

Visualisatiemethoden voor Multidimensionale Vergelijkingen

Verslag



Opdrachtgever:

H. Tragter

Begeleider:

H. Tragter

2^e lid Examencommissie:

Prof. W. Poelman

UT/IO 2011-04/2011-08

Datum: 22 augustus 2011

Aantal: 3 + digitaal

Aantal Pagina's: 69

Effectief aantal Pagina's: 60

Bijlagen: apart geleverd

Postadres:

Universiteit Twente

Industrieel Ontwerpen

t.a.v. de heer H. Tragter

Gebouw Horst, kamer W.262

Postbus 217

7500 AE Enschede

Voorwoord

Dit onderzoek is begin april 2011 gestart vanuit het kader van een Bachelor opdracht voor de studie Industrieel Ontwerpen aan Universiteit Twente. Dit onderzoek wordt intern, binnen de vakgroep Ontwerp, Productie en Management verricht onder leiding van de heer H. Tragter. Naast opdrachtgever voor dit onderzoek is hij ook begeleider en expert op het gebied van Computational Synthesis systemen. Dank gaat uit naar de heer Tragter voor de begeleiding, controle en informatie.

Ter afsluiting van dit onderzoek wordt een presentatie en discussie gehouden over de voortgang en resultaten. Naast de heer Tragter zal ook Prof. W. Poelman aanwezig zijn. Ook hij wordt bedankt voor zijn tijd en oordeel over het onderzoek.

Een grote invloed in dit onderzoek zijn de gebruikstesten die afgenomen zijn bij willige personen. Zonder hun waren er geen resultaten geweest en had dit onderzoek dus ook niet afgerond kunnen worden. Daarom gaat ook naar alle personen die tijd en moeite hebben genomen om een gebruikstest te maken veel dank uit.

Samenvatting

In opdracht voor Ontwerptechniek, een groep binnen de vakgroep Ontwerp, Productie en Management aan Universiteit Twente, wordt er onderzoek gedaan naar het verbeteren van de Graphical User Interface voor een Synthesis Software Tool. Deze software heeft al positieve resultaten geboekt, maar de keuze-kwaliteit van de gebruiker is nog niet optimaal. De huidige en een eerdere versie van de Graphical User Interface zijn onderzocht, waaruit geconcludeerd is dat er onderzoek gedaan moet worden naar visualisatiemethoden voor het vergelijken van parameters. Ook was nog weinig bekend over het gebruik van ontwerpdomeinen met een complexiteit hoger dan twee dimensies. Deze twee onderwerpen zijn samengevoegd tot één onderzoek naar visualisatiemethoden voor multidimensionale vergelijkingen.

Vanwege een tekort aan literatuur voor de specificaties van dit onderzoek, is er besloten om een gebruikstest te maken. Deze gebruikstest is in de vorm van een software programma gemaakt en online gepubliceerd. Er zijn resultaten van 23 gebruikers uit de test gekomen. Vanwege de gecompliceerde aard van de gebruikstest moesten gebruikers eerst instructies doorlopen voordat ze aan de deeltesten begonnen en aan het einde van de test was een kleine enquête waar de mening van de gebruiker werd gevraagd. Deeltesten zijn gedaan voor drie, vijf en tien parameters. Daarmee zijn vier visualisatiemethoden onderzocht, namelijk: Lijn Methode, Spreidplot Matrix Methode, Multidimensionale Methode en Tabel Methode.

De gebruikers waarderen de Lijn Methode op alle fronten (duidelijkheid, gebruiksgemak en intuïtie) het hoogst. Ook is bij deze methode het minste aantal handelingen nodig om tot een oplossing te komen. Wanneer het gaat om tijd scoort de Multidimensionale Methode het best, maar deze was op alle andere vlakken matig tot slecht. Zowel de Tabel Methode als de Lijn Methode scoren erg goed bij het aantal Pareto-optimale oplossingen en de kwaliteit van de gekozen oplossingen. De Tabel Methode deed het bij handelingen en tijd het slechtst en de Spreidplot Matrix Methode was op alle fronten matig tot slecht. Met een toenemende complexiteit van het ontwerpdomein wordt het deel Pareto-optimale oplossingen automatisch groter. Bij tien parameters was het aantal Pareto-optimale oplossingen zelfs 95%. Gebrek aan ervaring van gebruikers aan het begin van de gebruikstest heeft in een zodanige mate invloed gehad op de resultaten dat er niet veel te zeggen is over invloed van toenemende complexiteit van een ontwerpdomein. Toch lijkt het erop dat gebruikers moeite hebben gehad om goede oplossingen te vinden bij een vergelijking van tien parameters.

Aan de hand van dit onderzoek wordt geadviseerd om een Lijn Methode te gebruiken voor de Synthesis Software Tool bij multidimensionale ontwerpdomeinen. Daarnaast zijn geen duidelijke conclusies getrokken uit de toenemende complexiteiten van een ontwerpdomein, maar is hier wel meer inzicht op gekomen.

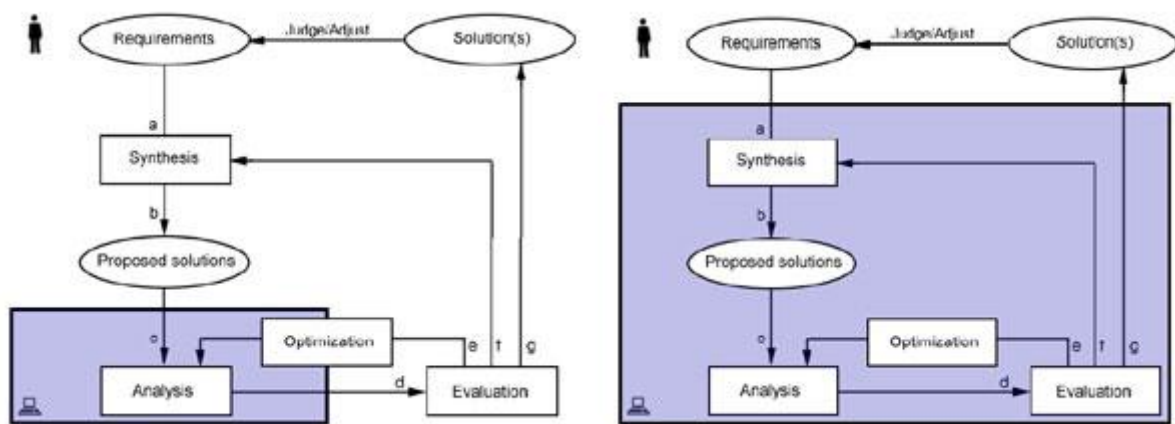
Inhoudsopgave

INLEIDING	6
OPDRACHT OMSCHRIJVING.....	7
A. INTRODUCTIE.....	8
1. VEE.EX	9
2. OPLOSSINGEN	13
3. GEBRUIKSONDERZOEK 2010	15
B. ONDERZOEK.....	17
1. GEBRUIKSTEST	18
2. VISUALISATIEMETHODEN	21
3. GEREEDSCHAPPEN.....	34
4. GUI	36
5. VERZAMELING VAN GEGEVENS	41
C. RESULTATEN	42
1. OPLOSSING-SETS.....	43
2. METHODEN	45
3. PARAMETERS	53
4. ALGEMEEN	55
5. CONCLUSIES RESULTATEN	58
D. AFSLUITING	59
1. IMPLEMENTATIE BIJ VEE.EX GUI	60
2. CONCLUSIE	62
3. DISCUSSIE.....	63
4. AANBEVELINGEN.....	65
E. APPENDIX	66
1. BEGRIPPENLIJST	67
2. LITERATUURLIJST.....	68

Inleiding

Met de introductie van de computer is de ontwikkeling van technologie in de wereld versneld. Nieuwe technieken worden in een hoog tempo aan onze kennis toegevoegd en simulaties kunnen door computers sneller en preciezer worden uitgevoerd. Computer Aided Design¹ (CAD)-systemen hebben een grote invloed in de ontwerpwereld, waarbij ontwerpers gemakkelijker, sneller en met meer trefzekerheid het ontwerpproces kunnen doorlopen.

Helaas zijn de CAD-systemen vooral gericht op modelleren van vormen. Dit is enkel een onderdeel van het gehele ontwerpproces. Verbazingwekkend is dat ondanks de grote ontwikkelingen op het gebied van computers en CAD, er nog geen of nauwelijks systemen ontwikkeld zijn die in de creatieve fase van het ontwerpproces helpen. Het is niet ondenkbaar dat computers oplossingen vinden voor ontwerpproblemen.



Figuur 1: Links het ontwerpproces zoals het nu is, rechts het ontwerpproces zoals het in de toekomst kan zijn. Onderdelen in het dichte vlak kunnen gedaan worden door een computer. (Tragter, Engineering Process sd)

Binnen Ontwerptechniek (OT), een groep van ruim 30 werknemers van Universiteit Twente en de vakgroep Ontwerp, Productie en Management (OPM), wordt onderzoek gedaan naar een dergelijk systeem. Dit systeem wordt een Computational Synthesis² (CS)-systeem genoemd en binnen de vakgroep wordt dit uitgewerkt als Synthesis Software Tool (SST). Via Antwork Engineering Software is een eenvoudige versie op de markt gebracht onder de naam Vee.eX (Virtual Engineering Expert). Het kan worden gebruikt door bedrijven of instanties met routinematige ontwerpproblemen³. Uit onderzoek blijkt dat gebruik van synthese software de ontwerptijden verkort met 43%, ontwerpfouten met 38% verlaagd, kwaliteit van ontwerpen 5.0% hoger wordt en een 70% lagere ontwerpkwaliteit-variatie tot gevolg heeft. (Tragter, van Houten, et al. 2010)

¹ Computer Aided Design (CAD) = Software die gebruikt kan worden bij het ontwerpproces.

² Computational Synthesis Systeem (CS-systeem) = CAD systeem dat zich richt op het maken van oplossingen voor een ontwerpprobleem.

³ Routinematige Ontwerpproblemen = Een probleem dat zich herhaalt, maar dezelfde kennis gebruikt.

Opdracht omschrijving

Het doel van de opdracht is om onderzoek te doen naar mogelijke verbeteringen in de huidige Graphical User Interface⁴ (GUI) van Vee.eX. De opdracht wordt uitgevoerd in het kader van een Bachelor Opdracht voor de studie Industrieel Ontwerpen aan Universiteit Twente. Deze opdracht is in afsluiting voor de Bachelor studie en vergt een doorlooptijd van drie kalendermaanden, met een maximale uitloop van nog eens drie maanden, waarin effectief fulltime gewerkt wordt.

De opdracht zal resulteren in één of meerdere aanbevolen concepten van de GUI of een gedeelte hiervan, uitgewerkt in een scenario. Daarnaast zullen in dit verslag alle onderzoeksresultaten bijgehouden worden. Na afloop worden onderzoek en resultaten gepresenteerd.

⁴ Graphical User Interface (GUI) = De interface waar de gebruiker van het systeem mee werkt.

A. INTRODUCTIE

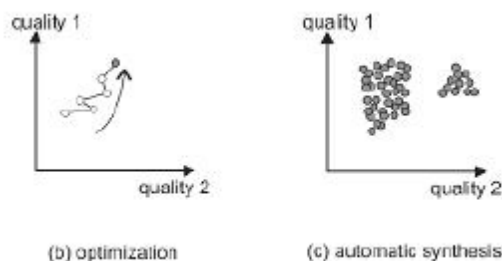
1.	VEE.EX	9
	<i>Product</i>	9
	<i>Het Systeem</i>	10
	<i>Beperkingen</i>	10
	<i>Actoren</i>	11
2.	OPLOSSINGEN	13
	<i>Parameters</i>	13
	<i>Optimale oplossing</i>	13
3.	GEBRUIKSONDERZOEK 2010	15
	' <i>How Synthesis Software Affects Engineering Design Tasks</i> '	15
	' <i>Synthese Software – Beter en sneller ontwerpen zonder kennis?</i> '	16

1. Vee.eX

In de inleiding is een korte beschrijving gegeven van de Vee-ex software. In dit hoofdstuk wordt dit uitgebreid. De informatie in dit hoofdstuk is voor een groot deel verkregen uit een interview met één van de bedenkers en expert van het CS-systeem, Hans Tragter (Bijlage 1), en van de website van Vee.eX zelf (vee.ex software 2011). Opgemerkt moet worden dat het CS-systeem in ontwikkeling onder de SST valt. Maar, omdat voor dit onderzoek de laatst uitgewerkte versie de Vee.eX software betreft, zal met name die versie als vergelijking worden gebruikt.

Product

Vee.eX is een beperkt CS software product, waarbij de focus ligt op het genereren van oplossingen. Dit product kan gebruikt worden bij routinematige ontwerpproblemen (of andere routinematige vraagstukken) en genereert een groot aantal oplossingen voor het probleem. Normaal gesproken



Figuur 2: Handmatige optimalisatie (b) of gegenereerde oplossingen (c). (Meijer en Ergül 2010)

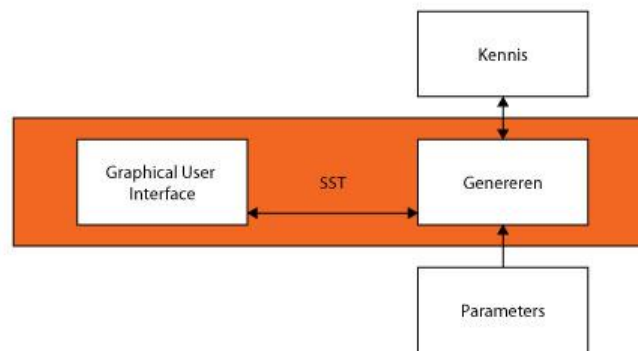
zouden gebruikers een dergelijk probleem handmatig aanpakken en via een aantal iteraties tot een oplossing komen. De Vee.eX pakt dit op een kwantificeerbare manier aan. Beide methoden zijn in figuur 2 geïllustreerd. Bij de laatste methode worden oplossingen door de computer gegenereerd. Dit proces gaat snel en omdat er veel oplossingen zijn, zit er altijd wel één tussen die aan de wensen van de gebruiker voldoet. Dat de gebruiker zelf een keuze maakt uit de oplossingen is een belangrijk concept

van de software. Het geeft een gebruiker de ruimte om het alternatief van zijn of haar voorkeur te selecteren, bijvoorbeeld wanneer er ondanks grotere onderhoudskosten toch liever een 'houten' variant wordt genomen. De Vee.eX maakt gebruik van ingebouwde kennis en ervaring zodat de software specifieke ontwerpproblemen kan oplossen, maar ook om deze informatie op te slaan en altijd paraat te hebben. De software wordt gebruikt om:

- oplossingen te creëren
- snel inzicht te geven in het ontwerpprobleem
- een geschikte oplossing te kiezen
- hogere en meer constante kwaliteit van oplossingen te krijgen
- korte doorlooptijden te hebben
- kennis te waarborgen

Het Systeem

Om de Vee.eX software te kunnen integreren in verschillende ontwerpomgevingen is het systeem modulair opgebouwd. In figuur 3 zijn de algemene bouwblokken schematisch weergegeven.



Figuur 3: Algemeen overzicht modules SST.

Parameters en Kennis variëren per ontwerpdomein⁵ en moeten per toepassing ontworpen worden, deze worden dan ook als aparte regels buiten het systeem toegevoegd. Daarnaast zit binnen het systeem een genereer-gedeelte dat de oplossingen creëert en de GUI vormt de interactie tussen de gebruiker en het systeem. Het genereer-gedeelte en de GUI staan vast en kunnen voor elk ontwerpdomein gebruikt worden. De taken van het systeem (en gebruiker) worden het best beschreven door de heer Tragter zelf:

“Het is aan de gebruiker om een voorkeurs- of voorkennis-range te kiezen. Vervolgens is de taak van het systeem om binnen de constraints van de ontwerpregels en de gebruikerswensen een geschikte set parameterwaarden te genereren. Iedere set waarden is een mogelijke oplossing.” (Tragter, Bespreking 17 augustus 2011)

Beperkingen

Zoals eerder aangegeven, is de functionaliteit van Vee.eX beperkt. Met deze software kunnen alleen oplossingen gevonden worden voor ontwerpdomeinen waar het aantal parameters vastligt en om de gebruiker daadwerkelijk te kunnen assisteren moet er een duidelijke voorkeur in waarden van een parameter aanwezig zijn. Niet één enkel systeem kan gebruikt worden voor elk ontwerpdomein. Per probleem moeten parameters en kennis in het systeem gezet worden. Oplossingen die door het systeem worden gegenereerd zijn altijd nul-dimensionaal, waardoor er alleen een oplossing is als alle parameters een vaste waarde hebben.

Het systeem zelf genereert oplossingen gebaseerd op willekeurige waarden binnen de ingestelde ranges⁶ en het wordt aan de gebruiker overgelaten om een goede oplossing te kiezen. Alleen de GUI kan de gebruiker helpen met het maken van een keuze. Bovendien kan ongelukkig een hele serie ‘slechte’ oplossingen worden gegenereerd, maar deze kans wordt zeer klein gemaakt door het grote aantal oplossingen dat gecreëerd kan worden.

⁵ Ontwerpdomein = Het bereik waarbinnen ontworpen mag worden zonder dat de oplossing van definitie veranderd.

⁶ Range = Minimale en/of maximale waarden dat een parameter mag aannemen.

Actoren

De term ‘gebruikers’ is in dit onderzoek al een aantal keer langsgekomen, maar wie worden hier nu precies mee bedoeld en welke andere stakeholders hebben met dit product te maken?

Facilitaire Stakeholders.

Het algemene programma wordt gemaakt door een software engineer. Deze zorgt ervoor dat de vastgestelde functionaliteiten in de software worden opgenomen. Daarnaast is er een gedeelte dat per ontwerpprobleem verschilt. Dit moet in samenwerking met de klant gemaakt worden, die in principe het ontwerpprobleem geeft. Een Kennis Technoloog zal in samenwerking met de klant of een expert van de klant het ontwerpdomein ontleden in parameters en kennis. De Kennis Technoloog moet verstand hebben van de werking van het programma, maar kan het echte programmeerwerk aan de Software Engineer overlaten. Opgemerkt moet worden dat er momenteel geen ‘tool’ aanwezig is waarmee de klant zelf een ontwerpdomein kan definiëren en in het programma zetten.

Klant Vee.ex.

Met de huidige status van het programma is het nog onduidelijk wie de software precies gaan aanschaffen. De focus ligt voornamelijk op routinematige ontwerpproblemen vanwege hoge aanschafkosten van het product en de slechte aanpasbaarheid van het ontwerpprobleem. Mogelijk zou kunnen zijn dat het ook rendabel is bij zeer complexe ontwerpproblemen, zo is er al een versie die configuraties voor een bagage-transportstelsel voor een luchthaven genereert.

Het maken van iets moois komt niet in aanmerking voor dit stelsel, maar het domein hoeft niet binnen de tak ‘ontwerpen’ te zitten. Of dit ontwerpdomein komt vanuit een economisch oogpunt, de fysica of een combinatie van takken is geen probleem. Eisen vanuit de klant zullen neerkomen op lage kosten voor de aanschaf/ontwikkeling van het programma en de kwaliteit van de uitkomsten.

Gebruikers Vee.eX.

Ook zijn gebruikers moeilijk te definiëren vanwege onduidelijke toepassing. Zo wordt het programma hoogstwaarschijnlijk gebruikt door iemand van de ontwerpafdeling, maar het zou ook mogelijk zijn om de software online te zetten zodat klanten een ontwerpkeuze kunnen maken en direct bestellen. Gebruikers worden onderverdeeld in drie typen: specialist, ontwerper en willekeurige gebruiker. Deze zullen in meer detail worden besproken.

Met een specialist wordt bedoeld dat de persoon ruim ervaren is in het handmatig oplossen van het ontwerpprobleem. De specialist zal het programma kunnen gebruiken om overzicht te krijgen in de oplossingsreeks en zo parameters te optimaliseren voor het maken van een keuze. Twee aannames worden gemaakt: De specialist heeft hoogstwaarschijnlijk zelf het ontwerpprobleem gedefinieerd en de specialist heeft weinig ervaring met het programma (en computers). Het eerste betekent dat de gebruiker over volledige kennis beschikt betreffende het ontwerpprobleem, waardoor de juiste ranges snel ingevuld zullen zijn en er gedetailleerd naar oplossingen gezocht kan worden. Aan de andere kant heeft de specialist weinig tot geen ervaring met de software, waardoor het navigeren van binnen de GUI lang kan duren.

Ontwerpers zijn gebruikers die juist ervaring hebben met CAD tools en ontwerpproblemen. Ze gebruiken het programma voor de selectie van een oplossing in een specialistisch gebied. De ontwerpers hebben weinig tot geen kennis van het ontwerpprobleem, dus worden parameters veel ruimer tot niet ingevuld. Met behendigheid in het programma kan toch een redelijke oplossing gekozen worden.

Naast de twee bovenstaande groepen zijn ook willekeurige gebruikers een mogelijkheid. Deze gebruikers zullen gericht zoeken naar een oplossing voor hun ontwerpprobleem dat ze éénmalig willen oplossen. De gebruikers hebben matige kennis over het ontwerpprobleem en geen kennis van het programma. Voor deze gebruikers zal functionaliteit specifiek gericht moeten worden naar het vinden van een optimale oplossing. Specifieke kennis hoeven de gebruikers niet te weten, want er wordt niet van uitgegaan dat ze deze kennis herhaaldelijk nodig zullen hebben.

Als de specialist en ontwerper worden bekeken, valt al snel op dat bij veelvuldig gebruik van het programma of ontwerpprobleem deze twee soorten gebruikers in elkaar zullen overlopen. Namelijk, een gebruiker krijgt ervaring en kennis bij het veelvuldig oplossen van dezelfde (of soortgelijke) ontwerpproblemen. Overigens moet niet worden vergeten dat beide typen gebruikers in principe op het laagste niveau beginnen en hier hulp bij nodig hebben. Met de willekeurige gebruiker wordt het meeste rekening gehouden, want de eisen staan gelijk aan de grootste probleemgebieden van beide andere gebruikers.

2. Oplossingen

In dit onderzoek wordt regelmatig gesproken over het zoeken of vinden van een ‘oplossing’. Een dergelijke oplossing is niets anders dan een combinatie van vaste waarden voor alle parameters van het ontwerpdomein. In dit hoofdstuk zal eerst meer worden verteld over de parameters en vervolgens worden onderzocht wat optimale oplossingen zijn.

Parameters

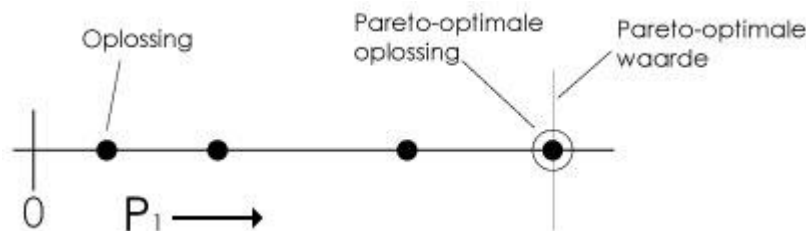
Vee.eX werkt door middel van het vaststellen van variabelen. Als een aantal variabelen vaststaan, kan de rest berekend worden, en als alle variabelen een waarde hebben, is er een oplossing gevonden. Deze variabelen kunnen ook wel verondersteld worden als parameters waar het systeem mee werkt. Het systeem kan alleen oplossingen genereren die parameters bevatten met een uitkomst. Deze parameters kunnen reëel (floating point), discreet (array-entry) of een waarheid (boolean) zijn. Ontwerpdomeinen worden zo algemeen mogelijk in het systeem gezet. Zo min mogelijk parameters staan voorafgaand vast. De gebruiker heeft de vrijheid om parameters aan te passen, zodat ontwerpproblemen in verschillende ranges bekeken kunnen worden. Het aantal variabelen, dat (gedeeltelijk) aangepast kan worden, vormt de dimensie van het ontwerpdomein. Als er twee of meer dimensies zijn, wordt er ook wel gesproken van een multidimensionaal ontwerpdomein. Daarnaast, wanneer er gesproken wordt over een toenemende complexiteit van het ontwerpdomein, wordt bedoeld dat het aantal dimensies omhoog gaat.

Optimale oplossing

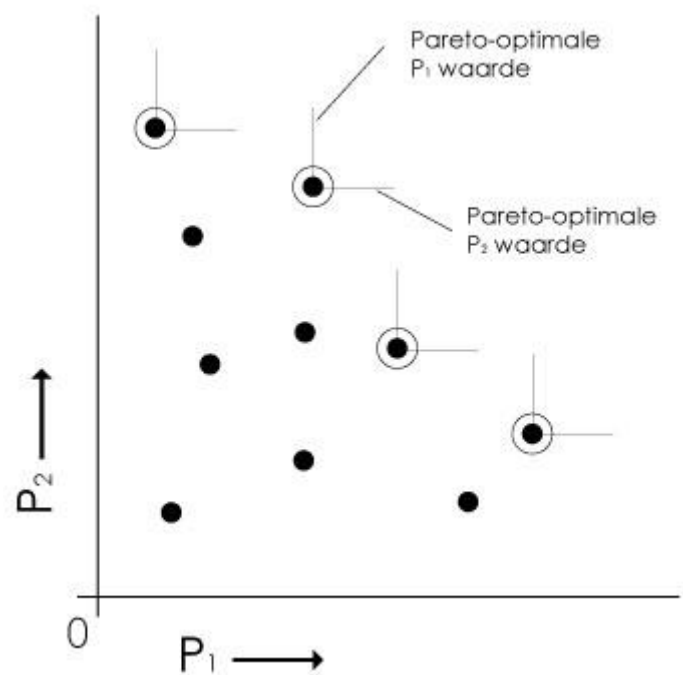
Om een optimale oplossing te vinden, moet ‘optimaal’ gedefinieerd worden. Een bekende manier om optimalisatie binnen een set oplossingen te vinden is het controleren of een oplossing Pareto-optimaal is. Een algemene definitie voor een Pareto-optimale oplossing is gegeven in de ‘Definitie Pareto-optimaal’.

Definitie Pareto-optimaal: Een oplossing $x^* \in S$ is Pareto-optimaal als er geen andere oplossing $x \in S$ bestaat zo dat $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ voor alle $i = 1, 2, \dots, k$ met $f_j(x) < f_j(x^*)$ voor ten minste één $j \in \{1, 2, \dots, k\}$. (Venkat, Jacobson en Stori 2003)

Uit de definitie volgt dat er in een ééndimensionale plot maar één Pareto-optimale oplossing kan zijn (tenzij meerdere oplossingen diezelfde waarde hebben). In figuur 4 wordt dit weergegeven. In multidimensionale verdelingen is het mogelijk om meerdere Pareto-optimale oplossingen te hebben binnen dezelfde oplossingsreeks, zoals ook wel te zien is in figuur 5.



Figuur 4: Een voorbeeld van een set oplossingen in een ééndimensionale ruimte. Pareto-optimale oplossing gegeven bij een zo hoog mogelijke parameter-waarde (P_1) gevraagd. Alle waarden kleiner dan de Pareto-optimale waarde (links van de streep), zijn niet Pareto-optimaal.



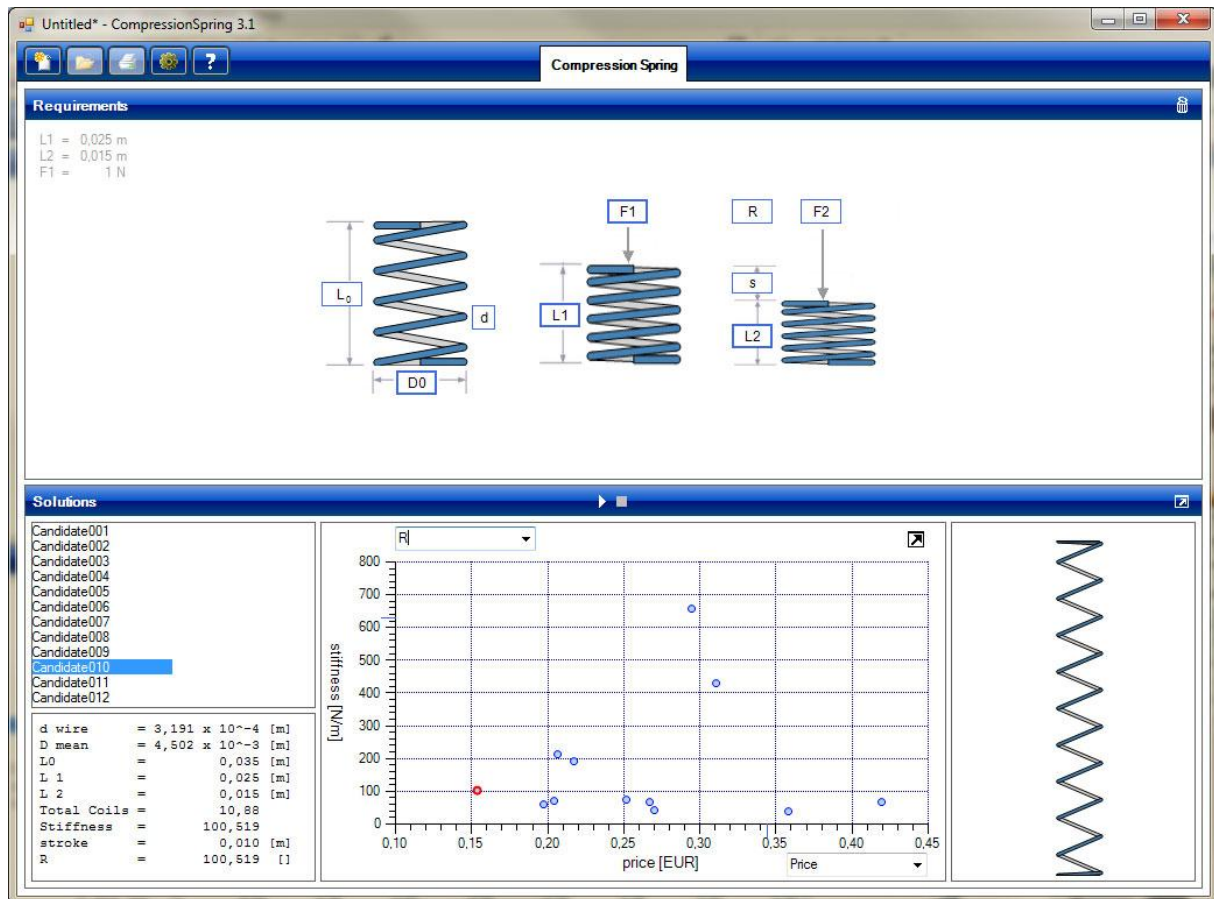
Figuur 5: Een voorbeeld van een set oplossingen in een tweedimensionale ruimte. Pareto-optimale oplossingen aangegeven waarbij zo groot mogelijke parameter-waarden (P_1 en P_2) worden gevraagd. Een handigheidje is om te kijken naar de afzonderlijke parameter-waarden, wanneer er geen oplossing is met een hogere of gelijke P_1 en P_2 waarde, is het een Pareto-optimale oplossing.

Bij een één dimensionaal ontwerp probleem is het vinden van een Pareto-optimale oplossing voor de hand liggend, maar bij een twee- of meer dimensionaal probleem is het lastig om hier overzicht op te houden. Dit is ook één van de problemen van de huidige GUI.

Het gebruik van de Pareto definitie bij optimalisatie is omstreden, omdat dit verder weinig zegt over de daadwerkelijke waarden van de gekozen oplossing. Zo kan Oplossing1 een waarde van 86 hebben in p_1 , maar een waarde van 23 in p_2 en kan Oplossing2 een waarde hebben van 80 in p_1 , maar ook een waarde van 75 in p_2 . De gemiddelde waarden van de Oplossing2 komt dan een stuk hoger uit. Het is zelfs mogelijk dat niet Pareto-optimale oplossingen een hogere gemiddelde waarde hebben dan sommige wel Pareto-optimale oplossingen. Toch is het goed om juist de niet Pareto-optimale waarden als 'slechte' oplossingen te zien, omdat dan zeker is dat er in ieder geval één andere oplossing is die op alle vlakken beter is dan die. Zodoende zou zelfs de gebruiker om wat voor reden dan ook geen voorkeur mogen hebben op de niet Pareto-optimale oplossing.

3. Gebruiksonderzoek 2010

Dit onderzoek is een vervolg op een voorgaand onderzoek naar de prestaties van het SST in 2010. Hieronder zullen twee artikelen besproken worden die zijn geschreven naar aanleiding van dat gebruiksonderzoek. In figuur 6 is een afbeelding te zien van de gebruikte GUI; deze is in meer detail toegelicht in bijlage 2.



Figuur 6: Screenshot van de GUI waar het gebruiksonderzoek 2010 mee is gedaan.

'How Synthesis Software Affects Engineering Design Tasks'

In het artikel 'How Synthesis Software Affects Engineering Design Tasks' (Tragter, van Houten, et al. 2010) worden de eigenschappen van synthese software op ontwerptaken onderzocht. Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het eerder beschreven SST en een (eerdere) versie van de GUI. Deze zijn getest in een grootschalig gebruiks-onderzoek door een groep van 70 Werktuigbouwkunde studenten. In de inleiding van dit verslag is al aangegeven welke positieve resultaten uit dit onderzoek zijn gekomen, maar belangrijker is dat het onderzoek nieuwe vragen oproept die uitgezocht moeten worden.

Zo is er in het onderzoek gebleken dat, ondanks de goede kwaliteit van de gekozen oplossingen, vaak een suboptimale oplossing werd gekozen. Het is onduidelijk waarom dit is. Tevens is het mogelijk dat het grote verschil in kwaliteit tussen software-gebruikers en degene die handmatig het probleem oplosten werd gecreëerd door onervarenheid van de groep. Ook is niet getest wat de resultaten zijn bij een toenemende complexiteit van het probleem (meer dan 2 variabele parameters).

'Synthese Software – Beter en sneller ontwerpen zonder kennis?'

In een tweede artikel (Meijer en Ergül 2010) werd gekeken naar de opgedane kennis, benodigde tijd en kwaliteit van het ontwerp. Opvallende conclusies zijn dat ontwerptijden gehalveerd werden wanneer de synthese tool voor de tweede keer werd gebruikt. Ook de kwaliteit van de ontwerpen werd beter: Bij meer ervaring met de software ging het verschil in kwaliteit tussen de twee groepen omhoog (in het voordeel van de software-gebruikers). In het kennisniveau was geen verschil gemeten, Meijer en Ergül geven aan dat de opdracht hier waarschijnlijk te kort voor was. De geteste studenten lieten duidelijk weten dat zij het gebruik van de tool als 'niet inzichtelijk' hebben ervaren met betrekking tot de stof. Desondanks waren ze wel voorstanders van het gebruik door tijdswinst en het aantal oplossingen dat de software genereert.

B. ONDERZOEK

1.	GEBRUIKSTEST	18
	<i>Aantal Parameters</i>	18
	<i>Type Gebruikstest</i>	18
	<i>Abstractie</i>	18
	<i>Oplossingen en Waarden</i>	19
	<i>Opzet en Distributie</i>	19
	<i>Gebruikers</i>	20
2.	VISUALISATIEMETHODEN	21
	<i>Verzameling van Eéndimensionale Plots</i>	22
	<i>Verzameling van Tweedimensionale Plots</i>	24
	<i>Verzameling van Assen</i>	28
	<i>Multidimensionale Plot</i>	30
	<i>Numeriek</i>	32
3.	GEREEDSCHAPPEN	34
4.	GUI	36
	<i>Hoofdvenster</i>	36
	<i>Onderdelen</i>	38
5.	VERZAMELING VAN GEGEVENS	41

Het gebruiksonderzoek van 2010 heeft naast de behaalde resultaten ook nog vragen laten staan. Eén van die vragen was hoe de GUI zou werken bij een toenemende complexiteit van het probleem. Ook werden er vaak suboptimale oplossingen gevonden. Dit onderzoek zal proberen deze twee onderwerpen aan te pakken door op zoek te gaan naar visualisatiemethoden voor multidimensionale vergelijkingen.

Voor het onderzoek is in eerste instantie gezocht naar literatuur betreffende dit onderwerp. Al snel is duidelijk geworden dat literatuur, zoals (Rollón en Larrosa 2006) en (Li, et al. 2003), vooral gericht zijn op het verminderen van parameters of enkel twee parameters gebruiken bij hun vergelijkingen. In dit onderzoek is van groot belang dat niet het systeem maar de gebruiker het onderscheidt maakt tussen ontwerp-wensen. Dit leidt automatisch tot een keuze tussen een groot aantal parameters.

Met de conclusie dat er geen relevante informatie beschikbaar is, is er voor gekozen om zelf deze informatie te verkrijgen door middel van een gebruikstest.

1. Gebruikstest

Voor het afnemen van een gebruikstest wordt het onderwerp omgezet worden in meetbare onderdelen. Wat we willen weten zijn: De kwaliteit van de oplossing resulterende uit een visualisatie methode, de efficiëntie van een methode en de kwaliteit van de oplossing als functie van een toenemende complexiteit. Hierbij wordt onder 'efficiëntie' verstaan hoeveel tijd en handelingen het kost om een oplossing te kiezen.

Aantal Parameters

Bij de gebruikstest zullen verschillende visualisatiemethoden vergeleken worden. Om niet direct het aantal parameters een grote rol te laten spelen zal dit gedaan worden bij een klein aantal. Bovendien kan deze hoeveelheid gebruikt worden als ijkingspunt voor de resultaten met meer parameters. Er is gekozen om elke methode te testen bij opvolgend drie, vijf en tien parameters. Bij deze redenering is drie het lage aantal (welke nog steeds een keuze probleem vormt), vijf zou nog mogelijk zijn en tien is de overtreffende trap waarbij verwacht wordt dat de gebruikers niet alle parameters met elkaar kunnen vergelijken. Ook kan getest worden hoe goed methoden individueel scoren bij een toenemende complexiteit.

Type Gebruikstest

De aard van de gebruikstest is intuïtief en kwantitatief. Intuïtief omdat er wordt gemeten hoe visualisatie helpt bij het maken van keuzes en kwantitatief omdat meer resultaten zorgen voor een meer accurate meting. Bij een laag aantal metingen zou het lastig worden om extreme waarden te onderscheiden van de rest. Het doel is om ten minste 25 gebruikstesten af te nemen.

Aan de hand van de Vee.ex actor analyse wordt rekening gehouden met gebruikers die geen verstand hebben van specifieke ontwerpproblemen als CAD software. Omdat ontwerpers meer ervaring hebben met keuze technieken, kan het interessant zijn om het verschil met overige gebruikers in de gaten te houden.

Abstractie

Er wordt geen specifieke voorkennis vereist voor de test en reële voorbeelden kunnen leiden tot een bias bij gebruikers, dus zal er gebruik worden gemaakt van abstracte parameters ($p_1, p_2, \dots, p_n$). Abstractie geeft uit zichzelf geen richting aan parameters; zo kunnen lage waarden net zo belangrijk zijn als hoge waarden. Om een duidelijk beeld van de parameters te krijgen, zal er vanuit worden gegaan dat de gespecificeerde range ideaal is: De gebruiker hoeft deze niet aan te passen. Ook zal er altijd naar maximale waarden van elke parameter gevraagd worden; hoe hoger de parameterwaarde, des te beter de oplossing.

Oplossingen en Waarden

Voor het vergelijken van een oplossing, zullen de waarde voor elke parameter tussen de 0 en 100 liggen. Vanwege de abstracte structuur van de test hoeft de gebruiker geen voorkeur te hebben voor een enkele parameter, waardoor de gebruiker altijd zal streven naar een oplossing met een zo hoog mogelijke gemiddelde over alle waarden. Dit laatste geeft aan dat het definiëren van een kwaliteit gedetailleerder dan een Pareto-optimum, namelijk de gemiddelde oplossingswaarden, nut heeft voor analyse van de resultaten. Er zal een kleine afhankelijkheid tussen alle parameters worden gemaakt, waarbij er wordt gestreefd naar zowel een serie lagere kwaliteit oplossingen (Pareto-inefficiënt) en een serie hogere kwaliteit oplossingen met een limiet, waardoor niet één oplossing ver boven anderen uit zal steken. 'Formule Berekening Oplossingswaarden' is gebruikt bij het berekenen van de waarden voor de oplossingen.

Formule Berekening Oplossingswaarden:

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_p) \quad \text{waarbij: } S_n = \text{random}(0 \sim 1) * \min(100, p * 75 - \sum_{i=1}^{n-1} S_i)$$

S is een verzameling van waarden voor elke parameter p . Elke waarde in S heeft een maximale waarde van 100, maar in totaal kunnen de waarden van S niet meer dan $75 * p$ zijn: Bij 5 parameters zijn de waarden van S samen maximaal 375 (75% van 500). Om ervoor te zorgen dat niet alleen de laatste waarden lager zijn (alleen voorgaand gedefinieerde waarden worden opgeteld), worden deze op willekeurige plekken in de verzameling gezet. Een waarde die in eerste instantie als $p=10$ is gedefinieerd, kan als $p=2$ worden gebruikt. Dit kan, omdat de waarden voor elke parameter dezelfde range hebben. De formule hierboven geeft aan dat de waarde-verdeling van de oplossingen afhankelijk is van het aantal parameters dat gebruikt wordt. Het is dan ook niet mogelijk om een goede oplossingsverdeling te hebben en tegelijkertijd voor alle testen dezelfde set te gebruiken. Er zijn drie sets gemaakt: voor drie, vijf en tien parameters. De testen met hetzelfde aantal parameters, maar verschillende methoden, gebruiken dezelfde parameter set. Een enkele set bevat 100 oplossingen. Dit is niet zoveel als standaard is ingesteld bij de Vee.eX software, maar een redelijk grote keuze en voor een vast domein nog steeds overzichtelijk.

Opzet en Distributie

Omdat de test kwantitatief wordt, is er gekozen om de gebruikstest online te publiceren. Er zal getracht worden door middel van web communicatiemiddelen (zoals Facebook) de test te verspreiden om een groot en breed publiek te bereiken.

Het online verspreiden van de test biedt mogelijkheden, namelijk, de test kan softwarematig gemaakt worden. Het maken van een dergelijke test zal langer duren (dan bijvoorbeeld statische afbeeldingen), omdat het maken en uitwerken van een framework⁷ voor een programma gecompliceerd kan zijn. Toch is hier voor gekozen, omdat gebruiksvriendelijkheid en interactie⁸ een grote rol spelen bij het maken van een keuze. Bovendien kan het framework van de gebruikstest, wanneer deze positieve resultaten oplevert, direct vertaald worden naar het uiteindelijke programma.

⁷ Framework = De structuur van een software programma.

⁸ Interactie = Informatie-uitwisseling tussen een gebruiker en het programma.

Voor het schrijven van deze software zal gebruikt worden gemaakt van Actionscript 3.0. Deze programmeertaal is direct gerelateerd aan de Adobe Flash technologie. Met behulp van Adobe Flash is het mogelijk om goede interactie te maken binnen websites. Bovendien is Actionscript 3.0 een Object Georiënteerde programmeertaal, vergelijkbaar met C# waar de SST in wordt geschreven. Dit zorgt ervoor dat een eventuele vertaling tussen de gebruikstest en het programma eenvoudig is.

Gebruikers

Zoals aangegeven, wordt de test online verspreid via semipublieke middelen. De gebruikers zullen de test zelf doen zonder controle op gedane zaken. Dit betekent dat aan één kant de resultaten van de gebruikers opgeslagen moeten worden in een database, en aan de andere kant de test gebruikers zodanig moet assisteren dat deze zonder hulp gemaakt kan worden. Omdat het gaat om een gecompliceerde probleemstelling en de gebruikers geen ervaring hebben met de methoden en gereedschappen in de test, zullen ze een instructie moeten volgen voordat ze beginnen.

2. Visualisatiemethoden

Het doel is het onderzoeken van visualisatiemethoden voor multidimensionale vergelijkingen. Voordat een selectie is gemaakt, is er eerst in de breedte gezocht naar technieken om parameters te vergelijken.

Uiteindelijk kunnen maar enkele methoden getest worden. Om niet te veel van de testers te vragen, is er gekozen om een maximale duur van 30 minuten aan te houden voor de gebruikstest. Als er uitgegaan wordt dat het kiezen van een oplossing voor een deelttest (één methode met één set oplossingen) maximaal twee minuten duurt, mag de test niet meer dan 15 deelttesten bevatten. Bij drie sets oplossingen komt dit neer op een maximaal aantal van vijf verschillende methoden die getest kunnen worden.

De verzamelde visualisatiemethoden zijn onderverdeeld in vijf typen:

- Verzameling van 1-Dimensionale Plots.
- Verzameling van 2-Dimensionale Plots.
- Verzameling van Assen (binnen één Plot).
- Multidimensionale Plot.
- Numeriek.

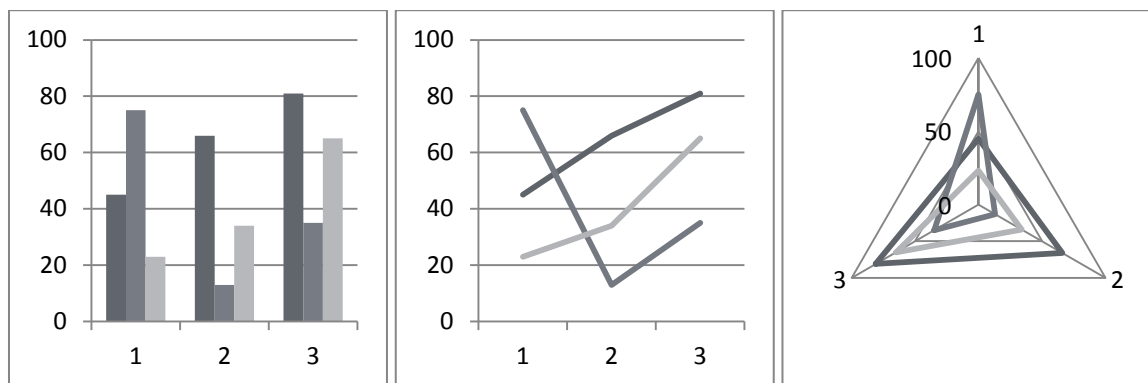
Voor elk van dit type methoden is er één basisvorm of representatieve gekozen om te testen. Bij het kiezen van de methoden zijn de volgende eisen gesteld:

- A. Oplossingen moeten onafhankelijk van elkaar worden weergegeven.
- B. Oplossingen moeten overzichtelijk weergegeven worden.
- C. De methode mag zelf geen gewichten geven aan de parameters.

Wanneer van toepassing, zullen de methoden vergeleken worden aan de hand van de eisen. De gekozen methoden en de uitwerking ervan zullen hieronder worden besproken.

Verzameling van Eéndimensionale Plots

Bij een verzameling van ééndimensionale plots worden alle parameters onafhankelijk van elkaar afgebeeld. Deze plots worden vervolgens zodanig gerangschikt dat waarden van eenzelfde oplossing gelinkt kunnen worden. Radardiagrammen, Kolomdiagrammen en Lijndiagrammen zijn hier voorbeelden van. Elk is in figuur 7 weergegeven en in tabel 1 worden ze aan de hand van eisen vergeleken.

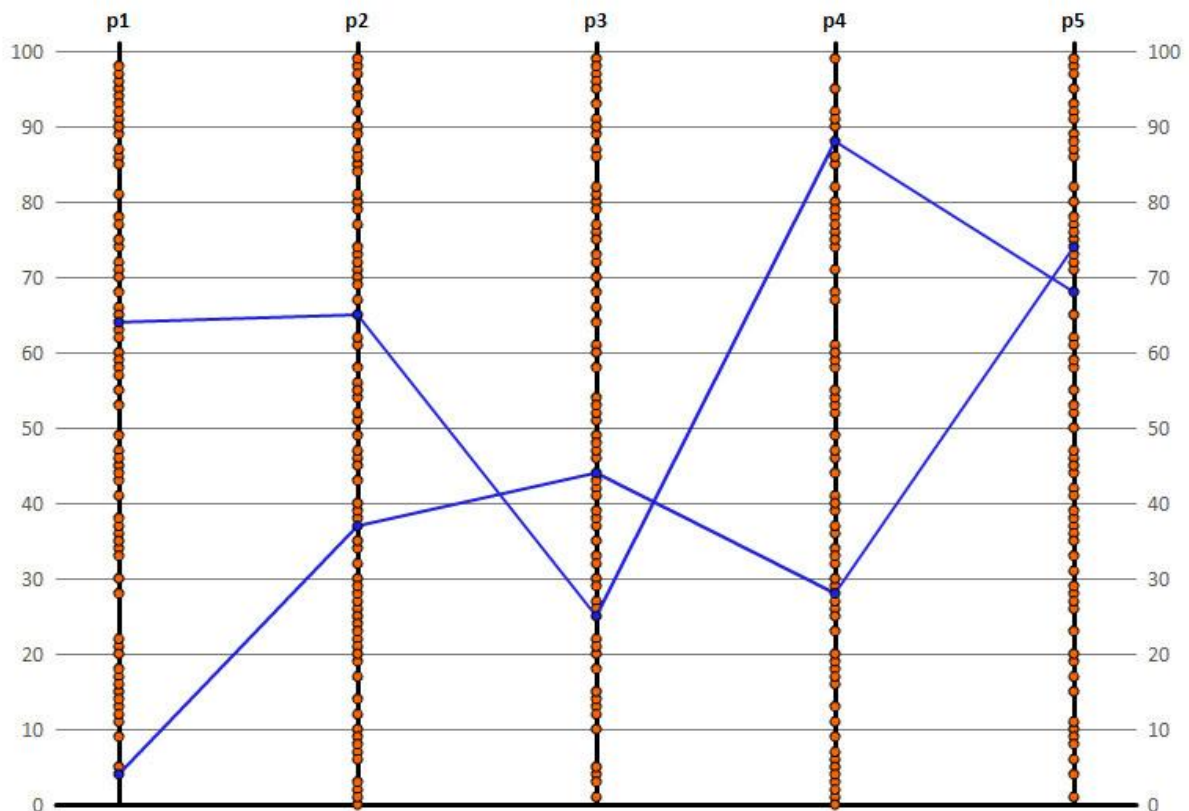


Figuur 7: Voorbeelden van een kolomdiagram (links), lijndiagram (midden) en radardiagram(rechts).

Eisen	Kolomdiagram	Lijndiagram	Radardiagram
A.	4	5	5
B.	1	3	2
C.	5	5	5
Totaal	10	13	12

Tabel 1: Vergelijking type methoden voor alle eerder gestelde eisen. Methoden krijgen cijfers van 1 t/m 5, waarbij 5 de meest positieve waarde is. De waarden worden opgeteld tot een totaalcijfer.

Van de drie, is het kolomdiagram het minst geschikt voor dit onderzoek. In het voorbeeld is duidelijk te zien dat er geen goed verband gelegd wordt tussen waarden van eenzelfde oplossing (zelfde kleur). Wanneer er 100 of meer oplossingen worden weergegeven, zal het overzicht snel wegraken. Het radardiagram en het lijndiagram zijn erg vergelijkbaar in uitwerking, toch wordt het radardiagram als mindere gezien, omdat gevreesd wordt dat het diagram bij lage parameterwaarden (binnenkant) te druk wordt. Er is dus gekozen om het lijndiagram verder uit te werken als visualisatiemethode.



Figuur 8: Lijn Methode.

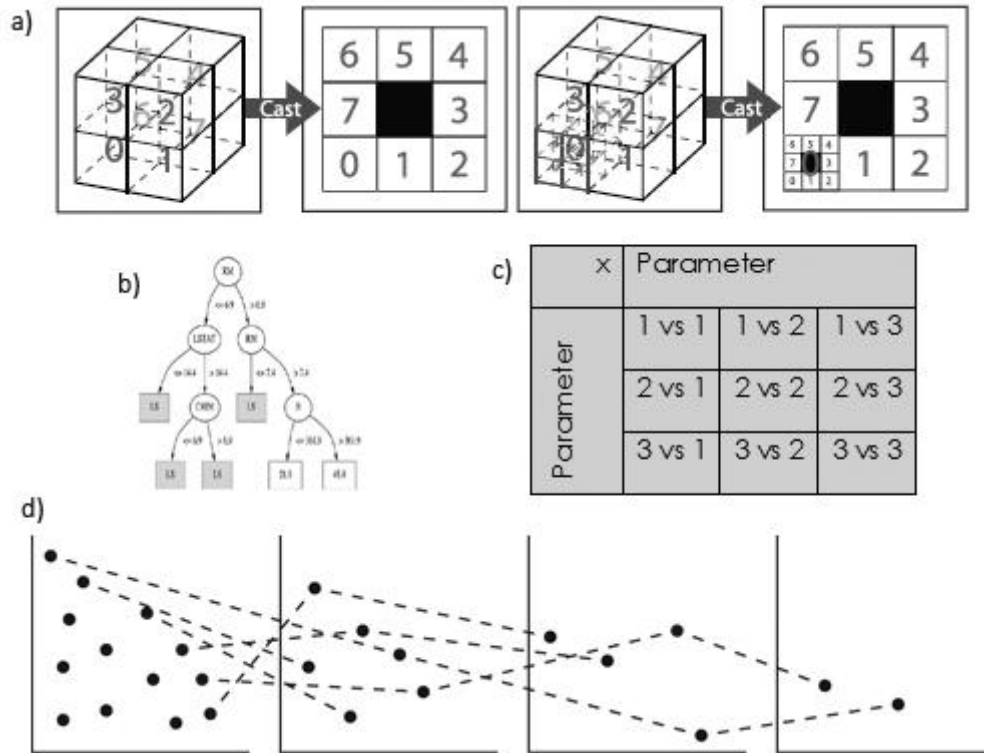
In figuur 8 is de lijn methode te zien zoals deze is gebruikt in de test met vijf parameters en 100 oplossingen. Direct is te zien dat de parameter-assen parallel van elkaar zijn geplaatst. Omdat elke parameter dezelfde waarde-verdeling heeft, zijn deze hulplijnen doorgetrokken. Dit zou in een reële situatie anders zijn. De oranje rondjes zijn waarden van oplossingen bij de betreffende parameter, elke parameter-as heeft dus 100 rondjes (één voor elke oplossing). Wanneer de muis over een oplossing(s-waarde) wordt gehaald, wordt een lijn getekend dat elke waarde van dezelfde oplossing met elkaar verbindt: Dit is de totale oplossing. Met behulp van selectie gereedschappen worden meerdere oplossingslijnen tegelijk weergegeven; hiermee zijn de waardeverschillen tussen oplossingen zichtbaar. De oplossingslijnen worden niet permanent laten zien, omdat dit het overzicht erg blokkeert.

De volgende gereedschappen kunnen worden gebruikt bij deze methode:



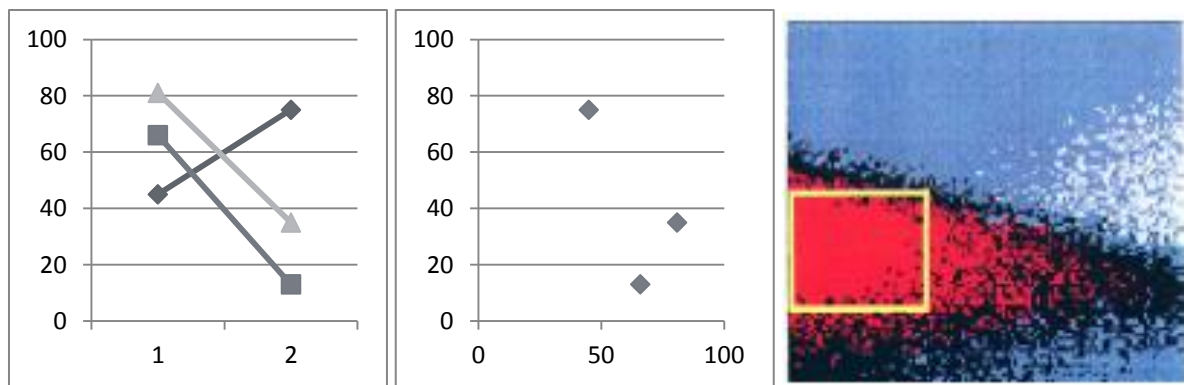
Verzameling van Tweedimensionale Plots

Dit type methode gaat uit van vergelijkingen tussen twee parameters. Omdat het telkens twee parameters betreft, wordt het aantal combinaties snel groter bij een toenemende complexiteit. Er moet worden gezocht naar een geschikte manier om deze combinaties weer te geven.



Figuur 9: (a) 2D-uitbreidingsmethode (Fujiwara, et al. 2010), (b) Binaire Boomdiagram (Gama 2004), (c) Matrix, (d) Afvaldiagram.

Fujiwara et al. gebruiken een 2D-uitbreidingsmethode voor hogere dimensionele data (Fujiwara, et al. 2010). Deze methode is een optie wanneer hogere dimensie plots worden gebruikt, maar omdat het hier al gaat om enkel twee dimensies, kunnen de parameters ook gewoon in een tweedimensionale matrix gezet worden, zoals in figuur 9c. Een derde mogelijkheid is het ordenen van de combinaties en uitlijnen in een lijst of boom. João Gama (Gama 2004) heeft dit gedaan met behulp van binaire bomen (b). Ook het afvaldiagram in (d) is gebaseerd op ordenen van combinaties; hier worden Pareto-optimale oplossingen uit de eerste twee parameters gehaald, daarvan uit de volgende twee parameters en zo voorts. Beide laatste methoden zijn niet gekozen doordat gewichten worden gegeven aan parameters. Hierdoor is de matrix methode het meest geschikt voor dit onderzoek.

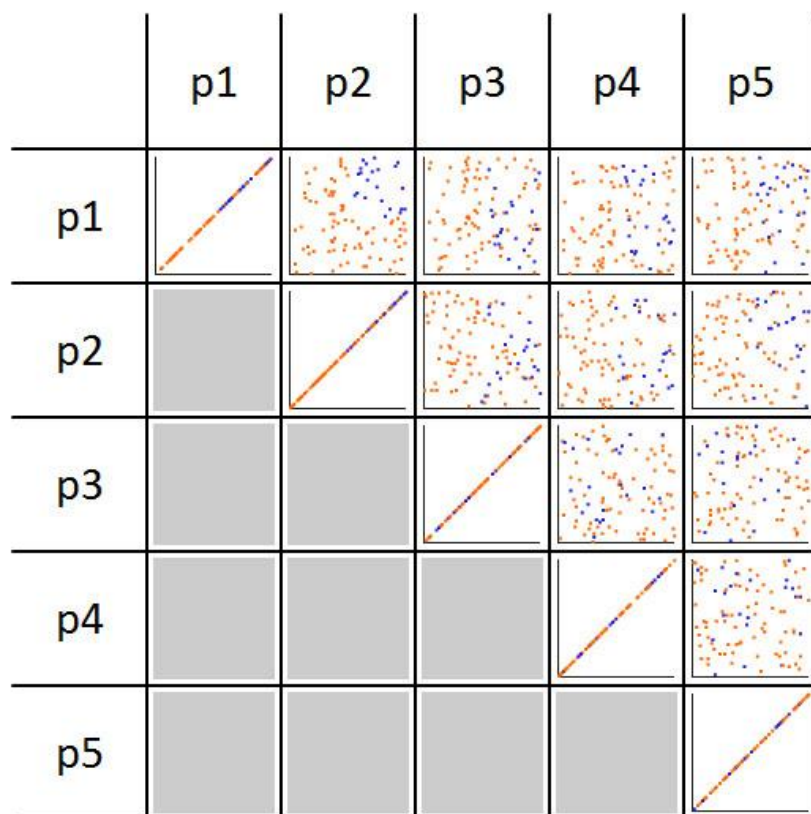


Figuur 10: Voorbeelden van een lijndiagram (links), spreiddiagram (midden) en prosectiediagram (Grigoros 2006) (rechts).

Net als bij de verzameling van ééndimensionale plotten is ook hier een afweging gemaakt tussen verschillende methoden om de oplossingen af te beelden, figuur 10 en tabel 2. De keuze hier is tussen een lijndiagram (die goed scoorde bij het andere type methode), een spreiddiagram en een prosectiediagram. Het spreiddiagram kan gebruikt worden omdat twee dimensies overzichtelijk zijn voor een gebruiker in de vorm van een coördinatensysteem. Een prosectiediagram kan gebruikt worden om verdelingen weer te geven en ranges te selecteren (Grigoros 2006). Voor dit onderzoek komt deze niet in aanmerking en dit is ook te zien in vergelijking met de eisen: Oplossingen worden niet weergegeven. De lijnmethode die gebruikt wordt bij de verzameling van ééndimensionale plots is bij een vergelijking tussen twee parameters niet overzichtelijker dan het spreiddiagram. Voor de plots van parameter-combinaties wordt dan ook het spreiddiagram gebruikt. De combinatie van de matrix en de spreiddiagrammen zal in dit onderzoek ‘Spreidplot Matrix Methode’ worden genoemd.

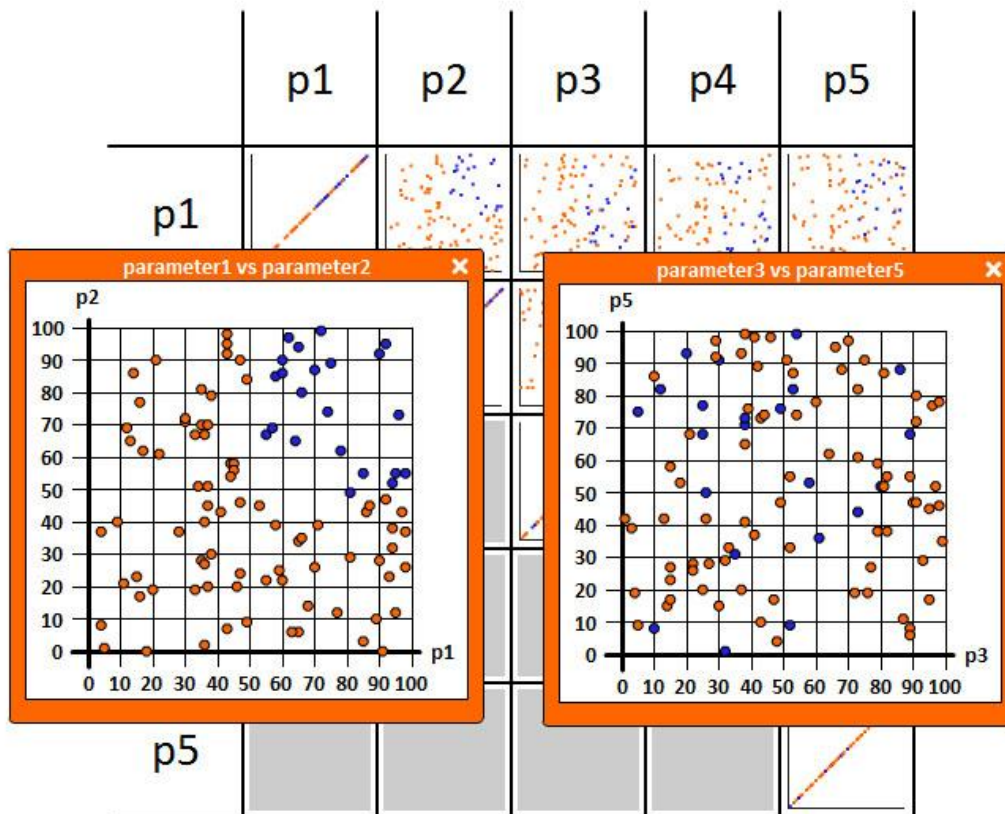
Eisen	Lijndiagram	Spreiddiagram	Prosectiediagram
A.	5	5	1
B.	3	5	2
C.	5	5	5
Totaal	13	15	8

Tabel 2: Vergelijking type methoden voor alle eerder gestelde eisen. Methodes krijgen cijfers van 1 t/m 5, waarbij 5 de meest positieve waarde is. De waarden worden opgeteld tot een totaalcijfer.



Figuur 11: Spreidplot Matrix Methode – Matrix.

In figuur 11 is de matrix te zien die gemaakt is voor deze methode. Duidelijk is te zien dat alle parameters tegenover elkaar uitgezet zijn. Wanneer dit dezelfde parameters betreft, ontstaat er vanzelfsprekend een diagonale lijn (de waarden voor elke oplossing zijn hetzelfde voor beide assen). Omdat de helft van de matrix niets anders zou zijn dan eenzelfde vergelijking tussen twee parameters, maar dan met omgekeerde assen, zijn deze weggelaten. Dit is te zien aan de grijze vlakken die het deel linksonder in de matrix domineren. Er kunnen geen selecties gemaakt worden in de matrix zelf, maar deze worden wel laten zien (blauwe puntjes zijn 'geselecteerd'). Dit kan de gebruiker assisteren voor het kiezen van de meeste relevante combinatie van parameters. Wel wordt de matrix gebruikt om een combinatie van parameters te selecteren. Wanneer dit gedaan wordt, komt er een nieuw frame met een gedetailleerde plot van de geselecteerde parameter-combinatie. Er kunnen meerdere frames tegelijk open gehouden worden; een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 12.



Figuur 12: Spreidplot Matrix Methode - Frames.

De frames zijn verschuifbaar zodat de gebruiker zelf kan bepalen waar deze komen te staan (mocht er één in de weg staan of naast een andere gezet worden voor een overzichtelijke vergelijking). Deze frames zijn ook bedoeld om selecties te maken. Selecties die gemaakt worden in één frame, zullen automatisch aangepast worden in de matrix en andere frames.

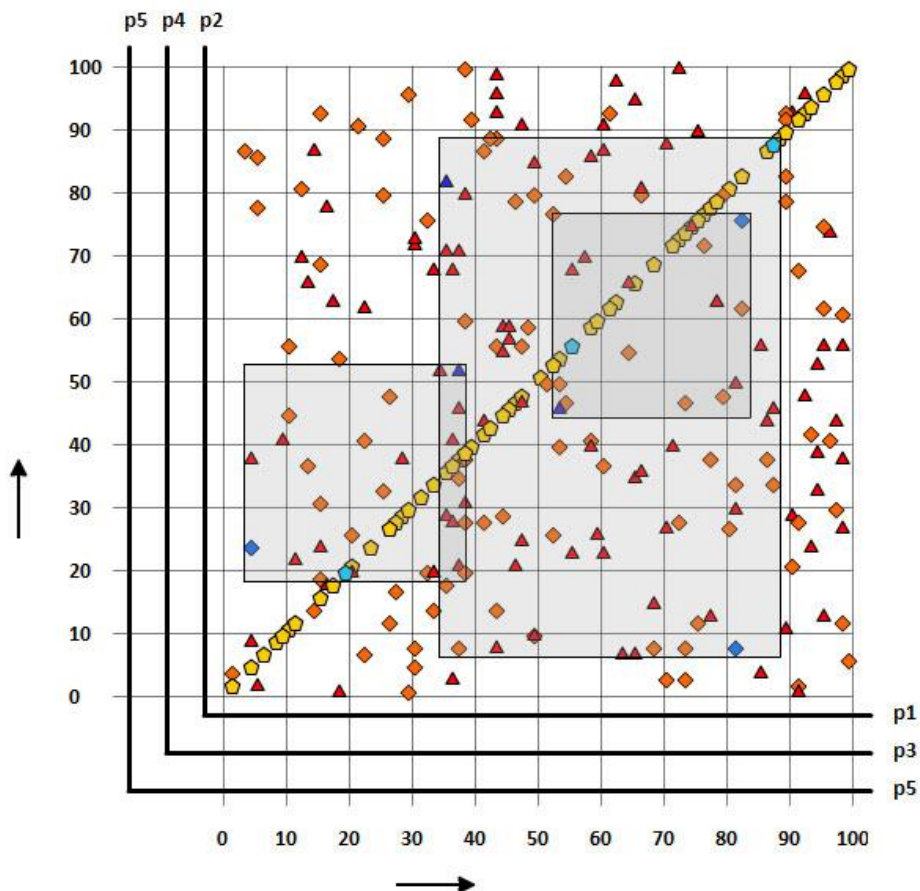
De volgende gereedschappen kunnen worden gebruikt bij deze methode:



Verzameling van Assen

Bij dit type methode worden alle oplossingen in een enkele plot weergegeven. Door het meervoudig gebruik van assen is deze plot een combinatie van verschillende grafieken. Elke as bevat meerdere categorieën. Dit type methode is experimenteel en waardoor er geen concrete voorbeelden van zijn.

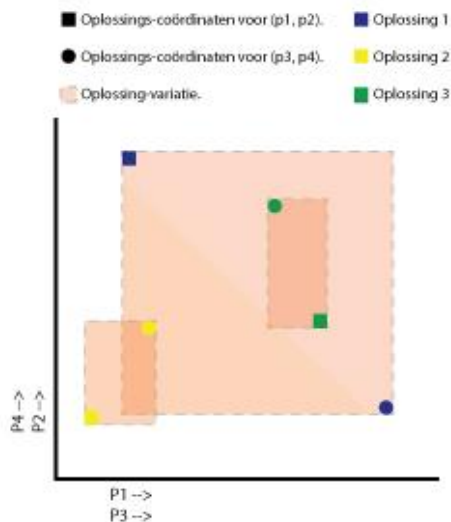
De specificatie van deze methode wordt een Multi Coördinaten Methode genoemd. Er worden meerdere parameters op één as geplaatst. Bij de verzameling van tweedimensionale plots is voorkeur voor een tweedimensionale plot al onderzocht, dus ook in deze methode zal het neerkomen op gebruik van een aantal spreiddiagrammen, maar hier zijn deze over elkaar heen geplaatst. Voor elke combinatie van parameters (p_1 vs p_2 , p_3 vs p_4 , ... , p_n vs p_{n+1}) zal er een grafiek zijn en coördinaten van oplossingswaarden worden voor elke grafiek geplot.



Figuur 13: Multi Coördinaten Methode.

Figuur 13 is een weergave van de Multi Coördinaten Methode voor vijf parameters en 100 oplossingen. Duidelijk zijn de parallelle assen te zien, waarvan de waarden allemaal uitkomen in dezelfde grafiek. Omdat alle parameters hetzelfde domein hebben, zijn de waarden van alle assen samengevat aan de buitenrand. In een reële situatie zouden deze per as moeten worden gedefinieerd.

Bij een situatie als deze, met drie overlappende grafieken, kunnen er drie soorten symbolen onderscheiden worden. Elk type symbool staat voor een oplossings-coördinaat van één van de grafieken: In figuur 13 is de verzameling driehoekjes de plot voor p1 tegen p2. Een oplossing bestaat uit een combinatie van één symbool voor elke plot. Wanneer een symbool geselecteerd is, worden alle bijbehorende symbolen (dus de gehele oplossing) ook geselecteerd. Tevens wordt er een vierkant getekend om de uiterste waarden van de oplossing binnen de grafiek. Het vierkant heeft twee doelen: Ten eerste laat het zien welke symbolen bij dezelfde oplossing horen en daarnaast geeft het aan wat de spreiding van de oplossing is over alle grafieken. Heeft de oplossing een grote



Figuur 14: Illustratie oplossingen in de Multi Coördinaten Methode.

spreiding, dan heeft deze waarschijnlijk één goede combinatie van waarden, maar ook één combinatie van slechte waarden. Is er een kleine spreiding, dan heeft de oplossing meer gemiddelde waarden. De vierkanten geven in een snel opzicht weer wat voor type oplossing het is, het zegt verder weinig over de kwaliteit van de oplossing.

In figuur 14 zijn drie vierkanten te zien. Het vierkant van Oplossing1 geeft door het grote oppervlak aan dat er een grote variatie in parameter-waarden is. Oplossing2 en Oplossing3 hebben beide ongeveer een gelijk oppervlak, maar Oplossing3 staat bij hoge waarden, en Oplossing2 bij lage waarden. In dit geval is Oplossing3 zeker beter. Of deze ook beter is dan Oplossing1 kan niet worden gezegd.

De volgende gereedschappen kunnen worden gebruikt bij deze methode:

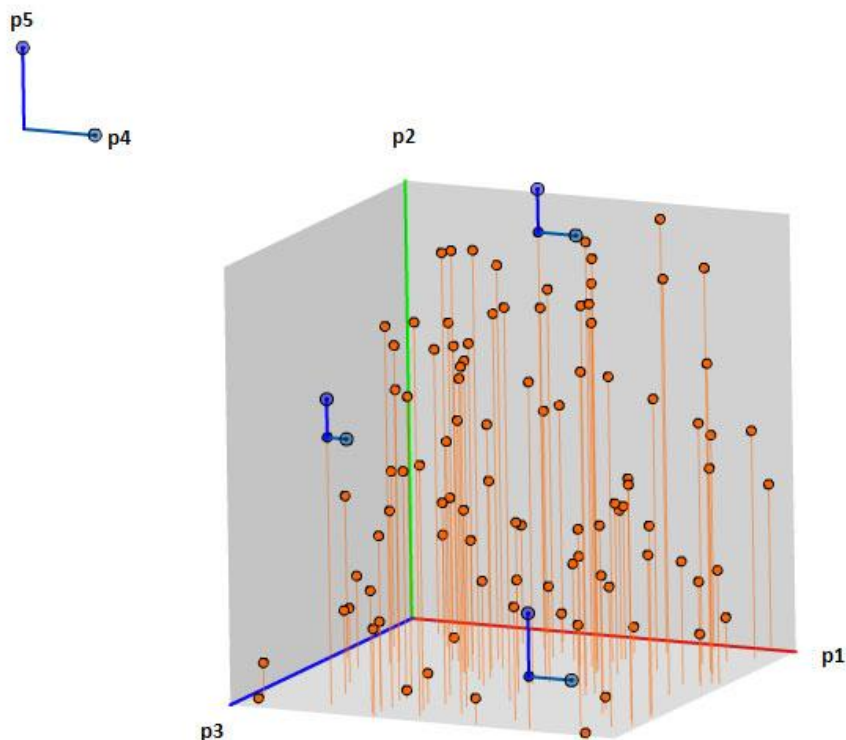


De Multi Coördinaten Methode is niet in de gebruikstest beland. Tijdens voorafgaande testen is gebleken dat gebruikers veel moeite hadden om dit concept te snappen. Bovendien is gebleken dat deze test onoverzichtelijk wordt bij hoge aantallen parameters.

Multidimensionale Plot

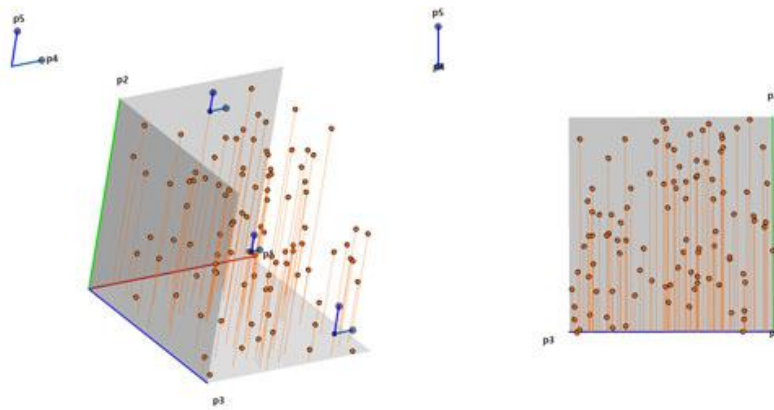
Ook in dit type methode wordt uitgegaan van een enkele plot, alleen worden er juist dimensies aan de plot toegevoegd om alle categorieën weer te geven. Naast dimensies in de grafiek, kunnen er ook dimensies binnen oplossingen worden gemaakt door bijvoorbeeld het symbool van de oplossing te variëren in grootte.

De Multidimensionale Methode gebruikt voor de test gaat uit van ordening van visuele kanalen (Mackinlay 1986). Volgens Mackinlay zijn positie, lengte en hoek het belangrijkste voor de ordening van continue parameters. Er wordt in dit onderzoek niet alleen uitgegaan van continue parameters, maar ook rekening gehouden met een oneindig aantal parameters. Bij een groot aantal parameters zal de lijst aangegeven door Mackinlay te klein zijn, bovendien zijn kleurverschillen al gereserveerd door selectie en muis-over bewerkingen. De eerste drie parameters worden weergegeven als assen in een driedimensionale grafiek. Vervolgens worden hierin oplossingen getekend op de bijbehorende coördinaten (p_1 , p_2 , p_3). Verdere parameters worden als vectoren vanuit de oplossingen weergegeven. De richting van de vector geeft het type parameter weer en de lengte de waarde van de oplossing.



Figuur 15: Multidimensionale Methode

In de uitwerking van de multidimensionale methode, figuur 15, is duidelijk het driedimensionale gehalte te zien van de basis-grafiek. De oplossingen zijn coördinaten binnen deze grafiek. Om het overzicht te verbeteren, is er uit elke oplossing een lijn getekend naar het vlak tussen p_1 en p_3 . Wanneer een selectie is gemaakt zijn voor die oplossingen de overige parameters zichtbaar. De legenda linksboven geeft de richting van alle overige parameters aan (hoger dan p_3).



Figuur 16: Multidimensionale Method - Rotaties.

Vanwege de driedimensionale structuur van de grafiek, is het mogelijk gemaakt om de grafiek te draaien. In figuur 16 zijn mogelijke alternatieve standen te zien. Alle parameters draaien mee, dus ook degene hoger dan p3. Om de grafiek te kunnen draaien, moet de 'Spatie'-toets worden ingehouden. Het draaien en selectie gereedschappen zijn gescheiden omdat zelfde muisfunctionaliteiten gebruikt worden.

De volgende gereedschappen kunnen worden gebruikt bij deze methode:



Numeriek

Het numerieke type methode is fundamenteel anders dan de overige typen. Hierbij worden de waarden van de oplossingen in getallen uitgedrukt. Het is logisch om aan te nemen dat de waarden in vorm van getallen aanwezig zullen zijn in het uiteindelijke programma. Vooralsnog is het een goed idee om te verifiëren of de visualisatiemethoden überhaupt wel nodig zijn, of dat dit type voorkeur heeft.

Dit type methode zal uitgewerkt worden als een tabel. Dit lijkt in eerste instantie simpel, maar bij de uitwerking in de gebruikstest zal blijken dat het aardig gecompliceerd ligt.

055	p1	p2	p3	p4	p5
	72	99	12	80	82
003	43	98	54	46	74
004	62	97	32	19	1
005	92	95	53	49	82
006	43	95	18	53	53
007	65	94	35	17	31
008	90	92	26	47	50
009	43	92	41	27	98
010	21	90	25	79	20
	47	90	95	74	17
	60	90	73	46	44
	75	89	58	40	53
	70	87	52	76	9
	60	86	25	32	77
	14	86	5	77	9
	58	85	49	79	76
	49	84	26	11	42
	35	81	81	7	87
	66	80	38	19	73
	38	79	33	13	33
002	16	77	46	78	98
	74	74	61	92	36
001	96	73	38	27	71
	30	72	38	37	99
	30	71	30	7	15
	35	70	43	55	73

Figuur 17: Tabel Methode.

In figuur 17 wordt de tabel laten zien zoals deze is uitgewerkt in de gebruikstest. De kolommen zijn parameters en de oplossingen worden ingevuld als rijen in deze tabel. Er zijn te veel oplossingen om in één overzicht te laten zien op deze manier, daarom is er aan de rechterkant een schuifbalk gemaakt waar overige oplossingen mee te bereiken zijn. Wanneer op de kop van een parameter geklikt wordt, worden de oplossingen zo gesorteerd dat degene met de hoogste waarden voor die parameter bovenaan staan. Dit is in het figuur weergegeven voor p2, te zien door de blauwe kolom (geselecteerde parameter). Namen voor oplossingen worden in geen methode laten zien, en hier dus ook niet.

	p1	p2	p3	p4	p5
003	45	98	34	46	74
004	62	97	32	19	1
005	92	95	53	49	82
006	43	95	18	53	53
007	65	94	35	17	31
008	90	92	26	47	50
009	43	92	41	27	88
010	21	90	25	79	20
002	18	77	46	78	88
001	96	73	38	27	71

Figuur 18: Tabel Methode - 'Only Show Selection'.

Wel krijgen oplossingen een nummer wanneer deze geselecteerd worden, waardoor de gebruiker deze in de gaten kan houden als de tabel aangepast wordt. Geselecteerde oplossingen worden ook blauw gemaakt. Met de 'OSS'-knop ('Only Show Selection', linksboven in de tabel) kan de gebruiker alle niet-geselecteerde oplossingen weghalen uit de tabel (figuur 18). Op dat moment worden oplossingen die gedeselecteerde worden ook automatisch uit de tabel verwijderd. Wordt de knop wederom ingedrukt, dan komen alle oplossingen weer tevoorschijn.

De volgende gereedschappen kunnen worden gebruikt bij deze methode:



3. Gereedschappen

Binnen elke methode is aangegeven welke gereedschappen worden gebruikt. Niet alle gereedschappen zijn daadwerkelijk selectie gereedschappen. Gereedschappen zoals 'roteren' worden gebruikt om de methode aan te passen voor beter overzicht van de oplossingen of oplossingswaarden. Afbeeldingen van de gereedschappen die gebruikt kunnen worden zijn in de legenda weergegeven. Wanneer de gebruiker over de legenda heen gaat, komt er een beschrijving van het gereedschap tevoorschijn.

Om overbodige informatie op het scherm te voorkomen, worden niet alle gereedschappen laten zien in de legenda of behandeld in de introductie. Het gaat hier in het bijzonder om structurele handelingen die voor de software beter tot hun recht komen of om handelingen die voor de gebruiker vanzelfsprekend zouden moeten zijn. Alle gecreëerde gereedschappen zullen nu kort worden besproken.

Voor de gebruiker gedefinieerde gereedschappen.



Selecteer een enkele oplossing. Wanneer dit icoon wordt laten zien, kan een enkele oplossing geselecteerd worden door op de oplossing te klikken.



Selectievierkant Gereedschap. Houdt de muis ingedrukt en sleep om een selectievierkant te maken. Wanneer deze wordt losgelaten worden alle oplossingen binnen het vierkant geselecteerd. *Niet bruikbaar in de Tabel methode.*



Selectiefiguur Gereedschap. Dubbelklik om het figuur te starten. Klik wederom om hoekpunten te maken. Wanneer op het beginpunt wordt geklikt, is het figuur compleet en worden alle oplossingen binnen het figuur geselecteerd. *Niet bruikbaar in de Tabel Methode.*



Roteren. Houdt spatie ingedrukt om te kunnen roteren. Houdt de muis ingedrukt en beweeg de muis om de rotatie uit te voeren. *Alleen bruikbaar bij de Multidimensionale Plot Methode.*



Selectiebalk Gereedschap. Klik en sleep de muis over de meest linker kolom in de tabel om het Selectiebalk Gereedschap te gebruiken. Wanneer de muis wordt losgelaten, worden alle oplossingen naast de balk geselecteerd. *Alleen bruikbaar bij de Tabel Methode.*



Sorteren. Druk op een Parameter titel (bovenste rij in de kolom) om de oplossingen te sorteren op de betreffende parameter. *Alleen bruikbaar bij de Tabel Methode.*



Laat alleen selectie zien ('Only Show Selection'). Wanneer de 'OSS'-knop (linksboven in de tabel) wordt ingedrukt, worden alle niet-geselecteerde oplossingen uit de tabel verwijderd. Druk de knop wederom om weer alle oplossingen te laten zien. *Alleen bruikbaar bij de Tabel Methode.*



Shift Toets. Houdt de Shift toets ingedrukt bij het maken van een selectie om de selectie bij de huidige selectie toe te voegen.



Control Toets. Houdt de Control toets ingedrukt bij het maken van een selectie om de selectie van de huidige selectie af te halen.

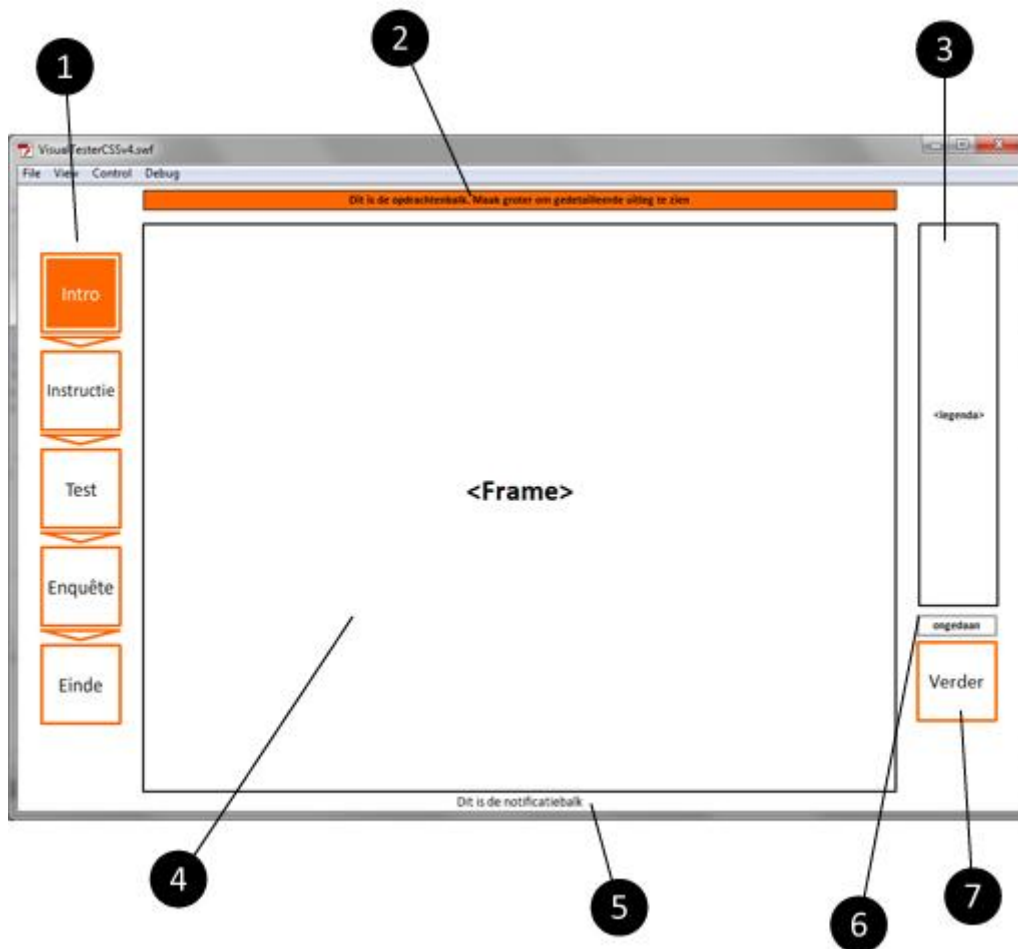
Overige gereedschappen.

- Deselecteer. Wanneer een selectie gereedschap wordt gebruikt, en de Shift of Control toets is niet ingedrukt, wordt de huidige selectie verwijderd. *Dit is ook hoe deze toetsen eigenlijk werken.*
- Muis Over. Wanneer de gebruiker de cursor over een oplossing beweegt, wordt deze opgelicht, liggende aan de methode die gebruikt wordt.
- Muis Over en breng oplossing naar voren. Wanneer de gebruiker de cursor over een oplossing beweegt, wordt deze opgelicht en naar voren gebracht. *Bij sommige methoden is dit handig, omdat andere oplossingen kunnen overlappen. Bij andere methoden mag dit niet gebeuren omdat de volgorde van oplossingen juist belangrijk is voor de visualisatie.*
- Spatie Toets. Wanneer de spatie toets ingedrukt is, kan er worden geroteerd. Bovendien wordt het icoon van de cursor aangepast zodat de gebruiker te zien krijg dat de rotatie-modus is ingeschakeld.

4. GUI

Hoofdvenster

Het draait bij de gebruikstest voor een groot deel om de methoden, maar deze kunnen niet zomaar bij de gebruiker getest worden. Het is belangrijk dat de gebruiker begrijpt waar de test over gaat, hoe de methoden werken en hoe gereedschappen werken. Bovendien wordt na de test een eenvoudige enquête gehouden om achter de mening van de gebruiker te komen. Er is er een algemene opzet ontworpen om de gebruiker door de test te loodsen.



Figuur 19: Indeling hoofdvenster gebruikstest.

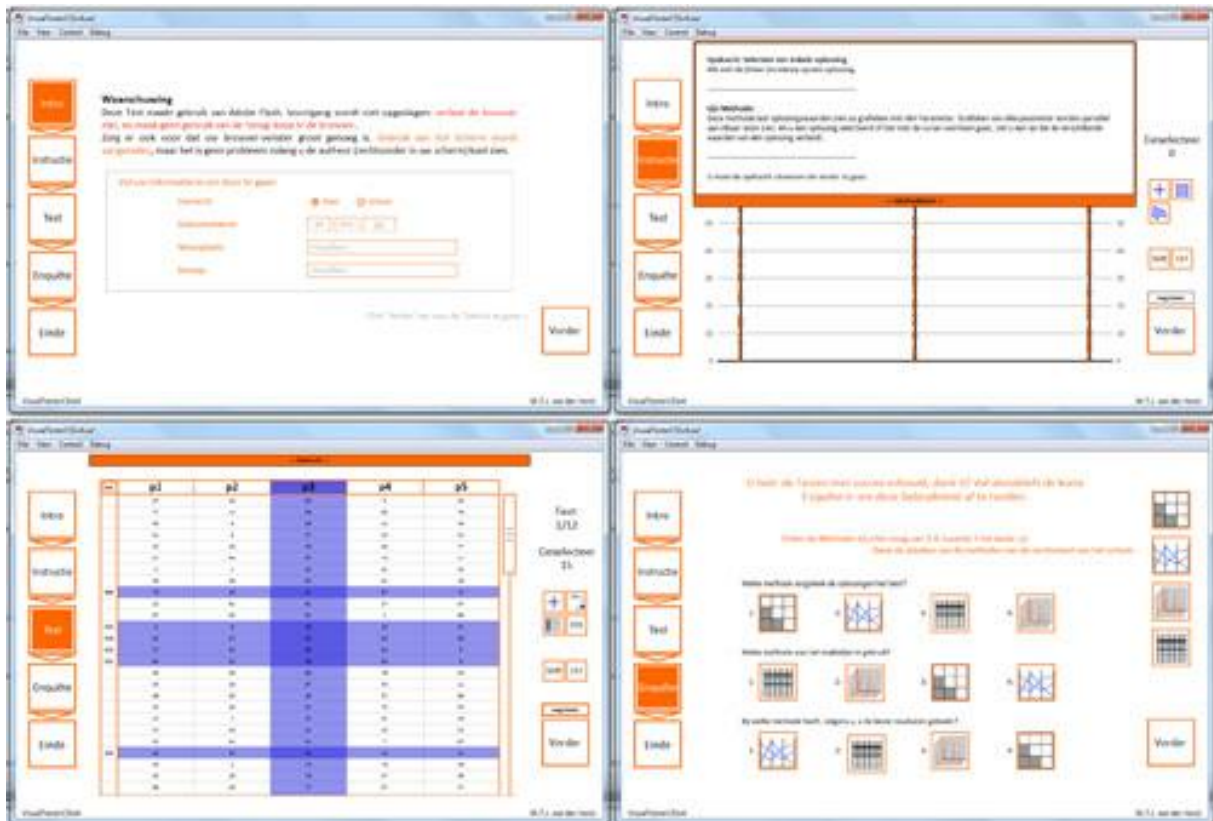
1. Stappenlijst: Geeft aan waar de gebruiker is in de test.
2. Opdrachtenbalk: Hier komt de opdracht en/of uitleg te staan.
3. Legenda: Hier wordt informatie gegeven voor methoden.
4. Frame: Oppervlakte gebruikt voor de verscheidene onderdelen van de gebruikstest.
5. Notificatiebalk: Plek waar (tijdelijke) notificaties worden weergegeven.
6. 'Ongedaan'-knop: Met deze knop kan een selectie terug worden gegaan wanneer gebruik wordt gemaakt van methoden.
7. 'Verder'-knop: Deze knop wordt grotendeels gebruikt om naar een volgende stap te gaan in de gebruikstest.

In figuur 19 is de indeling van het hoofdvenster weergegeven. Links in beeld staat een stappenlijst waar met het gevulde blok aangegeven wordt in welk gedeelte van de test de gebruiker zich bevindt. De notificatiebalk onderin het venster wordt gebruikt voor tijdelijke notificaties, bijvoorbeeld wanneer een gebruiker een foutieve invoer heeft gemaakt. De notificatiebalk overlapt de titel en auteur die te zien zijn wanneer de notificatiebalk niet in gebruik is. Rechts onderin staat de 'verder'-knop. Dit is de algemene knop in de gebruikstest om naar een volgende stap te gaan. Tijdens de instructies is er een uitzondering, wanneer de gebruiker handelingen moet verrichten om verder te gaan. Het grote vlak in het midden van de test is gereserveerd voor de frames, waarin de verscheidene onderdelen van de gebruikstest worden weergegeven. De opdrachtenbalk, 'ongedaan'-knop en legenda worden eigenlijk alleen gebruikt bij de methoden. In de opdrachtenbalk wordt de gebruiker verteld wat er gedaan moet worden. Met de 'ongedaan'-knop kan een selectie teruggegaan worden, wanneer de gebruiker een verkeerde selectie heeft gemaakt. Als laatst, wordt de legenda gebruikt om informatie weer te geven over de methode. Hierbij wordt aangegeven in welke deelttest de gebruiker zich bevindt, hoeveel oplossingen geselecteerd zijn en welke gereedschappen gebruikt kunnen worden.

Het framework van de gebruikstest, methoden en gereedschappen worden besproken in bijlage 3.

Onderdelen

Er zijn vijf onderdelen in de test: Intro, Manual, Test, Survey en End. Elk hebben een eigen doeleinde en worden in deze volgorde door de gebruiker afgewerkt. Alleen bij Manual en Test worden de methoden gebruikt. Sommige onderdelen bestaan uit meerdere pagina's om de informatie overzichtelijk te verdelen of omdat er verschillende stappen/deeltesten moeten worden gedaan om het onderdeel af te ronden.



Figuur 20: Van linksboven naar rechtsonder: Intro, Instructie, Test en Enquête.

Introductie (figuur 20, linksboven)

Wanneer de keuze is gemaakt in welke taal de test uitgevoerd moet worden, belandt de gebruiker op deze pagina. De eerste pagina van de introductie geeft algemene achtergrond informatie, een relevant voorbeeld waar de gebruiker aan kan denken bij het maken van de abstracte testen en wat hem te wachten staat in de test aan tijdsbestek en onderdelen. De tweede pagina waarschuwt de gebruiker niet de browser te verlaten. Flash werkt zelf niet met pagina's, maar wordt in de browser afgespeeld; wanneer deze wordt verlaten of de 'terug'-knop van de browser wordt gebruikt, zal de gebruiker de gehele test opnieuw moeten doen. De tot dan behaalde resultaten zijn wel opgeslagen, maar het is lastig voor de gebruiker. Vanwege eventuele waarschuwingen moet de notificatiebalk zichtbaar zijn, daarom wordt gevraagd of de browser groot genoeg is. Het belangrijkste deel van de introductie is het formulier. Hier worden enkele persoonlijke gegevens gevraagd, waar vervolgens een identificatie van de gebruiker mee wordt aangemaakt.

De volgende gegevens worden gevraagd:

- Geslacht M / V
- Geboortedatum DD / MM / JJJJ
- Woonplaats <tekst>
- Beroep <tekst>

Het 'geslacht' spreekt voor zich: Alleen man of vrouw kan gekozen worden. Bij de geboortedatum kunnen alleen getallen ingevuld worden. Tevens heeft het de functionaliteit om getallen aan te vullen wanneer deze incompleet ingevuld zijn (bv. wanneer een gebruiker enkel '84' bij het jaartal invult, wordt deze automatisch aangevuld tot '1984'). Dit is voor gebruiksgemak, maar ook belangrijk, omdat de database vraagt om een specifieke lengte van de data voor de identificatie. Bij woonplaats en Beroep kunnen geen tekens worden gebruikt om hacken van de database te voorkomen. Als er foutieve data is ingevoerd (geen data, of bijvoorbeeld een dag groter dan 31), wordt er een foutmelding gegeven wanneer de gebruiker verder wilt gaan.

Instructies (figuur 20, rechtsboven)

Bij de instructies wordt de gebruiker geforceerd om de verschillende opdrachten te voltooien. Deze opdrachten hebben altijd betrekken tot het leren gebruiken van de methode en bijbehorende gereedschappen. Omdat elke methode unieke eigenschappen heeft, worden deze allemaal behandeld. Wanneer alle handelingen voor de betreffende methode zijn gedaan, krijgt de gebruiker de mogelijkheid om zonder opdracht de methode uit te proberen. De opdracht wordt als een pop-up weergegeven (figuur 21). Eerst wordt de opdracht gegeven, vervolgens de methode uitgelegd en ten slotte wordt er aangegeven dat de opdracht uitgevoerd moet worden om verder te gaan. De pop-up kan geminimaliseerd worden zodat deze niet in de weg staat voor de methode.

Opdracht: Selecteer een enkele oplossing
Klik met de (linker-)muisknop op een oplossing.

Lijn Methode:
Deze methode laat oplossingswaarden zien op grafieken met één Parameter. Grafieken van elke parameter worden parrallel aan elkaar laten zien. Als u een oplossing selecteerd of hier met de cursor overheen gaat, ziet u een lijn die de verschillende waarden van één oplossing verbindt.

U moet de opdracht uitvoeren om verder te gaan.

- minimaliseer -

Figuur 21: Pop-up – Instructies en Opdracht.

Test (figuur 20, linksonder)

Gedurende de test wordt altijd gevraagd op zoek te gaan naar een oplossing met de hoogste waarde over alle parameters. De gebruiker moet één oplossing geselecteerd hebben om een deelttest te voltooien en verder te gaan: Meer of minder wordt niet geaccepteerd. De methoden worden per complexiteit in vaste volgorde van elkaar getest, namelijk:

1. Lijn Methode
2. Spreidplot Matrix Methode
3. Multidimensionale Methode
4. Tabel

Eerst wordt er voor drie parameters getest, vervolgens met vijf en als laatste met tien. Dit resulteert in een totaal van twaalf deelttesten. De gebruikers zal geen timer te zien krijgen, omdat verwacht wordt dat aanduiding hiervan invloed kan uitoefenen bij het kiezen van een strategie of oplossing.

Enquête (figuur 20, rechtsonder)

De enquête is een korte afsluiter van de gebruikstest waarin drie vragen worden gesteld met betrekking tot de methoden. De volgende vragen worden gesteld:

- Welke methode vergeleek de oplossingen het best?
- Welke methode was het makkelijkst in gebruik?
- Bij welke methode heeft u naar eigen inzicht de beste resultaten geboekt?

Het zijn gesloten vragen: De gebruiker moet methoden op volgorde zetten van plaats 1 tot en met 4, waarbij plaats 1 het beste is. Dit kan de gebruiker doen door plaatjes van de methoden te slepen naar de juiste vakken. De gebruiker mag niet door als meer dan één van een methode in dezelfde vraag staat of als een vakje leeg is.

Einde

Dit onderdeel is enkel als afsluiting van de gebruikstest toegevoegd. Het geeft aan dat alle data is opgeslagen en de browser veilig verlaten kan worden. Tevens wordt de gebruiker bedankt voor de medewerking.

5. Verzameling van Gegevens

De gebruikstest zal individueel en zonder toezicht gemaakt worden, waardoor observatie uitgesloten is. Toch moeten er resultaten verzameld worden. Tijdens de Introductie, Test en Enquête worden gegevens verzameld en in een database gezet. Deze gegevens zullen bij elk onderdeel in meer detail besproken worden.

User

Tijdens de introductie wordt de gebruiker gevraagd om persoonlijke, maar anonieme gegevens in te voeren. Deze gegevens worden gebruikt om een identificatie (id.) aan te maken. Dit id. is niets anders dan een code dat uniek is voor elke gebruiker en zal worden gebruikt om overige gegevens te linken aan deze gebruiker.

Naast de user-input wordt ook het IP-adres opgeslagen. Hiermee kan worden gecontroleerd of niet één gebruiker de test veelvuldig aan het maken is. Mocht dit wel het geval zijn, of de gebruiker heeft de test niet serieus gemaakt, dan kunnen alle gegevens van die gebruiker met behulp van de id. uit de database worden onderscheiden.

Deeltesten

De doelen van dit gebruiksonderzoek zijn het vinden van: de kwaliteit van de oplossing resulterende uit een visualisatie methode, de efficiëntie van een methode en de kwaliteit van de oplossing als functie van een toenemende complexiteit.

Er is besloten om voor elke deeltest (dat een combinatie is van een methode en een complexiteit) de volgende gegevens op te slaan:

- De Oplossing
- De Tijd
- Het aantal Handelingen
- Het aantal keer dat een Gereedschap is gebruikt.

De oplossing-sets zijn bewaart en de waarden van elke oplossing zijn dan ook al bekend. Enkel het opslaan van de oplossing zelf is genoeg om achter de kwaliteit te komen. De tijd wordt gemeten in seconden, vanaf het moment dat de deeltest geladen is totdat de gebruiker succesvol verder gaat. Het aantal handelingen wordt gemarkeerd als het aantal keer dat er met de muis wordt geklikt. Daarnaast wordt ook per gereedschap gemeten hoe vaak deze gebruikt is; met als doel om inzicht te krijgen op strategieën.

Enquête

Tijdens de enquête worden drie vragen gesteld die beantwoord moeten worden met het op volgorde zetten van methoden van goed naar slecht. Ook deze volgorden worden opgeslagen om de mening van de gebruiker mee te nemen naar de resultaten.

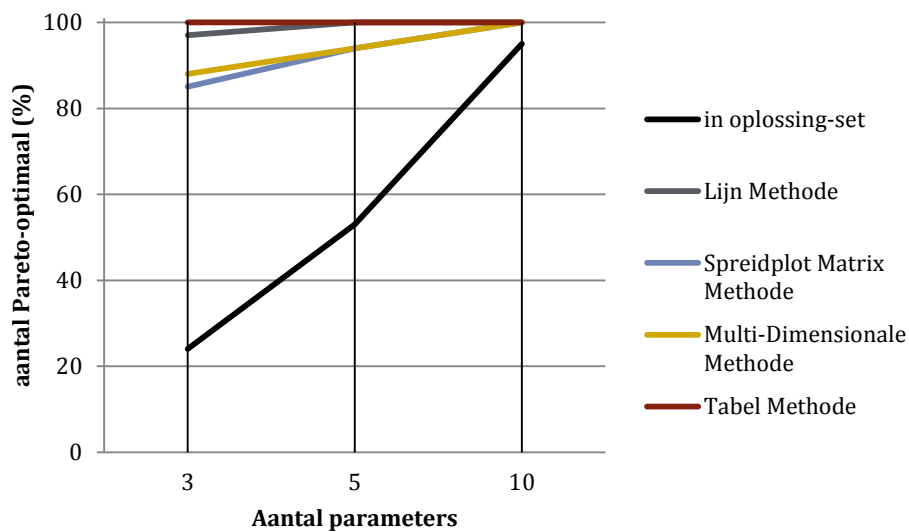
C. RESULTATEN

1.	OPLOSSING-SETS.....	43
2.	METHODEN	45
	<i>Lijn Methode</i>	45
	<i>Spreidplot Matrix Methode</i>	47
	<i>Multidimensionale Methode</i>	49
	<i>Tabel Methode</i>	51
3.	PARAMETERS	53
4.	ALGEMEEN	55
5.	CONCLUSIES RESULTATEN	58

De gebruikstest heeft ongeveer twee weken online gestaan: Vanaf vrijdag 15 juli tot en met vrijdag 29 juli. Gedurende deze tijd zijn er 55 id's aangemaakt, waarvan maar 27 de volledige test hebben voltooid. Vanuit de 55 id's die aangemaakt zijn, zijn een aantal ontstaan doordat een gebruiker opnieuw is begonnen. Er zijn drie gebruikers na de eerste testmethode gestopt (deze vallen niet onder de 27). Van de 27 gebruikers die wel de test hebben voltooid, zijn er vier waar de resultaten niet van worden gebruikt vanwege onlogische input. Dit kan te maken hebben met extreem slechte resultaten waarbij de gebruiker de test waarschijnlijk niet heeft begrepen of zeer korte doorlooptijden zoals 1 seconde per test waarvan is geconcludeerd dat de gebruiker de test niet serieus heeft genomen. De resultaten van de overige 23 zijn gebruikt bij het maken van de cijfers en conclusies in dit hoofdstuk.

1. Oplossing-sets

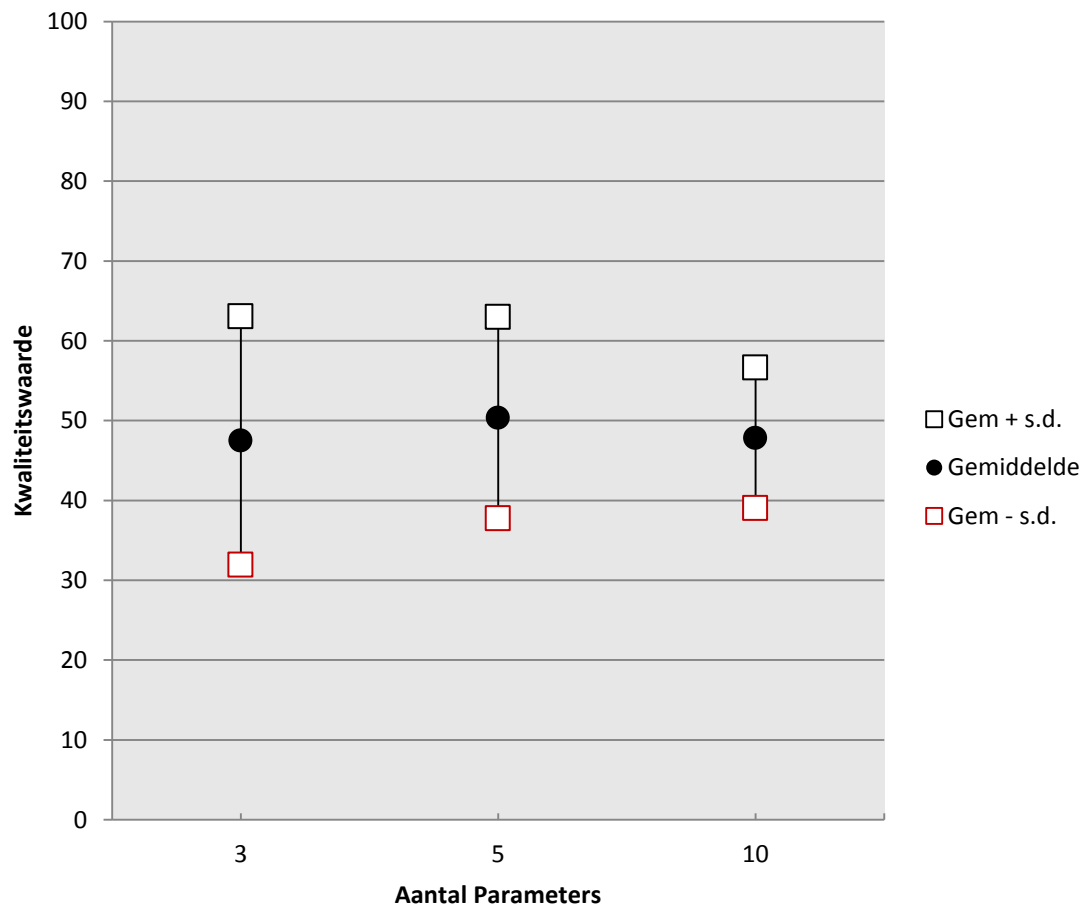
Voor de gebruikstest zijn drie oplossings-sets gebruikt: voor drie, vijf en tien parameters. Elke set bevat 100 oplossingen. Opvallend is dat bij drie parameters 24% van de oplossingen Pareto-efficiënt is, bij vijf parameters dit getal 53% is en bij tien parameters zelfs 95%. In figuur 22 wordt dit samen met de gekozen oplossingen per methode weergegeven. Dit laat zien dat bij elke test een groot deel van de gekozen oplossingen Pareto-optimaal is en, door de aard van de oplossing-sets, bij 10 parameters altijd 100%. Het zal bij de resultaten van de test niet genoeg zijn om enkel naar een Pareto-optimum te kijken, maar toch is het een must om als gebruiker een Pareto-optimale oplossing te kunnen vinden.



Figuur 22: Percentage oplossingen dat Pareto-optimaal is.

De gemiddelde waarden van de drie sets komen redelijk overeen; deze zijn respectievelijk 48, 50 en 48. Wel zijn de gemiddelde waarden voor enkel Pareto-optimale oplossingen lager bij een hoger aantal parameters. Dit wordt verklaard door het grote gedeelte Pareto-optimale waarden bij een hoge complexiteit, waarbij ook meer lage waarden worden toegerekend tot de set Pareto-optimale oplossingen.

Bij een toenemende complexiteit zijn er ook meer waarden per oplossing, waardoor de variatie kleiner wordt. In figuur 23 zijn de gemiddelde waarden en de standaarddeviaties van de oplossing-sets weergegeven.



Figuur 23: Gemiddelde en standaarddeviatie van de verschillende oplossing-sets.

Om de behaalde kwaliteit van de oplossingen te vergelijken, worden ook de gemiddelde waarden van de oplossingen berekend. Deze lijken dicht bij elkaar in de buurt te zitten, maar omdat het bereik van Pareto-optimale waarden niet erg groot is, wordt er naast de absolute gemiddelde waarde ook een verhouding ten opzichte van de range van de Pareto-optimale waarden berekend. Als voorbeeld heeft oplossing1 een gemiddelde waarde van 65 en oplossing2 een gemiddelde waarde van 60; beide zitten in de lijst van drie parameters. De lijst van drie parameters heeft voor Pareto-optimale oplossingen een minimale waarde van 45 en een maximum van 75. Als men er vanuit gaat dat het kiezen van een oplossing met 45 de laagste score (0%) en het kiezen van een oplossing met 75 de hoogste score (100%) is, dan heeft oplossing1 een score van 67% en oplossing2 een score van 50%. Terwijl eerst het verschil tussen de oplossingen aardig klein leek, valt nu op dat het relatief een groot verschil is met de mogelijkheden die gehaald hadden kunnen worden. Wanneer in de resultaten de kwaliteit voor de oplossingen in procenten is weergegeven, is deze berekening gebruikt.

2. Methoden

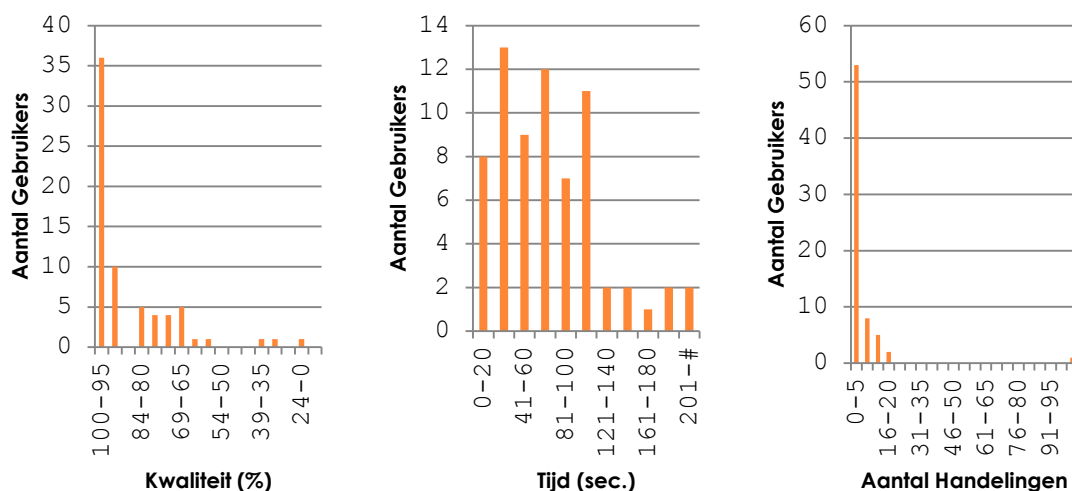
De resultaten voor de methoden van de gebruikstest zullen hieronder besproken worden. Er wordt een kort overzicht gegeven van de waarden, een korte uitleg bij de waarden en aan de hand van de behaalde gegevens over de gereedschappen gekeken of er specifieke tactieken zijn gebruikt.

Lijn Methode

Pareto-efficiëntie	98,55%
Gemiddelde Waarde Oplossingen	68 (88%)
Gemiddelde Tijd	80,42 sec.
Gemiddeld aantal Handelingen	6,97
Welke methode vergeleek de oplossingen het beste?	50/69
Welke methode was het makkelijkst in gebruik?	54/69
Bij welke methode heeft u de beste resultaten geboekt?	52/69

Tabel 3: Resultatenoverzicht Lijn Methode.

De lijn methode scoort zeer goed op kwaliteit. Van alle testen, is maar één keer een niet Pareto-optimale oplossing gekozen. De waarden die gehaald zijn uit de gekozen oplossingen vallen het meest op; het is vaak gelukt om de maximale waarde te kiezen of om daar in de buurt te zitten. De tijd dat een gebruiker er over deed om tot een keuze te komen is langer dan de andere technieken gebaseerd op visualisatie, maar het aantal handelingen dat de gebruiker nodig had is zeer klein. Daarnaast heeft deze methode op alle vlakken de hoogste gebruikerswaardering gekregen.

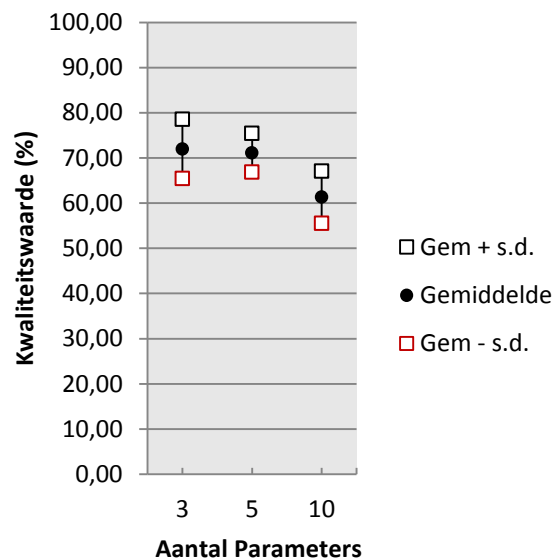


Figuur 24: Lijn Methode – score gebruikers bij kwaliteit, tijd en handelingen.

Uit de resultaten is gebleken dat er opvallend weinig handelingen nodig zijn om met deze methode om te gaan. Bij de gebruikte selectie gereedschappen valt op dat de handelingen voor een groot deel bestaan uit het selecteren van een enkele oplossing of het selecteren van een groep door middel van het selectievierkant gereedschap. Daarnaast is de control toets veel gebruikt. De strategie die hierbij hoort is waarschijnlijk het selecteren van oplossingen met hoge waarden en vervolgens met de control toets de oplossing met lagere waarden weghalen totdat er enkele oplossingen overblijven waaruit een keuze uit gemaakt wordt.

Een andere techniek kan het gebruik van weinig handelingen verklaren. Wanneer een muis over een oplossing wordt gehaald, komt de gehele lijn te voorschijn. Dit wordt niet als een handeling gezien en de gebruiker kan alle oplossingen afgaan, steeds twee vergelijken en de beste hiervan selecteren. Hierbij wordt alleen het selecteren van een enkele oplossing een aantal keer gebruikt.

In figuur 25 is te zien dat de Lijn Methode een lage standaarddeviatie heeft voor alle parameters, maar vooral bij vijf. Het gemiddelde neemt een duikeling naar tien parameters. Dit geeft aan dat de gebruikers de hoge score niet konden behouden bij een zeer grote complexiteit.



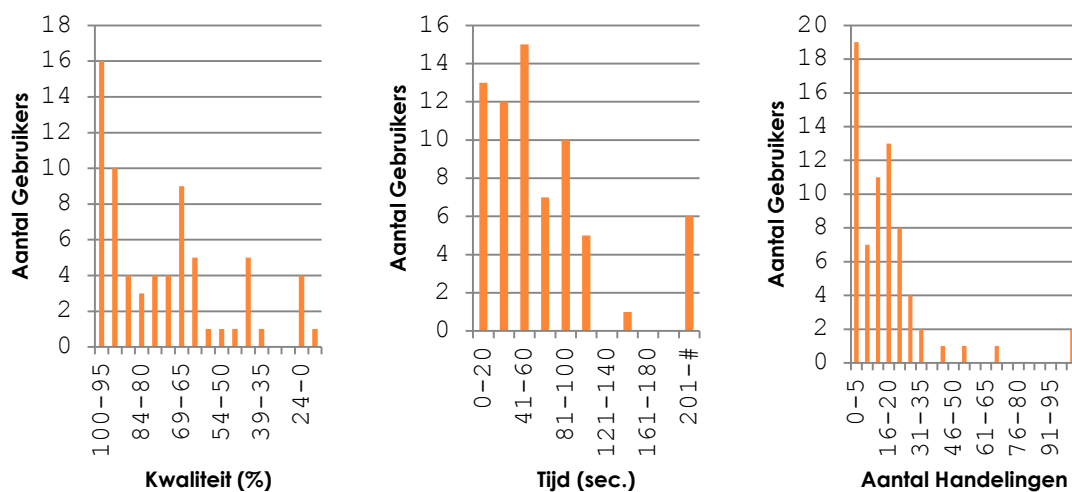
Figuur 25: Gemiddelden en standaarddeviatie van oplossingskwaliteit per complexiteit.

Spreadplot Matrix Methode

Pareto-efficiëntie	89,86%
Gemiddelde Waarde Oplossingen	63 (73%)
Gemiddelde Tijd	76,81 sec.
Gemiddeld aantal Handelingen	18,74
Welke methode vergeleek de oplossingen het beste?	22/69
Welke methode was het makkelijkst in gebruik?	19/69
Bij welke methode heeft u de beste resultaten geboekt?	24/69

Tabel 4: Resultatenoverzicht Spreadplot Matrix Methode.

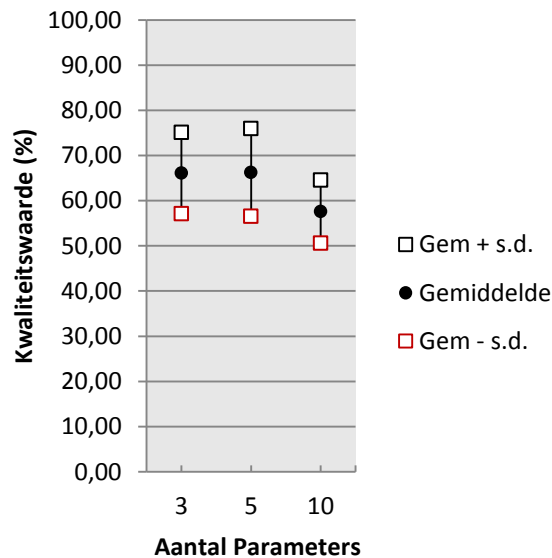
De Spreadplot Matrix Methode heeft slechte scores, waaronder het laagst behaalde Pareto-optimale niveau: Maar 89,86% van alle gebruikers wist een Pareto-optimale oplossing te kiezen. De gemiddelde tijd dat over het kiezen van een oplossing gedaan werd is redelijk, maar het aantal handelingen slecht. De gebruikers hebben deze methode zeer matig beoordeeld.



Figuur 26: Spreadplot Matrix Methode - score gebruikers bij kwaliteit, tijd en handelingen.

Voor de strategie bij deze methode is als eerst gekeken naar het gebruik van frames. Gemiddeld zijn er bij elke test 4,6 frames geopend en 3,2 gesloten. Dit betekent dat bij het maken van selecties de frames voornamelijk één voor één zijn geopend, of deze na het vergelijken weer zijn gesloten. Het valt hierbij op dat in een aantal gevallen alle frames zijn gesloten voordat er op verder is gedrukt. Dit is een logische reactie van de gebruiker, maar zeker geen vereiste van het systeem. Bij 18/69 testen is er enkel maar één frame geopend. Het is onmogelijk om deze situatie een goede keuze te maken waardoor er geconcludeerd wordt dat toch een groot deel van de gebruikers niet goed heeft begrepen hoe de methode bediend moet worden. Wanneer de waarden van deze deeltesten worden weggehaald, wordt de gemiddelde kwaliteit van de methode 64: Dit is geen grote verbetering. Het zou kunnen dat deze gebruikers de verschillende oplossingen hebben vergeleken met de plots in de matrix.

Het openen, verslepen en sluiten van frames zijn meegerekend in het aantal handelingen dat nodig was voor het gebruik van de methode. Als deze niet worden meegeteld komt dit gemiddelde op 8,04 per test: Dit is ruim minder dan de helft. Het gebruiken van frames vergt veel handelingen, maar dit zijn korte handelingen gezien het tijdsbestek waarin een keuze wordt gemaakt.



Figuur 27: Gemiddelden en standaarddeviatie van oplossingskwaliteit per complexiteit.

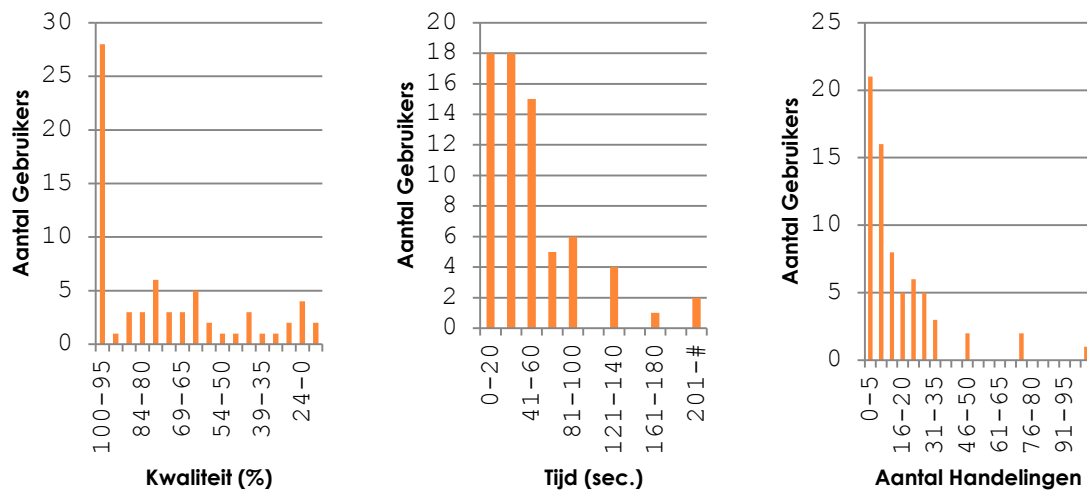
Aan de hand van standaarddeviaties (figuur 27) is te zien dat er wel degelijk goede resultaten gehaald zijn. Uiteindelijk is het aantal slechte resultaten verantwoordelijk voor het lage gemiddelde.

Multidimensionale Methode

Pareto-efficiëntie	91,30%
Gemiddelde Waarde Oplossingen	63 (73%)
Gemiddelde Tijd	50,12 sec.
Gemiddeld aantal Handelingen	16.10
Welke methode vergeleek de oplossingen het beste?	24/69
Welke methode was het makkelijkst in gebruik?	18/69
Bij welke methode heeft u de beste resultaten geboekt?	24/69

Tabel 5: Resultatenoverzicht Multidimensionale Methode.

De multidimensionale methode heeft een redelijk aantal oplossingen waarbij de hoogste score of bijna de hoogste score is behaald. Omdat er ook veel lage scores zijn behaald, is het gemiddelde erg laag. Bovendien is het Pareto-optimum slechts 91,30%. Deze methode vergt veel handelingen, maar daartegenover blijkt wel dat van de vier dit de snelste methode is. Gebruikers geven deze methode een slechte waardering op alle vlakken.

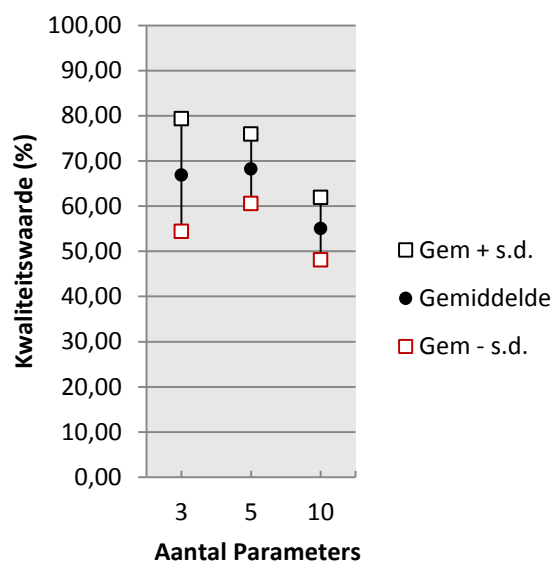


Figuur 28: Multidimensionale Methode - score gebruikers bij kwaliteit, tijd en handelingen.

Een belangrijk onderdeel van deze methode is het gebruiken van de driedimensionale omgeving. Bij meeste testen is de rotatie gereedschap gebruikt, maar in twaalf gevallen niet. Evenals bij de Spreidplot Matrix Methode, hebben gebruikers deze methode niet goed begrepen. Wanneer deze resultaten niet mee worden gerekend, wordt het gemiddelde 65. Dit is een relatieve verbetering van 6% waardoor de mogelijke kwaliteit van deze methode aardig stijgt, maar niet genoeg om beter te scoren dan de lijn of tabel methode. Het grootste deel van de 6% verbetering ligt bij de drie parameter testen. Dit kan ook wel kloppen, omdat bij hogere parameteraantallen ook de selecties worden gebruikt om te vergelijken. Wel valt op dat meer dan de helft van de niet Pareto-optimale gekozen oplossingen niet onder de foutieve resultaten viel.

Het roteren is een reden dat er dusdanig veel handelingen gedaan moet worden. Om goed zicht te hebben op de parameters, is het belangrijk om de methode goed af te stellen. Er werden twee verschillende strategieën gebruikt voor het roteren. Ten eerste kan de rotatieknop ingehouden worden totdat de grafiek op de goede manier afgebeeld is; dit vergt één handeling voor de metingen. Een andere strategie is om de grafiek in de buurt te zetten van de gewilde positie en deze met kleine aanpassingen perfectioneren. De laatste strategie zorgt juist voor veel handelingen. In principe is er geen verschil tussen de gebruikte strategieën wanneer het gaat om gebruiksgemak. Dit maakt het lastig om conclusies te trekken uit het aantal gebruikte handelingen.

Deze methode heeft bij de eerste test van drie handelingen uit zichzelf een duidelijk overzicht. Enkel met rotatie en zonder selectie kan al een keuze worden gemaakt. Bij een hogere complexiteit wordt nog steeds uitgegaan van de eerste drie parameters als uitgangspunt, omdat de overige parameters pas te zien zijn bij een selectie. De rollen worden omgedraaid wanneer een selectie is gemaakt, waardoor de focus juist meer op de overige parameters ligt. Deze strategie is vergelijkbaar met domein-afbakening voor alleen hogere waarden van parameters. Dit is de enige geteste methode waarbij de visualisatietechniek zelf al gewichten aan parameters geeft voordat deze beoordeeld worden. Dit was tegen de eisen in, maar dit hoeft niet slecht te zijn, want in een reële situatie zou een gebruiker ook voorkeuren hebben voor specifieke parameters.



Figuur 29: Gemiddelden en standaarddeviatie van oplossingskwaliteit per complexiteit.

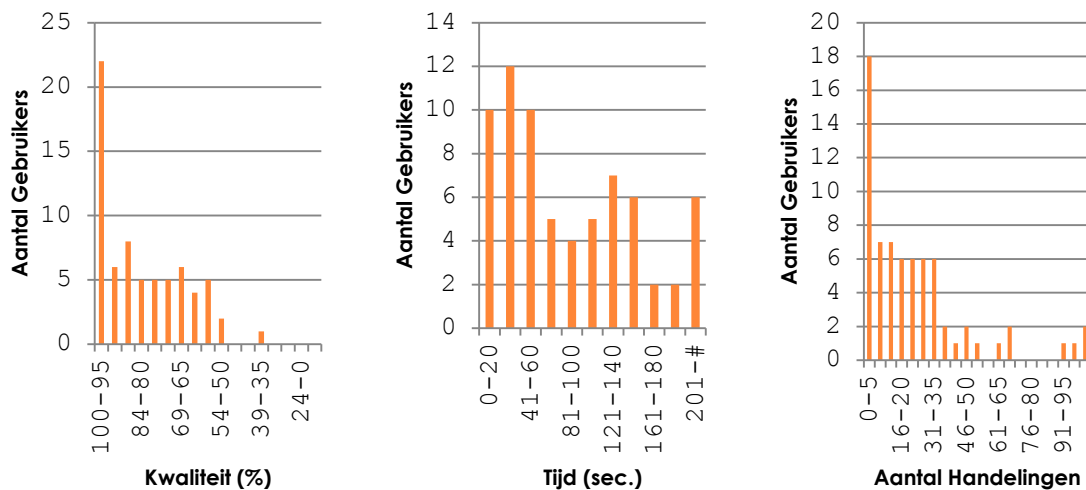
In figuur 29 is te zien dat er een grote variatie is bij drie parameters. Er is al aangegeven dat hier de meeste foutieve resultaten bij zitten. Wat ook opvalt is dat bij vijf en tien parameters (die ook een laag gemiddelde hebben) er geen grote variatie is. Dit betekent dat de gebruikers veel moeite hadden om de echt goede waarden te vinden bij toenemende complexiteit, wat een slecht teken is voor een dergelijk visualisatiemethode.

Tabel Methode

Pareto-efficiëntie	100%
Gemiddelde Waarde Oplossingen	66 (83%)
Gemiddelde Tijd	93,10 sec.
Gemiddeld aantal Handelingen	24,64
Welke methode vergeleek de oplossingen het beste?	42/69
Welke methode was het makkelijkst in gebruik?	47/69
Bij welke methode heeft, volgens u, u de beste resultaten geboekt?	38/69

Tabel 6: Resultatenoverzicht tabel Methode.

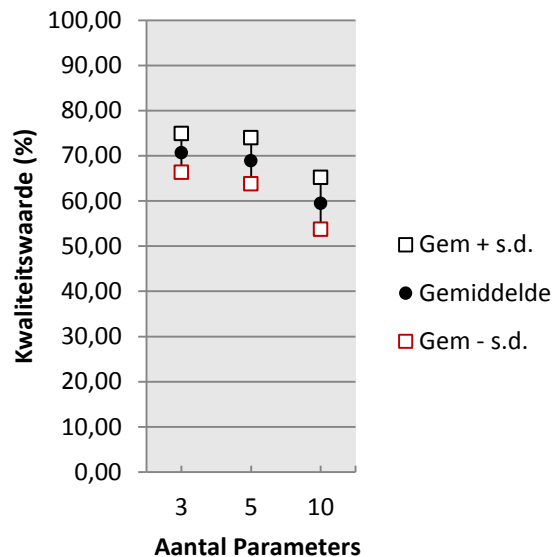
De tabel methode heeft een Pareto-optimale score van maar liefst 100% gehaald en scoort hiermee het best van alle methoden. Ook de gemiddelde waarden van de oplossingen liggen erg hoog, maar niet zo hoog als de lijn methode. Ondanks de goede kwaliteits-resultaten, scoort de tabel het slechtst op tijd en aantal handelingen nodig om tot een keuze te komen. De gebruikers vinden deze methode op alle vlakken redelijk tot gemiddeld.



Figuur 30: Tabel Methode - score gebruikers bij kwaliteit, tijd en handelingen.

De tabel bevat een aantal specifieke gereedschappen om deze te bedienen. Uit de resultaten is gebleken dat de tabel veel handelingen en tijd nodig heeft om oplossingen te vinden. Dit is ook wel te zien aan het veelvuldig gebruik van alle soorten gereedschappen (figuur 37).

Het sorteren van oplossingen, vervolgens de oplossingen met de beste waarden selecteren en de positie controleren wanneer er op andere parameters gesorteerd wordt lijkt de algemene strategie te zijn die gebruikt is. Om een beeld te krijgen van het aantal handelingen dat hiervoor nodig is, is het goed om te bedenken dat het sorteren van elke parameter (bij de hoogste complexiteit) tot tien handelingen kan optellen. Er mag rustig gezegd worden dat de tabel een zeer intensieve methode is.



Figuur 31: Gemiddelden en standaarddeviatie van oplossingskwaliteit per complexiteit.

Net als bij de Lijn Methode, heeft de Tabel Methode zowel goede waarden voor gemiddelden als een kleine variatie (figuur 31). Vooral bij drie parameters is zeer goed gescoord, dit komt voornamelijk omdat er hier altijd Pareto-optimale oplossingen zijn gekozen. Bij een toenemende complexiteit zakt het gemiddelde steeds sneller, waarbij de variatie redelijk beperkt blijft. Dit duidt aan dat de Tabel Methode niet erg geschikt lijkt te zijn voor zeer hoge complexiteiten.

3. Parameters

Naast het vergelijken van methoden, is de invloed van het een toenemende complexiteit in het ontwerpdomein onderzocht. Er zijn deeltesten gedaan voor drie, vijf en tien parameters. De onderdelen kwaliteit, tijd en aantal handelingen zullen afzonderlijk behandeld worden. Deze worden beschreven met behulp van de figuren 32, 33 en 34 op de volgende pagina.

Kwaliteit

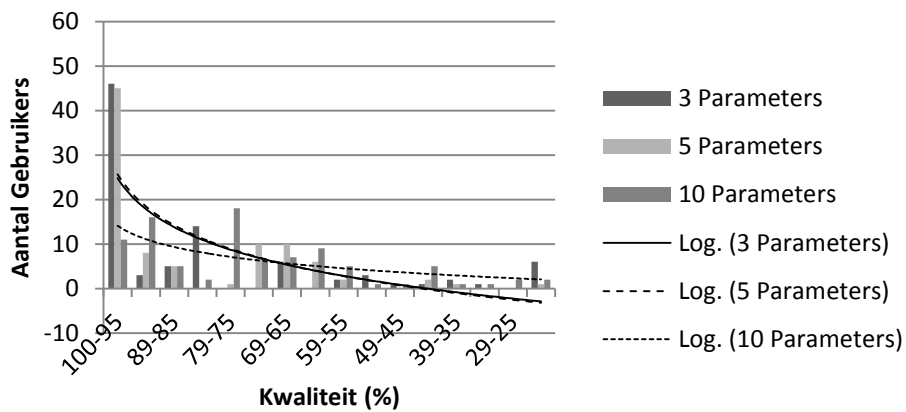
De waarden voor drie en vijf parameters zijn grotendeels gelijk, waarbij meer dan de helft van de gebruikers voor deze complexiteiten een score hadden tussen 95%-100% van de maximum haalbare score. Opvallend is dat er ook een serie lage scores zijn gehaald voor drie parameters, dit zijn waarschijnlijk de niet Pareto-optimale resultaten. De complexiteit met tien parameters vormt een ander verhaal; hierbij zijn de resultaten meer verdeeld. Geconcludeerd kan worden dat bij een complexiteit van tien parameters het vinden van een hoge kwaliteit oplossing een stuk moeilijker is. Natuurlijk is in het hoofdstuk 'Oplossing-sets' al besproken dat bij tien parameters altijd een Pareto-optimale oplossing wordt gevonden.

Tijd

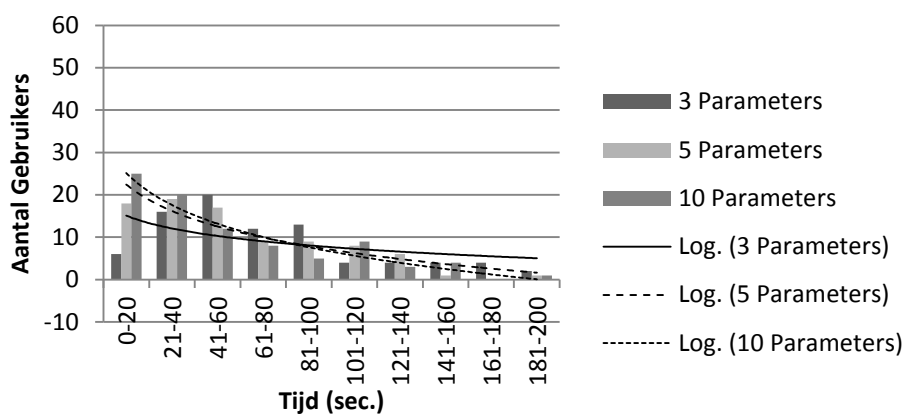
Van te voren werd verwacht dat bij een toenemende complexiteit ook de tijd dat de gebruiker nodig zou hebben omhoog gaat. Uit de resultaten is te halen dat juist het omgekeerde het geval is. Naarmate de complexiteit omhoog gaat, neemt de tijd dat de gebruiker nodig heeft voor het kiezen van een oplossing af. Dit kan verklaard worden op drie manieren. Ten eerste was de gebruikstest zo ontworpen dat de gebruiker eerst een oplossing moest vinden bij drie parameters. De gebruiker heeft bij het beginnen van de deeltesten wel instructies gehad, maar nog geen oefening met het vinden van een geschikte oplossing. Bij de testen met drie parameters moest de gebruiker voor de methode nog een strategie zoeken voor het vinden van een geschikte oplossing. Deze strategie kan wellicht ook weer gebruikt worden voor vijf en tien parameters, waar de gebruiker dan geen tijd aan hoeft te besteden. Een tweede verklaring is dat de gebruiker tijdens eerdere testen ervaring en handigheid op doet met de methoden en gereedschappen, waardoor de gebruiker sneller tot een oplossing kan komen. De overweldiging van een toenemende complexiteit kan een derde verklaring zijn. Zo zouden gebruikers sneller de neiging hebben om gewoon 'een oplossing' te selecteren wanneer er gedacht wordt het niet meer aan te kunnen. Bij de kwaliteit is al aangegeven dat de behaalde resultaten bij tien parameters minder zijn dan de lagere geteste complexiteiten, dit kan ook te maken hebben met de derde verklaring.

Handelingen

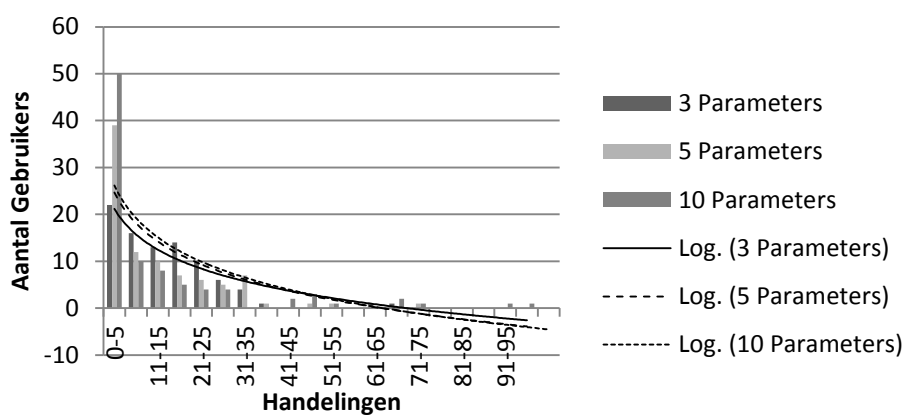
Het aantal handelingen gaat vaak in lijn met de tijd dat de gebruiker er over doet om een oplossing te selecteren. Dit is ook te zien in de resultaten, die vergelijkbaar (maar in mindere mate) zijn als bij de tijd. Ook dit kan door dezelfde verklaringen beredeneerd worden.



Figuur 32: Score kwaliteit gebruikers per complexiteit.



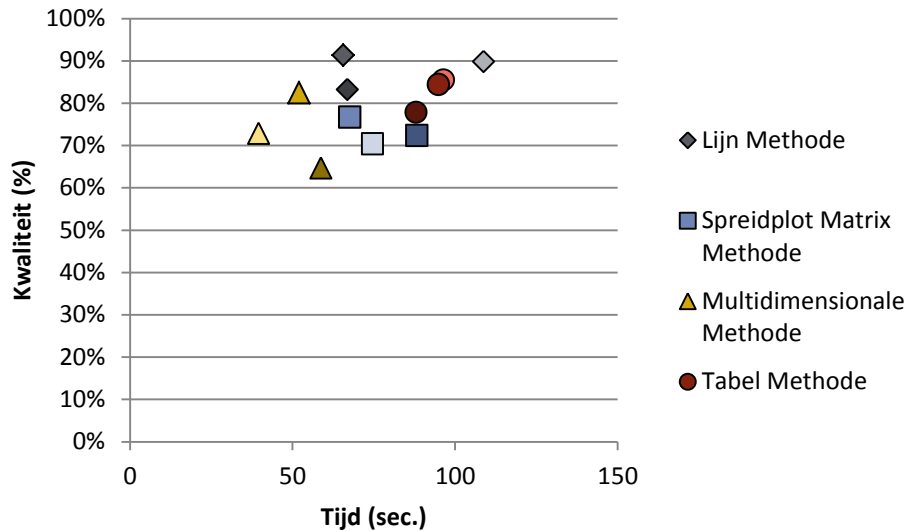
Figuur 33: Score tijd gebruikers per complexiteit.



Figuur 34: Score handelingen gebruikers per complexiteit.

4. Algemeen

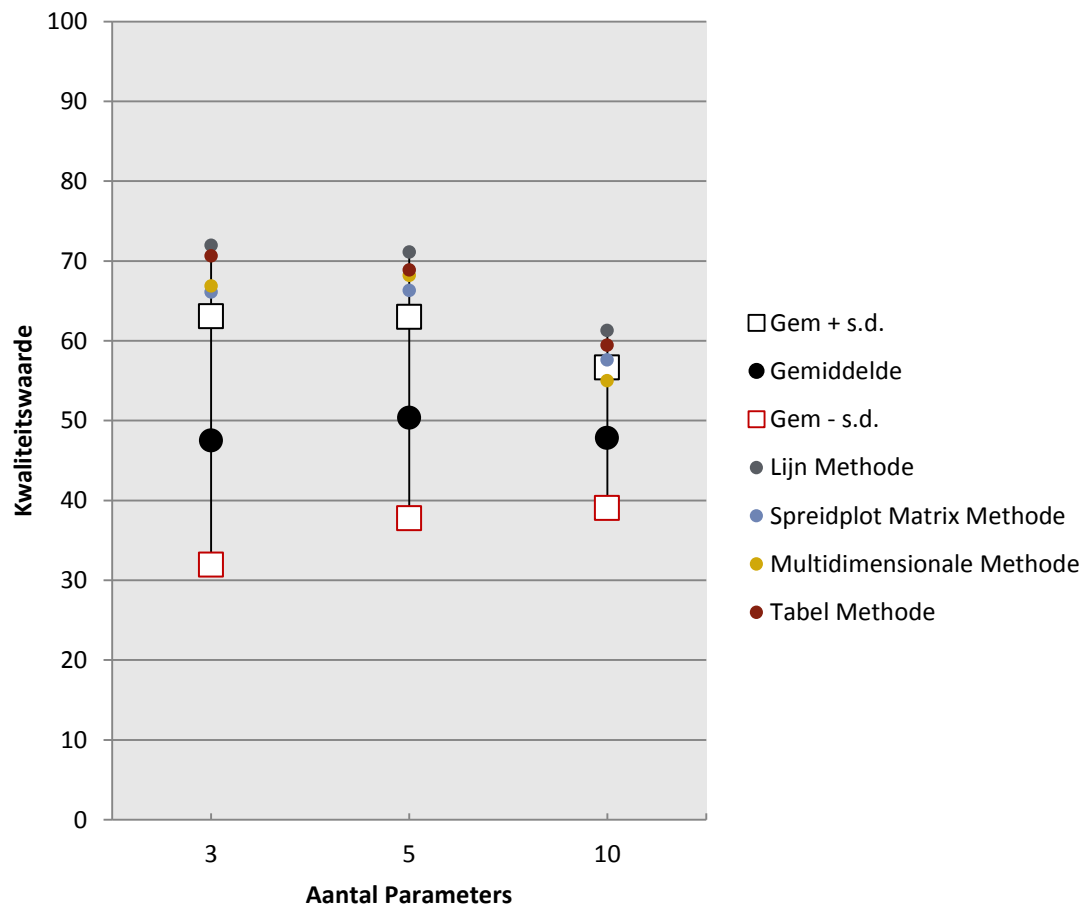
Bij de resultaten van de methode is al enigszins rekening gehouden met een toenemende complexiteit van de deeltesten. Toch zijn nog niet alle resultaten gecombineerd weergegeven. Deze en andere nog niet besproken resultaten zullen in dit hoofdstuk vermeld worden.



Figuur 35: In deze grafiek is per methode de kwaliteit van de gemiddelde oplossingswaarde per complexiteit tegenover de tijd dat de gebruiker nodig had om deze te kiezen gezet. Een lichte kleur staat voor de deeltesten van drie parameters en een donkere kleur voor deeltesten van tien parameters.

In figuur 35 zijn alle resultaten van het onderzoek bij elkaar gevoegd. Per methode worden drie waarden laten zien, één voor elke geteste complexiteit, waarbij de tijd tegenover de kwaliteit wordt gezet. Duidelijk is te zien dat de Multidimensionale Methode zeer korte doorlooptijden had op alle vlakken, daarbij hoort wel dat deze methode ook een hele lage score heeft (vooral bij tien parameters). Daartegenover staat de Lijn Methode die zeer goed heeft gescoord, maar bij drie parameters kostte het de gebruikers erg veel tijd om tot een oplossing te komen. Dit was dan ook wel de eerste deelttest die iedereen kreeg, waarbij ook de opdracht nog gelezen moest worden.

In figuur 36 worden de gemiddelde waarden en standaarddeviaties van de oplossing-sets weergegeven die in figuur 23 ook al zijn afgebeeld. Dit maal zijn ook de (absolute) gemiddelde oplossingswaarden voor alle methoden getoond. Direct opvalt, is dat bijna alle gemiddelden boven de hoge variatie van de oplossingswaarden van de set zitten. De gebruikers hebben in de algemeenheid redelijk tot goed gescoord. Toch wordt er naar perfectie gestreefd, waarbij nog maals de Lijn Methode goed scoort.

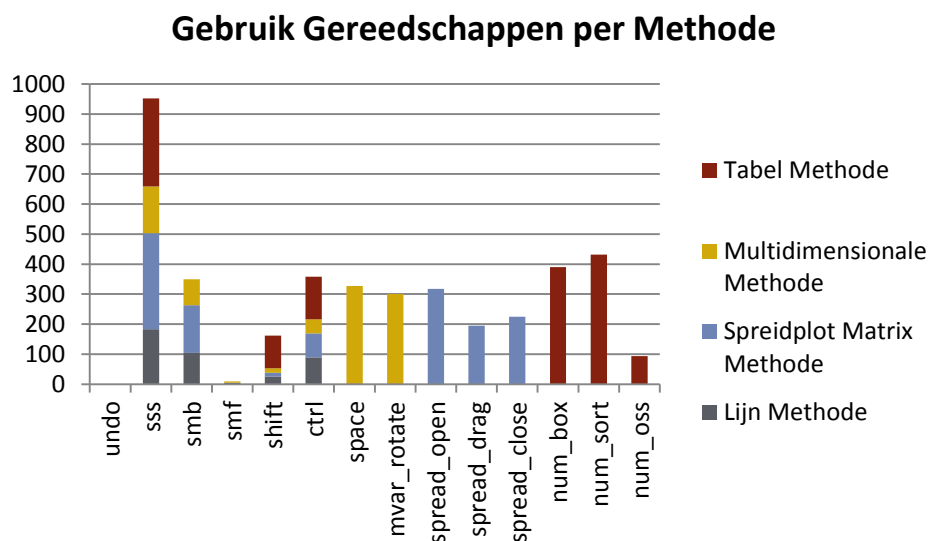


Figuur 36: Gemiddelde en standaarddeviatie van de verschillende oplossing-sets. Ook zijn gemiddelde waarden van de methoden afgebeeld.

Ten slotte is er nog weinig verteld over de gereedschappen die gebruikt zijn voor het selecteren van oplossingen. In figuur 37 worden alle gereedschappen laten zien die tijdens de verschillende deeltesten gebruikt konden worden. De gereedschappen zullen allemaal kort doorlopen worden.

De 'undo'-button is door niemand gebruikt. Blijkbaar hebben de gebruikers dit niet nodig gehad of zijn deze vergeten. Voor de test zijn drie basis selectiegereedschappen ontworpen, namelijk: Enkele Selectie (SSS), Selectievierkant (SMB) en Selectiefiguur (SMF). Vanzelfsprekend is de enkele selectie het meest gebruikt; deze is dan ook meerdere keren nodig om een grotere selectie te maken. De enkele selectie is een vaste waarde binnen een methode. Opvallend is dat het Selectievierkant gereedschap wel met regelmaat gebruikt is, maar het Selectiefiguur bijna nooit. Waarschijnlijk was het selectiefiguur te lastig om te gebruiken of maken beginnende gebruikers een keuze om één van de twee te gebruiken in plaats van alle mogelijke opties; iets dat ook geconcludeerd is door Wolf et al. in hun onderzoek (Wolf, Simpson en Zhang 2009). Toch zijn deze resultaten erg overheersend en moet geconcludeerd worden dat het Selectiefiguur gereedschap niet nuttig is geweest. De control-knop is bijna twee maal zoveel gebruikt als de shift-knop. Dit duidt erop dat oplossingen vaak uit een selectie zijn gehaald en komt overeen met een strategie waarbij eerst een grote selectie gemaakt wordt en vervolgens telkens minderwaardige oplossingen weg gedaan worden totdat er nog maar één over is. De shift-knop is vooral gebruikt bij de Tabel methode; hierbij hebben gebruikers eerst getracht de oplossingen met hoge waarden voor elke parameter te selecteren door deze afzonderlijk

te sorteren en hiervan met shift een top-aantal bij de selectie toe te voegen. De focus bij de Tabel Methode lijkt dan ook voor een groot deel te liggen op het selecteren van hoge waarden per oplossing. Dit verklaart waarom het alle gebruikers is gelukt om een Pareto-optimale oplossing te selecteren (een beste waarde van een parameter hoort altijd bij een Pareto-optimale oplossing). Vervolgens zijn een paar sets met specifieke gereedschappen die bij de bijbehorende methoden al zijn besproken getoond. Opvallend is wel dat bij de Tabel Methode het Selectiebalk gereedschap (num_box) zeer vaak is gebruikt. Deze tool is als vervanging voor het Selectievierkant bij de andere gereedschappen, maar wordt in de Tabel Methode vaker gebruikt dan het Selectievierkant bij alle andere methoden bij elkaar. Dit geeft nog maals aan hoe intensief de Tabel Methode is bij het zoeken van een oplossing.



Figuur 37: Gebruik gereedschappen per methode.

5. Conclusies Resultaten

Gebruikers konden soms niet goed omgaan met de Spreidplot Matrix Methode en de Multidimensionale Methode, maar ook gecorrigeerde resultaten zijn matig tot slecht. Bovendien, wanneer een methode niet wordt begrepen is het automatisch een slecht teken voor de gebruiksvriendelijkheid. Er wordt geadviseerd deze methoden niet te gebruiken bij multidimensionale vergelijkingen.

De lijn methode boekt op bijna alle vlakken zeer goede resultaten. De gemiddelde kwaliteit van de gekozen oplossingen zijn bij alle parameters het hoogst, het aantal handelingen die nodig waren om een keuze te maken zijn laag en de gebruikers waarderen deze methode op duidelijkheid, gebruiksgemak en intuïtie ook het hoogst. Er kan dus geconcludeerd worden dat de lijn methode het meest geschikt is voor multidimensionale vergelijkingen.

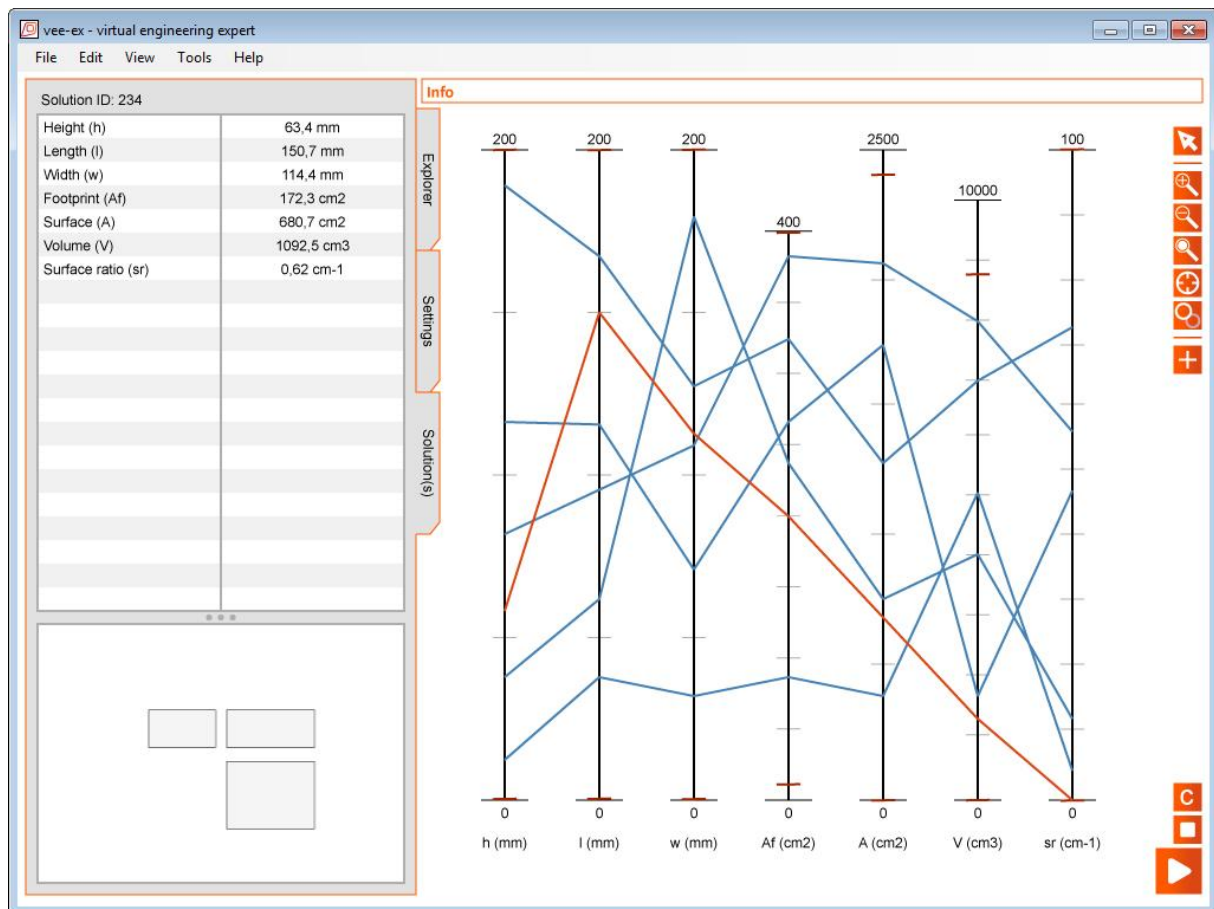
Ook de tabel methode scoorde goed op kwaliteit, waar opviel dat elke gekozen oplossing Pareto-optimaal is. Het grote nadeel van deze methode is het aantal handelingen en doorlooptijd die nodig is om tot een oplossing te komen. Het is vanzelfsprekend dat bij de uitwerking van een nieuwe visualisatie voor de synthese tool ook numerieke waarden worden laten zien voor de oplossingen. Omdat de tool niet gelimiteerd hoeft te zijn aan één visualisatiemethode, zal er worden gekeken of (en hoe) de tabelvorm ook nuttig geïntegreerd kan worden.

Het onderzoek heeft geen duidelijke resultaten geboekt bij het geven van een toenemende complexiteit. Opvallend is dat er bij de deeltesten met tien parameters niet snel verkeerde keuzes kunnen worden gemaakt; het komt neer op smaak en voorkeuren voor bepaalde eigenschappen. Wanneer de lijn methode wordt gebruikt en de gebruiker al enige ervaring heeft opgedaan met de synthese tool, zal deze geen grote problemen hebben met het behandelen van meer dan twee parameters.

D. AFSLUITING

1.	IMPLEMENTATIE BIJ VEE.EX GUI	60
2.	CONCLUSIE	62
3.	DISCUSSIE.....	63
4.	AANBEVELINGEN.....	65

1. Implementatie bij Vee.eX GUI



Figuur 38: Mogelijk ontwerp toekomstige GUI.

Scenario

Margo is een ontwerper bij het bedrijf T.E.S.T. Packaging. Dit bedrijf houdt zich bezig met het inrichten en ontwerpen van verpakkingen en in opdracht van het bedrijf moet Margo een verpakking ontwerpen voor een klant. T.E.S.T. Packaging is één van de bedrijven die heeft geïnvesteerd in het kopen van de Vee.eX software. Hierdoor kan Margo gemakkelijk en snel bepalen wat voor verpakking de klant nodig heeft.

Margo start de Vee.eX software op. Wanneer het systeem is opgestart, kijkt ze naar een scherm waarbij bovenin een drop-down menu is weergegeven en verder het beeld blank is met uitzondering van het Vee.eX logo in het midden. Voordat Margo begint met het uitwerken van de nieuwe opdracht, kijkt ze eerst of er al vergelijkende opdrachten in het bestand staan. Ze controleert snel een paar relevante opdrachten, maar merkt al snel dat deze niet bruikbaar zijn.

Margo besluit om een nieuw project te starten voor deze klant. Aan de linkerkant van het scherm is nu een brede balk gekomen met verschillende tabbladen. Het tabblad 'Explorer' is geselecteerd. Rechts onderin zijn enkele knoppen bijgekomen en in de balk links in beeld staat het projectpanel. Deze is nog leeg omdat er op dit moment nog geen 'runs' gemaakt zijn. Margo klikt op het tabblad 'Settings', waarna de informatie in de balk verandert. Nu kan Margo in de balk ranges selecteren voor verschillende parameters, zoals de maximale hoogte van een verpakking.

Na enkele overwegingen voor de eisen van de klant, vult Margo de ranges voor alle parameters in. Ook geeft ze aan enkele parameters een gewicht; hierdoor worden de balken ten opzichte van elkaar met een verschillende hoogte weergegeven. Vervolgens klikt ze op de grote knop rechts onderin het scherm ('Run'). Het grote vlak rechts wordt nu gevuld met een lijndiagram waarbij de parameters (geschaald met behulp van de ingestelde ranges) als verticale lijnen worden weergegeven. De oplossingen zijn weergegeven als lijnen tussen de parameter diagrammen.

Omdat Margo in het bijzonder geïnteresseerd is in de grondafdruk en de oppervlakteratio, zet ze deze twee parameters helemaal links in het diagram. Dit doet ze door de parameters te verslepen. Wanneer ze dit doet, wordt automatisch een voorbeeld van de nieuwe parameter posities getekend.

Margo merkt al snel op dat er een groot aantal oplossingen gegenereerd zijn. Ze besluit om de ranges van de belangrijkste paramaters zo aan te passen dat deze minder ver reiken naar slechtere waarden. Oplossingen die nu buiten de ranges vallen worden automatisch gedeactiveerd. Ze blijven nog wel in de set oplossingen staan, mocht Margo besluiten de ranges toch weer groter te maken. Er zijn nu nog maar twee oplossingen over, maar in plaats van de ranges weer te vergroten, kiest Margo er voor om nieuwe oplossingen te genereren door op de 'run' knop te drukken.

Een nieuwe set oplossingen is nu aangemaakt en aangegeven in het 'Explorer' tabblad. Alle sets blijven binnen het project bewaart, tenzij de gebruiker besluit deze handmatig te verwijderen. Omdat de eisen nu erg hoog zijn, heeft het programma maar 25 succesvolle oplossingen kunnen genereren voor deze set. Dit is voor Margo genoeg om te vergelijken en een keuze te maken. Omdat ze al een geschikte range heeft gekozen, hoeft ze niet alle onnodige oplossingen te laten zien. Onder de buttons rechts in beeld kiest ze de knop dat automatisch alle oplossingen die niet Pareto-optimaal zijn worden gedeactiveerd. Van de 25 oplossingen in de set, blijven nu nog maar 15 over.

Het is nu tijd om een keuze te maken uit de verschillende mogelijke verpakkingen en indelingen. Ze selecteert alle oplossingen één voor één. Nu krijgt ze in het tabblad 'Solution(s)' voor deze oplossing numerieke waarden voor alle parameters te zien en een tekening van de uitslag van de verpakking. Handmatig haalt Margo vijf oplossingen uit de set omdat ze weet dat deze moeilijk of niet te maken zijn met de productieprocessen dat het bedrijf gebruikt. Door gebruik van de Lijn Methode kan Margo goed de waarden van oplossingen voor alle belangrijke parameters overzichtelijk in de gaten houden. Van de overige tien haalt ze nog eens 7 handmatig weg voor verschillende redenen. Nu heeft ze nog maar drie verpakkingen over. Omdat Margo deze verpakkingen zelf gelijkwaardig vind, besluit ze om alle drie door te sturen naar de werkplaats van het bedrijf waar prototypen van deze verpakkingen gemaakt worden. De Vee.eX maakt automatisch werktekeningen van de verpakkingen zodat de mensen in de werkplaats gelijk aan de slag kunnen.

De volgende dag neemt Margo de prototypen mee naar de klant voor een presentatie. De klant kiest er één uit en productie kan beginnen.

2. Conclusie

Een tool om het ontwerpproces voor routinematige ontwerpproblemen te versnellen en verbeteren komt net op de markt kijken. Het onderzoek richt zich op het verbeteren van de keuze kwaliteit van de gebruiker. Dit wordt gedaan door een geschikte visualisatiemethode te kiezen. Tevens wordt onderzocht wat het effect is van meer dan twee parameters bij een keuzeproces. Omdat er onvoldoende literatuur over visualisatievergelijkingen met meer dan twee parameters is, is er voor gekozen om via eigen onderzoek, een gebruikstest, resultaten te behalen.

Tijdens de gebruikstest is op zoek gegaan naar de kwaliteit van de oplossing resulterende uit een visualisatie methode, de efficiëntie van een methode en de kwaliteit van de oplossing als functie van een toenemende complexiteit. Hiervoor zijn vier methoden met elkaar vergeleken, namelijk: Lijn Methode, Spreidplot Matrix Methode, Multidimensionale Methode en Tabel Methode. Bovendien zijn deze methode getest voor drie, vijf en tien parameters. Er zijn 23 gebruikstesten succesvol afgerond, wat resulteert in 69 testen per methode, 92 per complexiteit en 23 enquêtes.

Het onderzoek heeft geen duidelijke conclusies kunnen trekken uit het vergelijken van grote aantallen parameters, maar wel meer inzicht gegeven in het gebruik van een hoge complexiteit bij vergelijkingen. Uit de resultaten blijkt dat de lijn methode niet alleen simpel in gebruik is, maar ook de hoogste kwaliteit van de geteste methoden haalt. Het is dan ook niet gek dat aan de hand van dit onderzoek wordt geadviseerd om een vorm van deze visualisatiemethode te gebruiken in de SST. Als mogelijk voorbeeld is dit ook gedaan in het hoofdstuk “Implementatie bij Vee.ex GUI”, waar een ontwerp wordt beschreven door middel van een scenario.

3. Discussie

Gebruikstest

Voorafgaand aan de gebruikstesten is een doel gezet van ten minste 25 gebruikers die de volledige test hebben doorlopen. De reden hiervoor was dat er zoveel mogelijk resultaten gemaakt moesten worden om te voorkomen dat extreme waarden de resultaten zouden beïnvloeden. Uiteindelijk zijn er 23 testen gebruikt, waarvan niet alle resultaten correct waren. Toch zijn er genoeg resultaten overgebleven voor een vergelijking en daaruit zijn duidelijke conclusies gemaakt met betrekking tot de methoden. Bovendien zijn de resultaten van de topgebruikers, de gebruikers die het beste gescoord hebben over alle methoden en de testen goed hebben begrepen, in lijn met de resultaten.

Dat gezegd, was de gebruikstest lastig te begrijpen voor een groot deel van de gebruikers. Dit komt door het abstracte gehalte van de test. Was dit anders, dan hadden misschien meer gebruikers de test (volledig) afgerond. Of de resultaten dan de essentie van de test hadden vertegenwoordigd blijft de vraag.

Het is de bedoeling geweest om ontwerpers en de rest van de gebruikers te scheiden en de resultaten hiervan te vergelijken. Het opvragen van de beroepen van gebruikers was dusdanig open, dat het achteraf onmogelijk is geweest om de ontwerpers uit de groep te pikken. Zo hebben veel studenten die aan de test hebben meegedaan enkel 'student' bij beroep ingevuld en niet wat voor opleiding gedaan wordt. Helaas zijn er daardoor geen conclusies te trekken betreffende het type gebruiker dat aan de test meedeed.

Parameter Conclusies

Bij de resultaten van de testen met tien parameters werd het duidelijk dat bijna elke oplossing in principe een goede keuze was. Tenminste, wanneer er gekeken wordt naar een Pareto-optimum. Toch zijn er genoeg oplossingen die ver ondermaats zijn vergeleken met anderen waardoor de combinatie van de gegenereerde oplossing-sets en het gebruik van een Pareto-optimum als kwaliteitsaanduiding ervoor zorgt dat het trekken van conclusies over de complexiteit van een vraagstuk lastig is.

In dit onderzoek waren twee factoren niet goed ingecalculeerd waardoor resultaten over een toenemende complexiteit onduidelijk zijn. Gebruikers hadden meer ervaring moeten hebben met CS-systemen en het maken van vergelijkingen tussen parameters. Daarnaast sloot de berekening voor de oplossingswaarden niet goed aan bij een vraagstuk met een toenemende complexiteit; de oplossingswaarden waren niet in eenzelfde maat met elkaar te vergelijken. Hiervan kan geleerd worden om in de toekomst een dergelijk onderwerp met meer inzicht te benaderen.

Methode Conclusies

Voor het onderzoek is getracht om alle methoden op een gelijk niveau uit te werken voor een eerlijke vergelijking, maar omdat de methode in gedrag erg van elkaar verschillen was het lastig om een vergelijkend niveau te bepalen. Tijdens het uitwerken van de methoden viel op dat de lijn methode erg eenvoudig in elkaar zat. Dit is op zich geen probleem, maar achteraf bleek dat door het gebruik van gelijke ranges van alle parameters deze methode te eenvoudig is gemaakt. Zo worden de parameter-waarden bij alle lijnen doorgetrokken, terwijl in een reële situatie elke parameter een eigen range zal hebben. Bij de overige methoden is dit automatisch wel goed gedaan.

Uit deze test, maar ook uit de gebruikstest in 2010, is gebleken dat ervaring een grote rol speelt bij de keuze-kwaliteit en snelheid van de gebruiker. De leercurve van het programma is snel en het duidt erop dat het begrijpen van het visualisatie-concept en het hebben van een strategie de belangrijkste factoren zijn tot het maken van een keuze. De methoden werden in een vaste volgorde getest voor elk parameter aantal, waarbij de lijn methode telkens als eerst aan de beurt was. Als er sprake is van een nadeel, zou deze methode het meeste nadeel hebben gehad van de omstandigheden. Dit verandert niets aan de conclusies. Het houdt wel in dat dit programma niet geschikt is voor eenmalig gebruik. Er wordt geadviseerd deze tool niet voor willekeurige gebruikers, zoals deze beschreven zijn in het hoofdstuk 'Vee.eX', op de markt te brengen.

Implementatie

Dit onderzoek is gedaan voor parameter aantallen van drie en hoger. Het is goed mogelijk dat gebruikers ook vaak twee parameters met elkaar willen vergelijken. Dit onderzoek geeft geen conclusies met betrekking tot het vergelijken van twee parameters en er kan dus ook niet gezegd worden of de lijn methode hier het meest geschikt voor is.

Tevens heeft het onderzoek enkel visualisatiemogelijkheden met betrekking tot het vergelijken van oplossingen onderzocht. Het gebruiken van deze techniek voor het kiezen of aanpassen van een domein is onduidelijk. Wel is in het hoofdstuk "Implementatie bij Vee.eX GUI" hier rekening mee gehouden, alleen is dit niet getest.

Als conclusie van dit onderzoek wordt geadviseerd om de lijn methode en misschien gedeelten van de tabel methode uit te werken in de SST. Een niet gegeven mogelijkheid is het implementeren van meerdere visualisatiemethoden, waarbij de gebruiker zelf de keuze heeft een bepaalde methode te gebruiken. Een dergelijk onderwerp is onderzocht door David Wolf et al. (Wolf, Simpson en Zhang 2009). Bij dit onderzoek wordt de nadruk op het verschil tussen beginner en expert gebruikers gelegd. Ze observeren dat beginners slechte resultaten halen door onvoldoende kennis over alle methoden.

4. Aanbevelingen

Het onderzoek is gedaan en de conclusies zijn gemaakt. Dit betekent overigens niet dat het hier ophoudt. Ondanks vorderingen in de SST, is er nog veel te onderzoeken. Bovendien is het maken van software een dynamisch proces dat nooit echt af is. In dit hoofdstuk zullen verdere aanbevelingen gemaakt worden met betrekking tot de SST.

In het onderzoek is gebleken dat het vergelijken van een grote hoeveelheid parameters niet alleen een lastige taak is, maar ook een onduidelijke vergelijking met zich meebrengt. Elke oplossing heeft wel een niche waardoor deze een goede oplossing zou kunnen zijn. Het programma zou de gebruiker kunnen helpen door aan de hand van een logische beredenering voorkeuren te geven voor bepaalde oplossingen. Een voorbeeld aan de hand van de gebruikstest is het dieper kleuren van oplossingen met een hogere gemiddelde of Pareto-optimale waarde. Eventueel zou de gebruiker gewichten aan parameters kunnen geven om zijn of haar voorkeur aan te duiden, zodat het programma hier rekening mee kan houden.

Naast het enkel geven van advies met betrekking tot oplossingen, kan het programma met kennis van eigen gebruik ook advies geven over mogelijke strategieën tot het vinden van een geschikt range of oplossing. Eventueel zouden deze strategieën als een vaste reeks van handelingen met één klik op de knop uitgevoerd kunnen worden.

Op het moment worden parameters als losse variabelen gezien, maar het is ook mogelijk om relaties tussen variabelen te vergelijken met andere variabelen (of relaties). Een voorbeeld is om in plaats van m (massa) en a (versnelling), een gecombineerde parameter te maken van $m*a$. Op het moment zouden deze wel gegeven worden, maar als aparte parameter F (kracht). Het zou onmogelijk zijn om rekening te houden met alle relaties tussen parameters en te veel zijn om door te voeren. Handig is om de gebruiker zelf de optie te geven om dit te doen.

Om de gebruiker van de SST goed te kunnen assisteren, moet er misschien gekeken worden naar een alternatieve definitie voor een 'optimale' oplossing bij hoge parameter aantallen. Een mogelijkheid zou kunnen zijn om sub-sets van Pareto-optimale waarde te gebruiken als Pareto-optimale oplossingen (Kao en Jacobson 2008). Daarnaast hoeft niet altijd gekeken te worden naar een Pareto-optimum; het is uiteindelijk de gebruiker die de beslissing neemt.

In de inleiding van dit hoofdstuk is aangegeven dat dit onderzoek zeker niet het laatste hoeft te zijn met betrekking tot de SST. Dit onderzoek legt focus op het vergelijken van oplossingen. Andere onderdelen van de software, namelijk het instellen van parameters, het vinden van geschikte domeinen en het gebruik van kennis zouden ook onderzocht kunnen worden. Bovendien kan een eventuele uitwerking van de adviezen in dit onderzoek grootschalig getest worden op gebruiksvriendelijkheid. In andere woorden: Ontwikkeling en onderzoek gaan altijd door.

E. APPENDIX

1.	BEGRIPPENLIJST	67
2.	LITERATUURLIJST	68
	<i>Software</i>	69
	<i>Web-gebruik</i>	69

1. Begrippenlijst

Begrip	Afk.	Beschrijving
Computer Aided Design	CAD	Software die gebruikt kan worden bij het ontwerpproces.
Computational Synthesis	CS	Software gebruiken voor (delen) van het ontwerpproces.
Routinematige ontwerpproblemen		Een probleem dat zich herhaalt, maar dezelfde kennis gebruikt.
Graphical User Interface	GUI	De interface waar de gebruiker van het systeem mee werkt.
Ontwerpdomein		Het bereik waarbinnen ontworpen mag worden zonder dat de oplossing van definitie verandert.
Range		Minimale en/of maximale waarden dat een parameter mag aannemen.
Framework		De structuur van een software programma.
Interactie		Informatie-uitwisseling tussen een gebruiker en een programma.

2. Literatuurlijst

- Fujiwara, Takanori, Ryo Matsushita, Masaki Iwamaru, Manabu Tange, Satoshi Someya, en Koji Okamoto. „Fractal Map: Fractal-Based 2D Expansion Method for Multi-scale High-Dimensional data Visualization.” *International Symposium on Visual Computing*. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 306-315.
- Gama, João. „Functional Trees.” *Machine Learning*, 2004: 219-250.
- Gates, Bill. *Word*. Redmond (Washington): Microsoft, 2010.
- Grigoras, Roxana. „Information Visualization techniques.” 14 November 2006: 3-5.
- Kao, Gio K., en Sheldon H. Jacobson. „Finding preferred subsets of Pareto optimal solutions.” *Comput Optim Appl*, 2008: 73-95.
- Li, Yusheng, Georges M. Fadel, Margaret Wiecek, en Vincent Y. Blouin. „Minimum Effort Approximation of the Pareto Space of Convex Bi-Criteria Problems.” *Optimization and Engineering* (Kluwer Academic Publishers), nr. 4 (2003): 231-261.
- Mackinlay, Jock. „Automating the design of graphical presentations of relational information.” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, April 1986.
- Meijer, Demond, en Bayram Ergül. „Synthese Software - Beter en sneller ontwerpen zonder kennis?” *De Appel*, februari 2010: 30, 31.
- Pareto-efficiënt*. 3 februari 2011. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Pareto-optimum> (geopend maart 21, 2011).
- Peters, Keith. *Foundation ActionScript 3.0 Animation: Making Things Move!* United States of America: Friends of ED, 2007.
- Rollón, Emma, en Javier Larrosa. „Bucket Elimination for Multiobjective Optimization Problems.” *Journal of Heuristics*, 2006: 307-328.
- Tragter, Hans, geïnterviewd door Tijs van der Horst. *Bespreking 17 augustus* (17 Augustus 2011).
- Tragter, Hans. „Engineering Process.” Universiteit Twente. *CADCAM, Design Automation*. Enschede, sd.
- Tragter, Hans, Fred van Houten, Juan Jauregui-Becker, en Wouter Schotborgh. *How synthesis software affects engineering design*. Faculty of Engineering Technology, Laboratory of Design Production and Management, Enschede: University of Twente, 2010.
- vee.ex software. *home*. 2011. <http://www.vee-ex.nl/> (geopend August 1, 2011).
- Venkat, Vandana, Sheldon H. Jacobson, en James A. Stori. „A Post-Optimality Analysis Algorithm for Multi-Objective Optimization.” *Computational Optimization and Applications*, 24 maart 2003: 357-372.
- Versio. *Versio*. - - -. <http://www.versio.nl> (geopend augustus 21, 2011).

Welling, Luke, en Laura Thomson. *PHP and MySQL Web Development*. United States of America: Pearson Education, Inc., 2009.

Wolf, David, Timothy W. Simpson, en Xiaolong (Luke) Zhang. „A preliminary Study of Novice and Expert Users' Decision-Making Procedures during Visual Trade Space Exploration.” -*draft-*, 2009: 1-32.

Software

Microsoft Office 2010 Professional Plus 64-bit:

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

Microsoft Visio 2010

Adobe Creative Suit 5 (CS5) Master Collection:

Adobe Flash Professional CS5

Adobe Dreamweaver CS5

Adobe Photoshop CS5 – 64 bit

Adobe Illustrator CS5

Web-gebruik

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een online web-omgeving en database. Het domein en de online webruimte staan onder contract van Tijs van der Horst. Het domein dat gebruikt is, is www.tijsvanderhorst.nl. De server is eigendom van Versio (Versio -).