

De toegevoegde waarde van smart technology in een gebouw

Case: Schipholgebouw



Niels Dijkstra

Begeleiders:
Monique Arkesteijn
Rein de Graaf
Laurens Leenders

20 november 2018

Agenda



Agenda



WERKPLEK

Onze kantoren worden steeds **slimmer**

Grote bedrijven investeren veel in nieuwe, duurzame kantoren. Wie zijn de voorlopers in Nederland?

Door onze medewerker **Tracy Metz**

Minder marmer, meer groen en meer hangmatten. De hippe, losse startup-cultuur van de hoodies lijkt het te winnen van de corporate suits, en dat weerspiegelt zich in de werkomgeving. Het kantoor moet vandaag de dag méér dan alleen onderdak bieden.

Zo is de werkplek – nu de arbeidsmarkt weer aantrekt – niet alleen inzet in de strijd om talent; werkgevers en werknemers verwachten ook meer van hun werkplek. Microsoft publiceerde vorig jaar in samenwerking met de Amerikaanse kantoormeubelenfabrikant Steelcase het rapport *Creativity and the Future of Work* en kwam daarin tot de conclusie dat het moderne kantoor vooral veel afwisseling moet bieden. Dat wil zeggen: genoeg ruimtes waarin je met anderen kunt overleggen, maar ook genoeg plekken waar je in je eentje geconcentreerd kunt werken. Genoeg plekken voor gezelligheid en in-

teractie, maar ook genoeg mogelijkheden je even terug te trekken. Ook is het fijn als de koffie en het eten er lekker zijn, en als het even kan: een stomerij of sportvoorziening pal naast het kantoor. Het verschil met de afgeschutte hokjes in het traditionele Amerikaanse kantoor, de zogeheten *cubicles*, kon haast niet groter zijn.

Bovendien moet de nieuwe generatie kantoren ook nog eens zo duurzaam mogelijk zijn. Net als zijn gebruikers willen we dat het kantoor-nieuwe-stijl zich gewetensvol gedraagt, door zuinig om te gaan met energie en bouwmaterialen. Grote bedrijven investeren enorme bedragen in die nieuwe, 'slimme' kantoren: Apple bouwde er zelfs één voor vijf miljard dollar in Silicon Valley. In de Verenigde Staten werd in 2017 in totaal 119 miljard dollar uitgegeven, becijferde commerciële vastgoedmakelaar CBRE; het hoogste bedrag sinds zeven jaar.

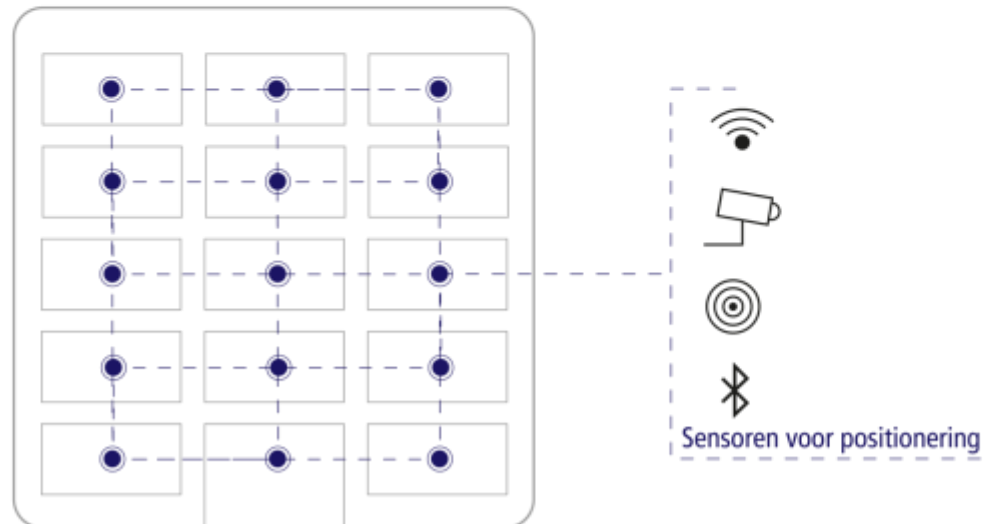
Maar ook in Nederland wordt volop nagedacht over nieuwe kantoren. We beschrijven drie voorbeelden, die ieder op hun eigen manier laten zien wat het 'nieuwe kantoor' kan of zelfs moet zijn.



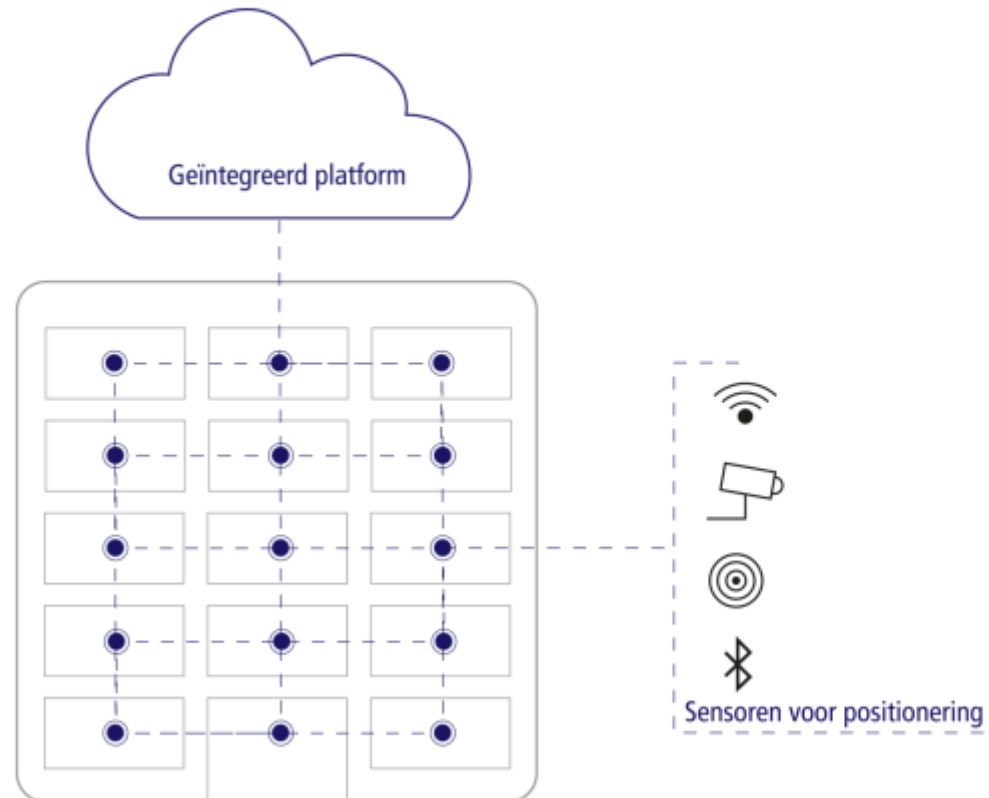
Smart buildings



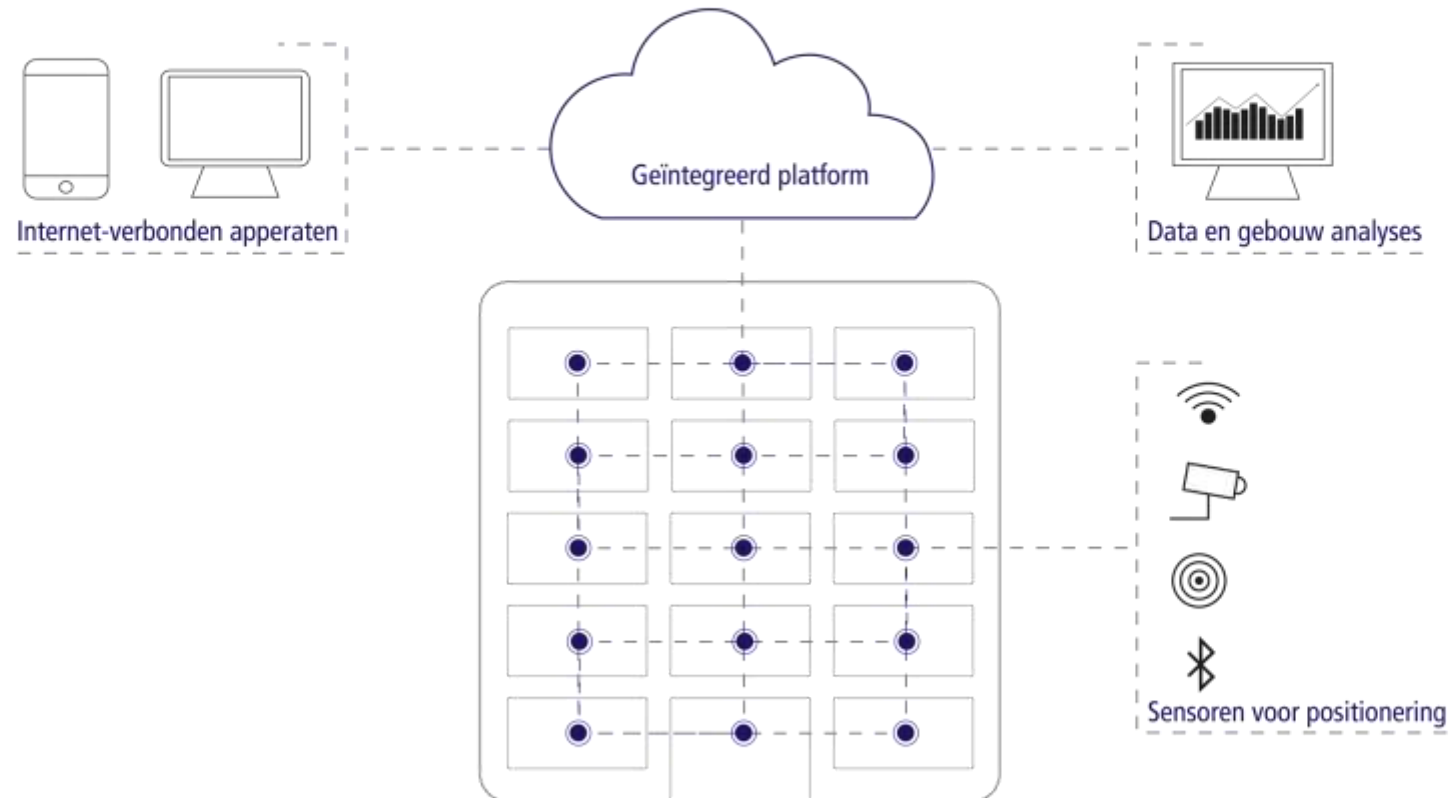
Smart buildings



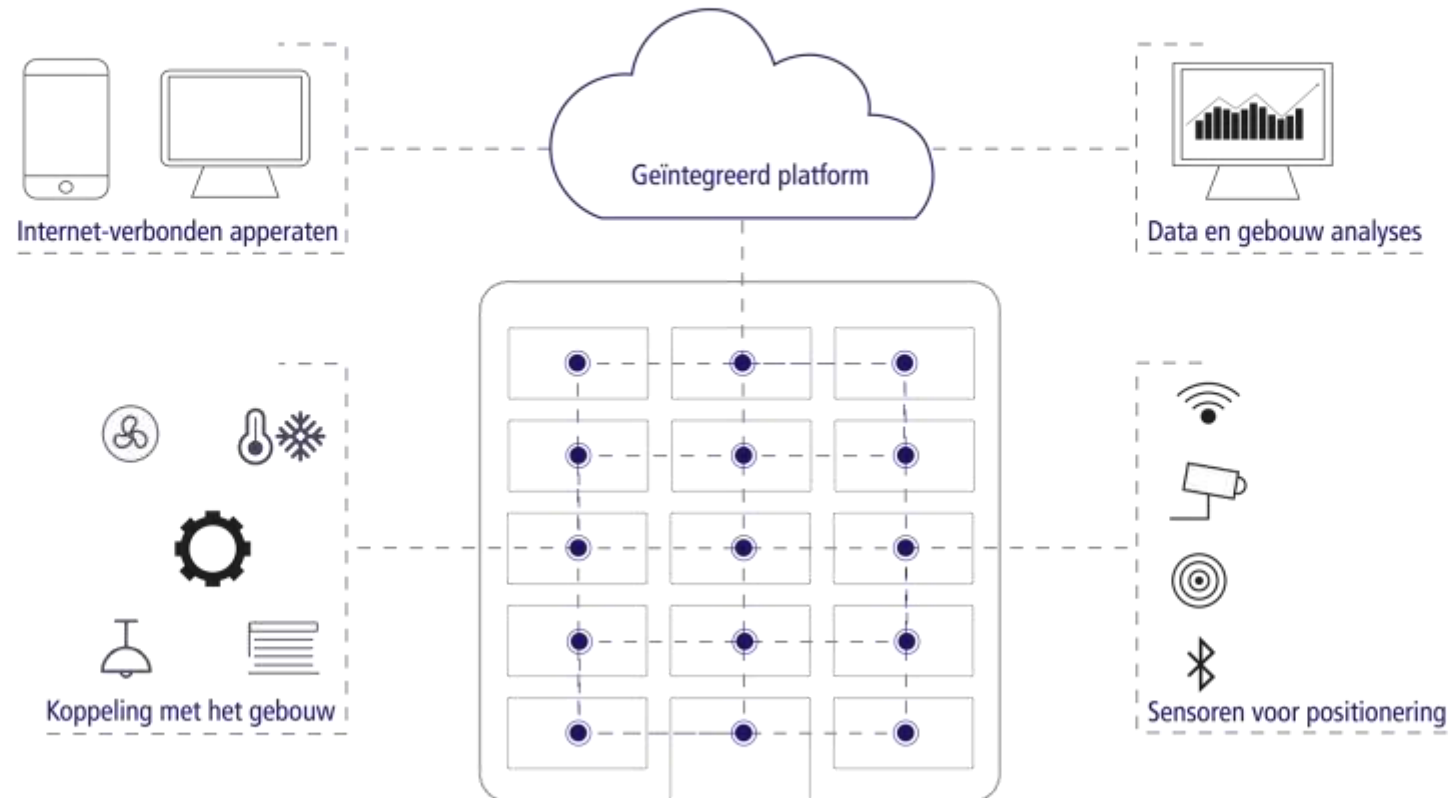
Smart buildings



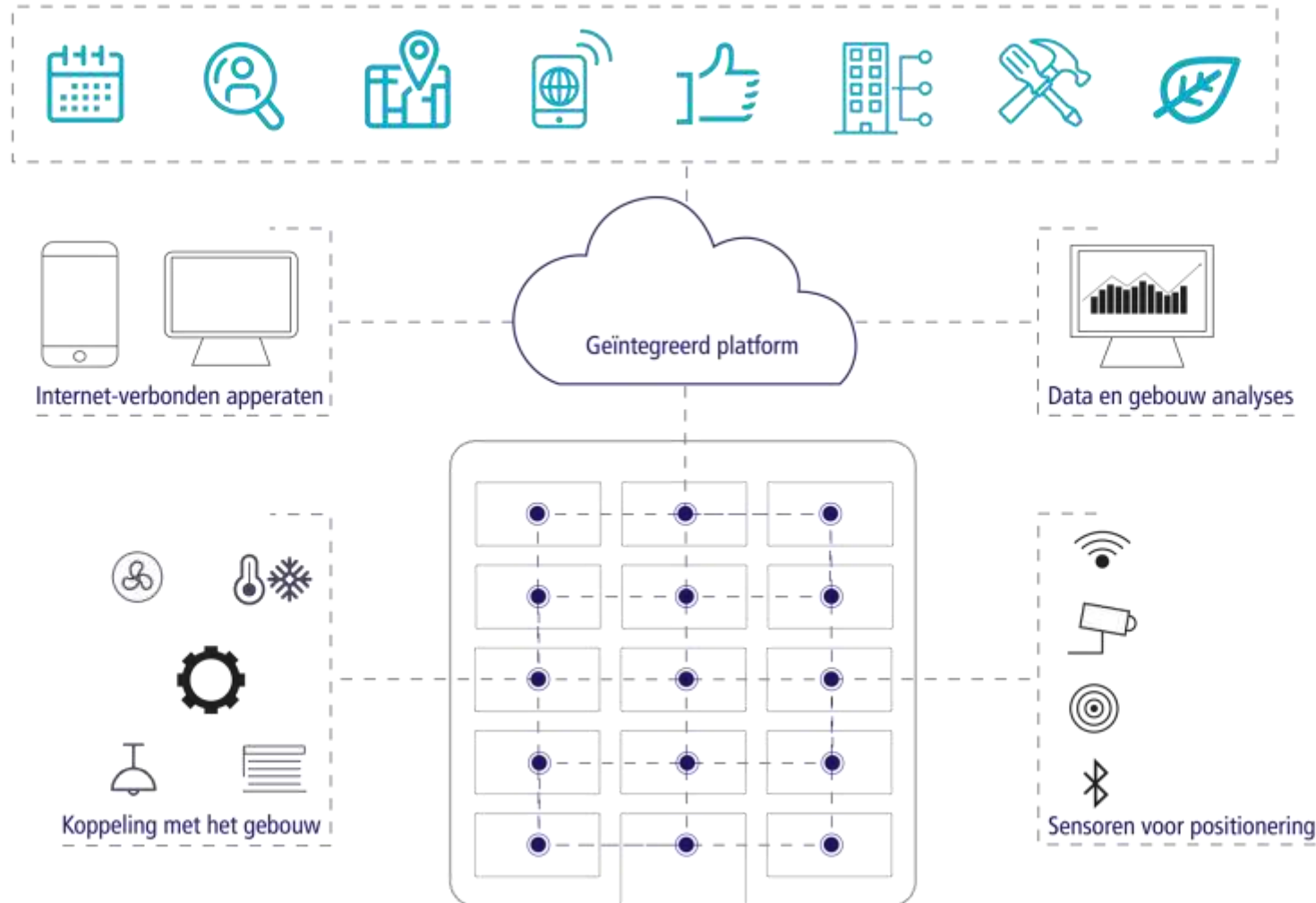
Smart buildings



Smart buildings



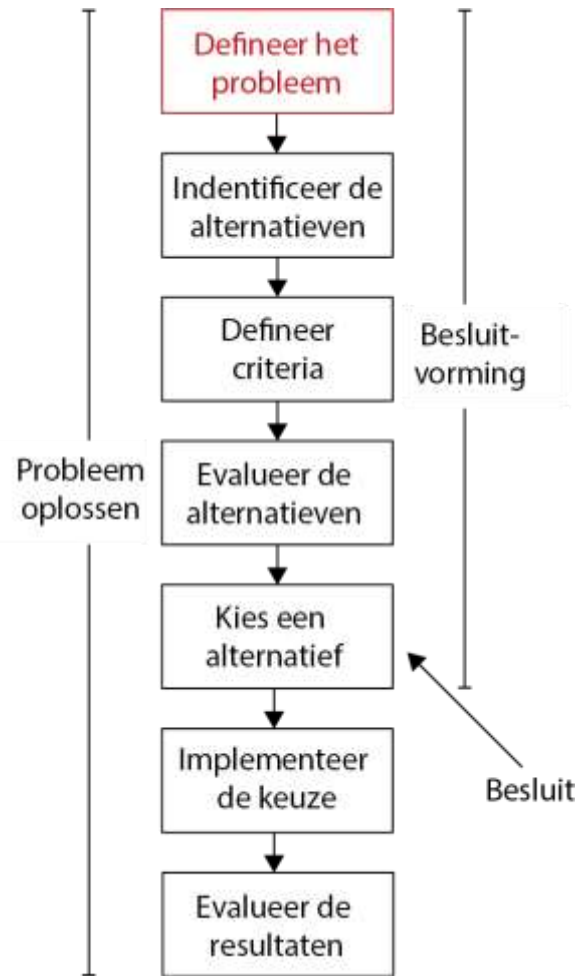
Smart buildings



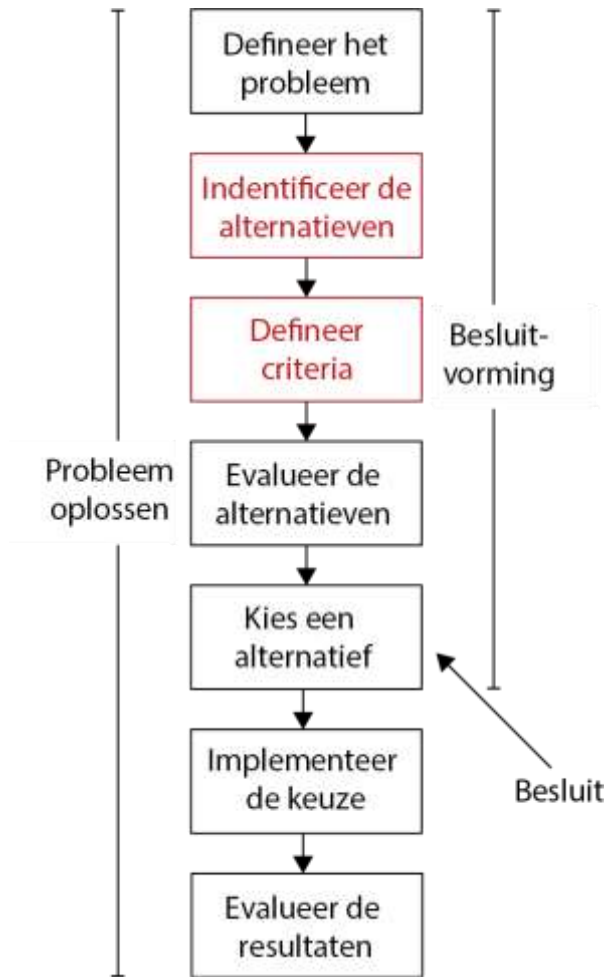
Agenda



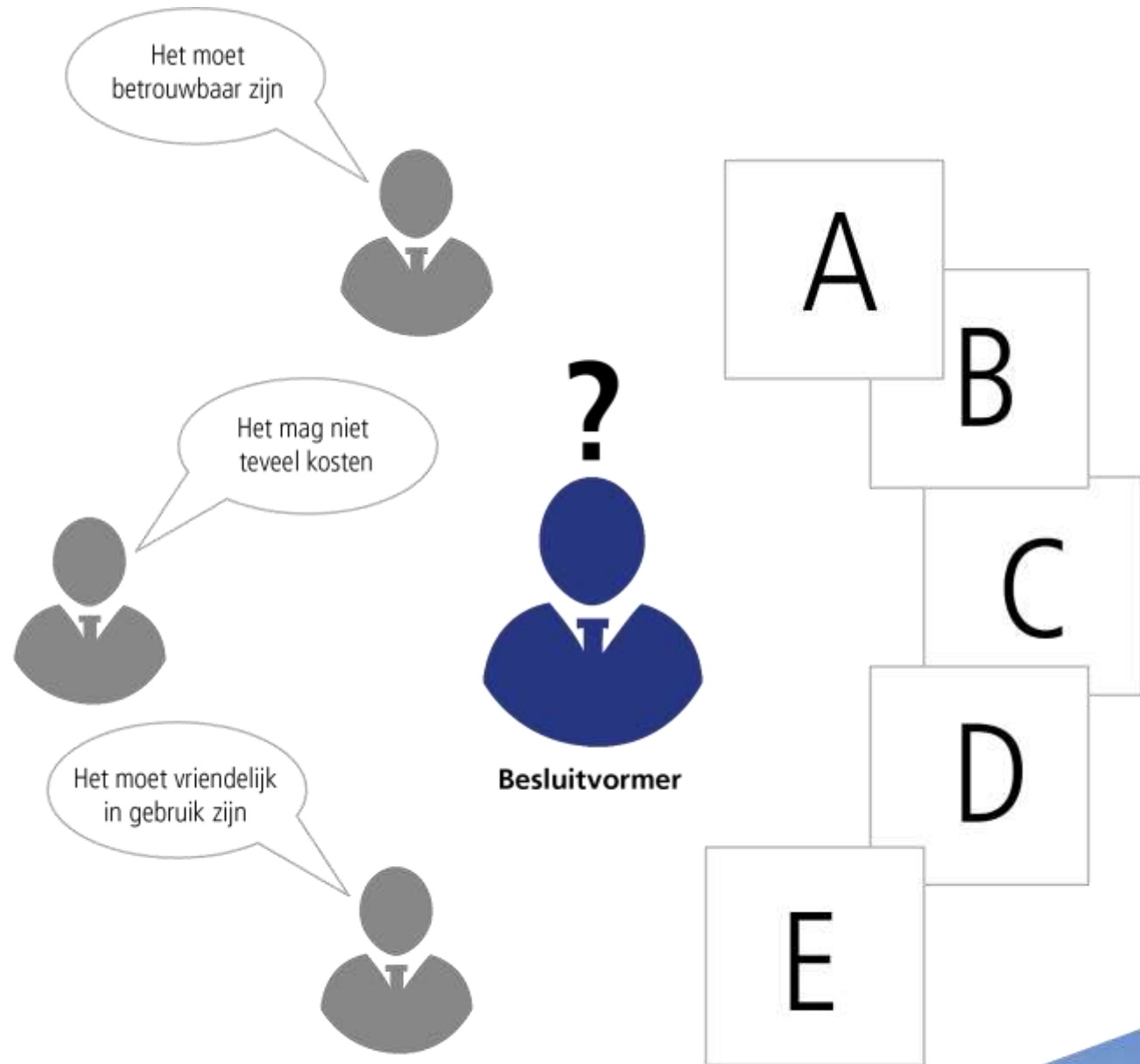
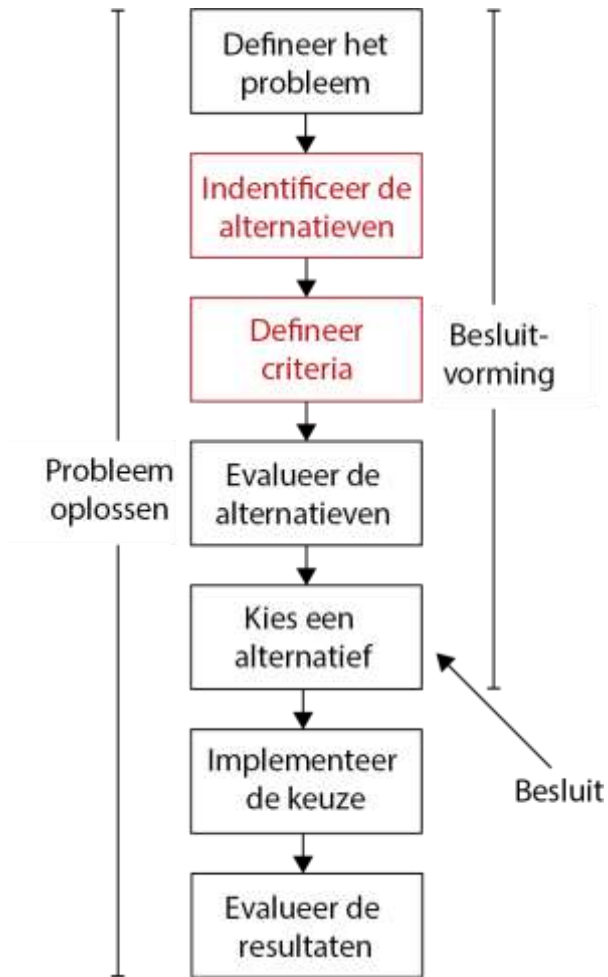
Probleemstelling



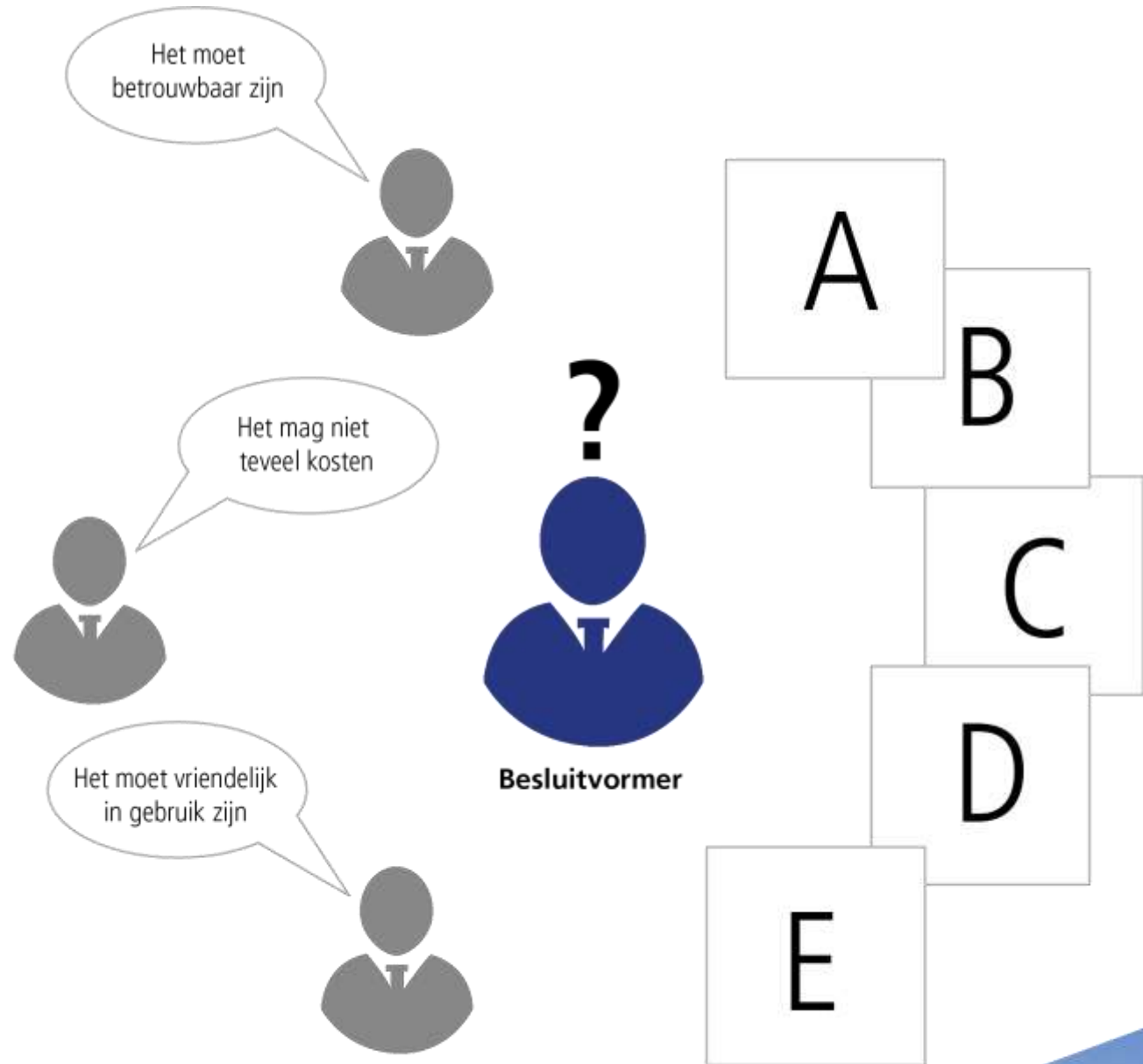
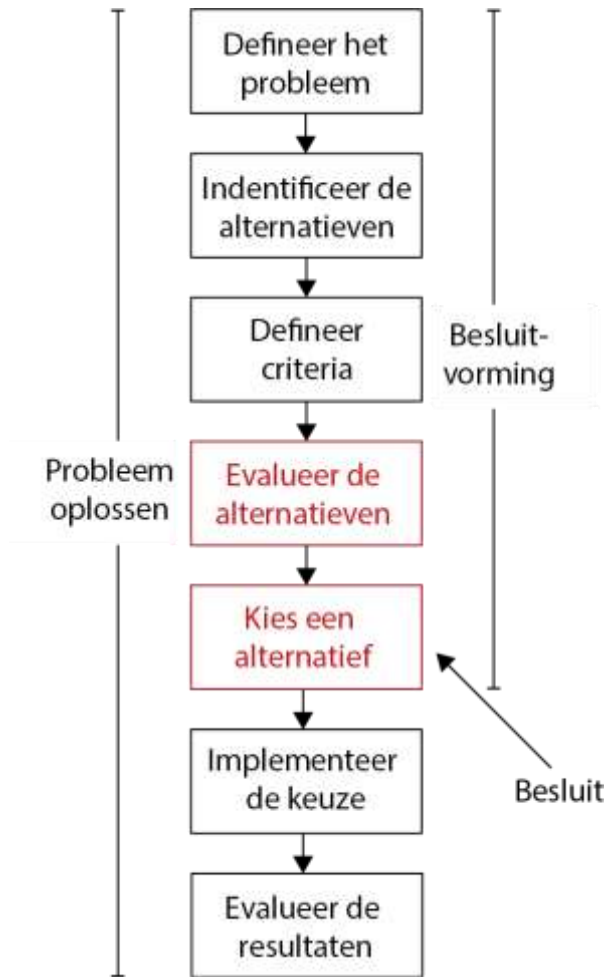
Probleemstelling



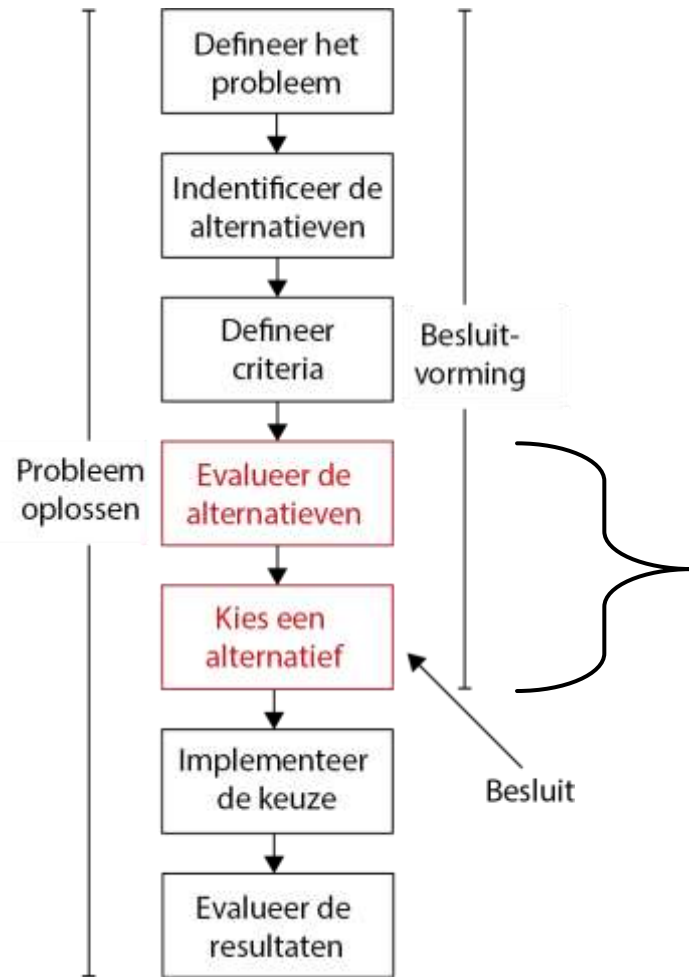
Probleemstelling



Probleemstelling



Problem statement



Approach	Author	1. Operational	2. Optimization	3. Value	Quantitative	Qualitative
Moo Model	Abdallah & El-rayes (2016)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
	Asadi et al. (2012)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
	Camporeale et al. (2017)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
	Karatas & El-Rayes (2016)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
Survey	Arditi et al. (2015)	No	No	Financial Sustainable Functional Strategic	Yes	Yes
	Nguyen & Aiello (2013)	No	No	Sustainable Strategic	Yes	Yes
Markal/Times approach	Malidin et al. (2008)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
Integer non-linear programming tool	Michael, et al. (2017)	Yes	Yes	Sustainable Financial	Yes	No
Self-designed algorithm	Shaikh et al. (2014)	Yes	Yes	Sustainable Strategic	Yes	No

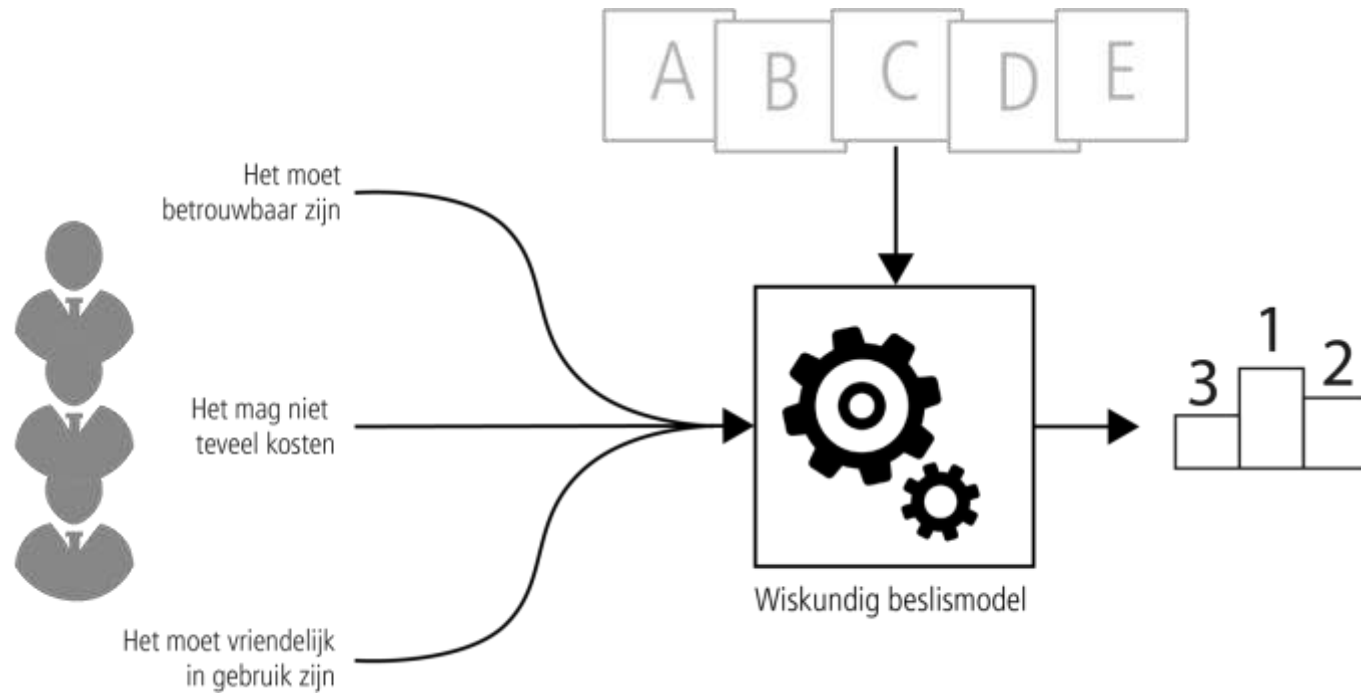
Research question

- *“Voorgaand onderzoek biedt een toereikend aantal modellen die kwantitatieve criteria optimaliseren maar sluiten kwalitatieve criteria uit. In het vakgebied ‘smart buildings’ zijn kwalitatieve criteria een groot onderdeel van de toegevoegde waarde. Daarom zijn geen van de huidige modellen voldoende om de besluitnemer te ondersteunen naar het vinden van smart technology”.*
- **Hoe kan een beslismodel de toegevoegde waarde van smart technology voorspellen?**
 1. *Vraag: Welke parameters zijn noodzakelijk om de vraag te vertegenwoordigen?*
 2. *Aanbod: Welke relevantie alternatieven kunnen er gemaakt worden op basis van de huidige technologie?*

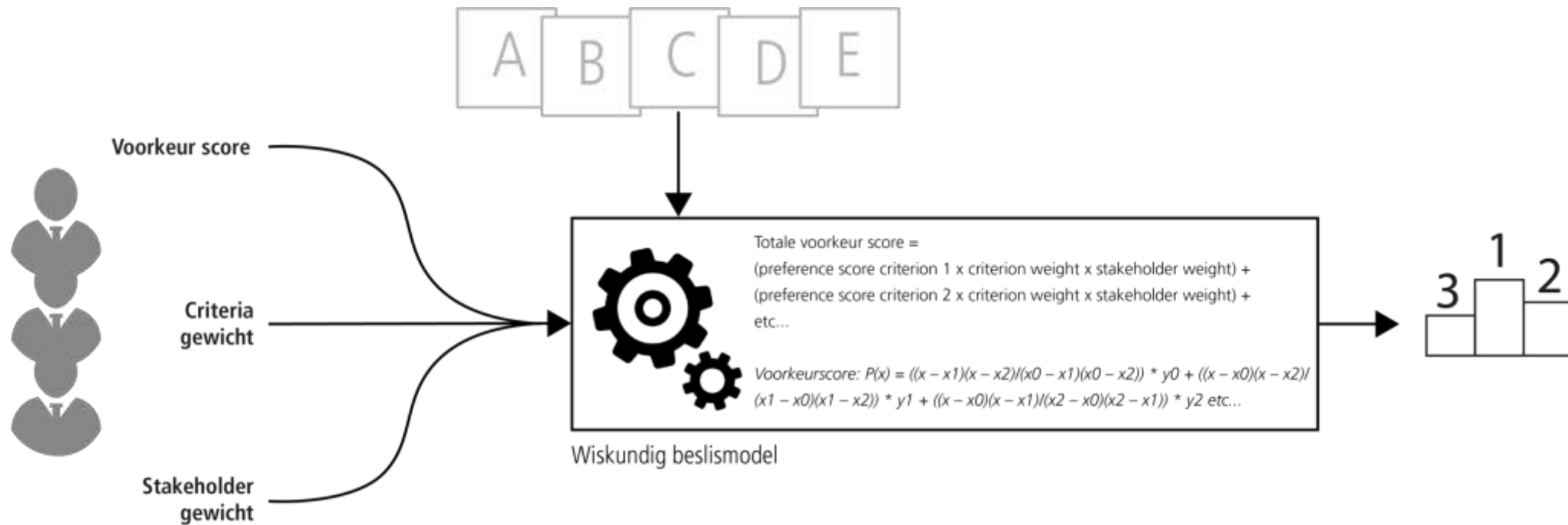
Agenda

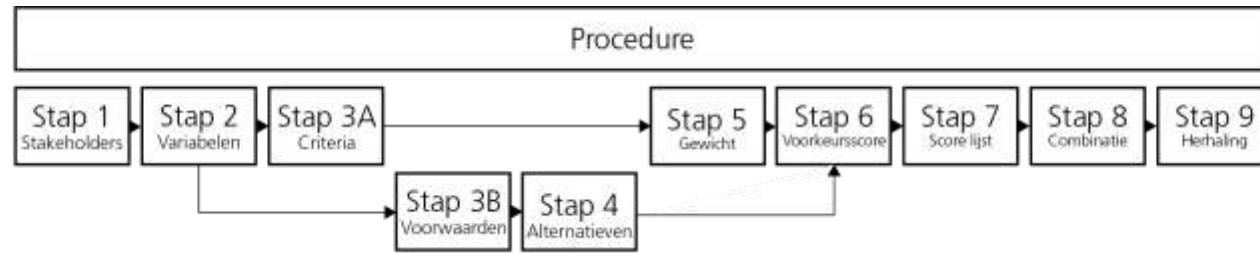


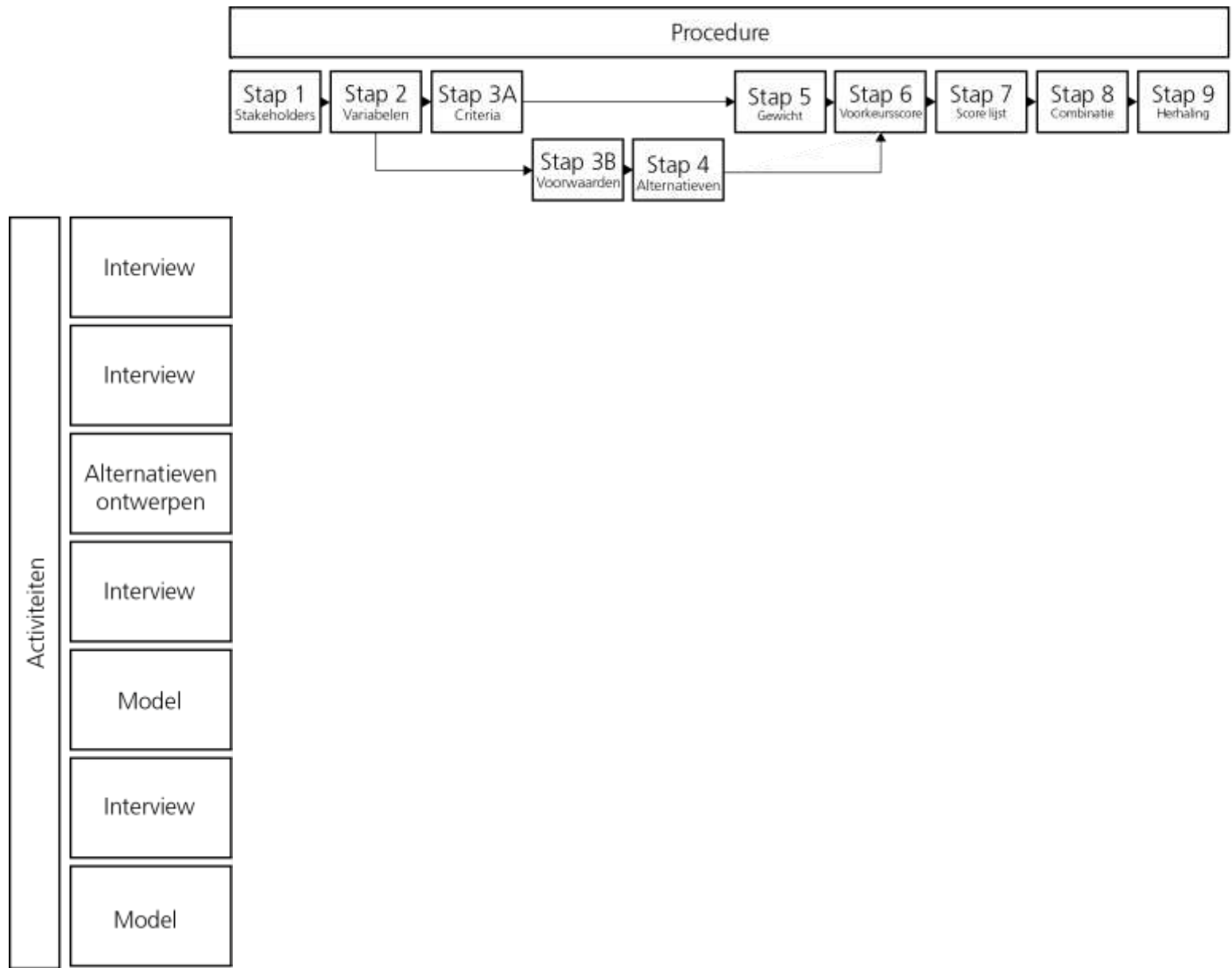
Onderzoeksmethode

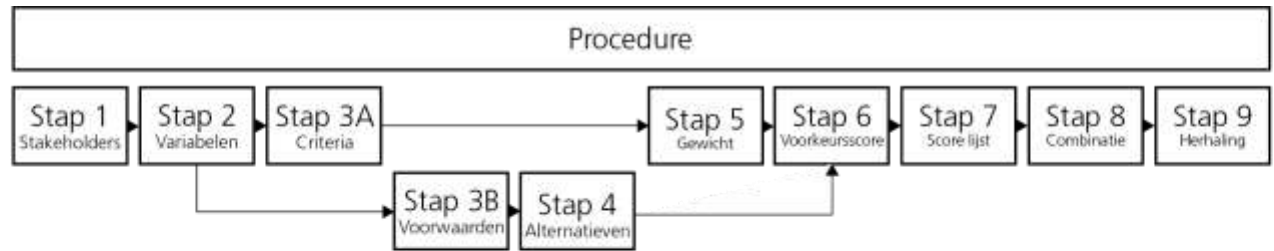











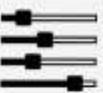
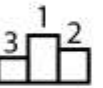
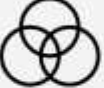





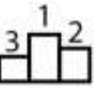
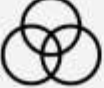
Onderzoeksmethode: Preference Function Modeling (PFM)





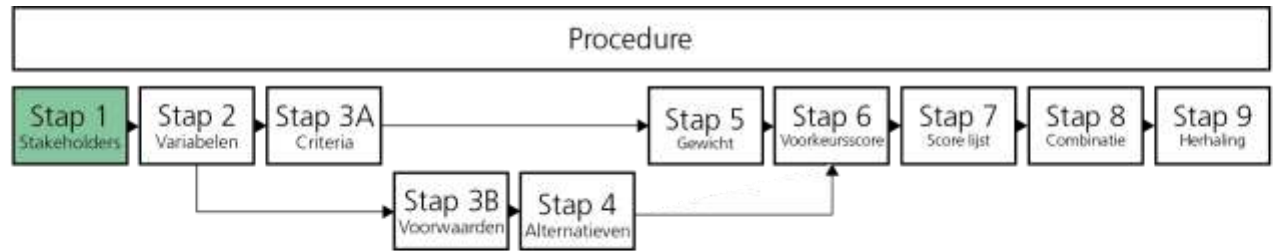




Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

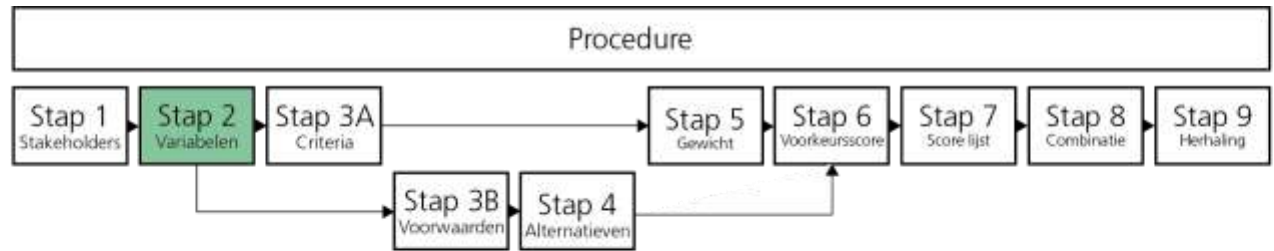
-  Stakeholder selectie
-  Variabelen
-  Criteria
-  Voorwaarden
-  Gewicht
-  Alternatieven selectie
-  Voorkeurscore
-  Score lijst
-  Alternatieven combineren
-  Herhaling
-  Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

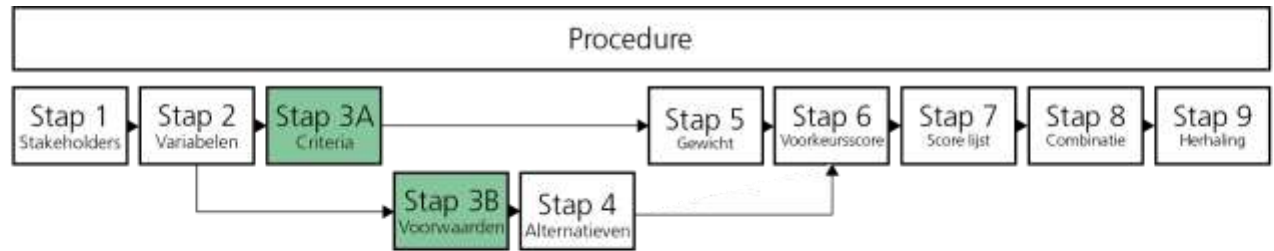
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								

Legenda

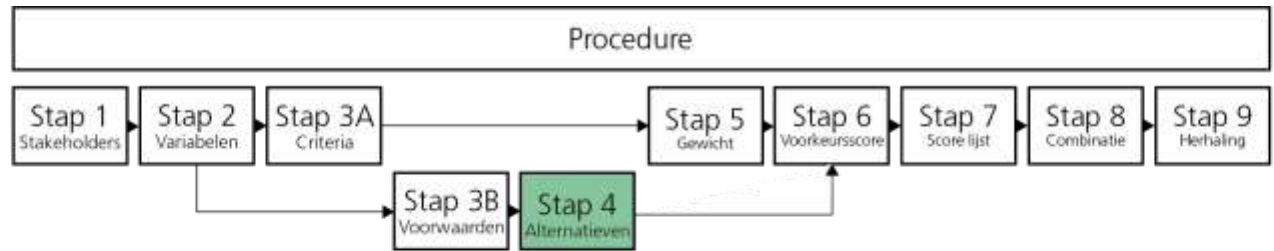
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

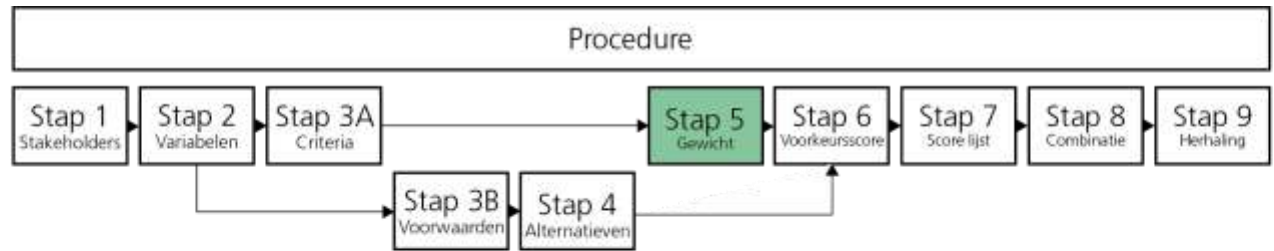
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

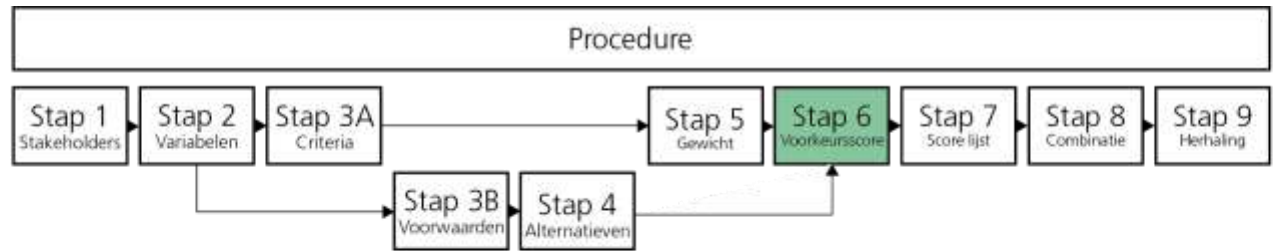
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

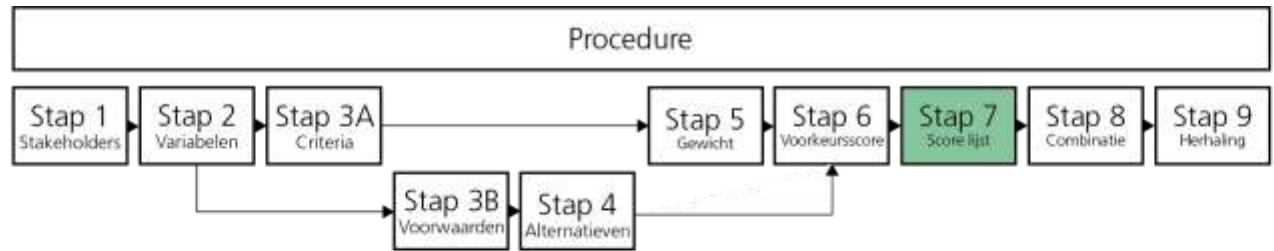
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

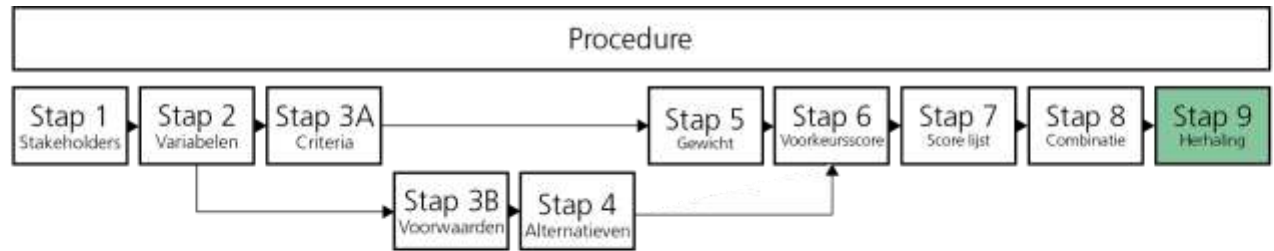
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								

Legenda

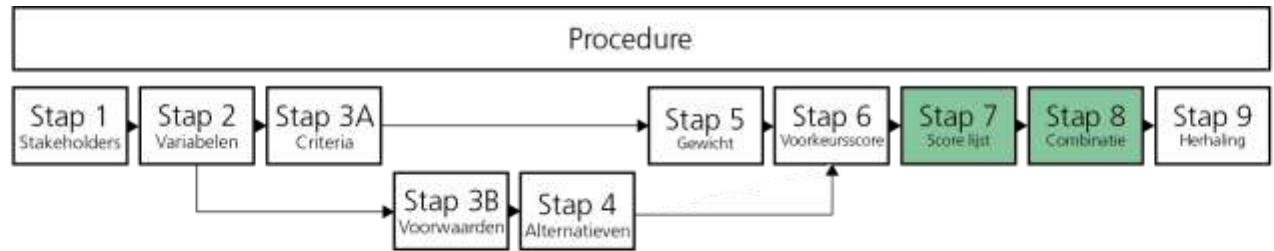
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald

Agenda

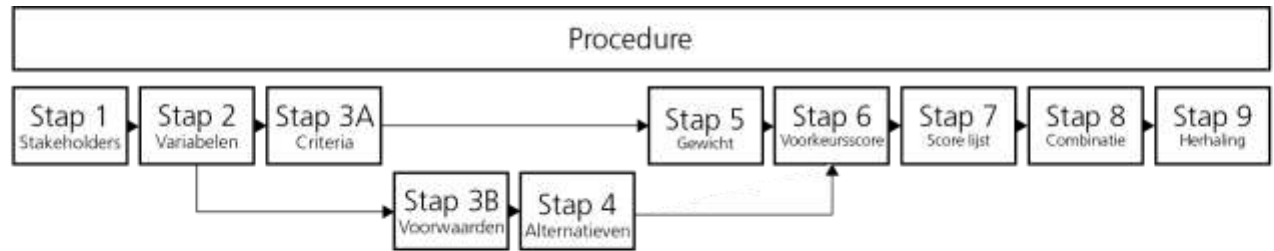


Case: Schipholgebouw



Agenda

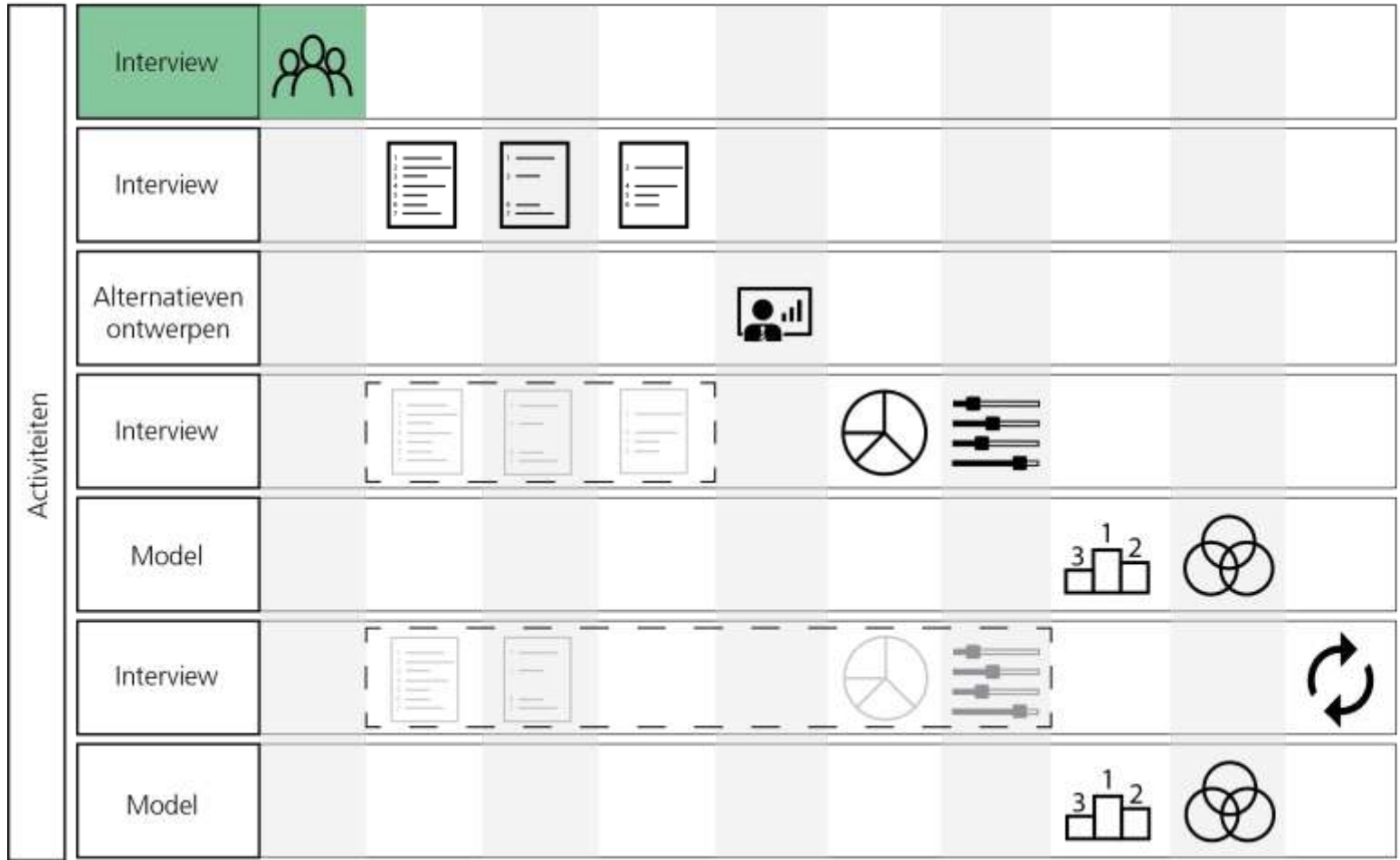
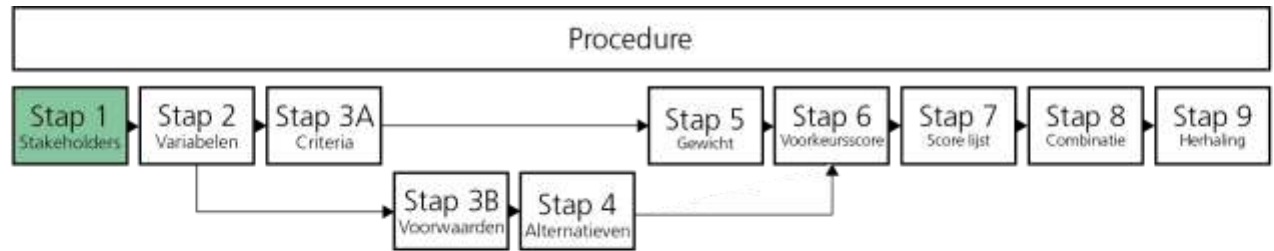




Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald

Stap 1: Stakeholder selectie

Verhuurder

Huurder



Vastgoed manager



Adviseur duurzaamheid



Investeerder



Technisch vastgoed managers



Gebiedsontwikkelaar

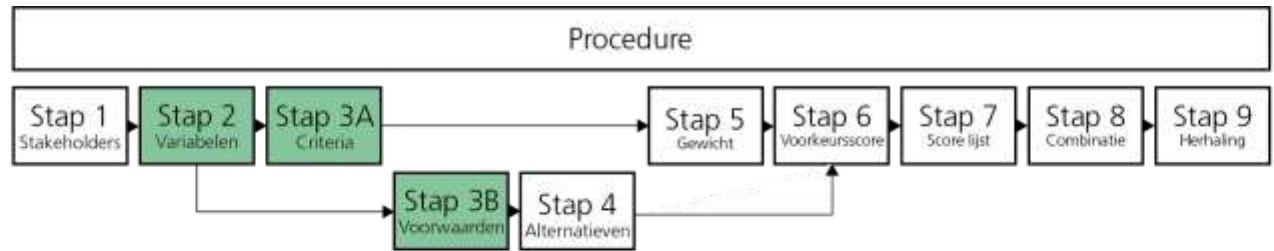


Facility managers



Gebruiker

ca. 200



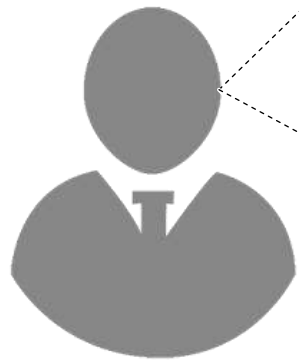
Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald

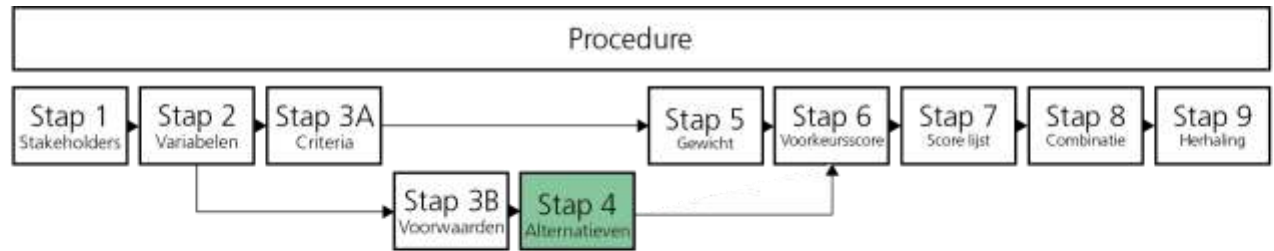
Stap 2: defineer variabelen

Stap 3: defineer voorwaarden en criteria



Stakeholders

Side	Stakeholder	Variable	Voorwaarde/criterium
Verhuurder	Vastgoed manager	Costs Infrastructure Accuracy position Accuracy occupancy Market maturity Tenant satisfaction Security Privacy	criterium criterium criterium criterium Both criterium voorwaarde voorwaarde
	Gebiedsontwikkelaar	Insight in building use Accuracy of positioning Scalability Sharing spaces Quality of space Costs	criterium criterium voorwaarde criterium criterium criterium
	Adviseur duurzaamheid	Insight in building use Energy reduction	criterium criterium
	Technisch vastgoed managers	Insight in the building use Cost to maintain Complexity to install Integration with existing infrastructure Future proof	criterium criterium criterium voorwaarde criterium
	Investeerder	Usability Costs Tenant satisfaction Impact on costs Implementation complexity	criterium criterium criterium criterium criterium
Huurder	Facility managers	Insight building use Check presence in rooms People counting in rooms User satisfaction Integration with FM system and out Costs	criterium criterium criterium criterium Voorwaarde criterium
	Gebruikers	User friendly Availability of rooms Support lay-out improvement wayfinding	criterium criterium criterium criterium

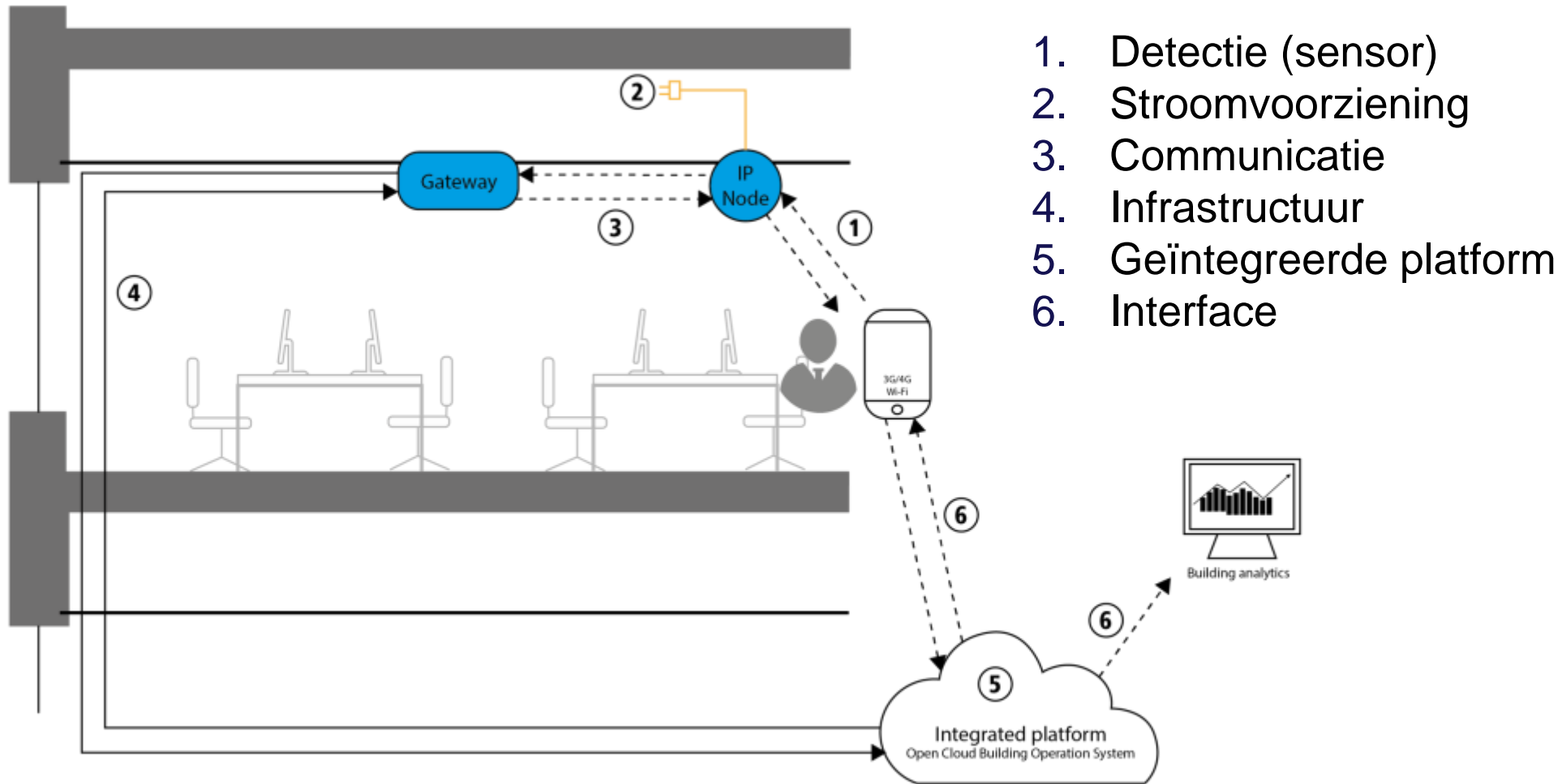


Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald

Stap 4: selecteer de alternatieven

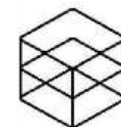
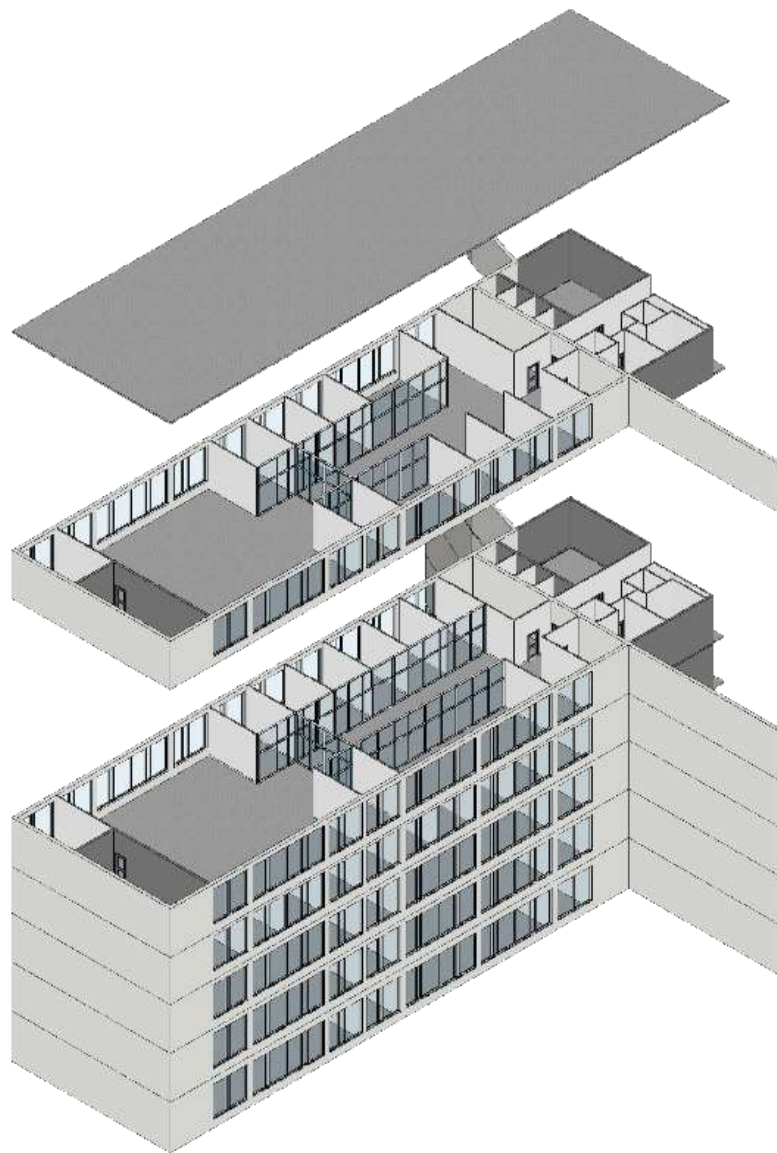


bGrid[®]


BLIP
systems

BLOO—
—LOC


CISCO



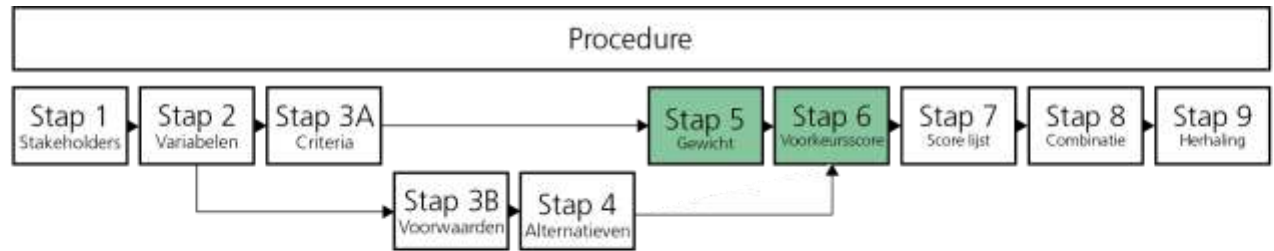
LONE ROOFTOP
building intelligence



iotspot[®]



PHILIPS
Lighting

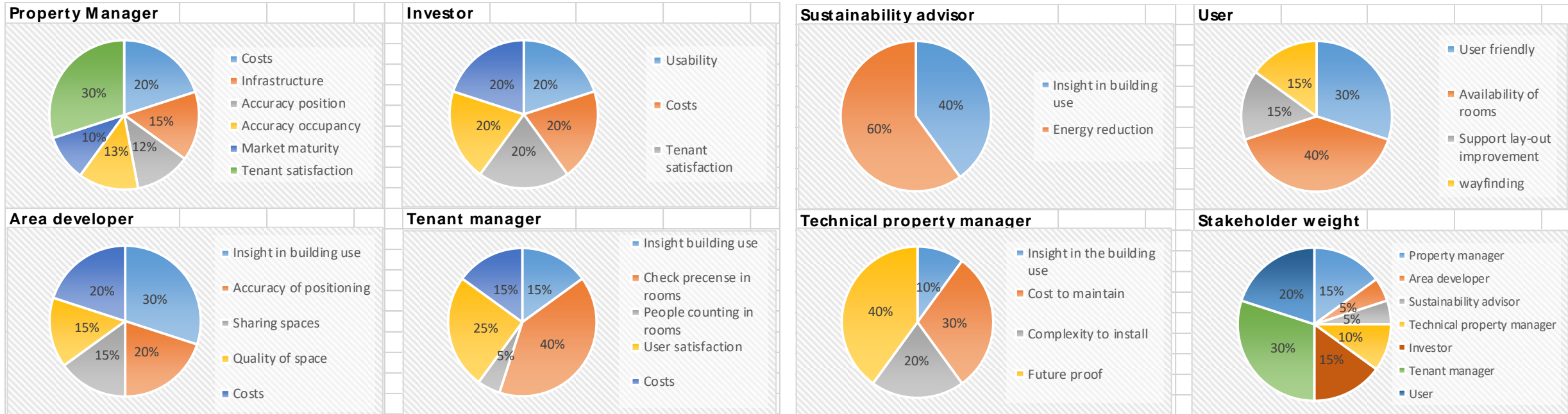


Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								








Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald








Stap 5: gewicht toekennen aan criteria










Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				








Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
			100		
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				








Stap 6: alternatieven beoordelen

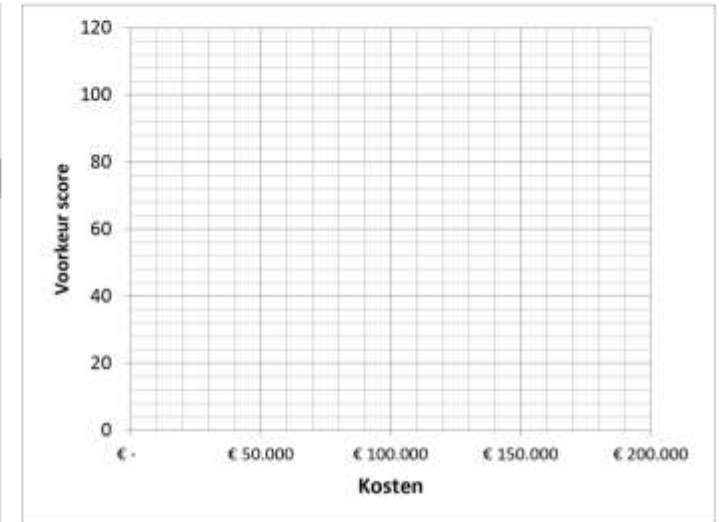
Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
			100	0	
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				

Stap 6: alternatieven beoordelen








Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				

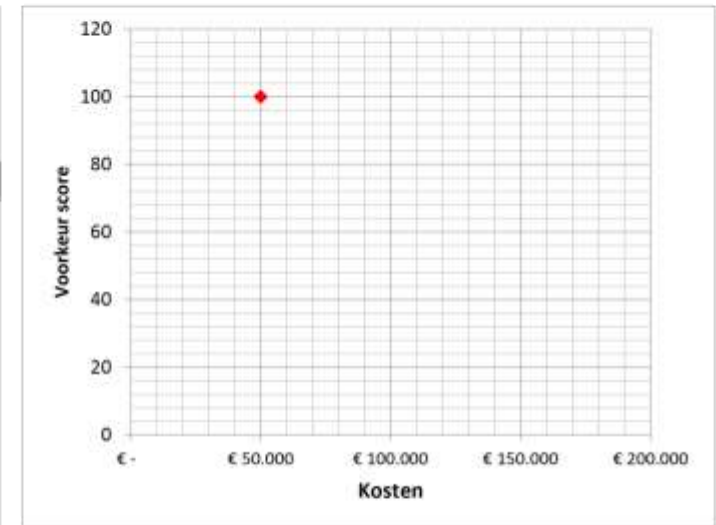
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










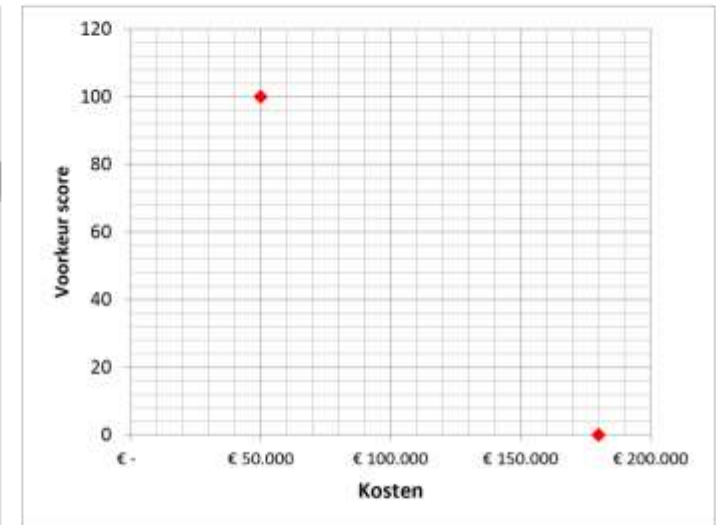
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










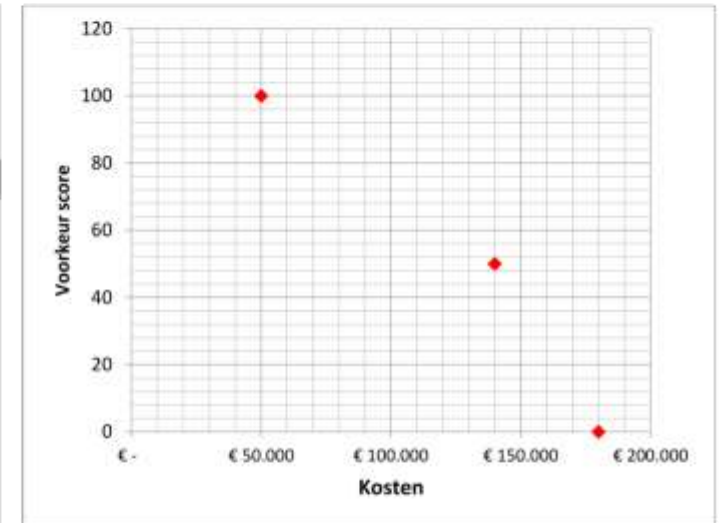
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










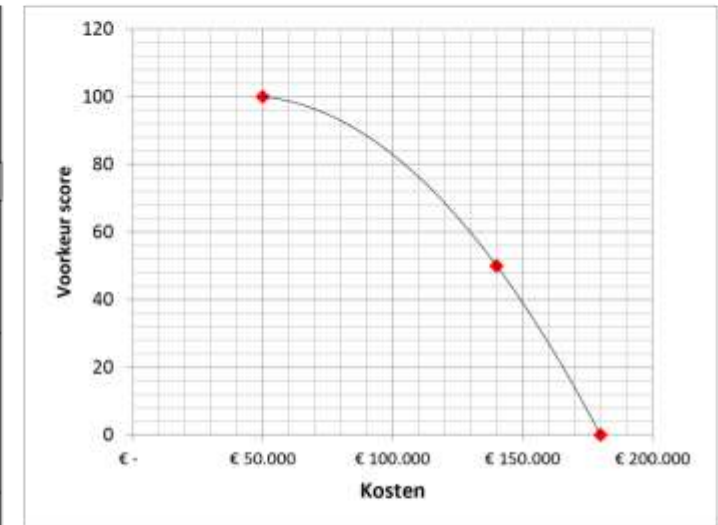
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










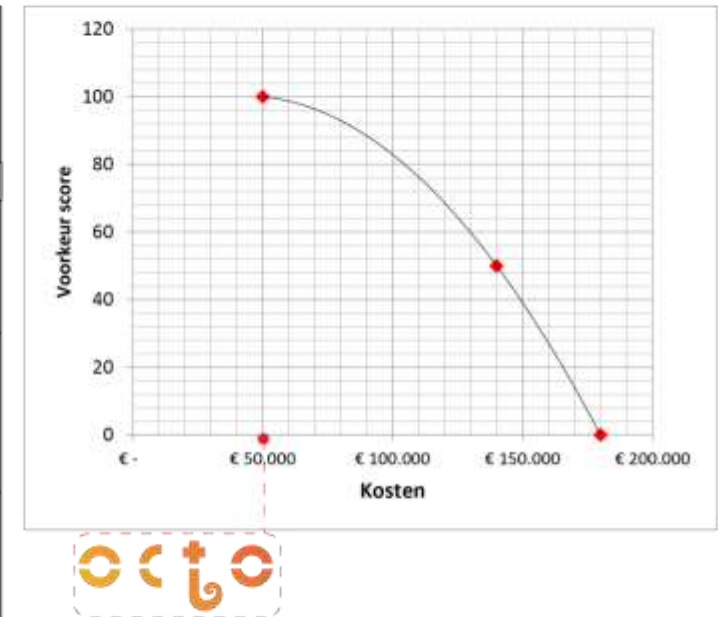
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










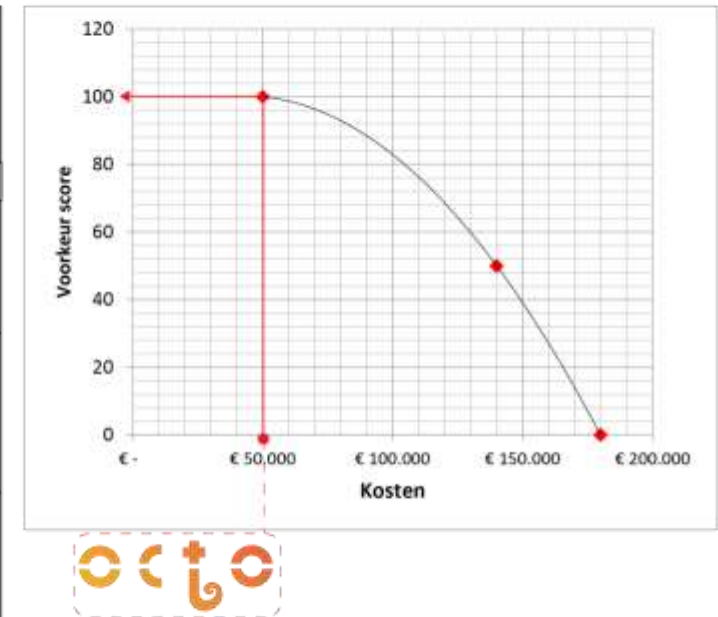
Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%				
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				










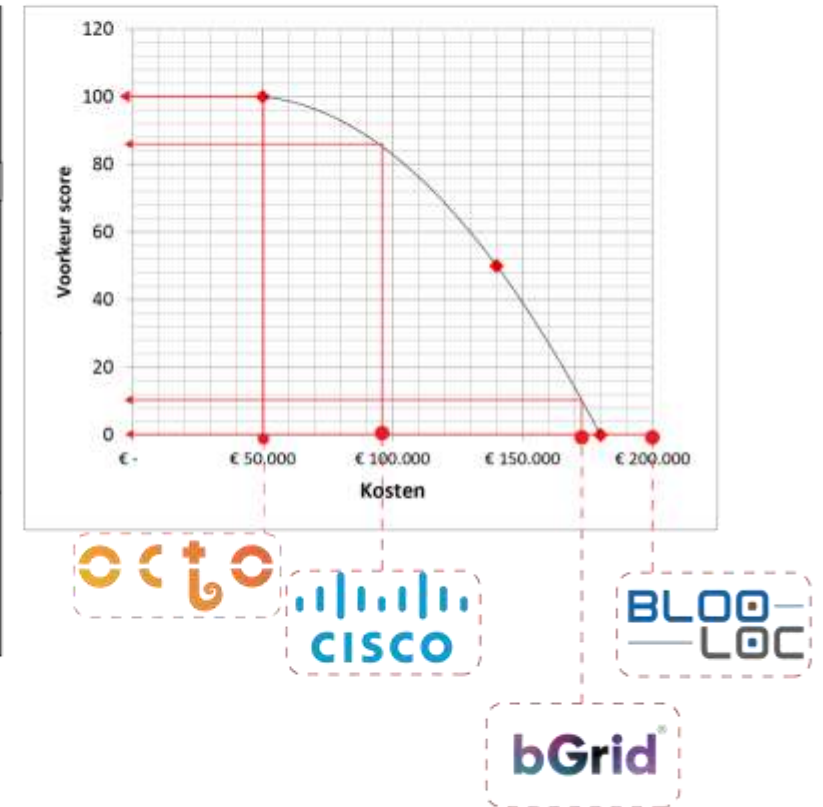
Stap 6: alternatieven beoordelen

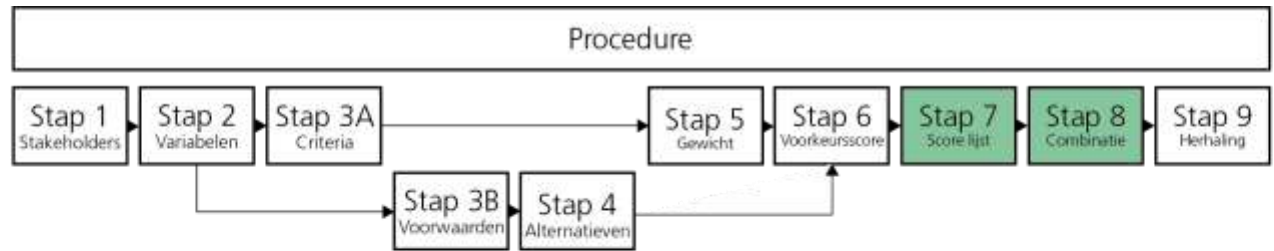
Criteria Vastgoed manager	Weight				
		Voorkeur score			
 Toekomst bestendig	40%	90	100	0	40
 Kosten	30%	100			
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				



Stap 6: alternatieven beoordelen

Criteria Vastgoed manager	Weight				
		Voorkeur score			
 Toekomst bestendig	40%	90	100	0	40
 Kosten	30%	100	85	10	0
 Nauwkeurigheid Positionering	30%				

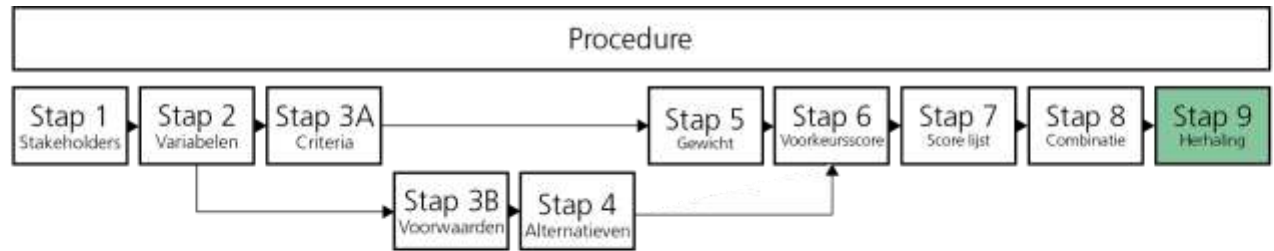




Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								

Legenda

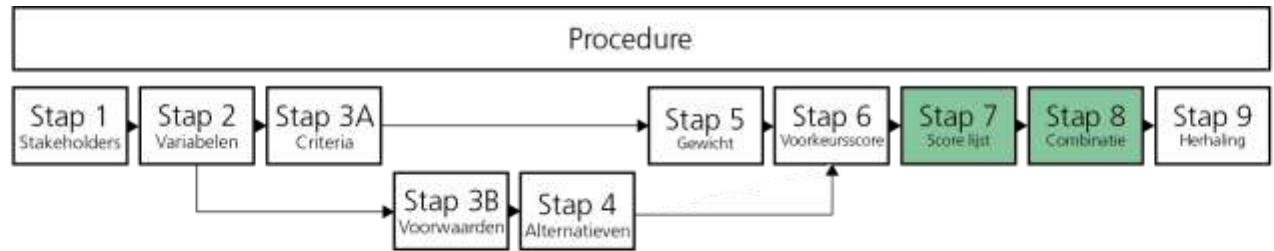
- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald



Activiteiten	Interview									
	Interview									
	Alternatieven ontwerpen									
	Interview									
	Model									
	Interview									
	Model									

Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald










Activiteiten	Interview								
	Interview								
	Alternatieven ontwerpen								
	Interview								
	Model								
	Interview								
	Model								








Legenda

- Stakeholder selectie
- Variabelen
- Criteria
- Voorwaarden
- Gewicht
- Alternatieven selectie
- Voorkeurscore
- Score lijst
- Alternatieven combineren
- Herhaling
- Stappen die worden herhaald

Stap 7: uitkomst model








Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%	100	85	10	0
 Nauwkeurigheid Positionering	30%	0	80	60	100

Stap 7: uitkomst model

Criteria Vastgoed manager	Weight				
 Toekomst bestendig	40%	Voorkeur score			
		90	100	0	40
 Kosten	30%	100	85	10	0
 Nauwkeurigheid Positionering	30%	0	80	60	100





Gewogen score Cisco door vastgoed manager
 $0,4 \times 100 + 0,3 \times 85 + 0,3 \times 80 = 89,5$

Stap 7: uitkomst model








Criteria Vastgoed manager	Weight				
		Voorkeur score			
 Toekomst bestendig	40%	90	100	0	40
 Kosten	30%	100	85	10	0
 Nauwkeurigheid Positionering	30%	0	80	60	100

Gewogen score Cisco door vastgoed manager

$$0,4 \times 100 + 0,3 \times 85 + 0,3 \times 80 = 89,5$$

Stakeholder	Weight	 Score
 Vastgoed manager	20%	89,5
 Investeerder	30%	74
 Gebruiker	50%	85

Stap 7: uitkomst model





Criteria Vastgoed manager	Weight				
		Voorkeur score			
 Toekomst bestendig	40%	90	100	0	40
 Kosten	30%	100	85	10	0
 Nauwkeurigheid Positionering	30%	0	80	60	100

Gewogen score Cisco door vastgoed manager

$$0,4 \times 100 + 0,3 \times 85 + 0,3 \times 80 = 89,5$$

Totale score Cisco

$$0,2 \times 89,5 + 0,3 \times 74 + 0,5 \times 79 = 79,6$$

Stakeholder	Weight	 Score
 Vastgoed manager	20%	89,5
 Investeerder	30%	74
 Gebruiker	50%	85

Step 7: uitkomstst model

1.  = 79,6

2.  = 71,1

3.  = 68,0

4.  = 67,3

5.  = 60,1

6.  = 52,1

7.  = 37,2

8.  = 30,7

Agenda



Evaluatie

“Smart buildings is een ingewikkeld concept en onzekerheid speelt een rol bij het invullen van de scores. Daarnaast is er nog onvoldoende bewijs om stakeholder in zijn keurze te ondersteunen” – Vastgoed manager

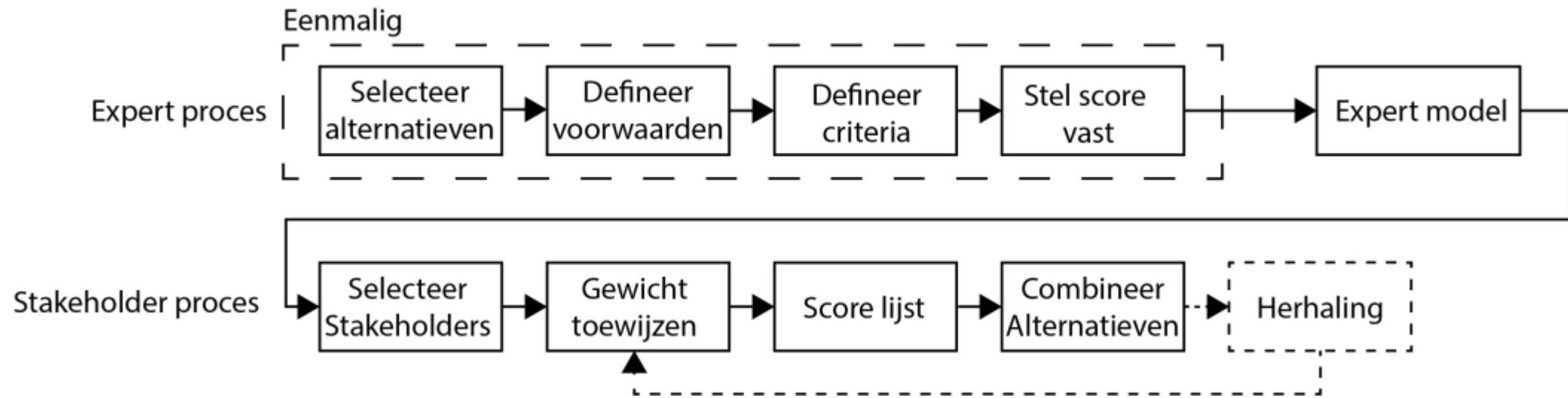
“Niet voldoende kennis over de alternatieven. Voorkeur om enkel het gewicht te bepalen” – Gebiedsontwikkelaar

“Ingewikkeld vanwege een gebrek aan kennis” – Gebruiker

“Als facility management zijnde willen wij ons alleen focussen op de behoefte van de gebruikers in het gebouw en niet bezig zijn met het begrijpen van de alternatieven. Dit is een rol voor een expert.”

“Het is moeilijk om een oordeel te vellen over iets wat je niet goed kent” – Investeerder

Alternatief model



Agenda



Conclusie



Conclusie



Conclusie

- *Hoe kan een beslismodel de toegevoegde waarde van 'smart technology' voorspellen?*

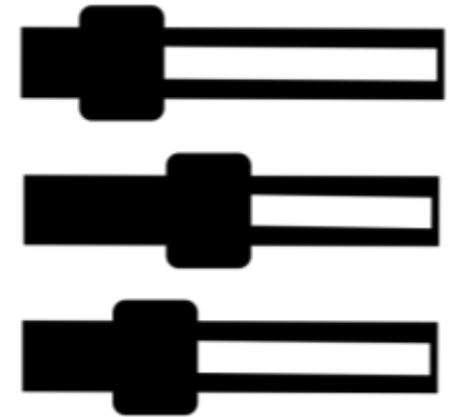
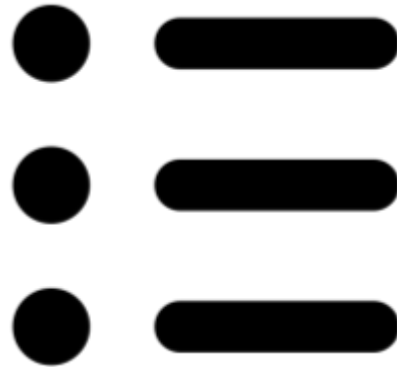
Conclusie

- *Hoe kan een beslismodel de toegevoegde waarde van 'smart technology' voorspellen?*



Conclusie

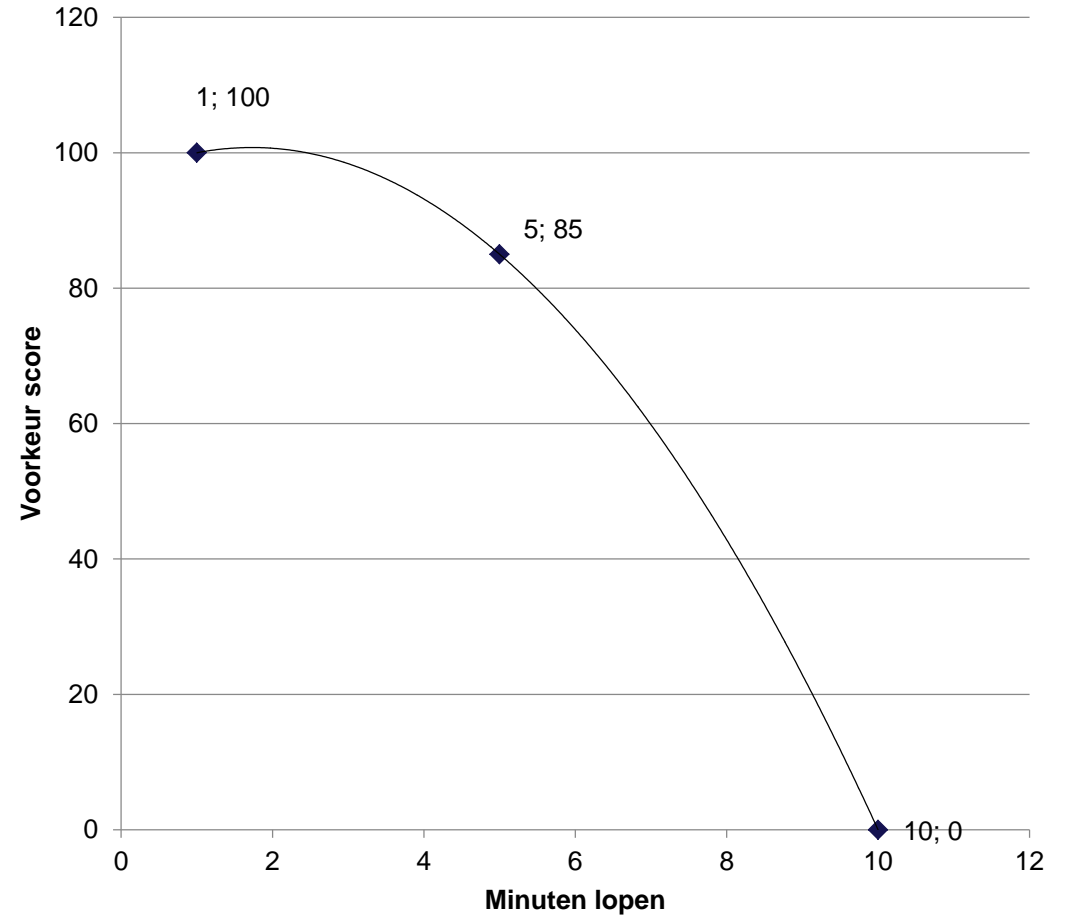
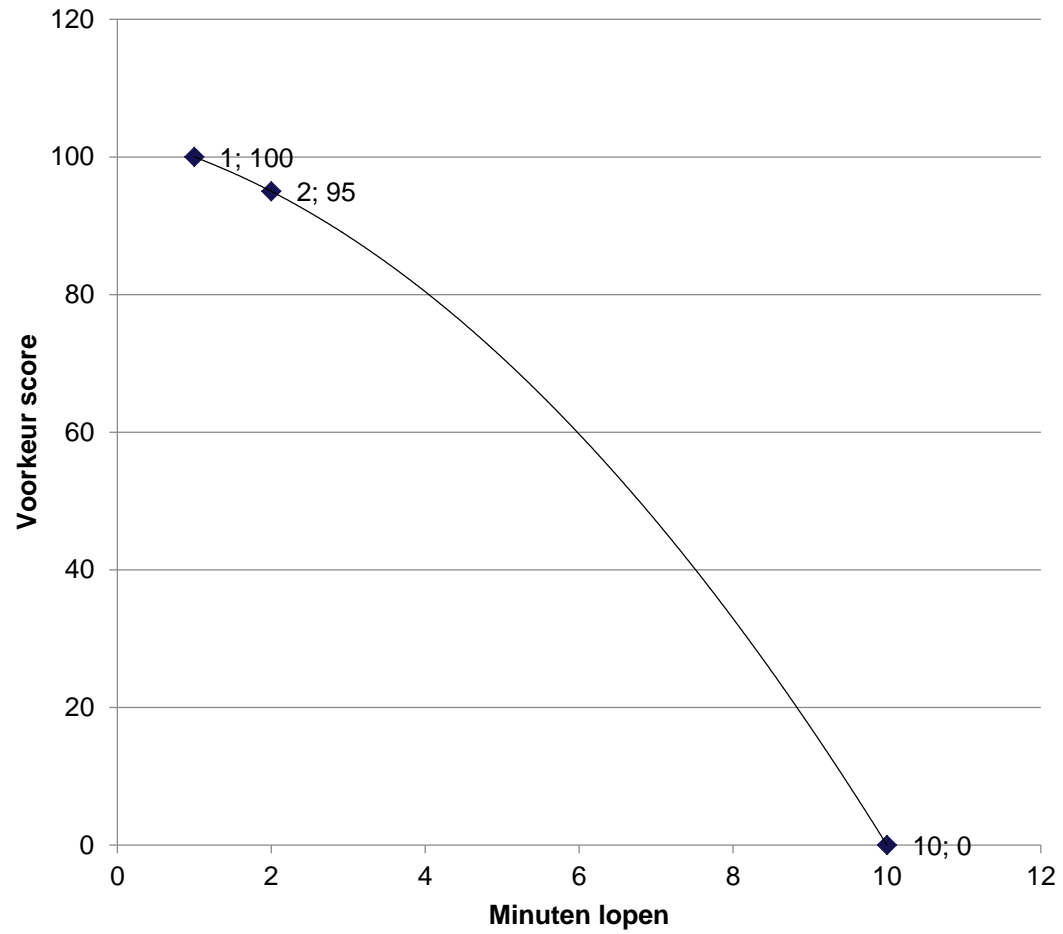
- *Hoe kan een beslismodel de toegevoegde waarde van 'smart technology' voorspellen?*



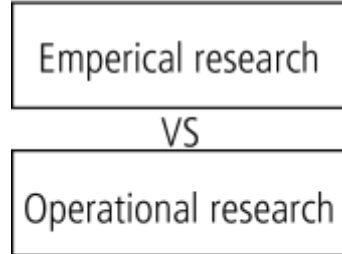
Dank!



 **TU Delft**
Schiphol

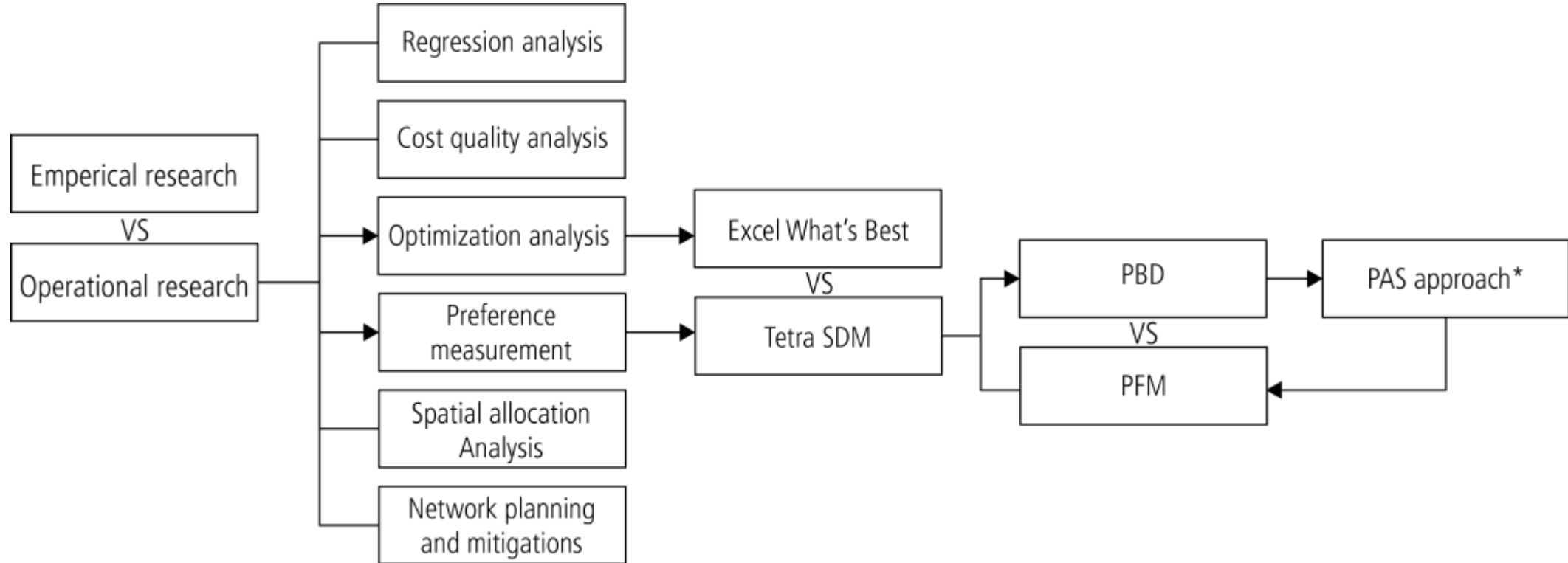


Research analysis

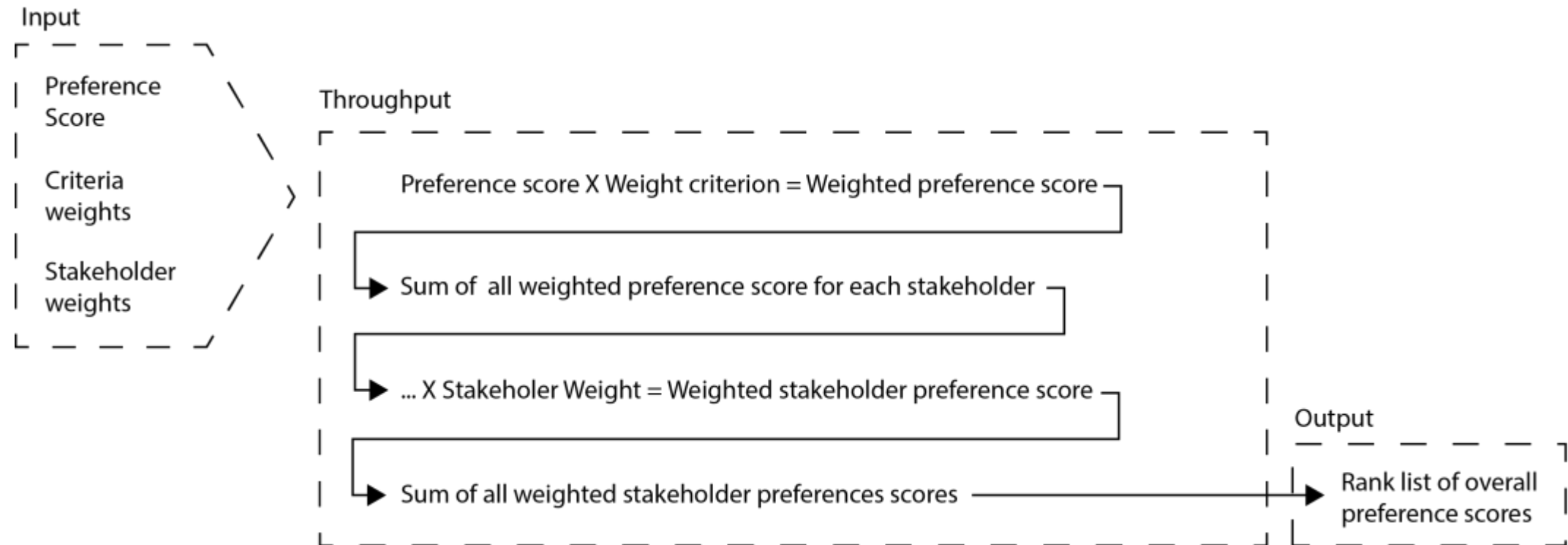


	Operations Research	Empirical research
Type	Operation-related	Knowledge-related
Aim	Creating an artefact Changing situations	Producing knowledge Formulating explanations
Relevance	Operational	Theoretical
Subject	Future	Past
Goal	Improvement	Understanding
Methodology	Prescriptive	Descriptive
Science	Formal sciences	Empirical sciences

Research analysis

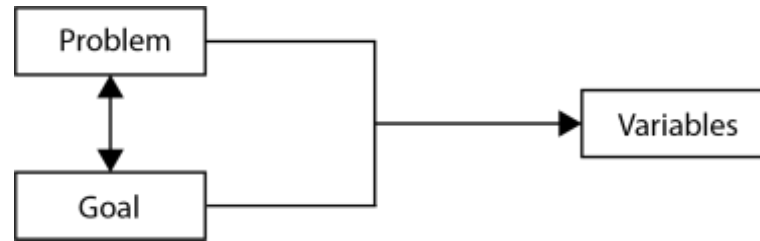


Decision model

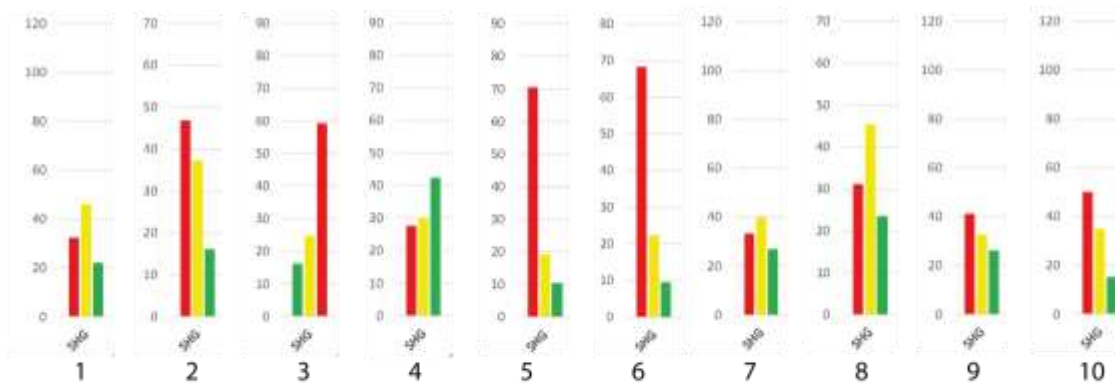


Step 2: variables

- Approach

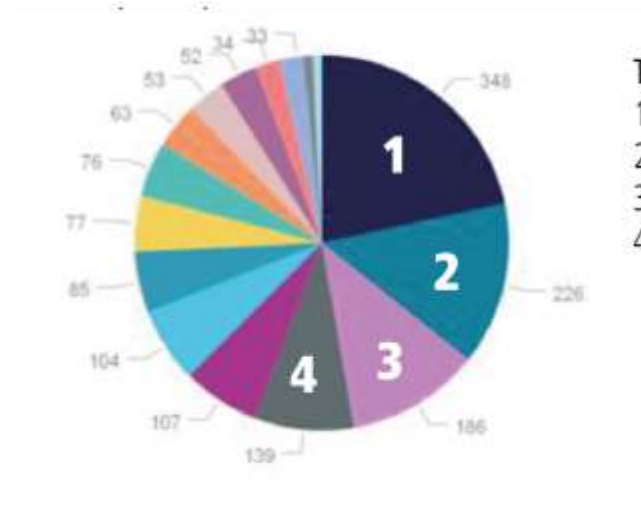


- User survey



Closed Questions

- I'm satisfied with my workplace.
- I can concentrate at my workplace.
- There is much background noise at my workplace.
- I can easily find a workplace.
- I can easily find a space to relax.
- There are sufficient meetings rooms available.
- I can adapt my workplace according to my activities.
- The workplaces are comfortable.
- The IT-facilities are sufficient in supporting my activities.
- I can work fine in a open workplace lay-out.

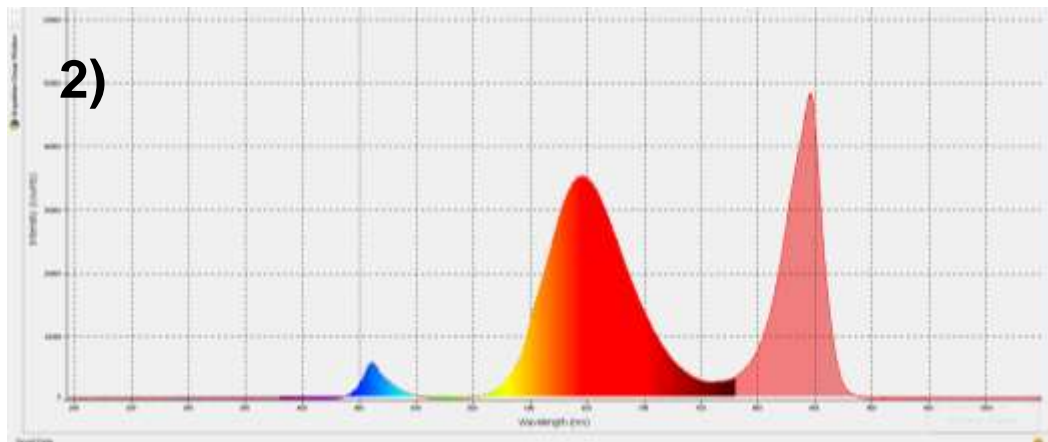


Top 4 open questions

- More private/concentration/quiet rooms
- Faster and better computers
- More differentiation of room types
- More meeting rooms

Step 8: Combine

- Priority: 1) Communication & 2) Infrared
- Future: 3) Camera, 4) Personal connection & 5) Sustainability



Step 9: iteration

- 17 variables removed
- 3 adapted
- 3 combined
- 10 added

Side	Role	Variables	Color
Owner side	Property manager	Costs	
		Infrastructure	
		Accuracy position	
		Accuracy occupancy	
		Update rate	Removed
		Integrity (reliability)	Removed
		Tenant satisfaction	
		Integration	Removed
		Privacy	
		Market maturity	
	Security		
	Area developer	Insight in building use	
		Accuracy of insight	
		Sharing spaces	
		Quality of space	
Scalability			
Sustainability developer	Insight in building use		
	Energy reduction		
	Air quality	Removed	
	Light optimization	Removed	
	Noise reduction	Removed	
Technical property manager	Temp. Optimization	Removed	
	Energy reduction (sustainability)	Removed	
	Decrease in service costs	Removed	
	Insight in the building use		
	Cost to maintain		
Investor	Complexity to install	Removed	
	Complexity to maintain	Removed	
	Fit in the building		
	Increase in rental income	Removed	
	Decrease in OPEX	Removed	
Tenant side	Tenant manager	Decrease in service costs	Removed
		Increase in yield/ value	Removed
		Tenant satisfaction	Removed
	Users	Market position	
		Reduce waste	Changed
		Support user activities	Changed
		Improve management	Changed
		Impact on mobile battery	Combined
		Interface	Combined
		Reliability	Combined
Availability	Combined		
Owner	PM	Reserve room	
		Lay-out/ design	
		Privacy	
		Access	
		Available on phone	Removed
	AD	Costs	
		Infrastructure	
		Accuracy position	
		Accuracy occupancy	
		Market maturity	
SA	Tenant satisfaction		
	Security		
	Privacy		
	Insight in building use		
	Energy reduction		
TPM	Accuracy of positioning		
	Scalability		
	Sharing spaces		
	Quality of space		
	Costs	Added	
I	Insight in building use		
	Cost to maintain		
	Complexity to install		
	Integration with existing infrastructure		
	Future proof	Added	
TM	Usability	Added	
	Costs	Added	
	Tenant satisfaction		
	Impact on costs		
	Implementation complexity	Added	
U	Insight building use		
	Check presence in rooms		
	People counting in rooms		
	User satisfaction	Added	
	Integration with FM system and outlook	Added	
U	Costs	Added	
	User friendly	Added	
	Availability of rooms		
	Support lay-out improvement		
	Wayfinding	Added	

- Removed
- Changed
- Combined
- Added

Evaluation of research success

Time

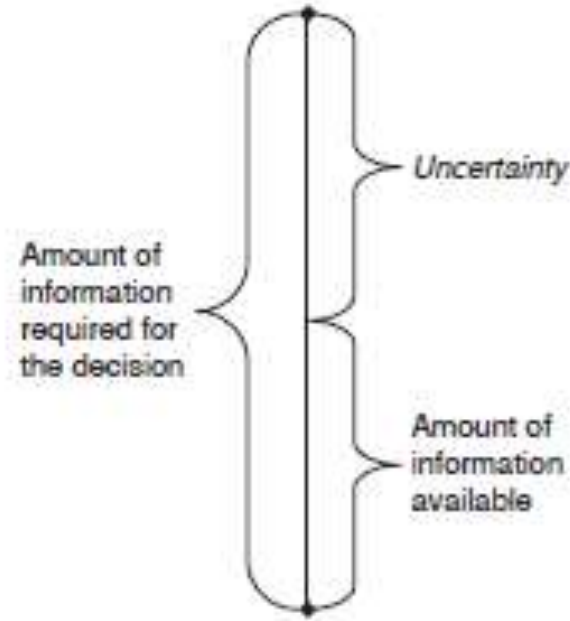
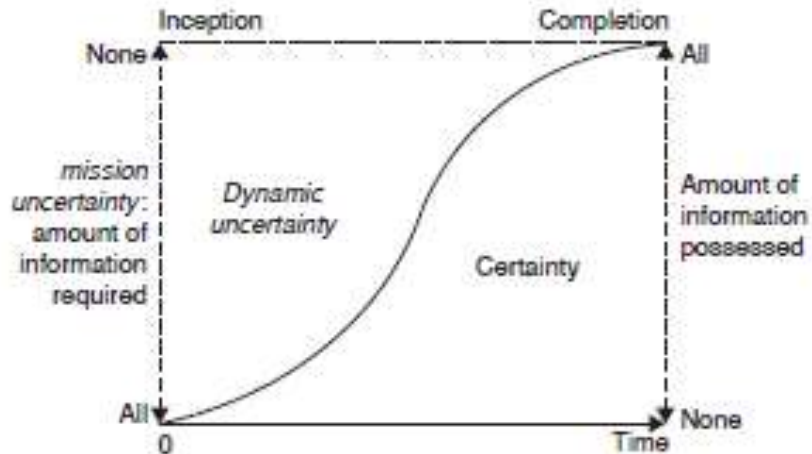
- Information sheets
- Discussion
- Results

Capital

- Alternatives
- Stakeholders

Quality

- Custom-made
- Solution to a multi-criteria problem



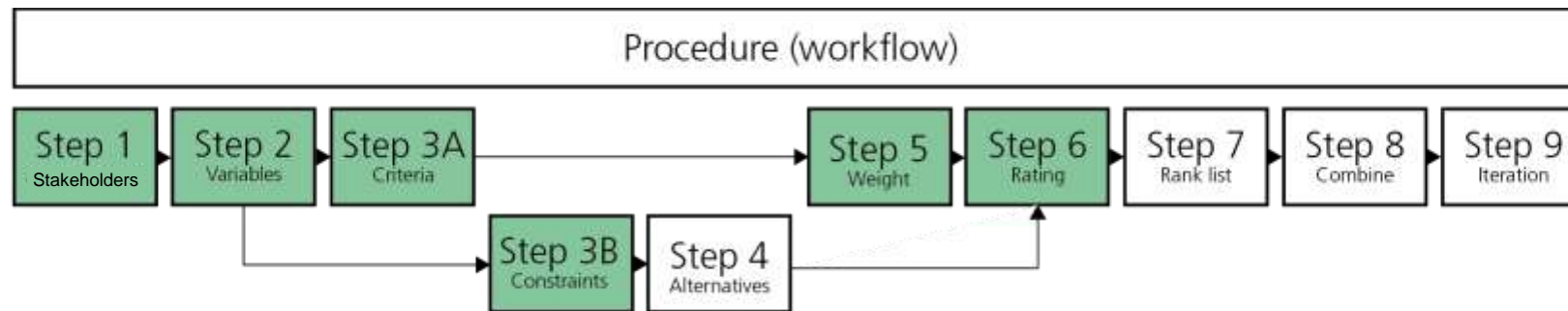
Source: Winch (2012)
P4 presentation Niels Dijkstra

Conclusion

- *How can a decision model predict the added value of a smart system, based on the preferences of the stakeholders?*

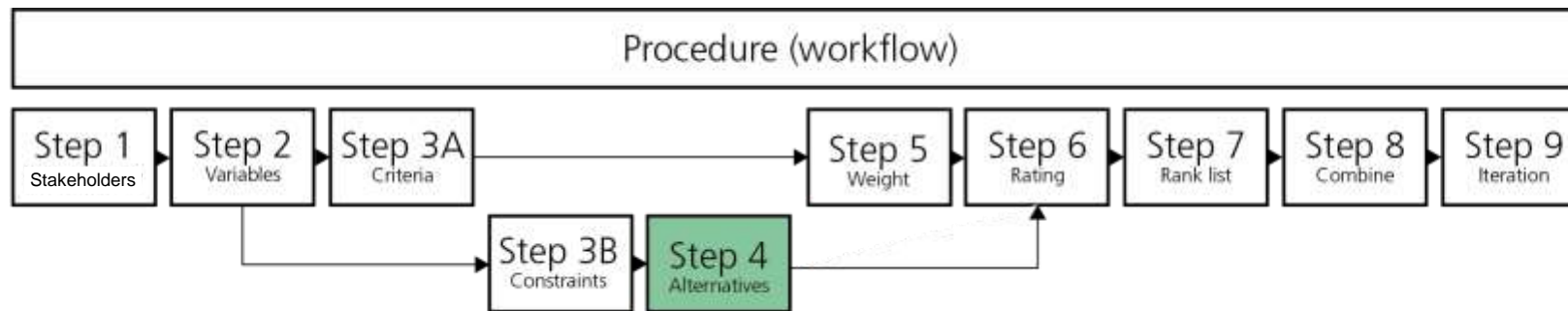
1. ***Demand: Which parameters need to be present in the decision-model?***

2. *Supply: Which relevant design alternatives can be made based on existing smart technologies?*



Conclusion

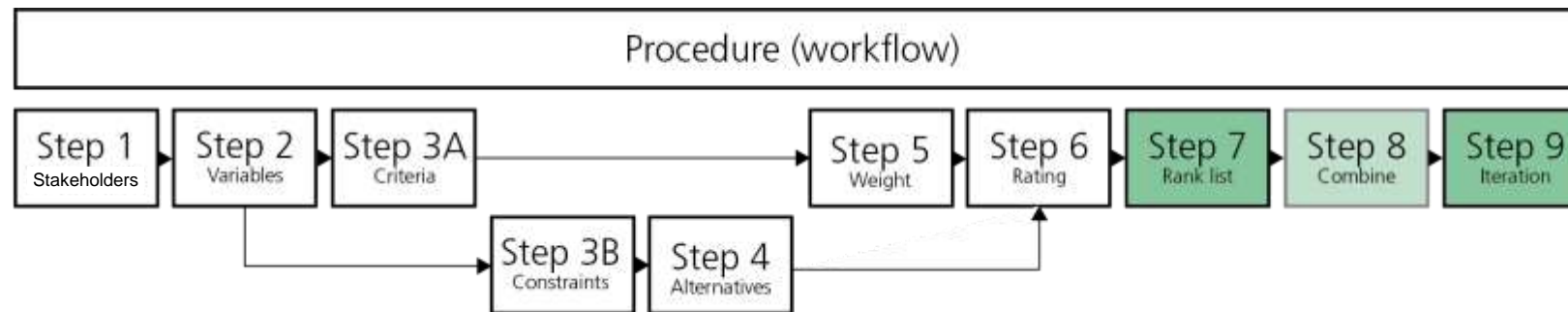
- *How can a decision model predict the added value of a smart system, based on the preferences of the stakeholders?*
 1. *Demand: Which parameters need to be present in the decision-model?*
 2. ***Supply: Which relevant design alternatives can be made based on existing smart technologies?***



Conclusion

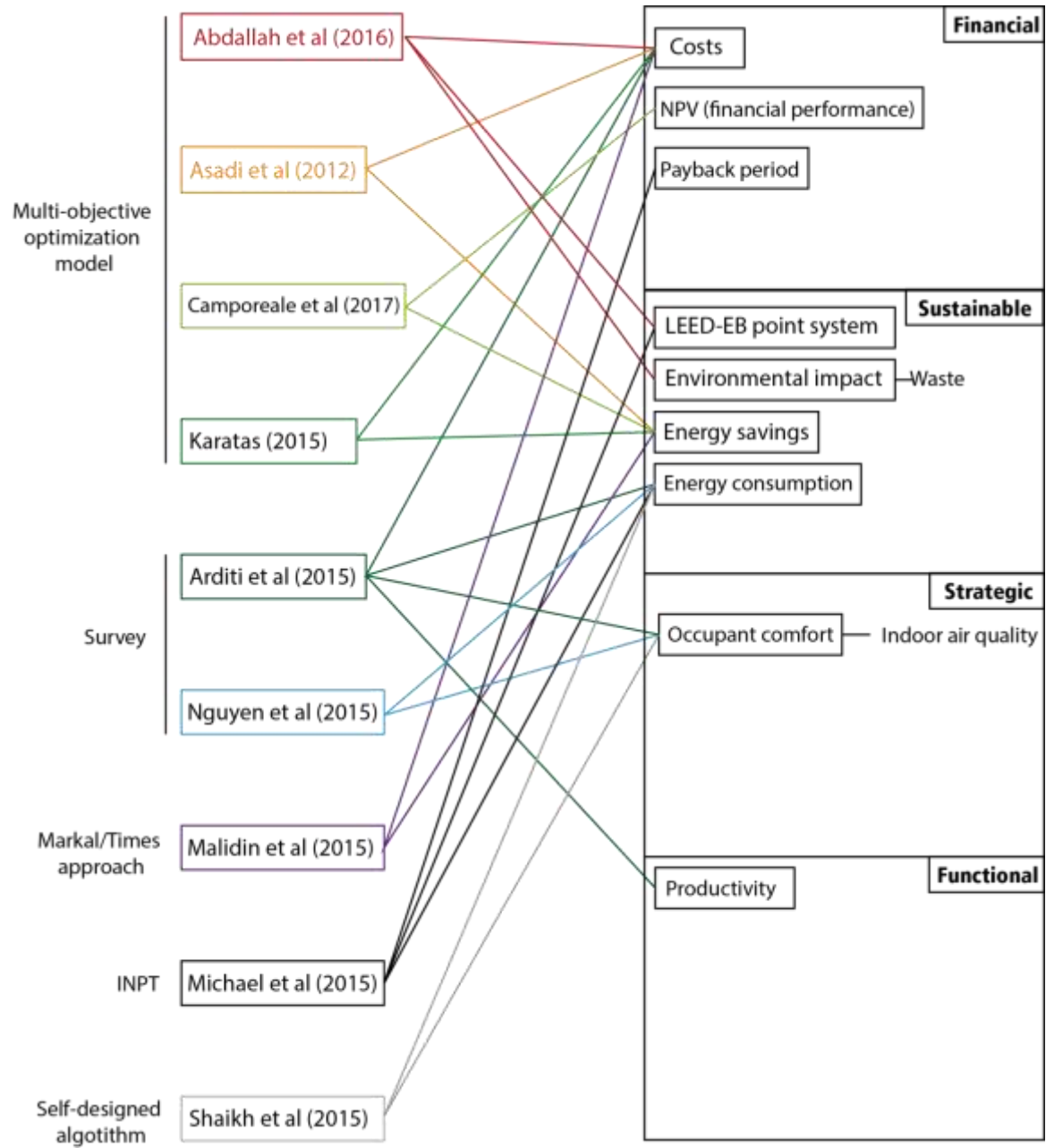
- *How can a decision model predict the added value of a smart system, based on the preferences of the stakeholders?*

A decision model can predict the added value of a smart system by defining the preference score of each feasible alternative on each criterion and to calculate the overall preference score for each alternative. The overall preference score represents the value of a smart system and the highest score is predicted to add the most value.



Operational research

Method	Problem	Description
Optimization analysis with Linear Programming (LP)	The general linear optimization problem	The mathematical modelling technique of LP helps finding an optimal solution given an objective function and a set of constraints
Choice analysis with Preference Measurement	The general preference measurement problem	A mathematical model for the measurement of preference and for the selection of the most preferred/optimal solution.
(In)dependency analysis with Regression Analysis	The general linear regression problem	Statistical processes to predict predict the values of a dependent variable based on historical data and for estimating the relationships among variables.
Cost Quality analysis with Financial Feasibility and Discounting	The general cost vs. benefit problem	Analysis focusses on the financial aspect of optimization problems
Spatial Allocation analysis with Geometric Modelling.	The limited distribution problem	Mathematical method for negotiations on the spatial dimension of resources.
Network Planning and Mitigations	The general sequencing and coordination problem	LP programming method based on the principles of construction planning to efficiently plan activities.



What's Best vs. Tetra

Endogenous variables	Smart system A	Smart system B	Smart system C		Totaal			
Outcome (%)	20	71	8		100			
Floor height (cm)	320	300	300			304,0782123	<=	310

Solving Model: QRM model 4.9
 Solver: PPM
 Parent Criterion: Criteria
 Decision Maker: Default User

Solution

2/0 H/100
 87

New building Current building Refurbished building

Alternative	Solution
Current building	52.912
New building	13.148
Refurbished building	86.852

Solver Progress
 Generating Weights...
 Solving...
 Solution Complete.

Print Report... Save To File... Close

Alternative ▲	Solution
Current building	52.912
New building	13.148
Refurbished building	86.852

Step 8: combine

Stakeholder	Criteria	Alternative
PM	Costs	BLIP
	Infrastructure	iotspot
	Accuracy position	Philips
	Accuracy occupancy	Philips
	Market maturity	bGrid
	Tenant satisfaction	Csco
AD	Insight in building use	bGrid
	Accuracy of positioning	Blooloc
	Sharing spaces	iotspot
	Quality of space	Philips
	Costs	Lone Rooftop
SA	Insight in building use	bGrid
	Energy reduction	bGrid
TPM	Insight in the building use	Blooloc
	Cost to maintain	Csco
	Complexity to install	Csco
	Future proof	Csco
I	Usability	Csco
	Costs	Lone Rooftop
	Tenant satisfaction	Csco
	Impact on costs	Philips
	Implementation complexity	Philips
TM	Insight building use	Csco
	Book and check rooms	Octo
	People counting in rooms	Philips
	User satisfaction	Philips
	Costs	Lone Rooftop
U	User friendly	Csco
	Availability of rooms	Philips
	Support lay-out improvement	Philips
	wayfinding	bGrid

Feature

Communication method
 Independent network that does not need any adjustments to the building

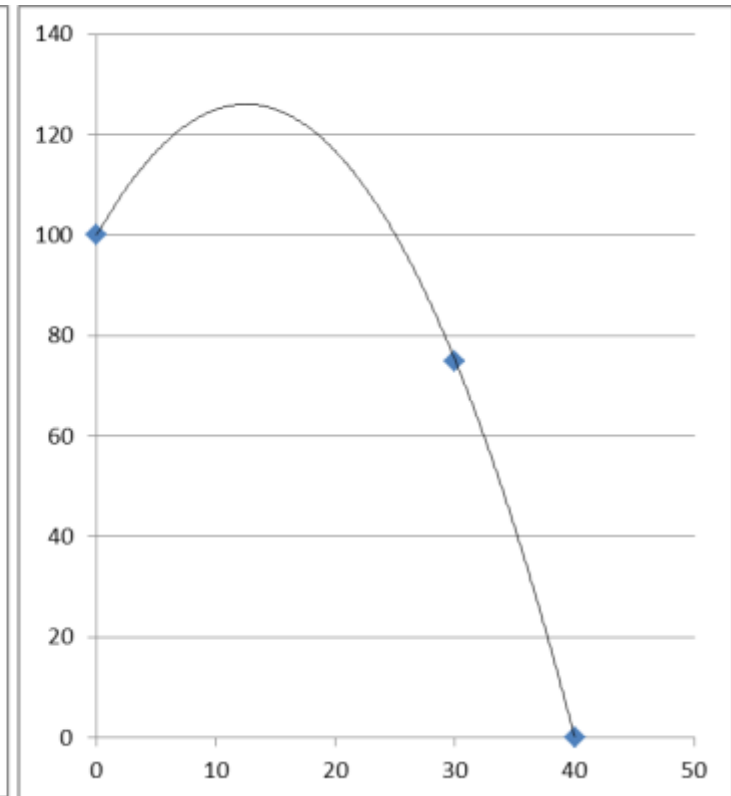
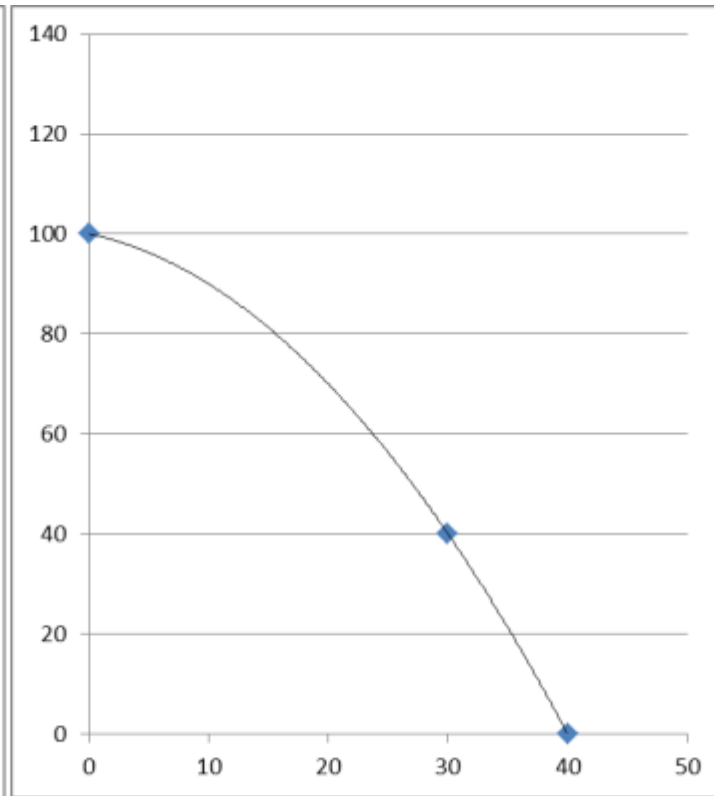
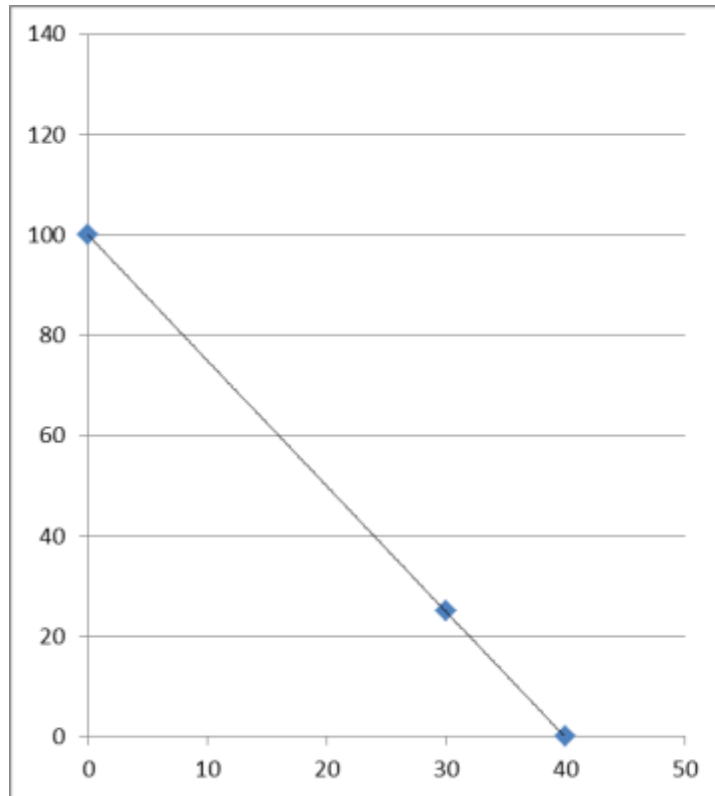
Personalized sensing method:
 BLE from sensor to phone. Bluetooth signals from several sensors are intercepted by the phone. On the phone an app is installed which is able to calculate the position of the phone. The advantage of this way of communicating is that the position can be personalized. This opens up new opportunities such as wayfinding, colleague finding and better insight in building use

Camera sensing method
 The camera is a superior method to accurately measure how many people are in a room.

Climate sensing method
 The multisensor of bGrid offers the opportunity to measure and adapt light, temperature and ventilation. It also measures CO2, LUX, sound and humidity.

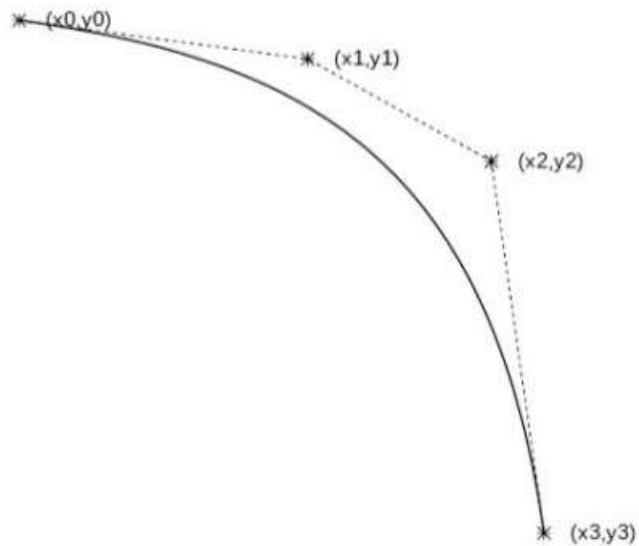
PIR sensing method
 Presence InfraRed sensor is a relatively easy and trustworthy sensing method to detect use of rooms.

Limitation

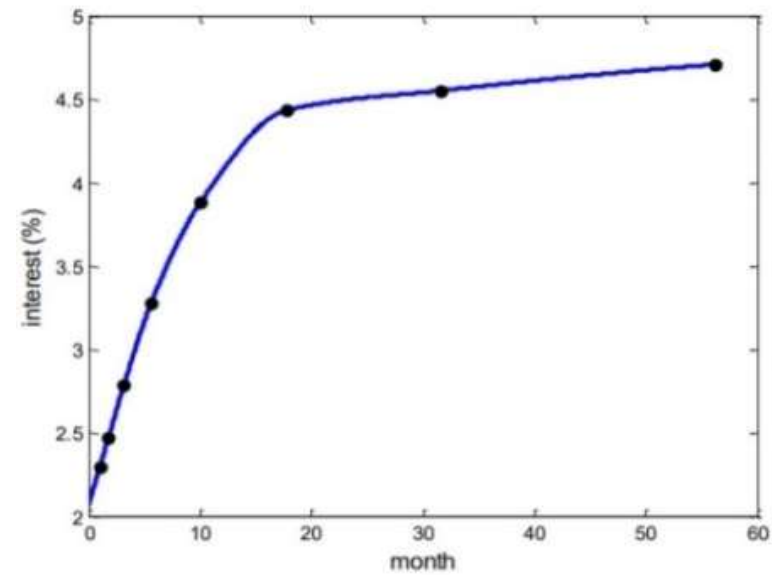


Limitation

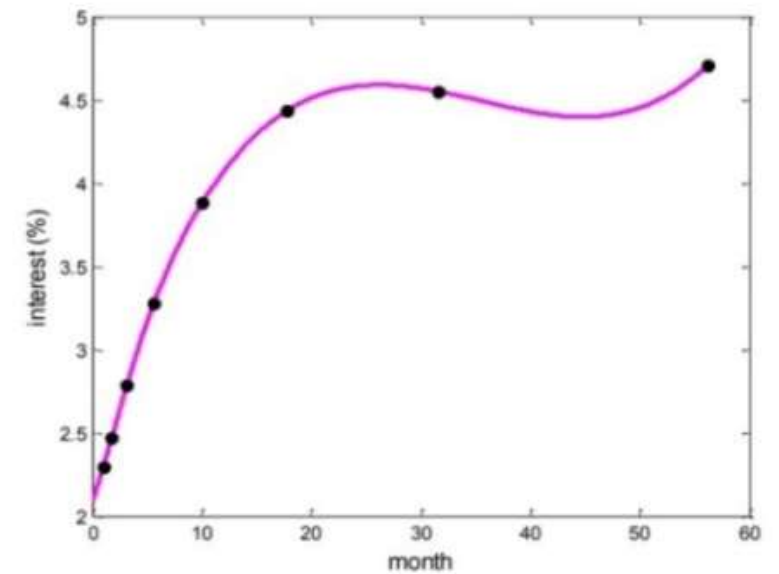
- Bezier curve



- Piecewise Cubic Interpolation



- Spline



Literature

- Arkesteijn, M.H., Binnekamp, R. & De Jonge, H. (2017) "Improving decision making in CRE alignment, by using a preference-based accommodation strategy design approach", *Journal of Corporate Real Estate*, Vol. 19 Issue: 4, pp.239-264
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., & Cochran, J. J. (2015). *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making*. Cengage learning
- Binnekamp, R. (2010), *Operations Research Methods, for managerial multi-actor design and decision analysis*. Delft University of Technology
- Erasmus (2007). *Numerical Methods. Lecture 3 [powerpoint]*. Retrieved 15.12.2017
- Winch, G. M. (2010). *Managing construction projects*. John Wiley & Sons

Literature of analysis

- Abdallah, M., & El-Rayes, K. (2016). Multiobjective Optimization Model for Maximizing Sustainability of Existing Buildings. *Journal of Management in Engineering*, 32(4), 04016003.
- Asadi, E., Da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (2012). Multi-objective optimization for building retrofit strategies: a model and an application. *Energy and Buildings*, 44, 81-87.
- Arditi, D., Mangano, G., De Marco, A. (2015) "Assessing the smartness of buildings", *Facilities*, Vol. 33 Issue: 9/10, pp.553-572
- Malidin, A. S., Kayser-Bril, C., Maizi, N., Assoumou, E., Boutin, V., & Mazauric, V. (2008, November). Assessing the impact of smart building techniques: a prospective study for France. In *Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008. IEEE* (pp. 1-7). IEEE.
- Favoino, F., Jin, Q., & Overend, M. (2017). Design and control optimisation of adaptive insulation systems for office buildings. Part 1: Adaptive technologies and simulation framework. *Energy*, 127, 301-309.
- Karatas, A., & El-Rayes, K. (2016). Optimal Trade-Offs between Housing Cost and Environmental Performance. *Journal of Architectural Engineering*, 22(2), 04015018
- Kim, S., & Kim, S. H. (2017). Lessons learned from the Existing Building Energy Optimization workshop: An initiative for the analysis-driven retrofit decision making. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 1059-1068.
- Moreno, V., Ferrer, J., Díaz, J., Bravo, D. and Chang, V. (2017). A Data-Driven Methodology for Heating Optimization in Smart Buildings. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDs 2017)*, 19-29
- Nguyen, T. A., & Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and buildings*, 56, 244-257.
- Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., & Elamvazuthi, I. (2014). Stochastic optimized intelligent controller for smart energy efficient buildings. *Sustainable Cities and Society*, 13, 41-45.
- Camporeale, P. E., Moyano, M. D. P. M., & Czajkowski, J. D. (2017). Multi-objective optimisation model: A housing block retrofit in Seville. *Energy and Buildings*, 153, 476-484
- Michael, M., Zhang, L., & Xia, X. (2017). An optimal model for a building retrofit with LEED standard as reference protocol. *Energy and Buildings*, 139, 22-30