

Ontwerpproces

In dit document wordt het ontwerpproces toegelicht, welke stappen er per week moeten gebeuren in WB1641, en wordt een drietal ontwerpmethoden uitgelegd.

Inhoud

- Werktuigkundig ontwerpen
- Stappen in het ontwerpproject
- Criteria, specificaties, en het programma van eisen en wensen
- Alternatieven verzamelen in een morfologische kaart
- Concepten beoordelen met de gewogen criteria methode
- Literatuur

Werktuigkundig ontwerpen

Ontwerpen is een complex, open, iteratief proces. Hoe je een ontwerpproject het beste aan kunt pakken hangt af van het project. Er is niet één juiste manier van ontwerpen.

Om grip te krijgen op onvoorspelbare ontwerpprocessen zijn er verschillende ontwerpmethoden ontwikkeld, gebaseerd op onderzoek naar hoe ervaren professionals werken. Maar ook op de vraag welke van deze methoden de juiste is, of welke aanpak voor een bepaald project het meest geschikt is, is geen simpel en algemeen geldig antwoord te geven. Uiteindelijk komt het erop neer dat je alleen door veel ervaring op te doen leert inschatten wanneer het zinnig is om een bepaalde methode toe te passen, en wanneer niet.

Dit betekent niet dat je tot die tijd zomaar iets kunt doen. In Delft pakken we ontwerpprojecten aan op een manier die bewezen effectief is, en die een goede basis biedt om op door te bouwen. De stappen in deze methode zal je een aantal keer moeten doorlopen om de ervaring op te doen die nodig is om zelfstandig vorm te kunnen geven aan een ontwerpproject.

Ons proces

In ontwerpprojecten doorlopen we de volgende fasen, naar het model van Pahl en Beitz (Rozenburg & Eekels 1998):

1. Analyseren
 - Opdracht analyseren
 - Hoofd- en deelfuncties bepalen
 - Criteria opstellen (Programma van Eisen en Wensen)
2. Conceptueel ontwerpen
 - Alternatieve (deel-)oplossingen en werkingsprincipes verzamelen
 - Principe-oplossingen voor deel- en hoofdfuncties ontwikkelen
 - Kansrijke varianten identificeren
3. Materialiseren
 - Meest kansrijke varianten ontwikkelen tot concept
 - Concepten evalueren
 - Een concept kiezen
 - Gekozen concept optimaliseren
4. Uitwerken
 - Details uitwerken
 - Fabricage plannen
 - Geometrie, materiaal, toleranties, en afwerking van alle onderdelen bepalen
 - Het ontwerp vastleggen in technische tekeningen

Specifieke methoden

Binnen het ontwerpproces werken we met een serie methoden die ontwikkeld zijn voor een specifieke stap. Een heldere set criteria, vastgelegd in een *programma van eisen en wensen*, is nodig om de ontwerp vraag duidelijk en toetsbaar te specificeren. Een *morfologische kaart* helpt om mogelijke werkingsprincipes in kaart te brengen en daarmee een samenhangend concept te ontwikkelen. De *gewogen criteria* methode is een middel om de keuze voor één bepaald concept te beargumenteren.

Verderop in dit document is aan elk van deze 3 methoden een apart hoofdstuk gewijd.

Stappen in het ontwerpproject

Hier worden de stappen en tussenresultaten van het ontwerpproject toegelicht en lees je wat er per week moet gebeuren. De ontwerpopdracht zelf is te vinden in een apart document (op Brightspace).

Overzicht per week:

- Week 1: Opdracht & voorbeelden analyseren
- Week 2: Programma van Eisen en Wensen ontwikkelen & ideeën creëren en verzamelen
- Week 3: Concepten ontwikkelen & proefmodellen maken
- Week 4: Concepten evalueren & kiezen, ontwerp uitwerken, lasersnijbestand maken
- Week 5: –
- Week 6: Overige onderdelen maken en ontwerp assembleren
- Week 7: Ontwerp testen
- Week 8: Ontwerp en proces presenteren op een website
- Week 9: Peer review van de ontwerpen

Week 1

Deze week starten we het ontwerpproject met een analyse fase.

Opdracht analyseren en bespreken

Ontwerp opdrachten zijn anders dan, bijvoorbeeld, wiskundige problemen of kruiswoordpuzzels. Die hebben één geldig antwoord. En alle informatie die je nodig hebt om zo'n puzzel op te lossen is gegeven. Bij een ontwerpproject is geen van beiden het geval. Er zijn verschillende manieren waarop een ontwerp "goed" kan zijn. En om helder op een rij te krijgen wat er wel of niet mogelijk is en wat de belangrijkste problemen zijn, is onderzoek nodig.

Besprek met de groep waar jullie tijdens het ontwerpproces mee te maken gaan krijgen, wat de gripper moet doen en hoe, welke technische informatie jullie op zullen moeten zoeken, en wellicht ook wat voor extra doelen jullie jezelf opleggen.

Voorbeelden verzamelen en analyseren

Een tweede manier om een start te maken met dit ontwerpproject is om voorbeelden van vergelijkbare systemen te bestuderen. Elk ontwerp bouwt voort op bestaande systemen. Zelfs de meest vernieuwende ontwerpen bestaan vaak uit deelsystemen, onderdelen, en werkingsprincipes die ergens anders al met succes zijn toegepast. Het bestuderen van

bestaande machines en mechanismen is dan ook essentieel voor de ontwikkeling van een werktuigbouwkundig ontwerper.

Welke bestaande systemen zijn er vergelijkbaar met (een onderdeel van) de grippers die we gaan ontwerpen? Hoe zien verschillende grijp-, til-, verplaats-, en beweeg-mechanismen eruit? Zijn er bepaalde typen of categorieën te onderscheiden? Waar worden lineaire actuatoren zoal toegepast en hoe zijn ze in te zetten om een bepaalde beweging of krachtoefening te produceren?

Verzamel een aantal relevante voorbeelden van machines en (deel-)systemen, maak of vind een goede afbeelding, print die uit, en maak op papier of whiteboard een schetsmatige studie van dit (type) systeem. Analyseer de constructie, functie, beweging, en/of andere interessante eigenschappen.

Ideeën schetsen

Vaak komen er tijdens de analyse van een opdracht en het denken over criteria al ideeën op. Ook het bestuderen van voorbeelden zal tot ideeën leiden over hoe bepaalde mechanismen toe te passen zijn in dit project. Andersom leidt het ontwikkelen van een aantal eerste ideeën (in snelle schetsen) onvermijdelijk tot ontdekkingen van onverwachte criteria, problemen, en mogelijkheden.

Begin tussendoor al met het (snel en ruw) schetsen van (onderdelen van) mogelijke grippers.

Week 2

Deze week ronden we de analyse af en starten we met concipiëren.

Metten aan pneumatische actuatoren

Elke week is er voor elke groep tijd in de Assemblagewerkplaats (AWS) ingeroosterd. Hier kan aan modellen gewerkt worden en zijn de pneumatische actuatoren beschikbaar om mee te testen.

Voer metingen uit aan de pneumatische actuatoren (het werkblad voor dit meetpracticum is beschikbaar via Brightspace).

Programma van Eisen en Wensen opstellen

Na de introductie en analyse zou iedereen een goed beeld moeten hebben van de opdracht, de doelen, en de randvoorwaarden. Nu is het tijd om deze criteria beter te definiëren en helder vast te leggen.

Niet alle criteria staan expliciet in de opdracht. En een aantal eisen en wensen zullen specifiek voor jullie projectgroep gelden. Naast bijvoorbeeld het feit dat het materiaal en de

productietechniek gevolgen hebben voor constructieve keuzes en dimensionering, kunnen ook andere aspecten een rol spelen, zoals:

- het aantal uren dat jullie verwachten nodig te hebben voor het maken van de grijper
- het geld dat jullie denken kwijt te zijn (of maximaal willen zijn) aan materiaal en onderdelen die niet beschikbaar worden gesteld
- het niveau van fabricagevaardigheden en -ervaring in de groep
- het opslaan en vervoeren van jullie ontwerp
- snelheid van gebruiksklaar maken (bijvoorbeeld: montage en demontage actuatoren)
- de veiligheid bij het maken en bij het bedienen van het ontwerp
- enz.

De meeste eisen zullen functionele eisen zijn, de technische eisen waaraan de grijper moet gaan voldoen, oftewel de prestaties die het moet gaan leveren. *Zie het hoofdstuk 'Criteria, specificaties, en het programma van eisen en wensen' verderop in dit document.*

Stel een beknopt Programma van Eisen en Wensen op (15 à 25 criteria).

Ideeën creëren en verzamelen

Om alle mogelijkheden te verkennen is het goed om in dit stadium zo veel mogelijk ideeën te verzinnen. We hoeven nu nog niet 100% zeker te weten of een bepaald mechanisme echt gaat werken of niet. We proberen geen oplossingen over het hoofd te zien en we proberen niet alleen de voor de hand liggende oplossingen te bedenken, maar zo veel mogelijk en zo divers mogelijk. Je kunt hiervoor met elkaar een brainstormsessie houden.

Een goede manier om een brainstormsessie te doen is door het ontwerpprobleem in kleinere deelproblemen op te delen. Bijvoorbeeld eerst eens alleen oplossingen bedenken voor:

- het pakken van iets
- het snel kunnen monteren/demonteren van een actuator
- omhoog en omlaag bewegen
- heen en weer bewegen
- manieren om een frame te construeren
- enz.

Eén voor één kunnen jullie voor alle deelproblemen oplossingen bedenken. Met elkaar moet je op deze manier veel oplossingsrichtingen kunnen bedenken. Denk ook aan de voorbeelden van vergelijkbare mechanismen die jullie eerder bekeken hebben. Probeer in dit stadium geen kritiek te hebben op de oplossingsideeën. Dat belemmert de creativiteit enorm en dat wil je juist niet. Vreemde, onpraktische, of vrij onhaalbare ideeën, kunnen anderen in de groep juist weer op nieuwe goede ideeën brengen.

Teken alle ideeën en ga ze daarna ordenen en beoordelen op bruikbaarheid. Zet de deelfuncties en deeloplossingen uit in een morfologische kaart. *Zie het hoofdstuk 'Alternatieven verzamelen in een morfologische kaart' verderop in dit document.* Deeloplossingen kunnen worden gecombineerd tot totaaloplossingen. Let wel op dat het een risico van een morfologische kaart is dat sommige geïntegreerde oplossingen over het hoofd kunnen worden gezien. Hoewel een morfologische kaart zeker niet de enige of de enige juiste manier is om een brede verzameling ideeën te genereren en ordenen willen we dat iedereen er in dit project ervaring mee opdoet.

Vat jullie resultaten samen in een morfologische kaart op één A3 of whiteboard, en maak daar een scan of foto van om te presenteren op jullie site.

Week 3

Deze week draait om het materialiseren van de meest veelbelovende conceptrichtingen.

Concepten ontwikkelen

Deze week ontwikkelt iedereen één volledig ontwerp, door veel te tekenen en te maken, op basis van de criteria, de opties uit de morfologische kaart, de bestudeerde voorbeelden, opgezochte informatie, en alle ruwe ideeën van eerder. Je test (een onderdeel van) jouw concept met 1 of meerdere proefmodellen. In de derde handtekeninstructie maak je een 3D isometrische handtekening van jouw grijper.

De ontwerptekening uit de handtekeninstructie lever je individueel in.

Proefmodellen maken

Voor elk groepslid geldt: maak minstens 1 eenvoudig proefmodel van (een deel van) je grijperontwerp. Gebruik eenvoudige materialen zoals karton, papier, duct tape, rietjes, splitpennen, et cetera, om een eerste eenvoudige terugkoppeling te krijgen op wat je hebt bedacht. Bedenk dat als je proefmodel snel kapot gaat op een bepaald punt, dat punt wellicht ook in het echte ontwerp een zwak punt is en daar nader doorgerekend en verstevigd dient te worden.

Maak foto's en video's van jouw proefmodel(len) om later op jullie site te kunnen gebruiken.

Week 4

Deze week wordt er één concept gekozen dat we verder gaan materialiseren en uitwerken.

Concepten evalueren & concept kiezen

Voldoen alle ontwikkelde concepten aan alle eisen? Waar is die inschatting op te baseren? Welke is het meest veelbelovende totaalpakket? En over welke criteria zijn jullie door het ontwerpen van verschillende alternatieven anders gaan denken? Hebben jullie nieuwe criteria ontdekt?

Pas jullie Programma van Eisen en Wensen aan op basis van nieuwe inzichten. De 5 of 6 belangrijkste wensen waar je op gaat vergelijken dienen jullie goed te operationaliseren.

Toets alle concepten aan alle eisen door middel van berekeningen, beredeneringen, metingen, vergelijkingen, experimenten en/of inschattingen. Geef aan hoe jullie hebben beoordeeld dat een concept aan een eis voldoet. Alleen de concepten die (in potentie) voldoen aan de gestelde eisen worden verder geëvalueerd om een selectie te kunnen maken.

Maak een evaluatie en beargumenteerde keuze tussen de in jullie groep ontwikkelde conceptontwerpen volgens de gewogen criteria methode (zie het hoofdstuk 'Concepten beoordelen met de gewogen criteria methode' verderop in dit document).

Je kunt er in dit stadium ook voor kiezen om – indien mogelijk – elementen van verschillende ontwerpen te combineren tot een uiteindelijk beste gripper.

Jullie keus of combinatie moet aan het begin van de week gemaakt worden. De rest van de week werken jullie met de hele groep aan het verder uitwerken van jullie gezamenlijke ontwerp.

Gekozen concept uitwerken

We willen natuurlijk een zo goed mogelijk ontwerp, met andere woorden we willen de parameters van het ontwerp (zoals bijvoorbeeld de geometrie, wrijving, verliezen, ergonomie etc.) optimaliseren. Hiervoor komen in de loop van de studie verschillende methoden aan de orde.

Bereken of bepaal van het gekozen concept wat in theorie de verplaatsing van de gripperarmen en/of de grijpkracht zou moeten zijn om de te verplaatsen objecten te pakken. Je kan daarvoor Python gebruiken, maar ook een krachtenanalyse uitvoeren, of gebruik maken van de wijze waarop in de verschillende individuele opgaven antwoorden gevraagd worden.

Gebruik deze theoretische uitwerking om de afmetingen van de onderdelen van je ontwerp nader te bepalen en eventueel andere materialen toe te voegen die kunnen assisteren bij het grijpen.

Onderdelen uittekenen

Bepaal alle materialen, geometrie en dimensies en maak met behulp van SolidWorks de 2D tekening van de onderdelen die uit PMMA zullen moeten worden vervaardigd door de lasersnijder.

Voor de lasersnijder dient de CAD tekening te worden omgezet naar een dxf bestand dat de lasersnijder kan verwerken. Volg de instructies voor het aanleveren van een 2D CAD tekening voor de lasersnijder (te vinden op Brightspace).

Week 6

Ontwerp fabriceren en assembleren

Deze week fabriceren jullie je ontwerp. Naast de onderdelen die door de lasersnijder worden vervaardigd uit PMMA kunnen jullie zelf onderdelen maken van bijvoorbeeld, hout, metaal, buizen, balken, standaard onderdelen, etc. Voor deze materialen moeten jullie zelf zorgen.

Een functionerend ontwerp is een voorwaarde om het ontwerpproject (T2.A) af te kunnen ronden. Het mechanisme moet de test zoals in deze opdracht gedefinieerd kunnen uitvoeren.

Om jullie te faciliteren is de Assemblage Werkplaats voor Studenten (AWS) in bouwdeel J.k1 in de kelder wekelijks voor jullie ingeroosterd (zie kleurenrooster). Hier zijn de 3 actuatoren en perslucht aanwezig, maar geen materialen. Gereedschap kun je zelf meenemen of je kunt een gereedschapsbox lenen in de werkplaats (IWS) als je de veiligheidsinstructie hebt gevolgd en het bijbehorende document hebt ondertekend en ingeleverd op Brightspace.

In de AWS gelden de volgende regels:

- Maximaal 60 studenten
- Handboormachines mogen alleen worden gebruikt wanneer je een veiligheidsbril draagt
- Lijmen, epoxy, kitten, en verf e.d. zijn in de AWS ten strengste verboden

Zorg voor wat reserve-onderdelen, er gaat wel eens iets kapot. En maak regelmatig foto's en filmpjes van tussenresultaten en verbeteringen voor op jullie website, wacht daarmee niet tot het laatste moment.

Week 7

Ontwerp testen

Bepaal tijdens jullie ingeroosterde tijd in de AWS (zie kleurenrooster) de werkelijke functionaliteit van jullie grijper. Zorg dat je van tevoren bedacht hebt wat je gaat meten om jouw ontwerp te testen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de knijpkracht die jullie grijper kan leveren en/of

de maximale opening van jullie gripper. Neem dus ook een paar appels mee die de gripper volgens jullie zeker goed moet kunnen pakken.

Zet het theoretisch bepaalde systeemgedrag af tegen de praktisch gemeten waarden, bijvoorbeeld in een tabel of een grafiek getekend met Python. Bespreek kort de overeenkomsten en/of verschillen tussen de theorie en praktijk en natuurlijk het effect van eventueel doorgevoerde verbeteringen in het ontwerp.

Dit is hét moment om een filmpje van het werkende ontwerp inclusief pneumatische actuatoren te maken. Dus zorg dat je niet alleen de hand van de gripper filmt, maar de hele gripper inclusief actuatoren.

Presenteer de testresultaten aan je projectdocent.

Week 8

Ontwerp en proces presenteren

Aan het eind van het project willen we een vergelijkend overzicht van alle resultaten hebben, en moet jullie werk inhoudelijk beoordeeld kunnen worden.

Alle stappen, tussen-, en eindresultaten uit het ontwerpproject moeten daarom worden gepubliceerd op een eenvoudige website.

Op de website moet in ieder geval te vinden zijn:

- Groepsnummer, namen, en een groepsfoto (géén studienummers)
- Programma van Eisen en Wensen
- Morfologische kaart
- De handschetsen van alle concepten van de groep
- Foto's van de proefmodellen van alle concepten van de groep
- De tekening voor de lasersnij onderdelen
- Een video (max. 2 minuten) waarin te zien is hoe de gripper de opdracht uitvoert

Op Brightspace komt informatie over het maken van een website.

Zorg er voor dat er geen studienummers op jullie website komen. Denk er aan dat de website wellicht nog voor langere tijd (jaren) online blijft staan. Het groepsnummer en de voor- en achternamen van de studenten in de groep zijn genoeg.

Week 9

Peer review van de ontwerpen

Beoordeel de ontwerpen van de andere groepen uit jullie cluster via een peer review. De bedoeling is dat jullie op basis van wat op de websites wordt gepresenteerd beredeneren en inschatten welk grijperontwerp het beste zal voldoen om zo het beste grijperontwerp van het cluster te kunnen bepalen.

De manier waarop de peer review van de grijperontwerpen zoals gepresenteerd op de websites zal plaatsvinden wordt op een later moment via Brightspace toegelicht.

Criteria, specificaties, en het programma van eisen en wensen

Voor elk ontwerp gelden bepaalde voorwaarden, doelen, en beperkingen. Deze criteria en specificaties leg je vast in een programma van eisen en wensen.

Criteria vormen de meetlat waarmee een ontwerp beoordeeld gaat worden. Maar ze zijn ook nodig om duidelijk vast te leggen wat het ontwerpdoel precies is.

Eisen versus wensen

Er zijn twee soorten criteria. *Eisen* zijn criteria waar het ontwerp minimaal aan moet voldoen. *Wensen* zijn de criteria waarmee de doelen voor een optimaal ontwerp beschreven worden.

Eisen zijn altijd zwart/wit geformuleerd. Iets voldoet wel of iets voldoet niet. Er moet dus een duidelijke grens gesteld worden. In eisen zijn vaak minima en maxima vastgelegd. Een systeem moet bijvoorbeeld minimaal een massa X kunnen dragen, of zal maximaal een grootte Y mogen hebben.

Wensen zijn vaak criteria op een doorlopende schaal. Een systeem moet bijvoorbeeld zo veel mogelijk gewicht kunnen dragen. Of een handeling zo snel mogelijk uitvoeren. Of de afmeting van een bepaald onderdeel moet geminimaliseerd worden.

Regelmatig is het zo dat er sets van eisen en wensen zijn waarbij de wens een algemene maatstaf definieert, en er in een eis vastgelegd wordt wat de minimaal of maximaal acceptabele waarde is. Een mechanisme moet bijvoorbeeld zo nauwkeurig mogelijk zijn (wens) en in ieder geval mag de afwijking nooit groter zijn dan 5 honderdsten millimeter (eis).

Er zijn ook veel criteria die enkel onder eisen, of enkel onder wensen vallen. Het kan bijvoorbeeld heel goed dat een ontwerp binnen een bepaald maximaal volume moet passen (in een doos, op een pallet), maar dat het daarbinnen geen voordeel meer biedt om zo klein mogelijk te zijn.

Toetsbaarheid

Criteria waarvan je niet kunt bepalen of een ontwerp eraan voldoet zijn nutteloos.

Neem bijvoorbeeld de wens “het ontwerp moet gemakkelijk te produceren zijn”. Wat betekent “gemakkelijk” hier? Dit criterium is te algemeen geformuleerd. Is het belangrijk dat het snel te produceren is? Met weinig energie? Op een manier die voor ongeschoolde werknemers te begrijpen is? Of willen we vooral dat het weinig arbeid kost? Of simpelweg dat het goedkoop is? Of met weinig investering in nieuwe productiemiddelen? Dit zijn allemaal verschillende manieren om dit criterium concreter te maken. In het ene project zal de ene de overhand hebben, in een ander zal het vooral om één van de andere punten draaien. Het verhelderen van de specifieke technische betekenis heet het *operationaliseren* van criteria.

Een criterium is pas nuttig in een ontwerpproject wanneer het niet alleen operationeel maar ook *toegankelijk* is. Het moet binnen de planning en met de beschikbare middelen te toetsen of te modelleren zijn. Neem bijvoorbeeld deze voor de hand liggende eis: “het nieuwe systeem moet beter verkopen dan de huidige versie”. Dit criterium is goed geoperationaliseerd. Wanneer het nieuwe product op de markt is zal het na verloop van tijd ondubbelzinnig duidelijk worden of het ontwerp aan dit criterium voldoet. Maar tijdens het ontwerpproces heb je weinig aan dit criterium. De enige manier om de test voor dit criterium uit te voeren is door het product daadwerkelijk op de markt te brengen. Dit helpt natuurlijk niet bij het nemen van ontwerpbeslissingen vóór die tijd.

Goede, bruikbare criteria moeten toetsbaar zijn geformuleerd: concreet *geoperationaliseerd* en praktisch *toegankelijk*.

Criteria versus specificaties

Wanneer er in een programma van eisen en wensen criteria staan zoals “het mechanisme moet zo veel mogelijk in staal uitgevoerd zijn” terwijl het eigenlijke doel is om een zo sterk en stijf mogelijke constructie te ontwerpen, dan is de ontwerpvrijheid nodeloos ingeperkt. Misschien is er immers een oplossing in bijvoorbeeld vezel versterkt kunststof te ontwikkelen die niet alleen sterk genoeg, maar ook lichter en sneller te produceren is.

Een dergelijke eis is eigenlijk geen criterium, maar een *specificatie*. In plaats van een meetlat om het ontwerp mee te beoordelen is het een voorgeschreven of al genomen ontwerpbeslissing. Criteria moeten *oplossingsonafhankelijk* zijn. Het programma van eisen en wensen moet het te bereiken doel beschrijven, niet de oplossing voorschrijven.

Voor bijna elk ontwerp gelden echter wel degelijk specificaties. Bepaalde maten liggen bijvoorbeeld al vast, of er moet van de opdrachtgever gebruik gemaakt worden van een standaard aandrijving of controlemechanisme.

Neem deze specificaties op onder een los kopje in het programma van eisen en wensen (dat dus eigenlijk een ‘programma van eisen, wensen, en specificaties’ is).

Alternatieven verzamelen in een morfologische kaart

Een morfologische kaart is een manier om systematisch alternatieve opties voor deelfuncties te verzamelen en presenteren. Het is een hulpmiddel om de oplossingsruimte te verkennen en om een aantal fundamenteel verschillende conceptrichtingen te bepalen.

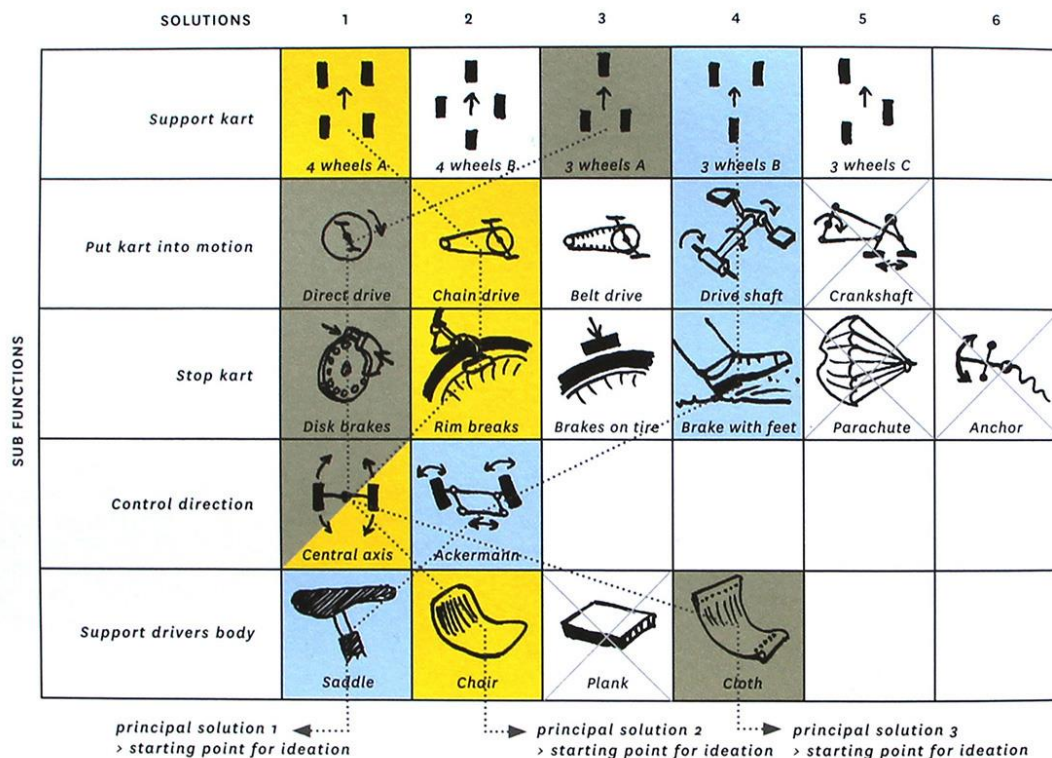
Vorm

De vorm van een morfologische kaart is een eenvoudige tabel met in de meest linker kolom de belangrijkste deelfuncties of -problemen onder elkaar, en in de rijen daarnaast kleine schematische tekeningen van mogelijke alternatieven, aangevuld met een beschrijving van de deeloplossing in één of enkele kernwoorden.

Voorbeelden

Buttondelen invoeren	 Met de hand...	 In schuiflade/strip...	 Gleuf...					
Matrijs wisselen	 Scherpen...	 Draaien...	 Revolver...	 Verticaal roteren...	 Diagonaal schuiven...	 180° draaien...		
Rotatie omzetten naar persbeweging	 Stangen...	 Hebarm-pers...	 Heupelpers...	 Schroefpers...	 Krukpers...	 Solenoid...	 Heupel-hefboom...	 Spie-lenzen...
Button uitwerpen	 Uitschotpin...	 Matrijs omkeren	 Met de hand...	 Vakuum...				
Vingers van gebruiker beschermen	 Klapmechanisme...	 Pers ontgevoelbaar...	 "Black-box"...					

Morfologische kaart voor een elektrische buttonpers (werk van een tweedejaars student)



Morfologische kaart voor een skelter, waarin 3 combinaties van deeloplossingen zijn geselecteerd om door te ontwikkelen tot concept (uit: Van Boeijen et al. 2013)

Aanpak

Om alle mogelijkheden te verkennen is het goed om vroeg in een ontwerpproject zo veel mogelijk ideeën te verzamelen. Je hoeft nog niet 100% zeker te weten of een bepaald mechanisme goed gaat werken of niet. In dit stadium is het belangrijker om geen oplossingen over het hoofd te zien en om niet alleen de voor de hand liggende oplossingen te bedenken, maar zo veel en zo divers mogelijk. Je kunt hiervoor een brainstormsessie houden.

Stap 1: Deelfuncties formuleren

Begin door de (4 tot 6) belangrijkste deelfuncties te formuleren. De formulering van een functie bevat altijd een zelfstandig naamwoord én een werkwoord (zie de voorbeelden hierboven).

Stap 2: Deeloplossingen schetsen

Eén voor één kun je voor alle deelproblemen zo veel mogelijk oplossingsrichtingen bedenken. Dit kunnen nieuwe ideeën zijn, maar ook bestaande mechanismen en deeloplossingen. Probeer

in dit stadium geen kritiek te hebben op de oplossingsideeën. Vreemde, onpraktische, of vrij onhaalbare ideeën, kunnen onverwacht tot nieuwe goede ideeën leiden.

Teken (en beschrijf) eerst alle ideeën en ga ze daarna pas ordenen, beoordelen op bruikbaarheid, en eventueel nog aanpassen of verbeteren.

Stap 3: Maak een morfologische kaart

Verzamel de resultaten in een morfologische kaart.

Stap 4: Zoek kansrijke combinaties

Deeloplossingen kunnen worden gecombineerd tot totaaloplossingen. Vaak is het zo dat er logische combinaties te vinden zijn, en combinaties van deeloplossingen die juist niet goed bij elkaar passen.

Tijdens het materialiseren van een bepaalde combinatie van deeloplossingen tot een conceptontwerp ontdek je vaak nog onverwachte voordelen, problemen, en mogelijkheden. Omdat je tijdens het ontwikkelen van concepten nog veel gaat ontdekken, en er voor die tijd dus nog veel onzeker is over wat de beste oplossing is, is het belangrijk om een aantal fundamenteel verschillende combinaties uit de morfologische kaart te kiezen om door te ontwikkelen.

Concepten beoordelen met de gewogen criteria methode

Ontwerpen is compromissen sluiten. Sterk versus licht, duurzaam versus goedkoop, snel versus betrouwbaar. Het komt niet of nauwelijks voor dat van een aantal concepten er één op alle punten het beste presteert. Voor het beoordelen van alternatieve oplossingen met elk hun eigen sterke en zwakke punten, en voor het overtuigend beargumenteren van die keuze, bestaan verschillende methoden. Hier wordt een stappenplan gegeven voor één van deze methoden: de *gewogen criteria methode*.

Stap 1: Selecteer de relevante criteria

Als het goed is voldoen alle concepten (in potentie) aan alle eisen uit het programma van eisen en wensen. Deze harde criteria zijn immers de grens waar een ontwerp *minimaal* aan moet voldoen.

We zijn echter niet op zoek naar het eerste de beste ontwerp dat voldoet, maar naar het ontwerp met de *beste* verzameling van eigenschappen. Om te beoordelen welke dit is gebruiken we de criteria onder wensen.

Kies de 5 of 6 belangrijkste criteria (wensen) om de ontwikkelde concepten op te beoordelen.

Stap 2: Rangschik de criteria van meest naar minst belangrijk

Niet elk criterium weegt even zwaar. Het één is belangrijker dan het ander. Eerst bepalen we de volgorde van de criteria van meest naar minst belangrijk en pas daarna het relatieve gewicht (stap 3).

Maak een tabel waar de criteria tegen elkaar uitgezet worden. Bepaal per rij steeds of een criterium belangrijker of minder belangrijk is dan het criterium in de kolom erboven.

Bijvoorbeeld:

	vermogen	snelheid	kosten	duurzaamheid	uiterlijk	score
vermogen	0	–	–	+	+	2
snelheid	+	0	+	+	+	4
kosten	+	–	0	+	+	3
duurzaamheid	–	–	–	0	–	0
uiterlijk	–	–	–	+	0	1

Onderlinge vergelijking van criteria op belangrijkheid

Het gedeelte linksonder de diagonaal van nullen is het spiegelbeeld van het gedeelte rechts erboven. Wanneer 'snelheid' belangrijker wordt gevonden dan 'kosten', dan staat er in de rij naast 'snelheid' een '+' in de kolom onder 'kosten', en in de rij van 'kosten' een '-' in kolom 'snelheid'.

Verwijs in een tabel als deze niet naar criteria met cijfers (1, 2, 3, ...) of letters (A, B, C, ...), maar vat de criteria in 1 of 2 kernwoorden samen. Dit vergroot de leesbaarheid aanzienlijk.

De volgorde van belangrijkheid volgt uit de totaalscore (het aantal plusjes) per criterium.

Stap 3: Bepaal weegfactoren

De scores uit de tabel in stap 2 zeggen alleen iets over de volgorde van belangrijkheid. Er kan niet uit afgeleid worden hoe groot de afstand tussen criteria is, hoe veel belangrijker het ene criterium wordt gevonden ten opzichte van een ander. Dat het belangrijkste criterium '4' scoorde, wil niet zeggen dat die dubbel zo belangrijk is als een criterium dat '2' scoorde. Het kan bijvoorbeeld zijn dat 3 criteria onderling maar weinig in gewicht verschillen maar wel allemaal veel belangrijker zijn dan de andere 2. Of dat er juist 1 boven alles belangrijk is, en alle andere criteria er in verhouding nauwelijks toe doen.

Maak een schaal van 1 tot 10 waarbij het belangrijkste criterium de waarde '10' heeft. Bepaal het relatieve gewicht van de andere criteria door ze op deze schaal te plaatsen.

Met één en dezelfde volgorde kan dit tot heel verschillende uitkomsten leiden:

10 — snelheid	10 — snelheid
9	9 — kosten
8	8
7 — kosten	7 — vermogen
6	6
5 — vermogen	5
4 — uiterlijk	4
3	3 — uiterlijk
2 — duurzaamheid	2
1	1 — duurzaamheid

Criteria in dezelfde volgorde van belangrijkheid, met verschillende verhoudingen van weegfactoren

Stap 4: Beoordeel de concepten


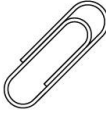

De volgende stap is om de concepten te scoren op elk van de criteria.

Gebruik voor alle criteria een vijfpuntschaal:

1. Slecht
2. Matig
3. Gemiddeld
4. Goed
5. Uitstekend

Wanneer er criteria zijn waar met enige betrouwbaarheid een kwantitatieve waarde aan te geven is (zoals gewicht of prijs) moeten die omgerekend worden naar een schaal van 1 t/m 5. Wanneer de minimale en maximale waarden niet bij alle criteria gelijk zijn, dan zal de totaalscore een vertekend beeld geven.

Bepaal per criterium een score voor elk van de concepten. Vergelijk steeds alle concepten op één bepaald criterium zodat helder wordt hoe de relatieve scores van de concepten op dat punt te onderbouwen zijn.

criterium	gewicht	 nietje		 paperclip		 spiraal	
		score	gewogen	score	gewogen	score	gewogen
snelheid	10	5	50	4	40	2	20
kosten	7	5	35	5	35	1	7
vermogen	5	3	15	1	5	5	25
uiterlijk	4	3	12	1	4	5	20
duurzaamheid	2	5	10	4	8	2	4
			124		92		76

Vergelijking van concepten d.m.v. gewogen criteria (op basis van: Van Boeijen et al. 2013)

Sorteer de criteria aflopend op volgorde van gewicht. Dit maakt de evaluatietabel makkelijker te lezen. Gebruik ook in deze tabel geen cijfers of letters om naar criteria verwijzen. Geef de concepten in plaats van nummers een naam en gebruik een kleine schematische tekening van het ontwerp. Dit vergroot de duidelijkheid aanzienlijk.

Stap 5: Analyseer en bediscussieer het resultaat

De gewogen criteria methode levert niet automatisch het 'goede' antwoord op. Het is slechts een hulpmiddel bij het maken van een afweging. Het volgen van deze methode dwingt je om aannames en inschattingen op een logische manier te kwantificeren en om daar discussies over te voeren. Ook is het een manier om de gemaakte afwegingen duidelijk te presenteren.

In het voorbeeld in stap 4 is er een duidelijke 'winnaar'. Het nietje scoort het hoogst als ontwerp voor het bundelen van los papier. Maar het verschil is lang niet altijd zo afgetekend. En wat zou

er gebeuren wanneer het criterium uiterlijk of vermogen (max. aantal vellen papier) in dit project belangrijker waren geweest dan snelheid en/of kosten?

Voer een discussie over het resultaat van de beoordeling. Kloppen de scores? Of wringt er iets? Moeten sommige gewichten bij nader inzien niet toch net anders bepaald worden? Bij welke waarden zou een ander concept de voorkeur krijgen? Is een bepaald concept misschien gemakkelijk te verbeteren waardoor de keuze anders uit zou vallen? Of moet een hoge score juist met een korrel zout genomen worden door onzekerheden in het ontwerp?

Schrijf op basis van de discussie een beknopte conclusie (max. 150 woorden) waarin de uiteindelijke keuze beargumenteerd wordt als toevoeging bij de (aangepaste) evaluatietabel.

Literatuur

Boeijen, A. G. C. van, Daalhuizen, J. J., Zijlstra, J. J. M., & Schoor, R. S. A. van der (Eds.). (2013). *Delft Design Guide*. Amsterdam: BIS Publishers.

Cross, N. (2000). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (Third Edition). Chichester: Wiley.

Roozenburg, N. F. M., & Eekels, J. (1998). *Productontwerpen, structuur en methoden* (Tweede Druk). Den Haag: Lemma.