

## Bedrijfsfilosofie essentieel bij invoering CAD/CAM/CAE

***Citation for published version (APA):***

Kaas, E. A., & Stakenborg, M. J. L. (1990). Bedrijfsfilosofie essentieel bij invoering CAD/CAM/CAE. *I-twee werktuigbouwkunde*, (6), 55-60.

***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](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Computergebruik in de werktuigbouwkunde

# Bedrijfsfilosofie essentieel bij invoering CAD/CAM/CAE

Om een eigen strategie te ontwikkelen is het, naast een goed inzicht in het eigen bedrijf, noodzakelijk om inzicht te krijgen in de diverse mogelijkheden en beperkingen van CAD/CAM/CAE. Belangrijke vragen in dit verband zijn bijvoorbeeld:

- welke mogelijkheden zijn er ten aanzien van computerondersteuning bij het ontwerp- en fabricageproces?
- waar zitten de wezenlijke verschillen tussen de mogelijkheden?
- welke voor- en nadelen zijn er?
- wat kan men verwachten van de toekomstige ontwikkelingen?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zullen de diverse mogelijkheden en de essentiële verschillen op een rijtje worden gezet. Hierbij worden de volgende stappen in het proces van toenemende computerondersteuning nader bekeken:

- het conventionele tekenen
- het tekenen met een 2D CAD-systeem
- een systeem met 2D CAD/CAM-koppeling

## E.A. KAAS, M.J.L. STAKENBORG

Ir. E.A. Kaas is docent CAD/CAM/CAE aan de faculteit der Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven en verbonden aan de stichting CAD/CAM/CAE Educatie aan de Eindhovense TU. Dr.ir. M.J.L. Stakenborg is als CAE consultant werkzaam bij SDRC in Breda. Ook hij is verbonden aan de stichting CAD/CAM/CAE Educatie

De introductie van CAD/CAM/CAE-technieken in een bedrijf leidt vaak tot grote problemen voor het management. Er is meestal onvoldoende inzicht in de grote lijnen van de problematiek, waardoor een "helikopterview" ontbreekt. Dit bemoeilijkt een integrale aanpak van het automatiseringsproces en leidt nogal eens tot ongewenste eiland-automatisering.

Van groot belang is dat er een bedrijfsfilosofie wordt ontwikkeld voor een gerichte implementatie van CAD/CAM/CAE in het ontwerp- en fabricageproces. Hierbij dienen organisatorische analyses, informatiestroom-analyses en analyses van "bottlenecks" in het ontwerp- en productieproces een belangrijke rol te spelen.

Een belangrijk gegeven in dit verband is dat bij de produktontwikkeling gemiddeld 80% van de uiteindelijke kosten van het produkt al wordt vastgelegd in de allereerste fasen van het ontwerpproces.

- een CAE-systeem
- een CAD/CAM/CAE-systeem.

De verschillende benaderingen bespreken we aan de hand van schema's waarin de opeenvolgende fasen in het ontwerp- en fabricageproces zijn weergegeven met de bijbehorende terugkoppelingen in het proces (4).

Omwille van de eenvoud zijn in de schema's alleen die terugkoppelingen opgenomen, die direct worden beïnvloed door het gebruik van computerondersteuning. Terugkoppelingen die onafhankelijk zijn van computergebruik, zijn dus achterwege gelaten. Dit zijn met name de terugkoppelingen vanuit de markt, zoals melding van kinderziekten, gegevens uit het onderhoud, garantiegegevens en dergelijke. Ook de terugkoppeling vanuit de markt naar een geheel nieuw concept, als een produkt helemaal niet aanslaat, geldt voor elke situatie en is dus evenmin opgenomen in de schema's.

### Conventioneel tekenen

De opeenvolgende fasen in het ontwerppro-

ces, uitgevoerd met conventioneel tekenen (d.w.z. achter de tekenplank), worden samen met de belangrijkste terugkoppelingen weergegeven in figuur 1.

Het idee uit de conceptfase, vastgelegd in een aantal schetsen, wordt gedetailleerd en geannoteerd in een aantal aanzichten en doorsneden in de uitwerkfase.

Aan het einde van deze ontwerpfasen, bij de evaluatie van het ontwerp, worden de detailtekeningen beoordeeld en er wordt gekeken of bepaalde delen uit die tekeningen moeten worden aangepast. Als dat het geval is, volgt er een terugkoppeling naar de uitwerkfase (terugkoppeling 1 in het overzicht).

Kenmerkend voor het werken op papier is dat het aanbrengen van veranderingen in tekeningen een tijdrovend en vervelend werk is, zodat de ontwerper niet snel geneigd is om veranderingen aan te brengen. Bovendien moeten de veranderingen zeer consequent worden aangebracht in alle betrokken overzichts- en detailtekeningen, met bijbehorende bemating en arcering.

Terugkoppeling 1 is dus tijdrovend en verloopt moeizaam. In de praktijk zal dit soort terugkoppelingen dan ook zo veel mogelijk worden vermeden. Als het niet echt dringend noodzakelijk is worden er geen veranderingen in de tekeningen aangebracht. Zoals ook uit de praktijk bekend is, is bij het conventionele tekenen dan ook nauwelijks sprake van het optimaliseren van een ontwerp.

De terugkoppelingen, weergegeven aan de rechterkant van het schema, zijn ongewenst omdat ze veranderingen in hardware-matige producten (tekeningen op papier) tot gevolg hebben. Indien mogelijk moeten deze terugkoppelingen zoveel mogelijk worden verminderd in aantal of zelfs helemaal worden voorkomen.

Als het ontwerp van de tekentafel komt en is goedgekeurd, gaat het naar de produktieafdeling. Hier wordt eerst via de werkvoorbereiding een prototype gefabriceerd, dat vervolgens wordt beproefd en getest.

In het schema neemt de evaluatie van het prototype een belangrijke plaats in. Aangezien het hele ontwerp en de fabricage van het prototype aan de hand van ideeën op papier heeft plaatsgevonden, is dit de eerste mogelijkheid om het produkt op vormgeving te beoordelen en het gedrag van het produkt te beproeven. Vaak zullen hier dan ook onvolkomenheden in het ontwerp worden geconstateerd en zal het produkt worden teruggestuurd naar de ontwerpafdeling (terugkoppeling (2)). Ook kunnen fabricagefouten of slecht uitgevoerde bewerkingen worden geconstateerd. Dergelijke afwijkingen zijn niet terug te voeren tot de ontwerpafdeling, maar ontstaan bij de werkvoorbereiding, maar ontstaan bij de werkvoorbereiding. Een terugkoppeling (3) naar de werkvoorbereidingsfase is dan het gevolg.

De terugkoppelingen (2) en (3) zijn tijdsintensief, kostbaar en dus ongewenst, omdat de fabricage van een nieuw prototype een kostbare zaak is.

Samenvattend is de totstandkoming van een produkt op de conventionele manier relatief duur en tijdrovend doordat alle terugkoppelingen via de materiële (hardware-matige) kant van tekeningen op papier of gefabriceerde prototypen, verlopen. Bovendien zullen de terugkoppelingen 1 en 2 in de praktijk zo min mogelijk worden doorlopen, zodat van optimalisatie van het produkt nauwelijks sprake kan zijn.

**Tekenen met 2D CAD**

In figuur 2 is het schema weergegeven voor het ontwerpproces, uitgevoerd met behulp van een 2D CAD tekensysteem.

Opvallend is dat er geen verschil bestaat tus-

sen de verschillende stadia die worden doorlopen bij het conventioneel tekenen op papier en de stadia die worden doorlopen bij het tekenen met een 2D CAD-systeem. Alleen de wijze waarop de constructietekening tot stand komt en wordt bewaard, verschilt. Bij het conventioneel tekenen wordt er getekend op papier, dat tevens dient als opslagmedium. Bij het tekenen met 2D CAD komt het ontwerp tot stand op het beeldscherm en

wenst". Dit in tegenstelling tot de "ongewenste" terugkoppelingen aan de rechterkant van de schema's.

Samenvattend kan men concluderen dat bij 2D CAD eenvoudiger en sneller modificaties kunnen worden uitgevoerd aan de tekeningen, maar dat optimalisatie van het produkt toch via de dure weg van beproefing van een prototype blijft verlopen.

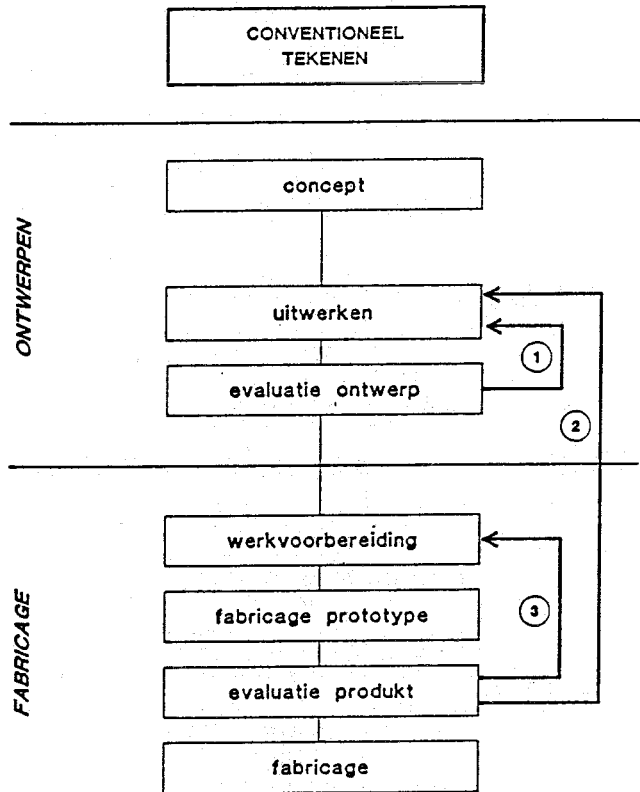


Fig. 1. Overzicht bij conventioneel tekenen

wordt daarna via een plotter op papier overgebracht. De constructietekening wordt opgeslagen als gegevensbestand op een magneetband, een floppy of een hard disk. De evaluatie van het produkt geschiedt ook hier aan de hand van testen aan een prototype. Ook hier verloopt het iteratieve optimalisatieproces (terugkoppeling 2 en 3) dus langs eenzelfde lange en dure weg.

Het verschil met conventioneel tekenen komt tot uiting bij de evaluatie en de daaruit voortvloeiende correcties van de ontwerptekeningen. Bij het gebruik van 2D CAD is men eerder bereid om in dit stadium veranderingen in de tekeningen aan te brengen, aangezien dit met een CAD-systeem snel en zonder extra inspanningen mogelijk is.

Terugkoppeling 1 wordt hier dus een software-matige terugkoppeling. Dit soort terugkoppelingen is in de schema's te vinden aan de linker kant en kan worden beschouwd als zijnde "toegestaan" of "ge-

**Systeem met 2D CAD/CAM-koppeling**

Het ontwerp- en fabricageproces, uitgevoerd met een 2D CAD-systeem met een directe koppeling naar de fabricage (CAD/CAM-koppeling) is weergegeven in figuur 3.

Als duidelijk verschil ten opzichte van de werkwijze zonder CAD/CAM-koppeling valt hier op dat een deel van de werkvoorbereidingsfase wordt verschoven naar het ontwerpproces. Het bewerkingsproces kan softwarematig worden gesimuleerd en gecontroleerd, zonder dat er bewerkingsmachines en materiaal aan te pas komen. Dit biedt dus een extra terugkoppeling (4) in de softwarefase, die dus gunstig is voor de optimalisatie van het totale produktieproces. Deze extra terugkoppeling in de softwarefase heeft bovendien een positief effect op terugkoppeling 3, vanuit de produkt-evaluatie naar de werkvoorbereiding. Deze terugkop-

pling zal namelijk veel minder vaak nodig zijn, omdat optimalisatie van het fabricageproces niet meer uitsluitend via deze weg hoeft te verlopen.

Een ander voordeel van CAD/CAM-koppeling is dat de geometriebeschrijving die nodig is voor de fabricage direct uit de CAD-gegevens gehaald wordt, hetgeen tot tijdsbesparing en minder kans op fouten leidt. In combinatie met 2D CAD geeft de koppeling CAD/CAM dus mogelijkheden tot optimalisatie in de softwarefase van het ontwerp- en fabricageproces.

**Ontwerpen met en CAE-systeem**

Een overzicht van het ontwerpproces op basis van CAE is weergegeven in figuur 4.

Bij het werken met CAE wordt na de conceptfase het idee van de ontwerper omgezet in een 3D model van het ontwerp op het beeldscherm, het software prototype. Het technisch concept van dit software prototype kan eenvoudig worden aangepast en de technische performance kan worden geanalyseerd en geoptimaliseerd. Als het optimalisatieproces is uitgekristalliseerd kunnen op basis van de 3D geometrische informatie detailtekeningen worden aangemaakt via een 2D CAD-module. Het verloop van de 2D CAD/CAM-koppeling naar de fabricage is reeds bekend uit het voorgaande.

Er is een duidelijk verschil te constateren in het verloop van het ontwerpproces bij het ontwerpen met CAE en zonder CAE. Het principiële verschil is de extra optimalisatie-loop direct na de conceptfase. Bij het ontwerpen met CAE wordt in een vroegtijdig stadium in het ontwerpproces via een uiterst korte en efficiënte weg met behulp van software prototyping geoptimaliseerd. De lange

optimalisatieweg via het testen van een hardware prototype (terugkoppeling 2) zal hier meestal ook blijven bestaan, maar deze hoeft beduidend minder vaak doorlopen te worden, omdat de meeste problemen worden geconstateerd en opgelost in de eerste optimalisatie-loop (terugkoppeling 1).

Een ander belangrijk voordeel bij het gebruik van CAE is, dat men in een vroegtijdig stadium meer informatie ter beschikking krijgt over de vorm van het product en de toekomstige productperformance.

De beslissingen die in de allereerste fasen van het ontwerpproces worden genomen, zijn van cruciaal belang en hebben grote technische en economische consequenties omdat in de concept- en optimalisatiefase globaal al 80% van de kostprijs en het technisch concept van het uiteindelijke product wordt vastgelegd. De marktpositie van het product wordt dus grotendeels in dit stadium van het ontwerpproces bepaald.

Omdat de belangrijke beslissingen moeten worden genomen in de beginfase van het ontwerpproces, als er nog nagenoeg geen informatie beschikbaar is over het technisch concept en de technische performance van het product, kan dit leiden tot niet optimale of zelfs verkeerde beslissingen met alle bijbehorende financiële consequenties.

Door het gebruik van CAE komt de noodzakelijke informatie eerder beschikbaar. Bovendien kan de informatie op een inzichtelijke wijze grafisch worden gepresenteerd, ook begrijpelijk voor niet-technisch geschoolde betrokkenen, zoals afnemer en marketingmedewerkers. Aan de hand van realistische 3D voorstellingen kunnen gemakkelijk fouten worden opgespoord voordat ze op de werkvloer aan het licht komen. ("3D pictures speak louder, clearer and faster than 2D drawings and words").

Belangrijk is ook dat het genereren van arbeidsintensieve gedetailleerde werktekeningen voor het fabriceren van een hardware prototype of van het product zelf kan worden verschoven naar een later stadium in het ontwerpproces, als het ontwerp nagenoeg uitgekristalliseerd is. Ook de kostbare "last minute" wijzigingen kunnen op deze wijze tot een minimum worden beperkt.

Bij het vergelijken van het schema voor het ontwerpen met CAE uit figuur 4 met de schema's uit de voorgaande figuren, valt op dat de evaluatie van het ontwerp is opgegaan in het proces van modelleren van het software prototype en analyseren van de technische performance. Tijdens het ontwerpen met CAE is men voortdurend bezig met evalueren, analyseren en optimaliseren. Dit leidt tot een beter ontwerp, terwijl de ermee

gepaard gaande kosten relatief laag blijven omdat het hele optimalisatieproces zich in de softwarefase afspeelt. Terugkoppeling 1 in het schema van figuur 4 zal dus veelvuldig en vaak onbewust worden doorlopen. Als het ontwerp via CAE tot stand is gekomen kan de geometrie op twee manieren naar de fabricagefase worden overgebracht.

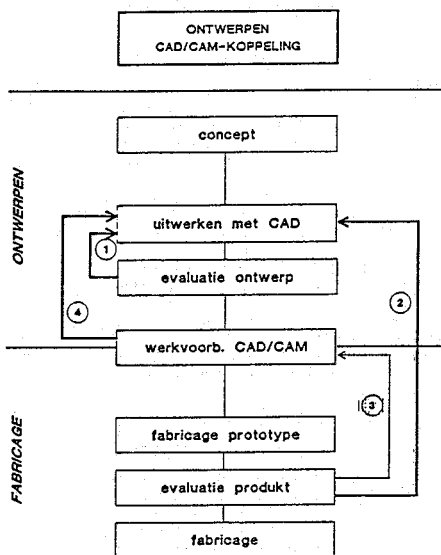


Fig. 3. Schema bij ontwerpen met een 2D CAD/CAM-koppeling

De eerste manier verloopt via 2D CAD. Van het 3D model worden dan 2D aanzichten en doorsneden gegenereerd die worden geannoteerd ten behoeve van de fabricage. Daarbij kan wel of niet gebruik worden gemaakt van een 2D CAD/CAM-koppeling. Bij de tweede manier wordt de 3D geometrische informatie direct ingelezen in de CAM-module via een 3D CAD/CAM-koppeling.

Het 3D model vormt dus zowel de basis voor de numerieke analyse, voor 2D CAD als voor CAM. Dit reduceert de kans op fouten door informatieoverdracht.

Bij het gebruik van CAE zal terugkoppeling 2 vanuit de evaluatie van een materieel prototype minder vaak voorkomen dan in de voorgaande gevallen, omdat een groot deel van deze evaluatie al aan het software prototype heeft plaatsgevonden. De dure terugkoppeling 2 zal dus in betekenis afnemen, maar niet geheel verdwijnen.

Doordat CAE op relatief goedkope wijze de mogelijkheid biedt om alternatieve ontwerpen met elkaar te vergelijken en te optimaliseren krijgt de ontwerper meer speelruimte, hetgeen kan leiden tot een origineler eindproduct met een lagere kostprijs, betere esthetische eigenschappen en een betere technische performance.

**TEKENEN 2D CAD**

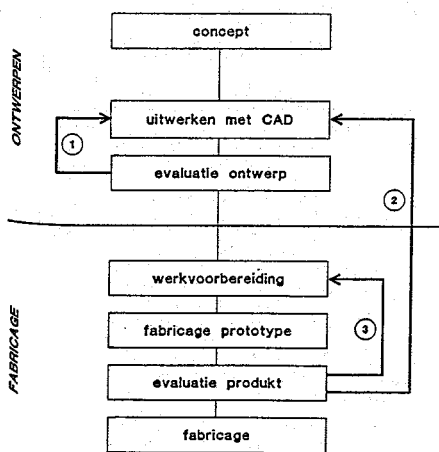


Fig. 2. Overzicht bij het tekenen met 2D CAD

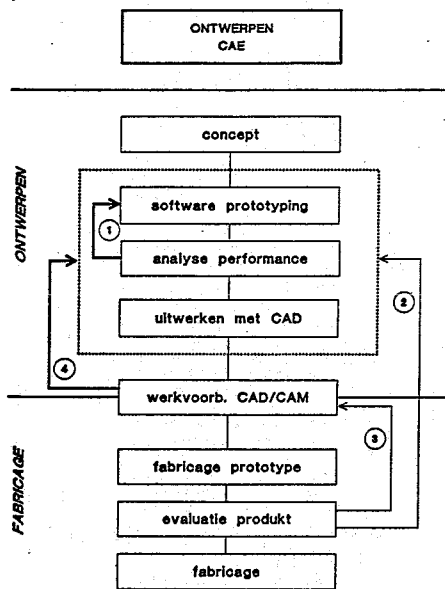


Fig. 4. Schematisch overzicht van het ontwerpen met een CAE-systeem

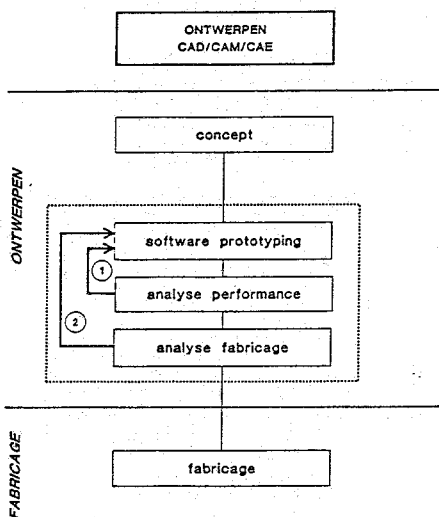


Fig. 5. Overzicht van het werken met een CAD/CAM/CAE-systeem

Naast de technische aspecten kan de introductie van CAE ook een zeer strategische "marketing tool" zijn voor het bedrijf. In het offerte-stadium kan bijvoorbeeld een 3D afbeelding van het te ontwerpen en te fabriceren product voor een potentiële klant van doorslaggevende betekenis zijn. Bovendien zal de technische kredietwaardering van het bedrijf naar de markt sterk toenemen.

**Geïntegreerd CAD/CAM/CAE-systeem**

Bij het ontwerpen met een CAE-systeem in combinatie met een CAD/CAM-koppeling blijft het noodzakelijk om een materieel prototype te fabriceren. Daardoor blijft ook een

terugkoppeling bestaan van het materiële prototype naar het ontwerpproces en naar de werkvoorbereiding.

In de toekomst zal de ontwikkeling zich voortzetten in een richting die nu reeds is aan te geven, namelijk naar het elimineren van de laatste ongewenste terugkoppelingen: het fabriceren en testen van dure hardware prototypen ("Getting it right the first time"). De situatie die dan zal ontstaan is aangegeven in figuur 5.

Bij het werken met een geïntegreerd CAD/CAM/CAE-systeem, wordt niet alleen de optimalisatie van het ontwerp aan de hand van het software prototype uitgevoerd maar ook de optimalisatie van het fabricageproces.

Via een expertsysteem zal tijdens het ontwerpen constant worden bijgehouden of de bedachte onderdelen en produkten met behulp van de ter beschikking staande machines, gereedschappen en materialen gemaakt kunnen worden. De ontwerper kan dan in een zeer vroeg stadium het product tevens optimaliseren naar maakbaarheid ("Design for Manufacturing").

Het totale fabricageproces kan worden gesimuleerd en gecontroleerd aan de hand van het software prototype. Eventueel kan met behulp van Stereo Lithografie een 3D kunststof prototype worden vervaardigd voor een nadere beoordeling van de vormgeving.

**Samenvatting**

Bij het overwegen van de mogelijkheden van computerondersteuning in de ontwerpen fabricage-omgeving is het interessant om de schema's uit de figuren 1 tot en met 5 naast elkaar te bestuderen.

In figuur 6 zijn de belangrijkste tendensen, die daarbij opvallen, nog eens weergegeven.

De belangrijkste ontwikkeling is de mogelijkheid om via softwarematige iteratie-loops in een vroegtijdig stadium van het ontwerpproces een product te optimaliseren aan de hand van een software prototype. ("Test fast, fail fast and adjust fast"). Deze manier van werken is op het ogenblik uitvoerbaar met behulp van bestaande CAE-pakketten.

Door toename van de optimalisatiemogelijkheden in de software-fase wordt automatisch de conventionele wijze van optimaliseren van een product via een hardware prototype minder toegepast. Daar terugkoppelingen uit de fabricagefase per definitie duur en tijdrovend zijn, is het elimineren van deze optimalisatie-loop gewenst.

Een andere globale ontwikkeling is het verschuiven van steeds meer werkzaamheden naar de beginstadia van het ontwerpproces.

Deze verschuiving is nu reeds ten dele mogelijk. Het gebruik van CAE-software om de technische performance van het software prototype te testen is hier een goed voorbeeld van.

Een ander voorbeeld van de genoemde verschuiving is het verplaatsen van een deel van de werkvoorbereiding naar de ontwerpfase, via een systeem met een geïntegreerde CAD/CAM-koppeling.

Een laatste stap in deze ontwikkeling zou zijn: het verschuiven van de hele fabricagevoorbereiding, inclusief de analyse van het fabricageproces en het toevoegen van de technologiegegevens uit een expertsysteem, naar de ontwerpfase binnen één geïntegreerd CAE/CAM-systeem.

Samengevat zal de geïntegreerde CAE/CAM-aanpak resulteren in:

- vermindering van de doorlooptijd van het productieproces,
- verbetering van de produktkwaliteit,
- reductie van de ontwikkeltijd en
- reductie van de kosten door softwarematige iteratie-loops.

**Literatuur**

1. E.A. Kaas en M.J.L. Stakenborg, "CAD/CAM/CAE in de Werktuigbouw" Kluwer Technische Boeken, Deventer, 1990.
2. E.A. Kaas, "Gebrekkige basiskennis remt automatisering" I<sup>2</sup>-Werktuigbouwkunde, februari 1990.
3. M. de Winter, "Optimaliseren van een heftruckconstructie met behulp van CAE-technieken" I<sup>2</sup>-Werktuigbouwkunde, februari 1990.
4. E.A. Kaas en M.J.L. Stakenborg, "Ontwikkelingen in het gebruik van CAD, CAM en CAE" I<sup>2</sup>-Werktuigbouwkunde, maart 1990.
5. M.J.L. Stakenborg, "Alles wat u altijd al over CAE had willen weten" I<sup>2</sup>-Werktuigbouwkunde, mei 1990.
6. M. Peerdeman, A. Bron, I. Brorens, "Toepassing van CAE-technieken bij een optimalisatie aan een pacemaker" I<sup>2</sup>-Werktuigbouwkunde, april 1990.

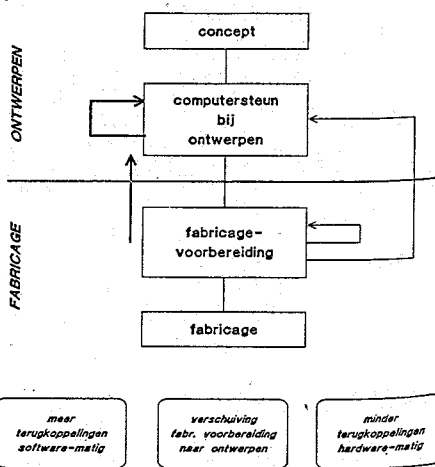


Fig. 6. Tendensen in de ontwikkeling van het ontwerp- en fabricageproces.