbereidingsfase en de fabricagefase (figuur 3).

De opdracht wordt meestal omschreven in de vorm van een aantal eisen en randvoorwaarden. Het eisenpakket en de randvoorwaarden vormen het uitgangspunt voor de ontwerper.

De eerste fase is de conceptfase. Het is de fase van de globale probleemdefinitie en het vaststellen van de specificaties waaraan het product moet voldoen.

Typerend voor deze fase is het "fuzzy"- of "brainstorm"-achtige karakter ervan. Pogingen om dit proces te formaliseren met "methodisch ontwerpen" blijven vooralsnog beperkt tot beschouwingen op papier, die in de praktijk zelden of nooit worden toegepast.

Een ander kenmerk voor de conceptfase is dat alle beschouwingen hoofdzakelijk van kwalitatieve aard zijn. Men stelt globale ideeën op over de vorm en de werking, maar er worden nog geen afmetingen bepaald.

Meestal wordt er in deze fase, uitgaande van de opdrachtomschrijving, in samenspraak met diverse betrokkenen (opdrachtgever, marketing, engineering, manufacturing en afnemer) naar een afbakening van de potentiële mogelijkheden gezocht. Tijdens de conceptfase wordt globaal in een aantal principeschetsen vastgelegd hoe het product er uit zou kunnen gaan zien.

In de tweede fase, de optimalisatiefase, wordt het concept uit de eerste fase verder uitgewerkt. Binnen de technische, economische en esthetische randvoorwaarden wordt gezocht naar de meest optimale ontwerpvariant.

In de praktijk wordt er bij de conventionele werkwijze (achter de tekenplank) maar ook bij het gebruik van een 2D CAD-systeem weinig of geen aandacht besteed aan het optimaliseren van het ontwerp. Omdat optima-

liseren zonder CAE een tijdrovend en moeilijk voorspelbaar proces is neemt de ontwerper dan genoegen met een oplossing die voldoet aan de minimale eisen, met andere woorden een oplossing die toelaatbaar is. De gevonden oplossing is dan weliswaar de eerste, maar niet de beste.

De derde fase is de detailleringfase: het uitwerken en documenteren van het ontwerp uit de voorgaande fasen. De werktekeningen worden voorzien van maatvoering, bewerkingstekens, toleranties en stuklijsten.

In de vierde fase, de werkvoorbereidingsfase, worden voorbereidingen getroffen om het fabricageproces zo optimaal mogelijk te laten verlopen. De bewerkingen en methoden worden vastgelegd, de productie-acties worden gepland, de gereedschappen en machines worden gekozen.

In deze fase worden de technologische gegevens, zoals de gereedschappen, voedingen, toerentallen, aanzetsnelheden, koeling en opspanning aan het gegevensbestand voor de besturing toegevoegd.

Bij een gekoppeld CAD/CAM-systeem kunnen de geometrische gegevens uit de CAD-module worden overgebracht naar de CAM-module. Nadat in de CAM-module technologische gegevens zijn toegevoegd aan de geometrische gegevens kunnen automatisch de numerieke codes voor NC machinebesturingen worden gegenereerd. Als er geen CAD/CAM-koppeling bestaat, moet vanuit de (CAD) ontwerp-tekening, opnieuw de geometrische informatie met de hand worden ingevoerd in het CAM-programma.

De vijfde fase is de fabricagefase, waarbij het produkt wordt ingepland in het productieproces en wordt gefabriceerd volgens de voorschriften uit de vierde fase.

Als het produkt klaar is wordt het gemeten en getest en daarna al dan niet afgeleverd als eindresultaat.

Gedurende het doorlopen van de verschillende fasen, is er regelmatig een terugkoppeling naar voorafgaande fasen. In de praktijk worden sommige fasen meerdere keren doorlopen.

Blijkt bijvoorbeeld tijdens de werkvoorbereiding dat het fabriceren van een bepaald onderdeel moeilijkheden oplevert, dan wordt in overleg met de ontwerper het ontwerp aangepast.

Als het testen van het produkt geen bevredigend resultaat oplevert, is terugkoppeling naar de conceptfase, de optimalisatiefase, de werkvoorbereidingsfase of de bewerkingsfase noodzakelijk.

Voor het ontwerpproces, bestaande uit concept, optimalisatie en detaillering is een dynamisch proces, waarbij de eindoplossing niet van te voren vastligt, maar tijdens

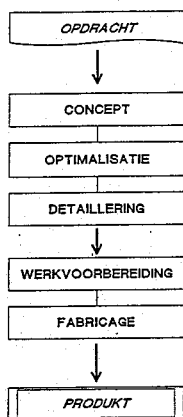


Fig. 3. Fasen bij de totstandkoming van een produkt

het doorlopen van het proces kan wijzigen. Typerend voor het ontwerpproces is het sterk iteratieve karakter.

De rol van de computer in de verschillende fasen

Historisch gezien werd de computer het eerst toegepast in de fabricagefase. Zoals hiervoor beschreven werd dit bepaald door de beperkte mogelijkheden die de hardware bood voor het gebruik van de computer in de ontwerpproces.

Bovendien speelt hierbij een rol, dat de werkzaamheden in de fabricagefase relatief eenvoudig te vertalen zijn in vastliggende acties, zoals boren of frezen. Deze acties kunnen bijzonder complex zijn, maar ze zijn eenduidig gedefinieerd en in algoritmen vast te leggen. Bovendien is het aantal mogelijke acties begrensd, door machinebepaalde randvoorwaarden.

Dit in tegenstelling tot het vrijwel onbegrensde aantal mogelijke acties uit de conceptfase, die door het "fuzzy" karakter moeilijk in algoritmen zijn vast te leggen en bovendien sterk afhankelijk zijn van de intuïtie en creativiteit van de ontwerper.

Vanaf 1960 wordt gebruik gemaakt van numeriek bestuurd machines. Het gebruik van CAM-technieken leidde tot een vermindering van de doorlooptijd bij de fabricage van industriële producten, een verlaging van de kostprijs en tevens een verbetering van de kwaliteit van de producten.

De automatisering van het tekenproces vanaf 1970 met behulp van 2D CAD bleef beperkt tot het grafisch vastleggen van de geometrie en het annoteren van het ontwerp in de detailleringfase. Onder annoteren wordt verstaan het aanbrengen van bemating, arcering, bewerkingstekens, toleranties, fabricagevoorschriften en stuklijsten.

Merk op dat er hier gesproken wordt over het grafisch vastleggen en annoteren van het ontwerp en niet over het ontwerpen met een 2D CAD-systeem. Dit om aan te geven dat werken met een 2D CAD-systeem meestal weinig te maken heeft met het genereren van een ontwerp. In de detailleringfase ligt namelijk het ontwerp in grote lijnen al vast; er

worden hoogstens nog marginale wijzigingen aangebracht.

Na 1980 wordt de computer ook op steeds grotere schaal toegepast in de optimalisatiefase. Nieuwe 3D CAD- en CAE-computergereedschappen als solid modelling en analysesoftware stellen de gebruiker in staat het produkt op de computer te modelleren en te analyseren. CAE biedt bovendien de mogelijkheid om het ontwerp te optimaliseren binnen de technische, economische en esthetische randvoorwaarden, zoals die beschreven zijn in de opdracht. Zoals eerder werd opgemerkt wordt dit optimalisatieproces in de praktijk alleen uitgevoerd als men beschikt over een CAE-systeem.

Bij verschillende groepen gebruikers ontstond de behoefte om bepaalde ontwerpen numeriek te analyseren. Er groeide een markt voor specialistische rekensoftware. De vraag vanuit de markt was steeds afkomstig van specialisten. Er kwamen vragen uit de fabricage-afdeling óf uit de ontwerpafdeling óf uit de analyse-afdeling. Daardoor werd software ontwikkeld voor specifieke toepassingsgebieden en werd weinig aandacht besteed aan een integrale aanpak.

Bij steeds meer bedrijven groeit tegenwoordig de behoefte aan efficiënte gegevensuitwisseling tussen de verschillende afdelingen. Hierdoor worden de bedrijven geconfronteerd met communicatieproblemen tussen de diverse specialistische systemen, waardoor er behoefte ontstaat aan een koppeling, of sterker nog, een integratie van de verschillende systemen.

Sinds een aantal jaren is er onder softwareontwikkelaars een duidelijke trend waarneembaar om geïntegreerde CAD/CAM/CAE-software aan te bieden. In sommige gevallen is de integratie dan weliswaar redelijk voor elkaar, maar de diverse modules zijn nog niet zo krachtig en zo ver uitgekristalliseerd als de afzonderlijke specialistische softwarepakketten.

De rol van de computer in de conceptfase van het ontwerpproces is op dit moment zeer beperkt. In de toekomst kunnen expertsystemen eventueel een ondersteunende rol gaan spelen bij het genereren van verschillende conceptvarianten. Voorlopig blijft in de conceptfase het gebruik van schetspapier en potlood functioneler dan het gebruik van de computer.

Uit het voorgaande overzicht blijkt tevens dat de historische ontwikkeling: eerst CAM, dan CAD en dan pas CAE net tegengesteld verloopt aan de fasen bij het tot stand komen van het produkt, namelijk eerst optimaliseren, dan detailleren en dan fabriceren.