

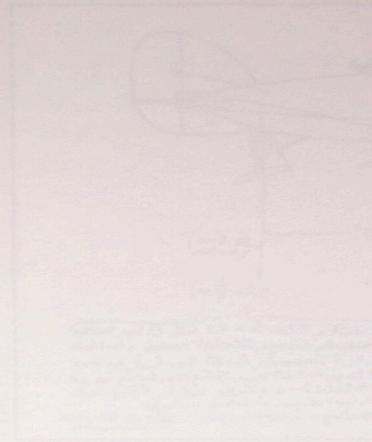
De ontwikkelde prototype software kan door derden commercieel worden geëxploiteerd. Dit is reeds in belangrijke mate gelukt. Diverse bedrijven gebruiken prototype software die door de CAD groepering van de TU's is ontwikkeld: Philips PTI, Philips Natlab, Silvar Lisco, SDA, ICS. Dit laatste bedrijf wenst een totaal pakket op de markt te brengen gebaseerd op een eigen management-systeem, en biedt dit aan onder de naam "SPIRIT".

Konkluderend kan ik stellen dat er plaats is voor een rijk CAD leven in de mikro-elektronika, zowel aan de universiteiten als in het bedrijfsleven. In tegenstelling tot het verleden dat gekarakteriseerd was door grote ondoorzichtige programmapakketten, brengt de toekomst ons modulaire, open en intelligente systemen die op individuele basis ontwikkeld en gebruikt kunnen worden. De TU's kunnen bij het tot stand komen van dergelijke systemen op een unieke manier de creativiteit van jonge onderzoekers richting geven: veel meer dan in het verleden is het nu mogelijk om vrij direkt nieuwe ideeën en algorithmen in algemeen bruikbare systemen op te nemen.

De ontwikkeling van een vliegtuigontwerp

Van schoolschrift naar schermen en schijven

prof.ir. E. Torenbeek



Het ontwerpen van een vliegtuig begint met een wensenlijst, specificatie genaamd en een idee van het concept. Het eindigt met een in het algemeen kostbaar stuk hardware, gebouwd overeenkomstig een grote hoeveelheid gedetailleerde documentatie en door de overheid voorzien van een certificaat van luchtwaardigheid. Een enkele uitzondering daargelaten is het ontwikkelen van een modern vliegtuig dan ook een omvangrijke onderneming, die op bijdragen berust van een team van ingenieurs met kennis van zaken van een groot aantal disciplines. Het ontwikkelingsproces strekt zich, afhankelijk van het vliegtuigtype, uit over zo'n 2 tot 5 jaren.

Dat is niet altijd zo geweest. In de jaren twintig was het nog mogelijk in ongeveer een half jaar een nieuw type te ontwerpen, te bouwen en er de eerste exemplaren van af te leveren aan de gebruiker. In die tijd waren er slechts enkele ontwerpers voor nodig om het gehele ontwerp uit te werken en de omvang van het experimentele ontwikkelingswerk was zeer beperkt. In 1917 werd de Bristol Scout, een succesvol jachtvliegtuig waarvan een kleine 4800 exemplaren zijn geproduceerd, geconcipeerd door één enkele ontwerper, Frank Barnwell genaamd. Hij had voor z'n ontwerpberoeeningen voldoende aan een enkel schoolschrift, terwijl de detailtekeningen werden vervaardigd in een afzonderlijke bundel tekenvellen, waarvan de met carbonpapier gemaakte afdrucken rechtstreeks naar de werkplaats gingen.

Tijdens de daarop volgende decennia waren rekenlinealen en mechanische rekenmachines nog steeds toereikend voor de toenemende hoeveelheid rekenwerk, dat nog omstreeks 1950 werd uitgevoerd door een in de loop van de tijd groeiend legertje technische rekenaars. Met de complexiteit van de vliegtuigen nam ook de omvang toe van de

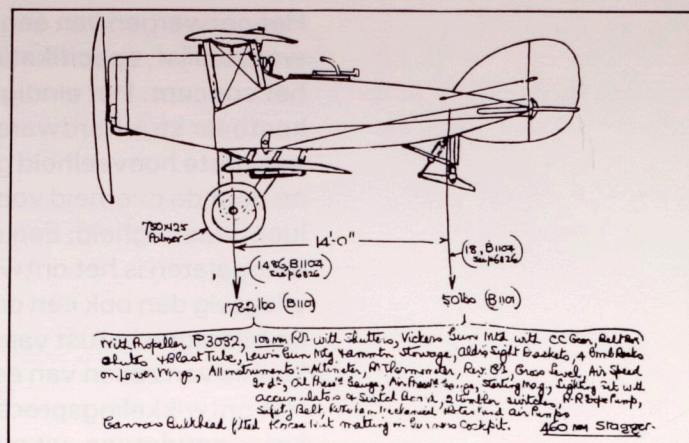


Fig. 1. Een pagina ontwerpdokumentatie van de Bristol Scout (1917)

tekenafdelingen, terwijl invoering van nieuwe technieken het nodig maakte delen en samengestelde konstrukties in het laboratorium te beproeven. Aan het einde van de jaren vijftig ontstonden straalverkeersvliegtuigen, die waren voorzien van een drukkajuit, faalveilige konstrukties, een uitgebreid instrumentarium, meervoudig uitgevoerde elektrische en hydraulische boordinstallaties en door stuurmachines aangedreven roeren. Een opengewerkte tekening laat op imponerende wijze zien hoe gekompliceerd de konstruktie is van een verkeersvliegtuig, gebouwd omstreeks 1960, dat al de meeste kenmerken vertoont van de thans gangbare uitvoering. Deze vliegtuigen opereren in het snelheidsgebied tussen 70% en 85% van de geluidssnelheid en de hoge eisen aan veiligheid en efficiency hebben ertoe geleid dat tegenwoordig met het ontwerp- en ontwikkelingsproces een bedrag van vele honderden miljoenen tot soms vele miljarden guldens zijn gemoeid. Vanaf ongeveer 1960 heeft de ontwikkeling van de computertechniek steeds nadrukkelijker een stempel

gedrukt op de ontwerpkuude. Vooral de komst van krachtige minicomputers heeft geleid tot de invoering van CAD-systemen in de vliegtuigbouw. Sterkteberekeningen begon men uit te voeren met eindige elementenmethoden, zoals het NASTRAN pakket, met grafische voor- en nabewerking op minicomputers. In de jaren zeventig begon ook de numerieke stromingsleer vruchten af te werpen, vooral bij het ontwerpen van profielen met verbeterde eigenschappen bij hoge snelheden. Computertechnieken deden hun intrede in vrijwel alle disciplines van de ontwerpafdelingen, aanvankelijk vooral in de vorm van eilandjes in de automatisering zonder onderlinge verbindingen. Praktische ontwerpsystemen in de conceptvormende fase van het ontwerpen zijn echter ook nu nog niet algemeen ontwikkeld, toegepast en als waardevol geaccepteerd. Daar zijn verschillende redenen voor; daarop kom ik later terug.

Toen omstreeks 1980 duidelijk werd welk een grote vlucht de automatisering in het ontwerpproces had genomen, begonnen aan de afdeling der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek voorbereidingen met als aanvankelijk doel de aanschaf van een afdelings - CAD-installatie. Hieraan was al een studieperiode voorafgegaan waarin de mogelijkheden van analytische optimalisatie werden onderzocht, die ook nu nog een nuttige vergelijkingsbasis vormen. In 1983 werd de delftse Interafdelings CAD Installatie in gebruik gesteld door vier konstruerende afdelingen en beheerd door het Rekencentrum. Deze installatie heeft vooral als doelstelling onderzoeksgroepen te laten werken met een geavanceerd 2-dimensionaal tekenpakket, modelling technieken te leren gebruiken en verbeteren en eigen ontwikkelingen op diverse vakgebieden te koppelen aan het algemene CAD-pakket. Die eigen ontwikkelingen zijn nodig

omdat voor de specifiek vliegtuigbouwkundige ontwerpprocessen geen praktische commerciële software beschikbaar is. Vliegtuigfabrieken ontwikkelen die in eigen beheer. Het momenteel aan de fakulteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek gebruikte systeem draagt de naam ADAS (Aircraft Design and Analysis System). Het verkeert weliswaar nog in het experimentele stadium, maar is qua architectuur als redelijk volledig te beschouwen.

We onderscheiden daarin de volgende hoofdfuncties:

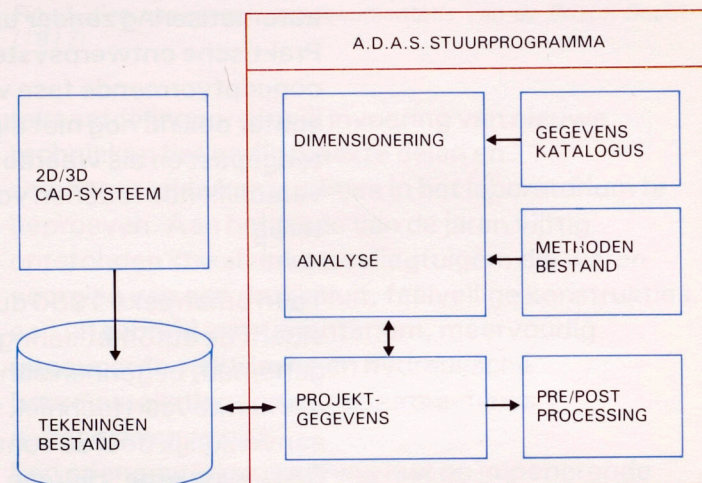


Fig. 2. Structuur van het delftse ADAS-systeem voor computergesteund concept-ontwerpen van vliegtuigen.

1. Computergrafische weergave van 2-dimensionale tekeningen en mogelijkheden om 3-dimensionale vormen samen te stellen en te combineren door middel van solid modelling technieken.
2. Een groot aantal in FORTRAN geprogrammeerde rekenmodules voor specifiek vliegtuigbouwkundige analyses van globale aerodynamische eigenschappen, prestaties, gewichten, etc.
3. Een bestand met algemene ontwerpgegevens,

zoals eigenschappen van standaard vleugelprofielen en turbinemotoren.

4. Bestanden met projectgegevens van voltooide of in ontwikkeling zijnde voorontwerpen.
5. Een stuurprogramma dat de ontwerper in staat stelt afhankelijk van de structuur van de gestelde opgave een reken- en/of optimaliseringsproces te definiëren. Het regelt tevens de stroom van gegevens van en naar de tekeningen- en projectgegevensbestanden.

Ter illustratie van de mogelijkheden zullen we nu enkele ontwerpen de revue laten passeren. Het CAD-pakket stelt ons in staat een 3-dimensionale voorstelling te maken van het interieur van de kajuit en de stuurhut. Hieruit kan rechtstreeks het gezichtsveld dat de vlieger naar buiten heeft worden afgeleid en beoordeeld (rechtsonder in de figuur).

Deze mogelijkheden besparen enorm veel tijd, vooral omdat er nog regelmatig veranderingen moeten worden aangebracht.

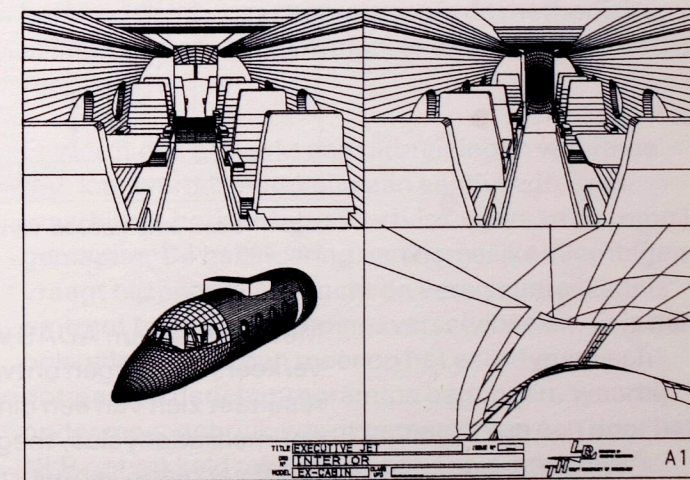


Fig. 3. Kajuit- en stuurhutinrichting ontworpen met behulp van een 2D/3D CAD systeem

Een andere optie is het automatisch vervaardigen van dwarsdoorsneden van een compleet vliegtuig. De oppervlakken daarvan worden vervolgens ingevoerd in een programma dat de transone golfweerstand berekent (m.b.v. de theorie van naaldvormige lichamen). De resultaten blijken voldoende nauwkeurig te zijn in het voorontwerpstadium.

Een helioptermodel, dat in verband met een projektstudie van het NLR aan de TU werd vervaardigd, laat zien hoe realistisch de vormgeving is te definiëren. Momenteel wordt ook gewerkt aan dimensioneringsmodules voor deze speciale klasse luchtvaartuigen.

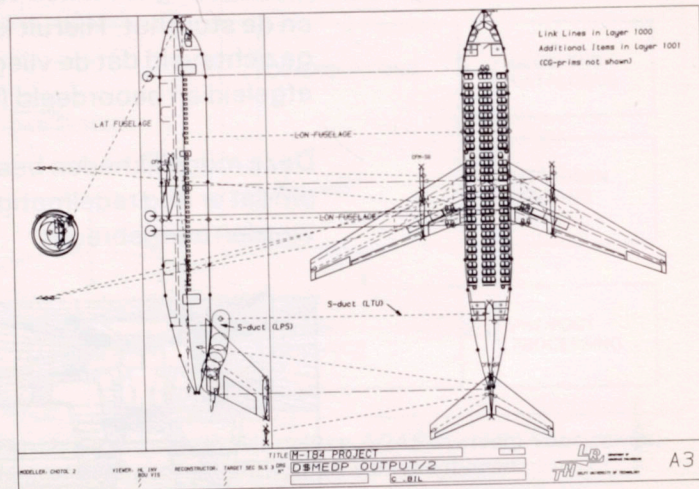


Fig. 4. Semi automatisch vervaardigde aanzichten – tekening van een verkeersvliegtuig.

Met het systeem ADAS worden hoofdzakelijk verkeersvliegtuigen ontworpen. Fig. 4 laat het resultaat zien van een dimensionerings- en optimalisatiecyclus, toegepast op een hypothetisch groot verkeersvliegtuig, uitgerust met drie turbofan motoren (klasse Boeing 757). Na modellering in 3-D ontstaat een zeer realistisch beeld van het vliegtuig,



Fig. 5. Het ontwerp van Fig. 4 na modellering in 3D.

dat een mogelijkheid geeft de uitwendige vorm nauwkeurig op onregelmatigheden te inspecteren. Het imiteren van bestaande ontwerpen is van belang om de geldigheid van de toegepaste ontwerpmethodiek en de gebruikte rekenmethoden vast te kunnen stellen. De resultaten zijn tot nu toe bemoedigend, maar vooralsnog is de methodiek alleen op relatief konventionele ontwerpen toegepast.

Er wordt ook gewerkt aan uitbreidingen waarmee b.v. kan worden gerekend aan eendvliegtuigen, waarbij het horizontale staartvlak vooraan de romp is geplaatst. De balancering van dergelijke vliegtuigen vraagt bijzondere aandacht en vereist detailkennis omtrent bepaalde stromingsverschijnselen. Er is dan ook onlangs met een meer op het aerodynamisch ontwerpen gericht programma begonnen, waarbij onder meer gebruik wordt gemaakt van een door het NLR ontwikkeld rekensysteem. Dit is inmiddels toegepast op het aerodynamisch ontwerp van een zweefvliegtuig, waarbij wordt samengewerkt met

een duitse fabrikant. Er zijn trouwens ook samenwerkingsverbanden met nederlandse bedrijven, waarbij het CAD-systeem wordt gebruikt. In dit verband vermeld ik nog dat het ten behoeve van het ontwerp van een z.g. ultralight vliegtuig, dat momenteel door een nederlands bedrijf wordt ontwikkeld in samenwerking met de fakulteit LR, een 3-dimensionaal geometrie-model is vervaardigd. Dit zal in het stadium van de produktie dienst kunnen doen bij het vervaardigen van bouwmallen.

Bij dit alles dringt zich steeds de vraag op: waar zal dit alles toe leiden? In dit verband wordt wel eens gewezen op de vergaande automatisering bij de fabricage van auto's, TV toestellen, computers en andere gebruiksartikelen die tegenwoordig ons bestaan inhoud geven. Het verschijnsel van de op knoppen drukkende "terminal junky" doemt daarbij op als het schrikbeeld van de pur-sang ontwerper, die zich zorgelijk afvraagt of degene die zo'n systeem gebruikt zich wel realiseert waarmee hij bezig is. En als dan informatici ook nog beginnen te reppen over expertsystemen en kunstmatige intelligentie lijkt het gevaar dat straks niemand meer geïnteresseerd zal zijn in wat de "echte expert" nog te bieden heeft levensgroot te worden. Inderdaad kan hier en daar de tendens worden waargenomen dat het ontwerpproces wordt geschematiseerd tot een omvangrijk geïntegreerd programmasysteem, geïmplementeerd op de krachtigste computer die voorhanden is, in gebruik genomen door snelle jongens die het met de doorzichtigheid en de gebruiksvriendelijkheid van zo'n systeem niet zo nauw nemen. Het lijdt geen twijfel dat een dergelijke vorm van automatisering geen recht doet aan de beginselen van een verantwoorde ontwerporganisatie, omdat de belangrijke momenten waarop konsultaties nodig zijn vervagen en worden vervangen door routinehandelingen.

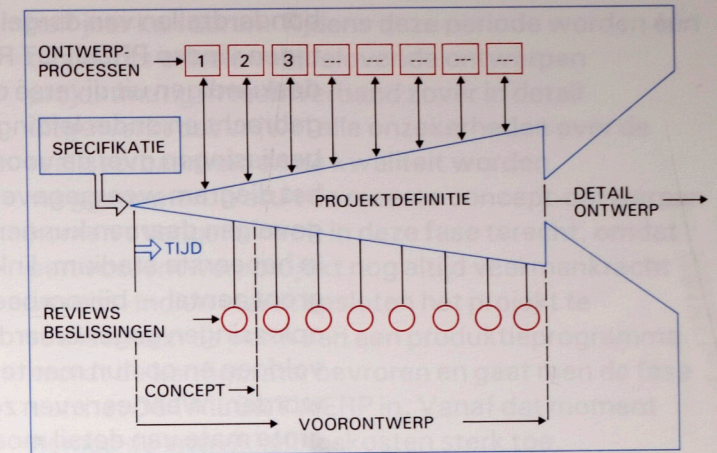


Fig. 6. Schematische voorstelling van een voorontwerpproces in de tijd.

Laten we één en ander eens toelichten aan de hand van een schema van het ontwerpproces, waarin de op ieder moment gegenereerde hoeveelheid informatie wordt voorgesteld in de vorm van een met de tijd breder wordende balk, PROJEKTDEFINITIE genaamd. Waar het om een volledig nieuwe vliegtuigtype gaat is aanvankelijk alleen informatie aanwezig, die direkt is af te leiden uit de specificatie – zoals het aantal zitplaatsen, de hoeveelheid passagiersbagage, etc. – alsmede uit de onverbidelijke luchtwaardigheidseisen. In het diagram zijn door middel van genummerde blokken PROCESSEN aangegeven, waarbij met behulp van veelal omvangrijke programmatuur de definitie van het project vanuit de verschillende betrokken disciplines steeds verder wordt aangevuld. De hoeveelheid ontwerpgegevens, waarmee moet worden gewerkt, kan daarbij oplopen tot een orde van 10 miljard computerwoorden, die worden opgeborgen op schijven met een totale omvang van tientallen Gigabytes. In tegenstelling tot het sterk vereenvoudigde beeld in het diagram is er in werkelijkheid sprake van tientallen of zelfs

honderdtallen van dergelijke processen. Op gezette tijden vinden PROJECT REVIEWS plaats, waarbij deskundigen uit diverse disciplines bij elkaar worden gebracht en onder leiding van de projectmanager beslissingen over de voortgang worden genomen, in het diagram weergegeven door cirkeltjes. De gevolgen daarvan kunnen verrijkend zijn. In het eerste stadium, links in het diagram, wordt een groot aantal – bijvoorbeeld honderden – oplossingen gegenereerd, die alle aan de specificatie voldoen en op hun merites beoordeeld moeten worden. Wanneer even zovele ontwerpen in even grote mate van detail moeten worden ontwikkeld wordt de dokumentatie al snel te omvangrijk en het proces onbeheersbaar. Daarom moet de beoordeling niet te lang worden uitgesteld. Tijdens deze fase van het CONCEPTONTWERPEN, die een periode van enkele weken beslaat, moet men het eens worden over beoordelingscriteria en over een werkwijze, waarbij wordt vooruitgelopen op de uitkomsten van detailonderzoek, dat pas in een later stadium kan plaatsvinden. Een behoudend ontwerpteam zal daarbij proberen een zekere koers te varen om risico's te vermijden, maar tevens de kans lopen met een onvoldoende konkurrend produkt voor de dag te komen. Vooral het al of niet toepassen van nieuwe technologieën dan wel afwijkende configuraties is hierbij van cruciaal belang. Juist daarvoor zijn de ontwerpmethoden meestal ontoereikend en moet een beroep worden gedaan op inzicht en ervaring, die niet in databestanden kunnen worden opgeslagen. Het gevaar dat automatisering zelfs de vooruitgang in de weg staat is dan ook levensgroot aanwezig, wanneer alle aandacht wordt gekoncentreerd op de automatisering als zodanig en men vergeet dat ontwerpen een creatieve bezigheid is.

De volgende fase is de VOORONTWERPFASE (advanced design), die enkele maanden tot ruim een

half jaar kan duren. Tijdens deze periode worden één of slechts enkele veelbelovende ontwerpen projektmatig in teamverband zover in detail uitgewerkt dat vrijwel alle onzekerheden over de realiseerbaarheid en de kwaliteit worden weggenomen. Veruit de meeste concept-ontwerpen komen overigens nooit in deze fase terecht, omdat een voorontwerpprojekt nog altijd veel mankracht vereist. Indien wordt besloten het projekt te realiseren in de vorm van een produktieprogramma wordt de configuratie bevroren en gaat men de fase van het DETAILONTWERP in. Vanaf dat moment nemen de ontwikkelingskosten sterk toe. Bij het beschreven proces kunnen we enkele kanttekeningen plaatsen, die van belang zijn in verband met het automatiseringsaspect.

1. Het ontwerpproces is en blijft iteratief – x stappen vooruit, y stappen terug – omdat als gevolg van project reviews het ontwerp regelmatig moet worden teruggebracht naar een vroeger stadium. Sommige processen moeten dan opnieuw worden doorlopen. Fig. 6 is daarom een te eenvoudige voorstelling van zaken. Bij iteratief werken dreigt tijdverlies, dat echter kan worden beperkt door de afzonderlijke processen door middel van automatisering te versnellen.
2. De definitie van het ontwerp moet consistent worden gehouden, zodat verschillende afdelingen aan hetzelfde vliegtuig werken. Centralisatie van het gegevensbeheer is dus onvermijdelijk.
3. Er is een groot aantal variabelen in het spel. Het zoeken naar het beste ontwerp moet daarom worden vertaald in een wiskundig algoritme, zodat de computer kan helpen bij het selekteren. Dit is een belangrijk onderwerp voor universitair onderzoek.
4. Ondanks alle verfijning van de rekenmethoden en de enorme snelheid van moderne getallenkrakers blijft het nodig de fysische werkelijkheid te vereenvoudigen. Windtunnel-experimenten geven in

veel gevallen nog een hogere nauwkeurigheid dan de numerieke stromingsleer. Twee lustra verder is dit vermoedelijk niet meer het geval.

Het werken met CAD-technieken aan de faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek heeft geleid tot een duidelijke accentverlegging in het onderzoek en in het onderwijs. Het heeft een dimensie toegevoegd aan het vakgebied ontwerpen; staf en studenten doen er dan ook met enthousiasme en grote inzet aan mee. Computerondersteuning bij het ontwerpen is weliswaar nodig, maar mag niet ten koste gaan van inzicht in de klassieke en fundamentele wetenschapsgebieden. Het blijft dus nodig aandacht te geven aan benaderingsmethoden en aan het interpreteren van experimentele resultaten. Wellicht zullen expertsystemen hierin een zekere rol gaan spelen. Van terugkeer naar de aloude tekentafel kan evenwel geen sprake zijn.

De geboorte van een nieuw vliegtuigtype gaat dus vergezeld van een penetrante geur van computers. Of we die lucht aangenaam vinden of niet doet niet ter zake. Computers worden in de vliegtuigontwikkeling niet in de eerste plaats gebruikt om mankracht te besparen, maar om sommen te maken die we vroeger niet aankonden, met als doel de kwaliteit te verhogen in het belang van een sterke concurrentiepositie. Het gaat er tenslotte om de baby de gunstigste levenskansen mee te geven.