

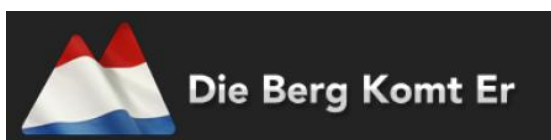
Mogelijkheden tot het vergroten van de haalbaarheidsruimte van 'De Berg' door middel van fasering van de bouw.

Eindrapport Bachelor Eindopdracht

Versie: 2
Status: definitief

Datum: 3 februari 2014
Organisatie: Universiteit Twente, Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Auteur: Roel Hollander (s1130811)

Onder begeleiding en beoordeling van:
Dhr. Dr. Ir. W. Tijhuis (Universiteit Twente)
Dhr. F. Dijkstra (Stichting Die Berg Komt Er)
Dhr. Dr. J.J. Warmink (Universiteit Twente)



UNIVERSITY OF TWENTE.

Voorwoord

Voor de eindopdracht van mijn bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente was ik ongeveer een jaar geleden op zoek naar een onderzoeksopdracht in de bouwsector. Ik wilde graag naar het buitenland voor mijn onderzoek, maar dat is in die sector nog wel eens lastig: de behoefte aan bachelor studenten is in de bouwsector blijkbaar niet zo groot in het buitenland, waar Nederlandse waterbouwkundigen bijvoorbeeld juist erg in trek zijn. In eerste instantie leverde dit wel wat teleurstelling op, maar een paar maanden later belandde ik bij een wellicht niet te overtreffen project: het bouwen van een echte berg in Nederland. Als grote-gebouwen-fan ging mijn hart daar heel wat slagen sneller van kloppen en zodoende had de projectorganisatie van 'Die Berg Komt Er' diezelfde dag nog een verzoek van mij of ik ze wellicht ergens bij kon ondersteunen. Mijn toenadering kwam niet op het beste moment, want eigenlijk lag er op dat moment geen concrete vraag klaar. Omdat ik toen mijn zinnen al op De Berg had gezet, heb ik uiteindelijk in overleg met enkele docenten van de Universiteit Twente zelf een onderzoeksvraag geformuleerd en een onderzoeksvoorstel richting de heer Dijkstra gestuurd. Na een goed overleg vonden we een richting waarin we het onderzoek allebei zagen zitten en ben ik in de zomerperiode met volle overtuiging aan het onderzoeken naar de mogelijkheden voor deze berg begonnen. Nu alweer een half jaar verder is het onderzoek voltooid en presenteer ik hierbij het rapport. Ik hoop van harte dat dit kan bijdragen aan het project en dat we over een aantal jaar dit ietwat vlakke land eens van hogerop kunnen bekijken!

Inhoud

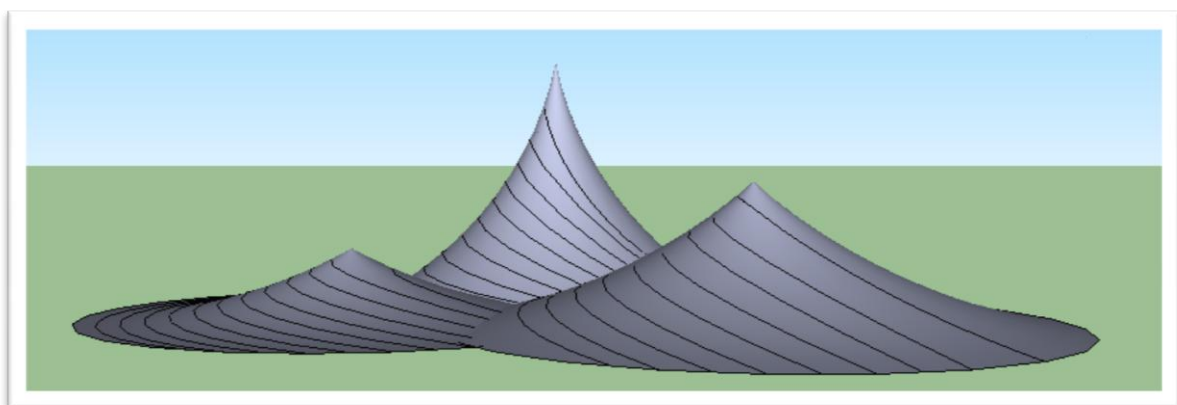
Samenvatting.....	3
1. Inleiding	4
1.1. Ontstaansgeschiedenis.....	4
1.2. Probleemstelling.....	4
1.3. Doelstelling.....	5
2. Theoretische achtergrond en onderzoeksmethode.....	6
2.1. Een conceptuele berg.....	6
2.2. Referentie projecten	8
2.3. Aanpak en onderzoeksvragen	10
3. Resultaten.....	12
3.1. Welke aspecten van de bouw bepalen de haalbaarheidsruimte en waardoor worden de waarden hiervan bepaald?	12
3.2. Zijn er civieltechnische projecten die overeenkomsten met 'De Berg' hebben qua bouwmethodiek of realiseerbaarheid?	15
3.3. Welke scenario's zijn er mogelijk met betrekking tot de bouw van een berg en wat is het effect van elk scenario op de haalbaarheid?.....	20
4. Discussie	34
5. Conclusies en aanbevelingen	37
6. Literatuurlijst	38
Bijlage A – Natuurlijke bergvorming als basis voor bouwscenario's.....	39
Bijlage B – Berekeningen achter de analyses	41
Bijlage C – Parameter analyse	46

Samenvatting

De stichting *Haalbaarheidsonderzoek Die Berg Komt Er* onderzoekt of het mogelijk is om een berg te bouwen in Nederland met een hoogte van 2000 meter. Dit rapport legt verslag van het voor deze stichting uitgevoerde onderzoek naar de mogelijkheden van het faseren van de bouw van een dergelijke berg. Met de huidige technieken en bouwmethoden blijkt het nog niet haalbaar om voldoende geld, materiaal en tijd te verkrijgen om een berg van 2000 meter hoog te bouwen. Het doel van dit onderzoek was dan ook om door middel van fasering van de bouw de haalbaarheid van dit project te vergroten. Hiertoe is eerst onderzocht welke aspecten de haalbaarheid bepalen en vervolgens is naar de bronnen en sturingsmogelijkheden daarvan gekeken. Specifiek is het probleem dat er *te veel geld* en *te veel materiaal* benodigd is binnen de gewenste tijd.

Door verschillende scenario's op te stellen voor het ontwerp en de fasering van een dergelijke berg en deze onderling te vergelijken op basis van onder andere benodigde hoeveelheden materiaal en geld, is gebleken dat zowel de vorm als de opbouw (fasering) van cruciaal belang zijn voor de haalbaarheid. Een berg bestaande uit meerdere toppen, met verschillende hoogtes en verschillende hellingen, lijkt de beste kansen te bieden, waarbij lage toppen kleine hellingen zouden moeten hebben en hoge toppen steile hellingen. Wat betreft de fasering is het voornamelijk van belang dat er al in een vroeg stadium veel 'exploiteerbaar volume' wordt verworven (er wordt in dit onderzoek verondersteld dat slechts de buitenste schil van de berg geschikt zal zijn voor exploitatie). Delen van de constructie die slechts als draagconstructie zullen fungeren en geen directe bron van inkomsten zijn, dienen later in het project vervaardigd te worden (en de daarboven gelegen gebieden dus ook). Eerst zal dus een zo groot mogelijk stuk van de buitenste schil gebouwd moeten worden, zodat hier zo snel mogelijk geld aan verdiend kan worden. Uit analyse blijkt verder dat, wat kosten betreft, de *materiaalprijs* van zeer grote invloed is op de haalbaarheid van dit project. Wat betreft de inkomsten blijkt dat het meeste geld verdiend moet worden aan het exploiteren van ruimte *in* de berg en minder aan het exploiteren van oppervlakte *op* de berg. De focus bij de verdere uitwerking van dit project zou dus bij de mogelijkheden *in* de berg moeten liggen.

De onderstaande afbeelding geeft een schets van het voorgestelde ontwerp met de bijbehorende fasering.



Figuur A. Voorstel voor een nieuw ontwerp voor een berg met daarin faseringslijnen aangebracht. Eerst dient de laagste top te worden gebouwd (500 meter hoog), vervolgens de middelste (1000 meter) en tot slot de top die 2000 meter hoog wordt. De toppen worden ieder van links naar rechts opgebouwd, in de vorm van de faseringslijnen en hebben een gezamenlijk volume van ongeveer 8,0 – 8,5 miljard m³.

1. Inleiding

Voordat het uitgevoerde onderzoek wordt besproken, zal eerst kort de context van het gehele project worden geschetst. Hierin wordt onder andere besproken waar het idee van het bouwen van een berg vandaan komt. Naast een korte historie van het project 'Die Berg Komt Er!' worden de grootste problemen die men tegen komt bij het ontwerpen van deze berg besproken. Paragraaf 1.1 beschrijft het ontstaan van dit project. Hieruit zijn vervolgens de in 1.2 gegeven probleemstelling en de in 1.3 gegeven bijbehorende doelstelling voor dit onderzoek afgeleid.

1.1. Ontstaansgeschiedenis

In juli 2011 komt columnist en oudwielrenner Thijs Zonneveld terug van een paar dagen fietsen in de Alpen. Lichtelijk gefrustreerd over de lange reis die hij wederom heeft moeten afleggen om bergen te bereiken, bedenkt hij zich dat hij nog geen onderwerp heeft voor zijn wekelijkse internetcolumn. Hij besluit om zijn frustratie in zijn column te verwerken. "Laten we een berg bouwen, hier in Nederland!" (Zonneveld, 2011). Een berg van 2000 meter hoog voor alle Nederlandse sporters die hun sport niet volledig kunnen beoefenen in dit ingepolderde laagland. Bovendien levert een berg tal van andere mogelijkheden op, in een land zo dichtbevolkt en -gebouwd als het onze.

Op 29 juli 2011 verscheen zijn column op www.nu.nl¹ en kort daarna in de gratis krant De Pers². Binnen zeer korte tijd werd Zonneveld overspoeld door lokale, nationale en zelfs internationale media. Vanuit landen over de hele wereld was er aandacht voor het (bizarre?) idee een berg door mensenhanden te laten ontstaan. Overweld door de serieuze reacties op het in eerste instantie niet zo serieuze idee, besloot Zonneveld er na een aantal maanden eens echt naar te gaan kijken. Er werd een team geïnspireerde en enthousiaste professionals bijeengebracht voor de eerste brainstorm van 'De Berg'. Tijdens deze eerste bijeenkomst werd uitsluitend gezocht naar zaken die het bouwen van een berg volstrekt zouden uitsluiten. Allerlei problemen werden voorzien en vele obstakels zouden overwonnen moeten worden, maar er werden geen redenen gevonden waarom het simpelweg onmogelijk zou zijn.

Na de eerste brainstorm werd besloten de Stichting Haalbaarheidsonderzoek Die Berg Komt Er op te richten. Thijs Zonneveld, Ben Rogmans en Ulf Doornbos vormen sindsdien de directie. Ka-Lung To (Oranjewoud) is projectdirecteur en stuurt de vier werkgroepen binnen deze stichting aan, te weten: Marktverkenning, Functionaliteit, Design en Locatie. Met zoveel mogelijk inbreng vanuit de maatschappij wordt nu een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd. Er wordt dus gewerkt aan draagvlak, verkend wat de berg voor mogelijkheden zou opleveren, onderzocht hoe het geheel geconstrueerd kan worden en ingekaderd waar de berg zou kunnen komen te staan. Veel verkennend onderzoek hiernaar is ondertussen al gedaan, maar wat betreft de constructie moet er nog steeds veel gebeuren, wil er echt een berg kunnen komen. In paragraaf 1.2 zal toegelicht worden waar de directe knelpunten liggen.

1.2. Probleemstelling

Om tot de kern van het te onderzoeken probleem te komen, is het noodzakelijk een herhaaldelijk terugkerende term toe te lichten: de 'haalbaarheid' of 'haalbaarheidsruimte'. De haalbaarheidsruimte kan worden gedefinieerd als de som van alle technische, financiële en

¹ Zonneveld, T. (2011). *Berg!* <http://www.nu.nl/column-vrijdag/2577054/berg.html>

² Bron niet langer beschikbaar

maatschappelijke mogelijkheden die kunnen leiden tot het realiseren van een berg. Elke combinatie van elk van deze aspecten die kan leiden tot realisatie vergroot de haalbaarheidsruimte. Tot op heden is er onder andere op constructief vlak echter nog niet één ‘weg’ gevonden die kan leiden tot voltooiing van een dergelijke berg, waardoor de haalbaarheidsruimte in feite nog steeds nul is. Men loopt bij het ontwerpen van een constructie voornamelijk vast op de gigantische dimensies van het project. De beschikbaarheid van middelen over tijd vormt de kern van dit probleem, waarbij het in eerste instantie vooral om de middelen geld en materiaal lijkt te gaan. De probleemstelling van het project kan nu als volgt worden omschreven:

De bouw van ‘De Berg’ blijkt met het tot nu toe uitgevoerde onderzoek nog niet haalbaar. Met de huidige bouwmethoden zijn de benodigde hoeveelheden tijd, materialen en geld nog te groot om beschikking over te krijgen.

1.3. Doelstelling

De stichting heeft als doel om mogelijkheden te vinden die uiteindelijk het realiseren van een berg haalbaar kunnen maken. Dit onderzoek zal aan dat doel bij moeten dragen. Zoals de hierboven genoemde probleemstelling aangeeft, is de bouw van een berg nog niet haalbaar in verband met de beschikbaarheid van middelen over tijd. Aspecten als kosten, beschikbare materialen, bouw en exploitatie zullen anders verdeeld moeten worden over tijd, om het realiseren van een berg haalbaar te kunnen maken. Anders gezegd zou, door het faseren van de bouw, de haalbaarheidsruimte vergroot kunnen worden. Door te faseren kan het verkrijgen van bijvoorbeeld inkomsten en kennis zo plaatsvinden, dat meer middelen beschikbaar worden al tijdens de bouw. Ook efficiëntie en planning kunnen hierdoor sterk verbeterd worden.

Volgend uit het bovenstaande, luidt de doelstelling van dit onderzoek:

Het vergroten van de haalbaarheidsruimte van ‘De Berg’ door een voorstel te maken voor de fasering van de bouw.

Leeswijzer

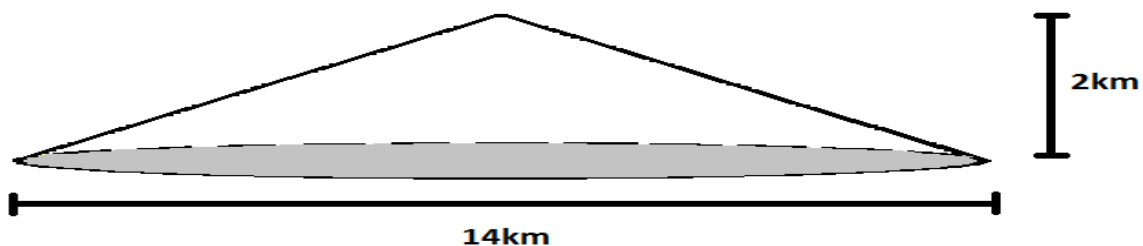
Het vervolg van dit verslag zal ingaan op de hierboven gestelde probleemstelling en doelstelling. Door middel van een korte literatuurstudie, in hoofdstuk 2, en een uitgebreide scenario analyse in hoofdstuk 3, zullen de problemen verder geanalyseerd worden en oplossingsmogelijkheden getoetst. Hoofdstuk 4 zal een discussie vormen van de in hoofdstuk 3 gepresenteerde resultaten, waarin een oplossing wordt aangedragen voor het genoemde probleem. De conclusies en aanbevelingen, ten slotte, worden genoemd in hoofdstuk 5.

2. Theoretische achtergrond en onderzoeksmethode

Dit hoofdstuk neemt de relevante literatuur door die er te vinden is over het bouwen van een berg. Echter, naar het bouwen van bergen is nog zeer weinig onderzoek gedaan. Over fasering in de bouw en bijvoorbeeld het bouwen van lichte constructies is wel veel bekend, maar voor dit onderzoek is het belangrijker om een goed beeld te krijgen van de omvang van dit project, aangezien dit de bepalende en beperkende factor zal zijn tijdens het ontwerpen. Daarom schetst dit hoofdstuk een beeld van de omvang van een berg door in 2.1 een aantal rekensommen los te laten op een conceptuele berg-vorm en in 2.2 enkele referentieprojecten te beschrijven. In paragraaf 2.3 wordt vervolgens de gehanteerde onderzoeksmethode beschreven.

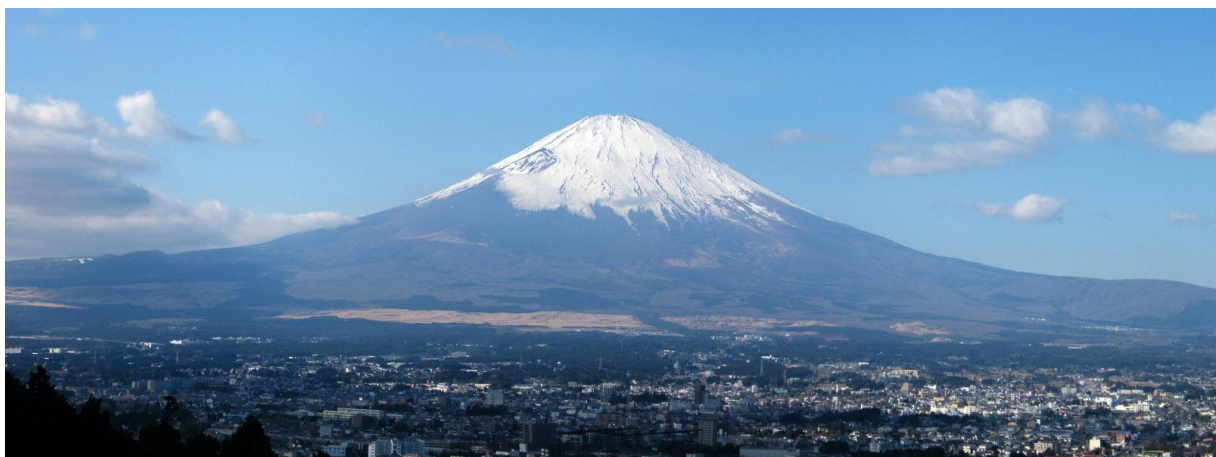
2.1. Een conceptuele berg

Om een indruk te krijgen van de dimensies van een – in een vrijwel vlak landschap geplaatste – berg van 2000 meter hoog, staan in deze paragraaf twee overzichten met enige getallen ter referentie. Er is uitgegaan van de conceptuele berg-vorm die de Study Group Mathematics with Industry (SWI) hanteert bij hun berekeningen³. Dit is een kegelvormige berg met een hoogte van 2000 meter en een straal van 7000 meter op maaiveldniveau (helling 2:7), zoals weergegeven in Figuur 1. Het volume hiervan bedraagt ruwweg 100km^3 .



Figuur 1. De conceptuele bergvorm waarmee Study Group Mathematics with Industry bij hun berekeningen vanuit gaat. Rechts en onder staan de gehanteerde afmetingen.

Er is gekozen voor deze vorm en helling omdat de berg bruikbaar moet zijn voor exploitatie. Dit vereist een niet te steile helling. Dit ontwerp lijkt qua vorm erg op Mount Fuji. Deze is in Figuur 2 weergegeven voor een eerste impressie van de vorm en de omvang.



Figuur 2. De conceptuele bergvorm lijkt wat betreft vorm en de orde-grootte op de vulkanische 'Mount Fuji'.

³ Andrade Serra, P.J. De, et. all., 2012. *Proceedings of the 84th European Study Group Mathematics with Industry, De Berg Report*, Ongepubliceerd.

De Study Group Mathematics with Industry heeft naar benodigde hoeveelheden bouwmaterialen en beschikbaarheid daarvan gekeken. Tabel 1 geeft het overzicht dat zij hebben gemaakt. Hierbij is aangenomen dat 30% van het totale volume benodigd zal zijn voor de constructie, dus een voor 70% holle berg. Zo valt bijvoorbeeld af te lezen dat, wanneer men de berg van stenen zou maken, er ongeveer 75.000.000.000 ton materiaal benodigd zou zijn, wat grofweg 1,95 biljoen Euro kost. Daarnaast is gegeven met hoeveel volledige jaarproducties wereldwijd deze hoeveelheid zich vergelijkt en hoeveel maal de jaarlijkse Nederlandse hoeveelheid CO_2 de productie hiervan zou uitstoten.

Materials	Required (10^{13} kg)	World Prod. (Years)	Total Price (10^{12} Euro)	NL CO_2 Emissions (Years)
Rock	7.50	-	1.95	-
Sand	7.95	-	2.10	-
Concrete	6.90	3.8	3.90	357
Plastic	2.91	29.1	29.10	1005
Steel	24.00	30.0	135.00	641
Glass	7.80	-	270.00	422

Tabel 1. Benodigde hoeveelheden bouwmaterialen in gewicht, wereldproductie-jaren, kosten en CO_2 uitstoot, wanneer wordt uitgegaan van de conceptuele bergvorm⁴.

De cijfers uit bovenstaande tabel zijn van zo grote omvang, dat ze wellicht moeilijk te bevatten zijn. Om deze cijfers wat meer betekenis te geven, is in Tabel 2 een overzicht opgesteld waarin de dimensies van de conceptuele bergvorm met enkele andere civiele objecten en kengetallen wordt vergeleken. Deze bekend veronderstelde objecten en kengetallen moeten het beeld van de dimensies verder verduidelijken. Eerst wordt het volume vergeleken, daarna het gewicht en tot slot het aantal manuren wanneer handmatig gebouwd zou worden, voor een indicatie van de omvang.

Vergelijking op grond van	Wat	Karakteristieke waarde	Verhouding (+/-)	Opmerkingen
Volume (Berg = $100km^3$)	Zandwagen	$14m^3$	7.100.000.000	Er zouden dus ruim 7 miljard vrachtwagens met zand aangevoerd moeten worden.
	Jaarlijks bouwvolume Nederlandse woningmarkt	$60.000 \times 450m^3$ $= 27.000.000m^3$	3700	
	Burj Khalifa (828m hoog)	$1.500.000m^3$	67.000	
	's Werelds grootste baggerschip	$46.000m^3$	2.200.000	
	Piramide van Cheops	$2.600.000m^3$	38.000	Door slaven in 20 jaar gebouwd. 38.000 pyramides zou 760.000 jaar duren.

⁴ Andrade Serra, P.J. De, et. all., 2012. *Proceedings of the 84th European Study Group Mathematics with Industry, De Berg Report*, Ongepubliceerd.

Vergelijking op grond van	Wat	Karakteristieke waarde	Verhouding (+/-)	Opmerkingen
<u>Gewicht</u> (Berg = 160.000.000.000 ton (zand))	Inhoud Panama kanaal	375.000.000 ton	426	
<u>Man-uren</u>	Alle werklozen in Nederland	$650.000 \times 10m^3$ $= 6.500.000 m^3 \text{ per dag}$	60 jaar	

Tabel 2. Cijfers van De Berg in perspectief.

Uit deze eenvoudige berekeningen kan geconcludeerd worden dat een berg van dergelijke omvang, met de huidige bouwmaterialen en –technieken niet haalbaar is. Niet alleen zijn de kosten en impact op het milieu buitenproportioneel, ook zijn de benodigde materialen voornamelijk niet beschikbaar. Er zal dus gekeken moeten worden naar alternatieve bouwmethodieken, het aanpassen van de vorm of hoogte van de berg of het gebruik van andere bouwmaterialen.

2.2. Referentie projecten

Het is nu duidelijk dat een berg bouwen een project is van nog niet eerder vertoonde omvang. Dit betekent echter niet dat het *per definitie* onhaalbaar is. Deze paragraaf laat dit zien met drie voltooide civieltechnische projecten, die men vooraf ook onhaalbaar achtte vanwege hun nog niet eerder vertoonde omvang. De volgende civieltechnische projecten worden besproken:

- Palm Islands, Dubai
- Panama kanaal, Panama
- Burj Khalifa, Dubai

Stuk voor stuk hebben deze projecten ‘haalbaarheid’ een nieuwe dimensie gegeven. De projecten hieronder zijn gekozen op basis van hun uitzonderlijke ruimtelijke dimensies.

Burj Khalifa

Type project: Wolkenkrabber
 Dimensies: 828 meter hoog, 310.000m² vloeroppervlak
 Materiaalgebruik: Beton, staal
 Bouwtijd: 4,5 jaar



Figuur 3. Met de Burj Khalifa werd in Dubai een enorm bouwhoogte record neergezet en liet men zien dat vele technische uitdagingen overkomelijk waren.

Panama kanaal

Type project:	Kanaal
Dimensies:	81 kilometer lang, 32 meter schuthoogte
Materiaalgebruik:	<u>250.000.000 m³</u> grond uitgegraven
Bouwtijd (effectief):	15 jaar



Figuur 4. Dit continent-doorkruisende kanaal in Panama was opnieuw een project dat de bewerkelijke kracht van de mens op de aarde aantoonde.

Palm Islands and The World

Type project:	Kunstmatige eilanden
Dimensies:	100km ² nieuw land
Materiaalgebruik:	<u>1,5km³</u> zand opgespoten
Bouwtijd:	7 jaar



Figuur 5. De kracht van geld en techniek werd hier ingezet voor één van de grootste prestigeprojecten van de laatste jaren.

De Burj Khalifa was het eerste bouwwerk ter wereld dat meer dan 800 meter hoog werd. Pas in de laatste decennia werd de bouw hiervan voor mogelijk gehouden. Het Panama kanaal is een project waarmee een continent werd doorkruisd en waarmee scheepvaartroutes op globale schaal veranderden. De palm-eilanden in Dubai zijn het bewijs dat de mensheid in staat is gigantische hoeveelheden nieuw land te verwerven. Eerder werd dit onder andere in Nederland al gedaan met

de droogmakerijen, maar in dit geval is tevens de vorm van het land ‘geboetseerd’ en is het land afgenomen van de zee. Deze projecten tonen de veranderlijkheid van ‘haalbaar’ aan.

2.3. Aanpak en onderzoeksvragen

Op basis van de probleem- en doelstelling is een plan van aanpak gemaakt voor het uitvoeren van dit onderzoek. Ten eerste zal het probleem verder uiteengezet moeten worden. Hiervoor is een uitgebreide analyse van alle aspecten en oorzaken van het probleem nodig. De uitkomst van deze analyse moet de richting aangeven waarin de oplossingsmogelijkheden gezocht moeten worden. Er zullen dan oplossingsmogelijkheden gecreëerd worden (scenario's), die vervolgens ook worden geanalyseerd en waaruit een ideale oplossing gevonden moet worden. In deze paragraaf worden de benodigde onderzoeksvragen voor het gehele onderzoek behandeld.

2.3.1. Hoofdvraag

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: *Hoe kan fasering van de bouw van ‘De Berg’ leiden tot een grotere slagingskans van het gehele project?*

De probleemstelling gaf al aan dat er met de bekende bouwtechnieken niet voldoende middelen beschikbaar zijn om een berg van 2000 meter hoog te realiseren. Door de bouw te faseren, zou een oplossing voor dit probleem gevonden kunnen worden. Hoe kan dit worden gedaan?

De bouw van de berg is slechts één van de onderdelen van dit project. Het is niet gezegd dat, wanneer dit onderdeel succesvol is, het gehele project zal slagen. Er zal bijvoorbeeld ook draagvlak moeten zijn, er kunnen onacceptabele milieu-effecten optreden of misschien blijkt geen enkele locatie uiteindelijk geschikt. Toch zal de bouw in grote mate bijdragen aan de slagingskans en daarom zal met dit onderzoek een stap in die richting gezet worden. De vraag is in deze vorm te complex en niet specifiek genoeg om direct te kunnen beantwoorden. Zoals hierboven aangegeven, zal het onderzoek worden opgesplitst in een analyse van de aspecten en oorzaken van het probleem, het opstellen van oplossingsmogelijkheden (zogenaamde bouwscenario's) en analyse daarvan en ten slotte het samenstellen van een zo ideaal mogelijke oplossing. Op basis hiervan is de hoofdvraag in vier deelvragen opgesplitst.

Deelvraag 1: Haalbaarheidsruimte bepalen door in kaart brengen parameters

Welke aspecten van de bouw bepalen de haalbaarheidsruimte en waardoor worden de waarden hiervan bepaald?

Met de eerste vraag moet niet alleen de haalbaarheidsruimte (kader waarbinnen haalbare opties liggen) worden vastgesteld, ook moet duidelijk worden welke aspecten kunnen worden gefaseerd. Daarom is het van belang eerst de parameters te bepalen. Per aspect moet a) gekeken worden wat de relatie is met andere aspecten, dus wat het aspect definieert en b) hoe het aanpassen van die aspecten de waarde van het onderzochte aspect kunnen verdelen over de tijd. Tot slot zal deze uitgebreide probleemanalyse een richting voor oplossingsmogelijkheden moeten kunnen aangeven.

Deelvraag 2: vergelijkbare projecten

Zijn er civieltechnische projecten die overeenkomsten met ‘De Berg’ hebben qua bouwmethodiek of realiseerbaarheid?

Om goede bouwscenario's op te kunnen stellen, ideeën te krijgen over alternatieve bouwmethodieken en referentie te hebben voor orde-groottes, is het van belang om civieltechnische

projecten te zoeken die in zekere mate overeenkomsten hebben met dit project. Door die projecten te bestuderen, kan inzicht verkregen worden in de grenzen van bouwtechnieken, de ruimtes die er nog zijn en vooral ook hoe overeenkomstige problemen creatief zijn opgelost.

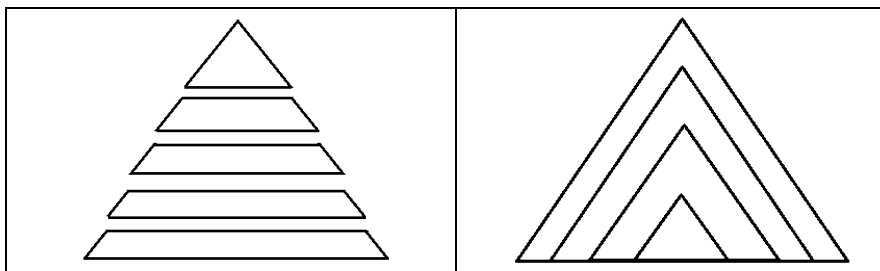
Deelvraag 3: bouwscenario's opstellen

Welke scenario's kunnen opgesteld worden voor de bouw en welk effect heeft elk scenario op (de fasering van) de behoeften?

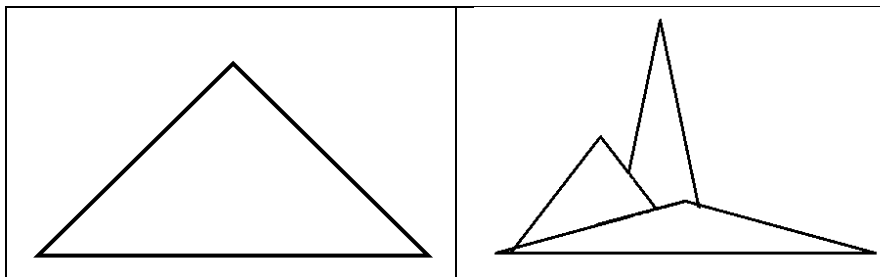
Voor het opstellen van scenario's kunnen er hoofdzakelijk twee aspecten onderscheiden worden waarin gevarieerd kan worden. Dit zijn:

- A. Het einddoel: hoe gaat De Berg er uit zien?
- B. De opbouw: hoe kan er gekomen worden tot het einddoel?

Bij variatie in het einddoel (A) kan gedacht worden aan vorm, afmetingen en eventuele 'tussenresultaten' in de vorm van verschillende toppen (zie Tabel 3). De randvoorwaarde blijft 'minimaal 1 top van 2000 meter'. Voor de opbouw (B) zijn er bijvoorbeeld de varianten om te bouwen in horizontale lagen of opbouwen in schillen – steeds grotere berg-vormen. Dit is geschematiseerd in Tabel 4.



Tabel 3. Schematische weergave voor het laag voor laag bouwen (links) of schil voor schil (rechts).



Tabel 4. Schematische weergave voor één top (links) of juist meerdere toppen met verschillende hoogtes en verschillende hellingen (rechts).

Elk scenario zal dus bestaan uit een variant van aspect A en een variant van aspect B. Door steeds maar één aspect te variëren, kunnen de effecten van elke variant afzonderlijk geanalyseerd worden.

Deelvraag 4: combineren scenario's

Hoe kunnen zo veel mogelijk positieve effecten van alle scenario's gecombineerd worden in één scenario?

Nadat alle scenario's zijn geanalyseerd, zal geprobeerd worden zo veel mogelijk van de positieve aspecten van alle scenario's te combineren in één nieuw scenario. Hierbij moeten de negatieve effecten zo veel mogelijk worden geminimaliseerd. Dit nieuwe scenario moet de blauwdruk vormen voor (het advies voor) de fasering van de bouw van De Berg.

3. Resultaten

Dit hoofdstuk geeft de resultaten van het onderzoek. Eerst zullen de aspecten onderscheiden worden die de haalbaarheidsruimte van de bouw van de berg bepalen. Deze aspecten (ook wel parameters genoemd) worden voor de beantwoording van deelvraag 1 als beperkende factoren behandeld, maar dienen later ter beoordeling van de haalbaarheid. Met deze zogenaamde beoordelingscriteria en met behulp van de in 3.2 onderzochte vergelijkbare projecten zijn scenario's opgesteld en onderzocht die in 3.3 uitvoerig worden besproken. Paragraaf 3.3.4 geeft de belangrijkste conclusies van de analyses, waarmee in hoofdstuk 4 de discussie onderbouwd zal worden.

3.1. Welke aspecten van de bouw bepalen de haalbaarheidsruimte en waardoor worden de waarden hiervan bepaald?

Om de haalbaarheidsruimte van de bouw van de berg te kunnen vergroten, zal deze ruimte eerst in kaart moeten worden gebracht. Dit zou kunnen worden gedaan door alle mogelijke opties op een rij te zetten. Echter zijn het niet zozeer de mogelijkheden, maar vooral de beperkingen die zich aandienen, dus is er voor gekozen om juist deze beperkende aspecten in beeld te brengen. In de probleemstelling werd al gesteld dat voor de bouw de beschikbaarheid van (1) tijd, (2) materialen en (3) geld de grootste obstakels vormen. Deze drie aspecten zullen in deze paragraaf uiteengegafd worden en er zal per stuk naar de oorzaken en eigenschappen worden gekeken.

3.1.1. Tijd

De eerste benodigdheid voor de bouw van de berg is tijd. De benodigde tijd voor het voltooien van dit project is onder andere afhankelijk van het uiteindelijke ontwerp, de beschikbaarheid van de benodigde materialen, de hoeveelheid ingezet personeel, enzovoort. Als de bouwsnelheid bijvoorbeeld gelijk zou zijn aan die van de palmeilanden in Dubai, waarbij in 7 jaar tijd ongeveer 1km^3 zand is opgespoten, zou het 'huidige ontwerp' – met een inhoud van 100km^3 – ongeveer 700 jaar bouwtijd hebben. Theoretisch gezien is deze tijd beschikbaar en bovendien zou het uitsmeren van het project over vele jaren de haalbaarheid kunnen vergroten. Het is echter wenselijk om hier een streeftijd voor te hanteren, om te voorkomen dat er generaties overheen gaan voordat De Berg er is, om tussentijds stopzetten van het project te voorkomen en omdat zowel de bedenkers als de bouwers graag zien dat zij het resultaat zelf nog kunnen aanschouwen. Om deze redenen wordt er in dit onderzoek een streeftijd gehanteerd van ongeveer 25 jaar. Dit schept een uitgangspunt voor het opstellen van scenario's. De aspecten 'materiaal' en 'geld' worden hierdoor niet alleen op absolute haalbaarheid (beschikbaarheid) getoetst, maar ook op haalbaarheid (beschikbaarheid) over tijd.

3.1.2. Materiaal

Behalve tijd is voor de bouw van de berg ook materiaal nodig. In dit geval buitengewoon veel materiaal. Kijkend naar de resultaten van Study Group Mathematics With Industry (zie Tabel 1) zal er een dusdanige hoeveelheid materiaal nodig zijn dat de wereldmarkt er door beïnvloed kan worden. Op de beschikbaarheid van materiaal wordt in dit onderzoek niet heel diep ingegaan, maar er zal wel gestreefd worden naar materiaalbesparing. Daarnaast moet het materiaal ingekocht worden. Dit zal vermoedelijk de grootste kostenpost worden van het project, om de volgende redenen:

- Het primaire doel van dit project is om zó veel materiaal bijeen te brengen en 'op te stapelen', dat er hoop materiaal ontstaat van 2000 meter hoog.

- Er wordt gewerkt met grote hoeveelheden materiaal en relatief weinig precisiewerk (wat arbeidsintensief is). Er zal enorm materieel ingezet moeten worden en *relatief* weinig personeel, waardoor dit project kapitaalintensief zal worden.

3.1.3. Geld

Tot slot horen bij de behoeften voor het bouwen van een berg de financiële middelen. De kosten zijn voor het grootste deel afhankelijk van de benodigde hoeveelheid materiaal, zoals hierboven besproken. Daarnaast worden in de berekeningen kosten voor materieel en personeel meegenomen, omdat dit beide als substantiële kostenpost van de bouw wordt beschouwd. De kosten zullen ten slotte afhankelijk zijn van de toegepaste technieken, maar dat valt buiten de scope van dit onderzoek.

Naast de kosten kunnen er ook opbrengsten zijn. Alle investeringen, zowel financieel als fysiek, leveren uiteindelijk namelijk een gigantisch bouwwerk op, wat op verschillende manieren geëxploiteerd kan worden. Dit onderzoek gaat er van uit dat de berg zichzelf moet kunnen bekostigen. De kosten en opbrengsten worden in het vervolg uitgebreider besproken.

Kosten

- **Materiaal**

De kosten van het materiaal vormen een van de grootste onzekerheden in dit onderzoek, aangezien het moeilijk in te schatten is wat de kosten per kubieke meter zijn bij dergelijke enorme hoeveelheden. Daarnaast vormen juist deze enorme hoeveelheden een grote fout-factor. Een verschil van bijvoorbeeld € 1,- per kubieke meter materiaal kan al een gigantische impact op de totale kosten hebben door het enorme aantal kubieke meter dat nodig zal zijn. Er zal daarom in de analyses vooral naar trendlines worden gekeken en niet zozeer gefocust worden op de concrete getallen.

- **Materieel**

Voor het efficiënt aanvoeren en plaatsen van het materiaal is het nuttig om materieel (bijvoorbeeld machines en transportmiddelen) in te zetten. De benodigde hoeveelheid materieel hangt af van de hoeveelheid materiaal die vervoerd en geplaatst moet worden. In werkelijkheid zal het materieel voornamelijk bij aanvang van het project worden aangeschaft (al blijven er gedurende het project onderhouds- en brandstofkosten), maar als het project daadwerkelijk kapitaalintensief is, zullen de aanschafkosten voor materieel slechts procenten van de totale kosten vormen. Om de berekeningen iets te simplificeren is daarom voor gekozen om de materieelkosten als percentage van de materiaalkosten te berekenen.

- **Personeel**

De hoeveelheid benodigd personeel voor dit project zal afhangen van onder andere de grootte van de berg, de gebruikte technieken, de materialen en het in te zetten materieel. Net als voor materieel, kan er voor de personeelskosten een percentage van de materiaalkosten worden gebruikt. Er zal geen initiële investering gedaan hoeven te worden, maar er zijn dus wel doorlopende kosten. Het is moeilijk in te schatten hoeveel personeel nodig is, maar de totale arbeidskosten zullen een relatief klein deel van de totale kosten van het project zijn, aangezien het een kapitaalintensief project is.

Opbrengsten

Het bouwen van een berg zal veel geld kosten, maar levert ook iets op. Niet alleen zou het een prachtig icoon zijn voor Nederland, waarmee wij ons, voor zover hier nog geen sprake van is, als hét civieltechnische land bij uitstek etaleren, maar daarnaast kan het ook talloze serieuze en nuttige functies vervullen. Het gebruik van het product 'De Berg' zou onderverdeeld kunnen worden in functies *op* de berg en functies *in* de berg. Hier kan dan als volgt geld aan worden verdiend:

- **Exploiteerbare grond**

De bouw van de berg levert nieuwe grond op, die geëxploiteerd kan worden. Dit kan door middel van verkoop of verhuur en levert per vierkante meter een geldbedrag op. Vanwege de unieke locatie is een hoge exploitatiegraad te verwachten. De invulling van het gebruik van de berg zal effect hebben op het imago en daarmee op het hard benodigde draagvlak onder de bevolking. Tevens heeft dit effect op de aantrekkingskracht richting nieuwe investeerders.

- **Exploiteerbaar volume**

Onafhankelijk van het feit of de berg met een holle constructie wordt gebouwd of niet, kunnen er ruimtes in de berg worden gemaakt, die geschikt zijn voor verkoop of verhuur. Dit kan berekend worden als opbrengst per kubieke meter. De invulling van deze ruimtes kan bijna alles zijn, maar het is moeilijk in te schatten hoeveel animo er is voor het kopen of huren van deze ruimtes. Dit zal een groot effect hebben op het verdienvermogen van de berg. Onder deelvraag 3 zal uitgelegd worden hoe dit is meegenomen in de berekeningen.

3.1.4. Conclusie

Op basis van de probleemstelling zijn de aspecten tijd, materiaal en geld nader onderzocht. Er is onderzocht waarom dit knelpunten vormen en hoe de omvang van deze aspecten (en daarmee de omvang van de knelpunten) valt te beïnvloeden. Het volgende is hieruit naar voren gekomen:

- **Tijd**

Tijd is theoretisch gezien ongelimiteerd, maar in dit onderzoek wordt een streeftijd van 25 jaar gehanteerd voor het voltooien van de bouw.

- **Materiaal**

Voornamelijk de beschikbaarheid van materiaal zal een obstakel vormen voor de bouw van de berg. Daarnaast zal het enorme kosten met zich meebrengen. Dit hangt in zeer grote mate van het type materiaal af, maar zal desondanks waarschijnlijk de grootste component van de kosten vormen.

- **Geld**

Dit onderzoek gaat er van uit dat de berg zichzelf zal moeten kunnen bekostigen. Daarom zijn niet alleen de kosten, maar ook de opbrengsten van belang. De *kosten* bestaan hoofdzakelijk uit materiaalkosten (per kubieke meter) en kosten voor materieel en personeel (als percentage van de materiaalkosten). De *opbrengsten* zullen bestaan uit exploitatie van de grond van de berg (per vierkante meter) en exploitatie van het volume van de berg (per kubieke meter).

3.2. Zijn er civieltechnische projecten die overeenkomsten met 'De Berg' hebben qua bouwmethodiek of realiseerbaarheid?

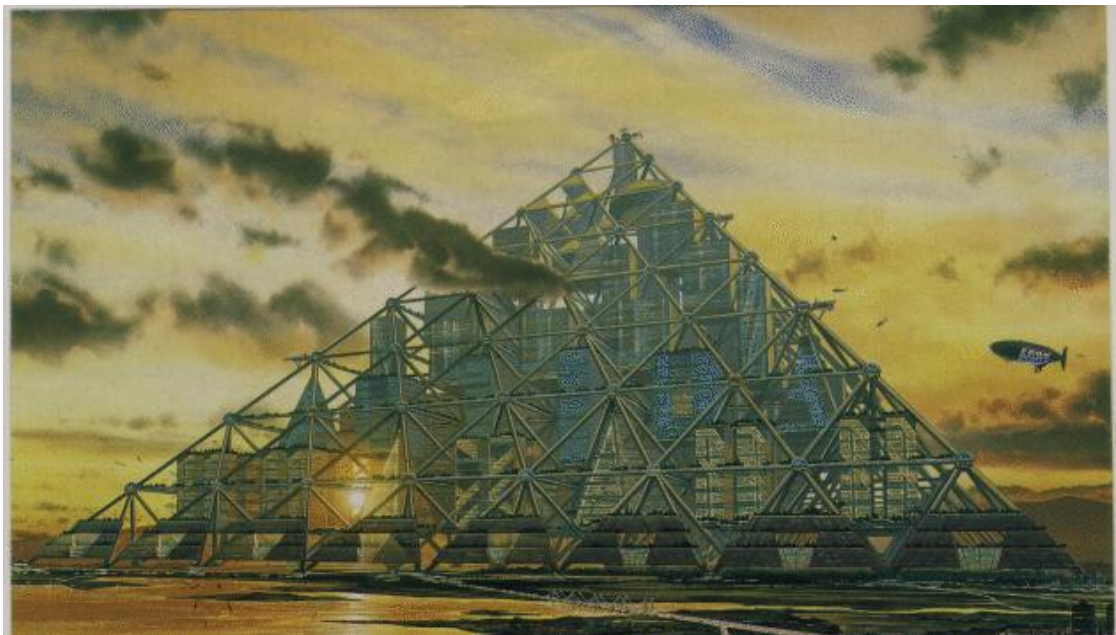
Nog nooit eerder in de wereld is er een bouwwerk gebouwd met een vergelijkbare omvang als die van 'De Berg'. Qua realiseerbaarheid (benodigde tijd, materiaal en geld) overtreft een berg alle civieltechnische projecten ooit uitgevoerd. Voor het opstellen van realistische scenario's voor het bouwen van een berg zullen civieltechnische projecten bekeken worden die toch met één of meer van deze aspecten overeenkomsten hebben. Hiermee kunnen ideeën gevormd worden hoe de scenario's opgebouwd kunnen worden en hoe financiering georganiseerd kan worden. Niet alle genoemde projecten zijn al voltooid.

De volgende projecten worden besproken, omdat ze overeenkomsten hebben qua bouwtijd, omvang (materiaalgebruik) en/of kosten (dit zijn de beperkende aspecten voor de bouw van 'De Berg' en zijn dus interessant om naar te kijken):

- Shimizu Mega-City Pyramid (Japan, gedachte-experiment)
- National Trunk Highway System (China, voltooid)
- Khazar Islands (Azerbeidzjan, opgestart)
- Palm Islands and the World (Dubai, deels voltooid) (eerder al besproken in 2.2)

3.2.1. Shimizu Mega-City Pyramid⁵

Locatie	Tokyo Bay, Japan
Soort project	Arcologie (zelfvoorzienende stad)
Status	Gedachte-experiment
Omvang	2000 meter hoog, ruimte voor 1.000.000 inwoners



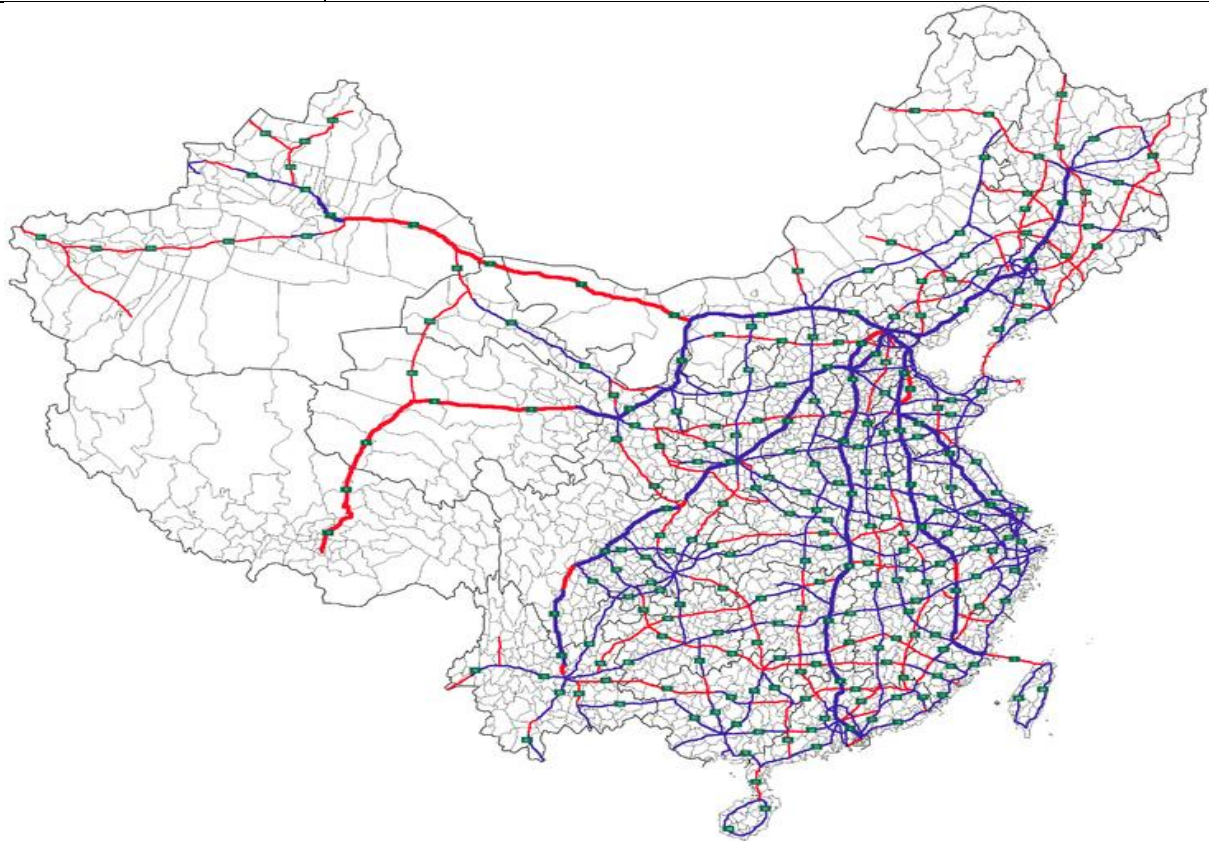
Figuur 6. Computer tekening Shimizu Mega-city Pyramid.

⁵ Onbekende auteur (2013), *Shimizu Mega-City Pyramid*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Shimizu_Mega-City_Pyramid

Bijzonderheden	De stad is opgebouwd uit wolkenkrabbers, verbonden via een gigantische piramide constructie van glasvezel en koolstof nanobuizen. De piramide is nog niet gebouwd omdat met de huidige technologieën en materialen de constructie te zwaar zou worden (let wel, de piramide zou op de 'Pacific Ring of Fire' komen te liggen; het seismisch meest actieve gebied ter wereld).
Noodzaak	De noodzaak begint te groeien, want overbevolking in Tokyo is een groot probleem.
Kosten en financiering	Onbekend, maar dit zou de (lokale) overheid kunnen worden.

3.2.2. National Trunk Highway System [NTHS]⁶

Locatie	China
Soort project	Hoofdwegen netwerk
Status	Voltooid
Omvang	97.355 kilometer



Figuur 7. NTHS; het hoofdwegennetwerk van China.

Bijzonderheden	In 25 jaar tijd is bijna 100.000 kilometer wegennetwerk aangelegd. Er lijkt een duidelijke relatie te bestaan tussen noodzaak en financiering.
Noodzaak	Ja, er was behoefte aan grote verkeers-infravoorziening in het land.
Kosten en financiering	+/- € 180.000.000.000 verspreid over 25 jaar, gefinancierd door de Chinese overheid.

⁶ Onbekende auteur (2013), *Expressways of China*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/National_Trunk_Highway_System

3.2.3. Khazar Islands⁷

Locatie	Baku, Azerbeidzjan
Soort project	Volledige high-tech stad op kunstmatige eilanden
Status	Opgestart
Omvang	41 eilanden, 3000 hectare



Figuur 8. Computer tekening van de Khazar Islands in Azerbeidzjan.

Bijzonderheden	Dit is een enorm prestige project waarmee het land zichzelf beter op de kaart wil krijgen, om zo de internationale handel te verbeteren. Het wordt een futuristische en lichtelijk decadente stad met veel mogelijkheden voor sport en ontspanning en met veel groene energie voorzieningen.
Noodzaak	De noodzaak lijkt nogal klein.
Kosten en financiering	+/- € 80.000.000.000 verspreid over 15 jaar, gefinancierd door buitenlandse investeerders.

3.2.4. Palm Islands and the World archipel⁸

Dit project is al eerder genoemd in 2.2 en wordt hier nog iets uitgebreider bekeken, omdat dit het enige gevonden project is waarbij eveneens hoeveelheden materiaal van dezelfde orde-grootte verplaatst zijn om tot aanleg of bouw van een object te komen.

⁷ Onbekende auteur (2013), *Khazar Islands*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Khazar_Islands

⁸ Onbekende auteur (2013), *Palm Islands*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Palm_Islands

Locatie	Dubai, Verenigde Arabische Emiraten
Soort project	Kunstmatige eilanden voor de bouw van villa's
Status	Deels voltooid
Omvang	10.000 hectare, 1,5km ³ zand opgespoten



Figuur 9. Palm Jumeirah, een van de kunstmatige eilanden van Dubai.

Bijzonderheden	Dit is puur een prestige project waarmee Dubai zichzelf nog meer op de kaart wil zetten (en daarnaast een persoonlijk project van de sjeik). Geld lijkt geen rol te spelen in deze regio. In 7 jaar tijd is ongeveer 1,5 km ³ (1.500.000.000 m ³) zand opgespoten.
Noodzaak	Noodzaak lijkt geheel afwezig
Kosten en financiering	Tientallen miljarden, voornamelijk gefinancierd door de lokale overheid en deels door exploitatie (huizen verkoop). Door de financiële crisis zijn nog niet alle onderdelen afgerond.

3.2.5. Conclusies

Uit deze vier projecten kunnen voorzichtig een aantal conclusies getrokken worden:

- Geen van de projecten lijkt voldoende op een berg om echt van waarde te zijn voor de opbouw van de scenario's.
- Hoe groter de noodzaak, hoe makkelijker het project te financieren lijkt en hoe minder de techniek een probleem lijkt te zijn. Noodzaak lijkt ook een grotere garantie te bieden voor het voltooien van een project.
- Financiering door de overheid lijkt een 'simpele' manier om geld te verkrijgen. Overheden werken met grote hoeveelheden geld en hebben meestal goede mogelijkheden om bij te lenen. Wanneer financiering niet uit een overheid komt, moet exploitatie of investering door bedrijven doorgaans voor de financiering zorgen.

- Exploitatie aan particulieren kan erg afhankelijk zijn van het (internationale) financiële klimaat en is daarom tegenwoordig vaak een grote onzekerheid. Grote investeerders lijken een betrouwbaardere bron van inkomsten. Hiervoor moeten zij uiteraard voldoende overtuigd zijn van het succes van het project. Meer onderzoek naar investeerders en exploitatie zou erg nuttig zijn voor de haalbaarheid van de berg.

3.3. Welke scenario's zijn er mogelijk met betrekking tot de bouw van een berg en wat is het effect van elk scenario op de haalbaarheid?

De te analyseren parameters zijn in 3.1 opgesteld, zodat nu de bouwscenario's opgesteld kunnen worden. Deze moeten inzicht geven in het effect van verschillende ontwerpen en faseringen op de haalbaarheid. De referentieprojecten uit de vorige paragraaf zijn helaas niet bruikbaar voor het opstellen van scenario's, dus moet hiervoor een andere benadering worden gebruikt.

Zoals eerder gezegd blijkt over gefaseerd bergen bouwen weinig bekend. Wél is er veel kennis over natuurlijke vorming van bergen en andere landsverhogingen. Op basis van deze kennis kunnen tal van ontwerpen en faseringen worden opgesteld. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat alle genoemde ontwerpen zijn te bouwen door middel van stapelen; alternatieve bouwmethodieken worden niet meegenomen, omdat deze te complex zijn voor dit onderzoek. De natuurlijke vormen zijn te vinden in Bijlage A. In deze paragraaf zullen eerst de uitgangspunten en aannames worden besproken, daarna volgt de analyse van de scenario's.

3.3.1. Uitgangspunten en aannames

Bij het ontwerpen van de scenario's is met een aantal uitgangspunten gewerkt. Deze zijn weergegeven in Tabel 5. Enkele hiervan zijn eisen van de opdrachtgever en een aantal is als aanname gesteld in de analyse van Study Group Mathematics with Industry.

Herkomst	Type	Uitgangspunt
Opdrachtgever	Minimale hoogte van de hoogste top	2000 m
Opdrachtgever	Constructie	Hol en massief
Proceedings of the 84th European Study Group Mathematics with Industry	Volume benodigd voor constructie	30% van totaal
Proceedings of the 84th European Study Group Mathematics with Industry	'Basis scenario'	<u>Kegelvormig</u> met helling 2:7

Tabel 5. Uitgangspunten voor de scenario's.

De vereiste hoogte die bereikt moet worden is door de opdrachtgever op 2000 meter gesteld. Dit wordt als harde eis meegenomen in dit onderzoek. Daarnaast hebben zij de wens aangegeven dat de berg hol wordt en dit is door SWI geïnterpreteerd als 70% hol, omdat 30% benodigd zal zijn voor de constructie zelf. Tot slot wordt in alle scenario's gewerkt met kegelvormige bergen, omdat dit de analyse sterk versimpeld en er bovendien bruikbare oppervlakte nodig is voor exploitatie. SWI gaat bij haar berekeningen uit van een helling van 2:7.

Naast deze uitgangspunten zijn er aannames gedaan voor een aantal parameters waarvan pas in een veel later stadium van het gehele project van De Berg kan worden gezegd wat de werkelijke waarden gaan worden. In de onderstaande tabel staan de aangenomen waarden zoals gebruikt in de analyses.

Parameter	Geschatte waarde	Onderbouwing
Materiaalkosten	€ 50 per m ³	Bij alle scenario's is gekozen voor beton als bouw materiaal.
Kosten materieel en personeel	10% van de materiaal-kosten	Omdat het project vermoedelijk erg kapitaalintensief is, zullen deze componenten procentueel gezien laag zijn.

Verkoopprijs grond	€ 500 per m ²	De grond zal duur verkocht móeten worden om rendabel te zijn en vanwege de unieke locatie is dit bedrag erg hoog.
Verkoopprijs volume	€ 400 per m ³	De ruimtes zullen duur verkocht móeten worden om rendabel te zijn en vanwege de unieke locatie is dit bedrag erg hoog.
Verkoopgraad	0,5	Voor zowel de grond op als het volume in De Berg geldt dat waarschijnlijk niet elke meter verkocht kan worden, omdat sommige gebieden publiek zullen blijven (wegen, wandelgebieden e.d.).
'Bruikbaarheid'	1 (grond) / 0,33 (volume)	Voor het bruikbare volume wordt een extra beperkende factor gebruikt, aangezien naast 30% voor de constructie, ook een deel van het volume voor technische installaties en veiligheids-maatregelen gebruikt zal moeten worden.
Horizontale bruikbaarheidsafstand	200m	Dit onderzoek gaat er vanuit dat niet de gehele berg voor bruikbaar volume geschikt zal zijn, maar slechts de buitenste schil à 200 meter.

Tabel 6. Aannames zoals gehanteerd bij de analyse van de scenario's.

De bovenstaande aannames zijn gebruikt om de scenario's onderling te kunnen vergelijken. Om de invloed van individuele parameters na te kunnen gaan, zijn deze ook per stuk geanalyseerd (zie 3.3.3).

3.3.2. Analyse van de scenario's

Op basis van de natuurlijke bergvormingen en met inachtneming van de gestelde uitgangspunten en aannames, zijn acht scenario's opgesteld, waarbij het ontwerp en de fasering in elk scenario anders gevarieerd zijn. In de eerste drie scenario's is alleen de helling gevarieerd. Scenario 4 en 5 lijken op scenario 3, maar hebben een andere fasering. Scenario 6 is als 3, maar nu met meer toppen, allen met verschillende hoogtes. Een variatie hierop is geanalyseerd in scenario 7, waarbij elke top ook nog een andere helling heeft. Tot slot zijn in scenario 8 de drie bergen uit scenario 7 deels inelkaar geschoven, zodat niet drie losse bergen, maar juist één berg met meerdere toppen wordt gevormd.

Voor elk scenario is het ontwerp gegeven en daarbij de gekozen fasering uitgelegd. Bij elk scenario staat tevens een grafiek met de uitkomst van de analyse. Hierin staan de volgende gegevens:

- Netto inkomsten: per jaar zijn alle kosten en alle opbrengsten berekend en opgeteld tot het netto resultaat. Positieve waarden staan voor netto winst.
- Saldo: de som van alle netto inkomsten tot aan dat jaar opgeteld; het 'saldo op de bankrekening'.
- Netto inkomsten per m³: het aantal euro inkomsten per gebouwde m³ materiaal over een jaar.

Methode analyse

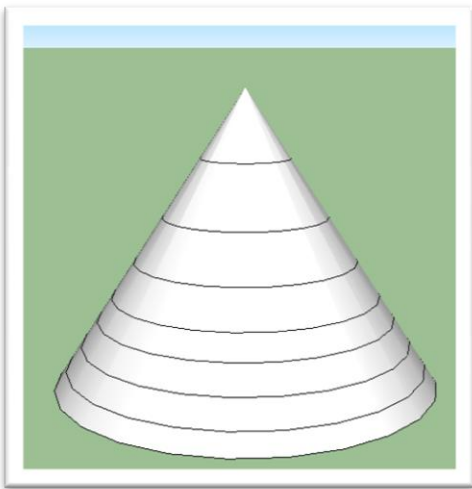
De belangrijkste stap in dit onderzoek is het omzetten van de scenario's naar de getallen. Dit moet op correcte wijze gebeuren, omdat dit bepalend is voor de berekende benodigde hoeveelheden geld en materiaal. Hieronder staat uitgelegd op welke wijze de scenario's omgezet zijn naar cijfers:

1. **Dimensies** – uit de gekozen vorm van de berg volgt de hoogte van de top(pen) en de diameter aan de basis. Er is al vastgesteld dat alle bergen kegelvormig zijn, of samengesteld uit kegelvormige toppen, en daarmee zijn alle afmetingen vervolgens te berekenen.
2. **Materiaal** – uit de afmetingen volgt het volume van de berg en gecombineerd met de fasering kan de benodigde hoeveelheid materiaal per jaar berekend worden.
3. **Kosten** – met de benodigde hoeveelheid materiaal kunnen de materiaalkosten en daarmee de materieel- en personeelskosten berekend worden.
4. **Verkregen oppervlakte en volume** – uit de hoeveelheid gebouwd materiaal, gecombineerd met de fasering, kan vastgesteld worden hoeveel vierkante meter grond verworven is. Daaruit volgt tevens de verworven hoeveelheid volume.
5. **Opbrengsten** – uit de verworven hoeveelheid oppervlakte en volume kunnen de totale opbrengsten berekend worden.

Na het uitvoeren van bovenstaande stappen zijn alle benodigde gegevens bekend en kunnen bijvoorbeeld nog de netto inkomsten per m^3 gevonden worden. Dit stappenplan vormt de basis voor alle analyses. De uitgebreide berekeningen achter de analyses staan in Bijlage B.

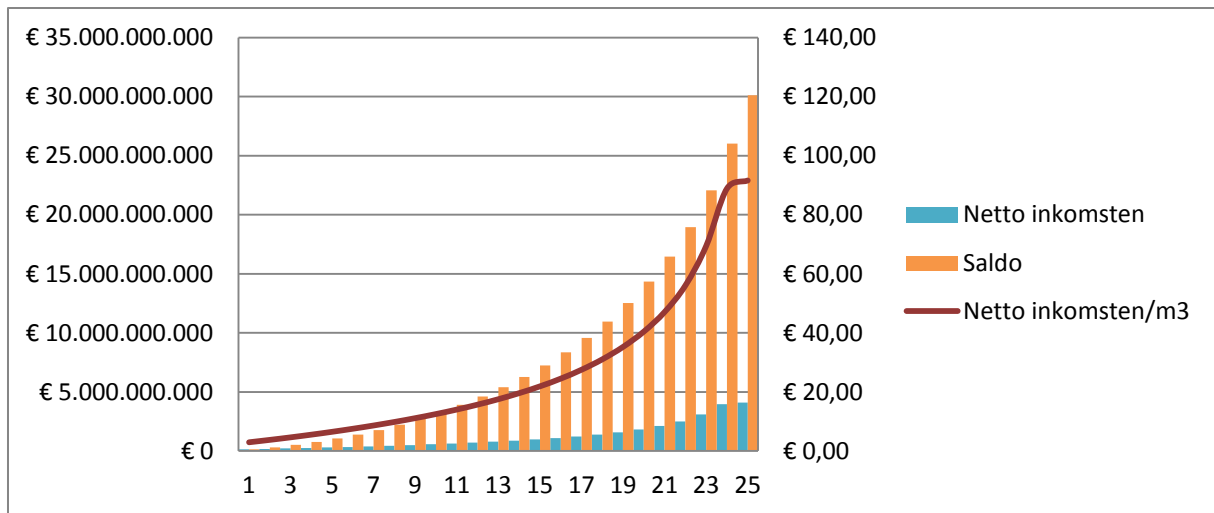
Scenario 1

Dit scenario is gebaseerd op de “Arête” (zie Bijlage A). Er wordt één top gebouwd met een helling van 3:2, wat de berg aan de basis een radius geeft van 1333 meter. De berg wordt in horizontale lagen gebouwd, waarbij de hoeveelheid te bouwen materiaal per jaar constant is. Zodra een ‘laag’ gebouwd is, kan deze geëxploiteerd worden, terwijl daarboven door wordt gebouwd. Zie Figuur 10 voor een schematische weergave.



Figuur 10. Google sketchup impressie scenario 1.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 1 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/ m^3 op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

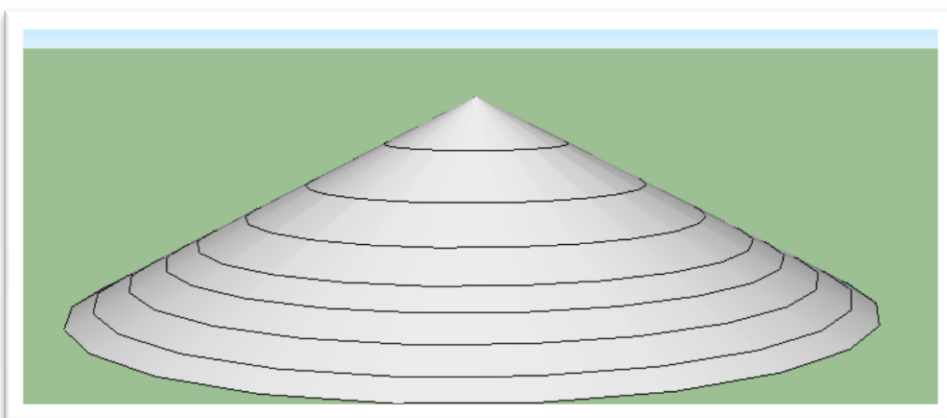


Figuur 11. Analyse scenario 1.

Uit de grafiek blijkt dat de netto opbrengst in dit scenario constant toeneemt. Door de te bouwen hoeveelheid materiaal per jaar constant te houden – en omdat alle andere kosten als percentage van de materiaalkosten worden berekend – zijn de kosten per jaar gelijk. De opbrengsten variëren echter. Omdat de doorsnede van de berg afneemt naarmate deze hoger wordt, zullen er de eerste jaren minder hoogtemeters worden gemaakt dan richting de top en aangezien er slechts geld wordt verdiend aan de buitenste schil van de berg, wordt de eerste jaren relatief veel geld uitgegeven aan ‘niet-exploiteerbare berg’. Hierdoor is de netto opbrengst de eerste jaren lager dan de laatste jaren. Het netto saldo groeit hierdoor ook pas in de latere jaren.

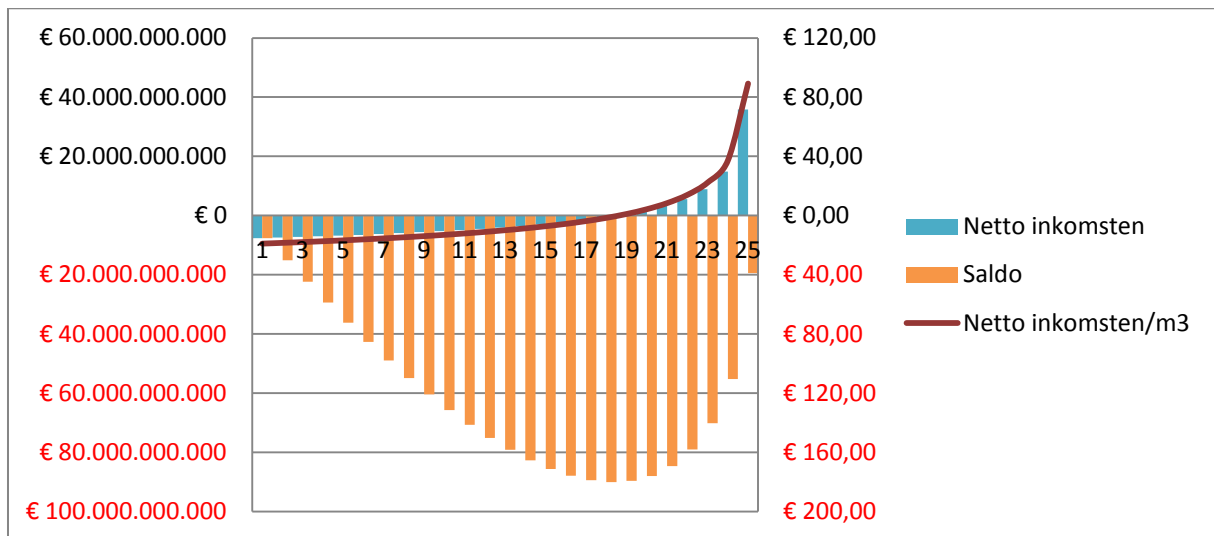
Scenario 2

Dit scenario is gebaseerd op de **vorm** van de stratovulkaan (zie Bijlage A). Er wordt één top gebouwd met een helling van 1:2, wat de berg aan de basis een radius geeft van 4000 meter. De berg wordt in horizontale lagen gebouwd, waarbij de hoeveelheid te bouwen materiaal per jaar constant is. Zodra een ‘laag’ gebouwd is, kan deze geëxploiteerd worden, terwijl daarboven door wordt gebouwd. Ten opzichte van scenario 1 is alleen de helling gevarieerd. Zie Figuur 12 voor een schematische weergave.



Figuur 12. Google sketchup impressie scenario 2.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 2 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

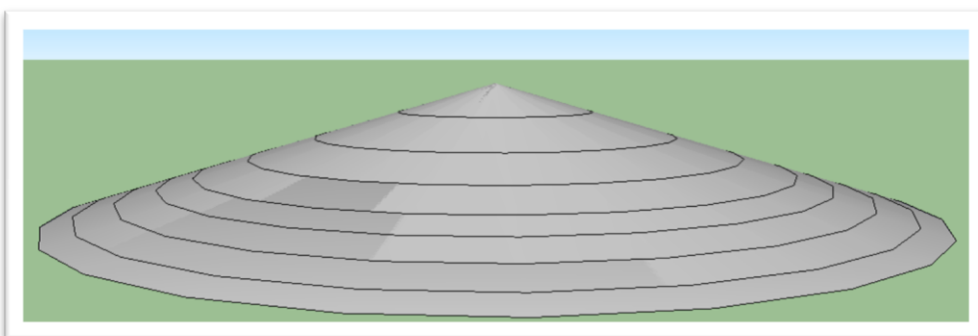


Figuur 13. Analyse scenario 2.

Alhoewel deze grafiek niet veel op die van scenario 1 lijkt, is deze in de kern toch gelijk. De netto opbrengst neemt ook hier constant toe. Door de helling te variëren, is echter een vrij groot verschil opgetreden in de waarden. De berg heeft zowel meer volume als meer oppervlakte gekregen, wat als gevolg heeft dat de netto opbrengsten de eerste jaren negatief uitvallen (op grondslag van de gestelde aannames) en dat zowel de kosten als opbrengsten groter zijn geworden. Het netto resultaat is nu lager dan in scenario 1 en ook de saldi tussentijds zijn lager geworden.

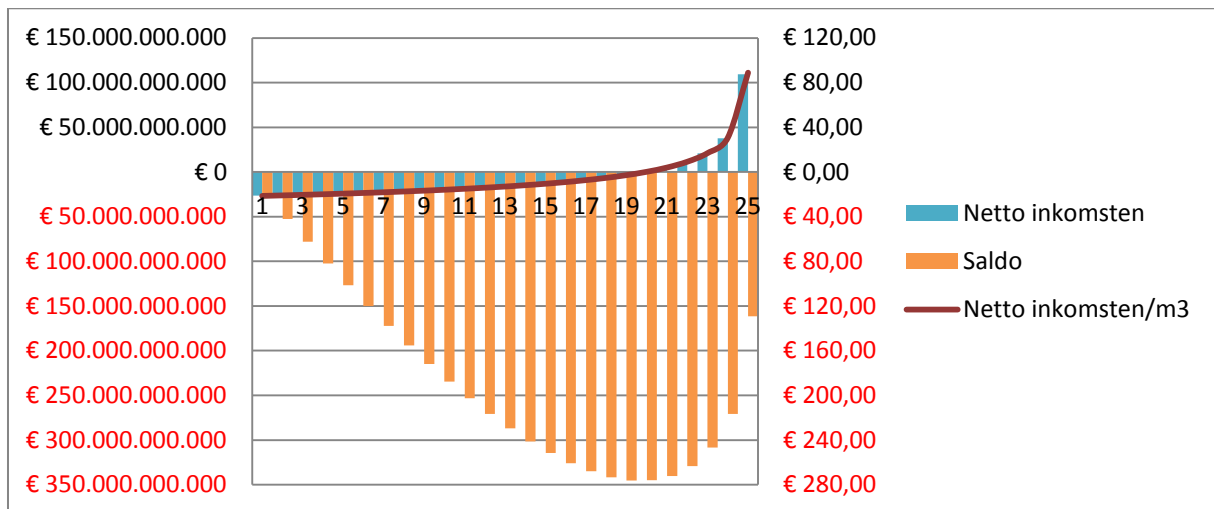
Scenario 3

Dit scenario is gebaseerd op de schildvulkaan (zie Bijlage A). Er wordt één top gebouwd met een helling van 2:7, wat de berg aan de basis een radius geeft van 7000 meter. De berg wordt in horizontale lagen gebouwd, waarbij de hoeveelheid te bouwen materiaal per jaar constant is. Zodra een 'laag' gebouwd is, kan deze geëxploiteerd worden, terwijl daarboven door wordt gebouwd. Ten opzichte van scenario 1 en 2 is alleen de helling gevarieerd. Zie Figuur 14 voor een schematische weergave.



Figuur 14. Google sketchup impressie scenario 3.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 3 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

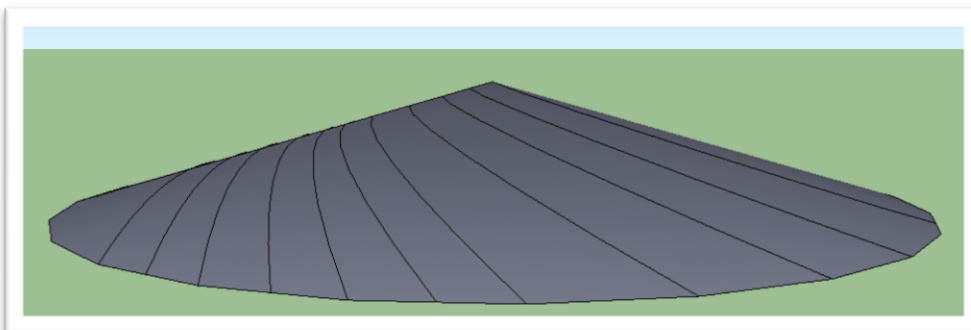


Figuur 15. Analyse scenario 3.

Deze grafiek lijkt veel op die van scenario 2 en is in de kern ook gelijk, net als aan die van scenario 1. De netto opbrengst neemt ook hier jaarlijks toe, maar het netto resultaat is lager dan in de eerste twee scenario's. Dit scenario heeft nóg meer volume en oppervlakte dan scenario 1 en 2 en daardoor zowel meer kosten als meer opbrengsten. Er wordt tevens een lager dieptepunt van het netto saldo bereikt.

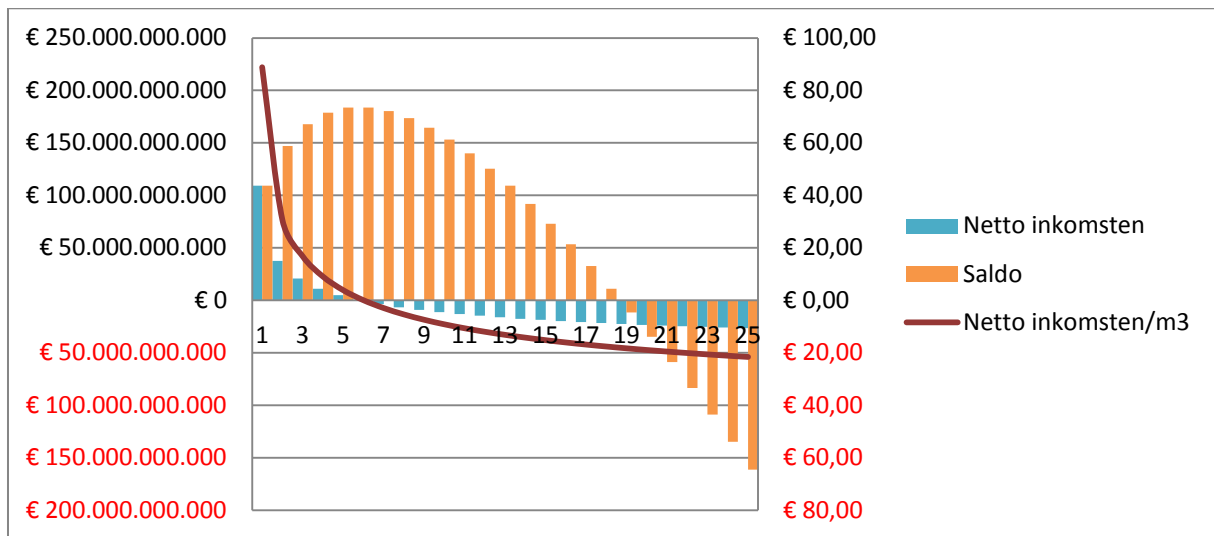
Scenario 4

Dit scenario is deels op de schildvulkaan en deel op de stratovulkaan gebaseerd (zie Bijlage A). Er wordt één top gebouwd met een helling van 2:7, wat de berg aan de basis een radius geeft van 7000 meter. De berg wordt vanaf één kant opgebouwd, waarbij nieuwe lagen aan andere zijkant van het reeds gebouwde worden 'geplakt' (zie Figuur 16). De hoeveelheid te bouwen materiaal per jaar is constant. Zodra een 'laag' aangebouwd is, kan deze geëxploiteerd worden, maar alleen aan de zijde waar niet meer wordt aangebouwd. Het eindontwerp is gelijk aan scenario 3 (en er zal dus evenveel bouw materiaal nodig zijn en evenveel bruikbare grond en bruikbaar volume worden gecreëerd).



Figuur 16. Google sketchup impressie scenario 4.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 4 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

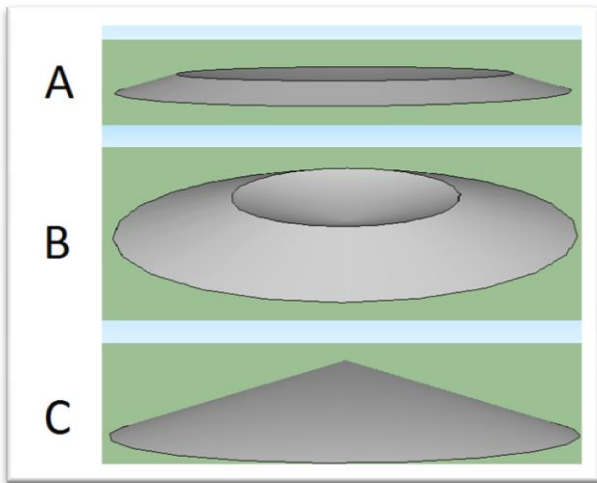


Figuur 17. Analyse scenario 4.

Zoals gezegd is het eindontwerp van de berg in dit scenario gelijk aan die in scenario 3. Het financiële eindresultaat is derhalve ook gelijk. Dezelfde kosten zullen gemaakt moeten worden en dezelfde opbrengsten kunnen gegenereerd worden. De verdeling van de kosten en opbrengsten over de tijd is echter totaal verschillend, door de aangepaste fasering. Ten opzichte van scenario 3 wordt er in een vroeger stadium veel exploiteerbare grond en volume gecreëerd en moet in de latere jaren nog veel volume gecreëerd worden waar weinig aan kan worden verdiend. Ondanks een gelijk eindresultaat zijn de tussentijdse saldi een stuk hoger. Het laagste saldo wat bereikt wordt, is het eindresultaat en het saldo wordt pas in de laatste jaren negatief.

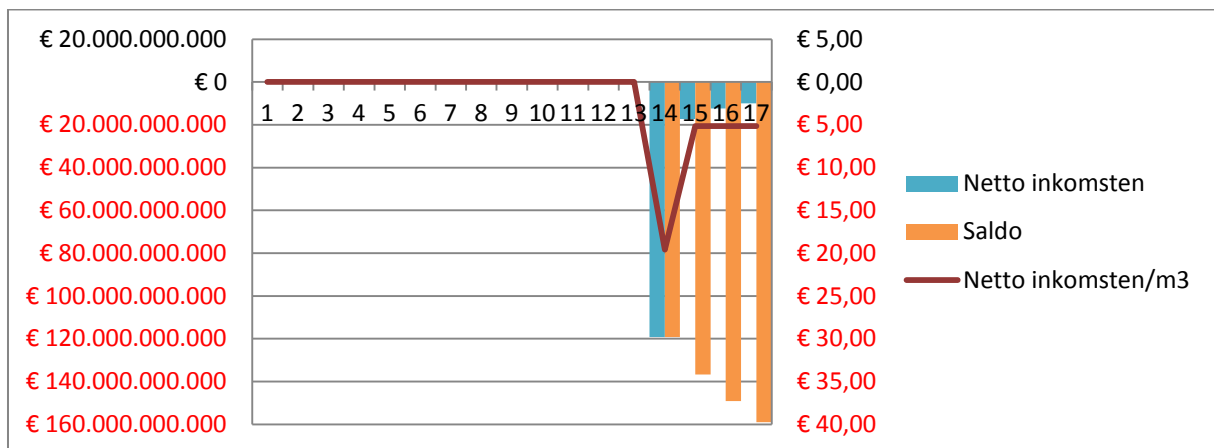
Scenario 5

Dit scenario is gebaseerd op de calderavulkaan (ketelvulkaan) (zie Bijlage A). Er wordt één top gebouwd met een helling van 2:7, wat de berg aan de basis een radius geeft van 7000 meter. De berg wordt in de vorm van een steeds groter wordende 'ketel' gebouwd, met opstaande randen en een lager gelegen gebied in het midden. In Figuur 18 geven A en B twee momentopnames uit dit proces. De gedachte achter deze opbouw is dat de buitenste schil van de berg geld oplevert en de rest slechts fungeert als draagconstructie voor alle daarboven te plaatsen materiaal. Door alleen de noodzakelijke delen te bouwen en het tijdpad van de overige bouw af te laten hangen van de beschikbare hoeveelheid geld, kunnen kosten en opbrengsten beter op elkaar afgestemd worden. Het eindontwerp is gelijk aan scenario 3 (en er zal dus evenveel bouw materiaal nodig zijn en evenveel bruikbare grond en bruikbaar volume worden gecreëerd).



Figuur 18. Google sketchup impressie scenario 5.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 5 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.



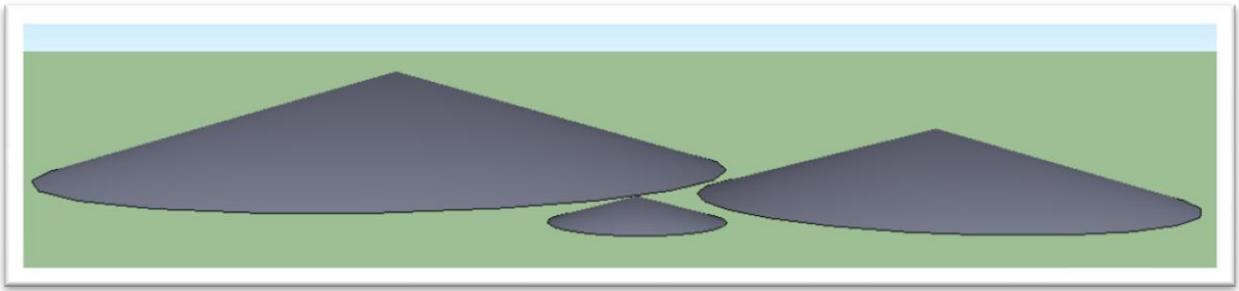
Figuur 19. Analyse scenario 5.

Uit de grafiek blijkt dat kosten en opbrengsten voor een gedeelte van het project succesvol op elkaar afgestemd kunnen worden. Het eindresultaat is weer gelijk aan scenario 3, door een gelijk eindontwerp, dus kosten en opbrengsten zullen altijd ergens differentiëren, maar tot een zekere bouwhoogte lijkt dit concept te werken. Het lijkt er daarnaast op dat er de eerste jaren weinig financiële marge bestaat, omdat er geen netto winst is (daar waar de grafiek precies 0 is). De oorzaak hiervan is het afstemmen van de kosten en opbrengsten. Er had ook voor gekozen kunnen worden om alleen de noodzakelijke kosten te maken voor het bouwen van de exploitatieerbare ruimte. Dan had echter in een later stadium meer gebouwd moeten worden, met uiteindelijk hetzelfde resultaat vanaf – in dit geval – jaar 13. De grafiek had dan veel geleken op die van scenario 4.

Scenario 6

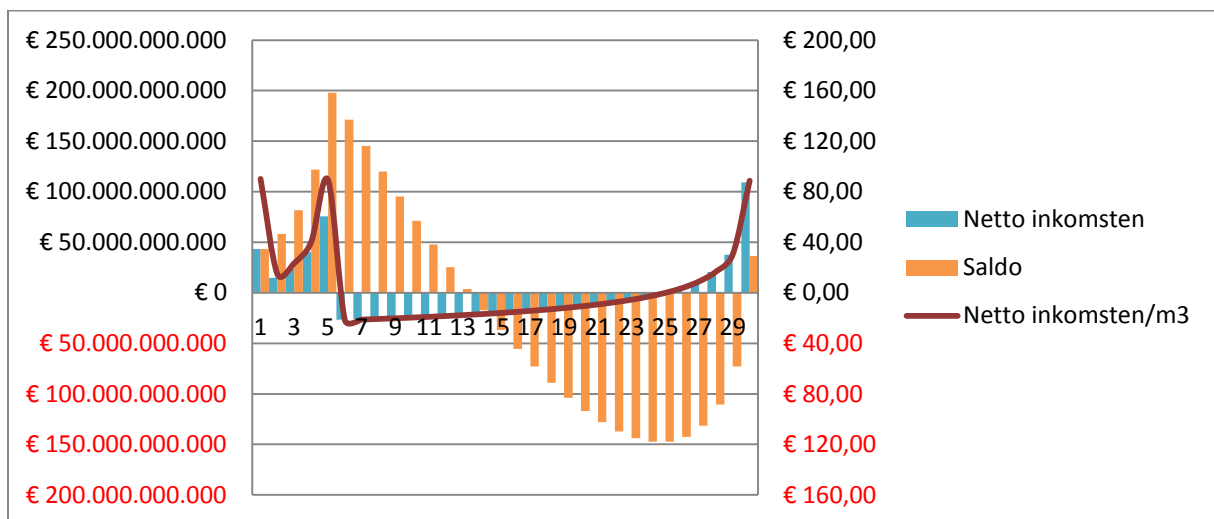
Dit scenario is gebaseerd op bergketens (zie Bijlage A). Er worden meerdere toppen gebouwd met een helling van 2:7, waarvan de eerste 500 meter hoog wordt, de tweede 1000 meter en de derde 2000 meter (zie Figuur 20). Deze laatste is dus gelijk aan de berg uit scenario 3. Het doel van drie

toppen bouwen, is meer exploiteerbare grond en volume creëren. Om de fasering van de hoogste top gelijk te houden, is meer tijd gepland voor de ontwikkeling van het gehele scenario.



Figuur 20. Google sketchup impressie scenario 6.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 6 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

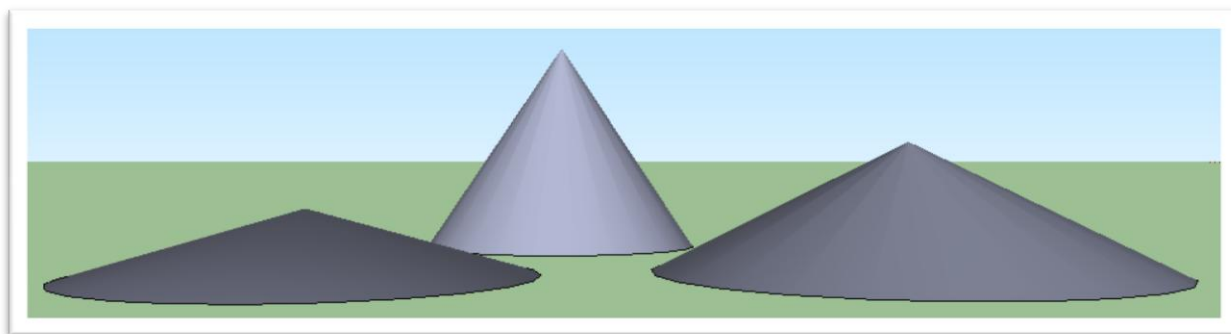


Figuur 21. Analyse scenario 6.

Uit de grafiek blijkt dat met de eerste en tweede top erg veel opbrengsten behaald kunnen worden. De derde top geeft nog steeds hetzelfde resultaat, maar het financiële eindresultaat is nu een stuk hoger dan in scenario 3. De totale kosten en opbrengsten zijn ook hoger. Pas ongeveer halverwege het project wordt de netto opbrengst negatief (maar met de huidige uitgangspunten en aannames is het eindresultaat wel positief).

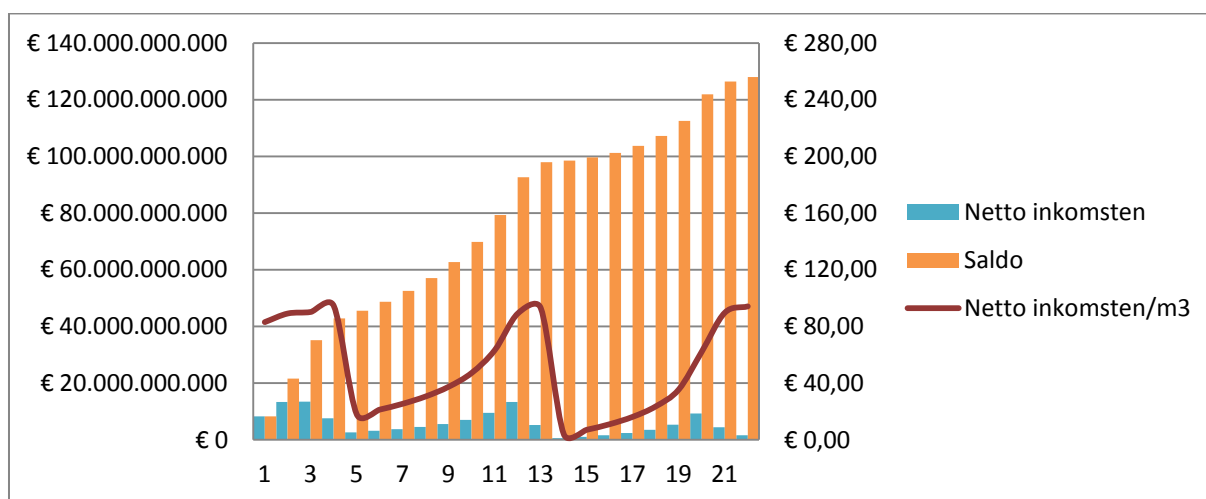
Scenario 7

Dit scenario is bijna gelijk aan scenario 6, maar ziet er toch erg verschillend uit. De drie toppen hebben nog steeds dezelfde hoogtes en zullen in lagen worden opgebouwd, maar hebben nu allen verschillende hellingen, zoals te zien is in Figuur 22. De hoogste top is hierdoor in volume enorm geslonken, wat af kan doen aan de impressie van de berg, maar wat ook zal zorgen voor een flinke materiaalbesparing (zie ook Tabel 7). Door de lagere toppen minder steil te maken, blijft er veel bruikbare grond beschikbaar. Eerst wordt de top van 500 meter hoog gebouwd, met een helling van 2:7, daarna de top van 1000 meter, met een helling van 1:2 en tot slot de hoogste top die tot 2000 meter reikt met een helling van 3:2.



Figuur 22. Google sketchup impressie scenario 7.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 7 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.

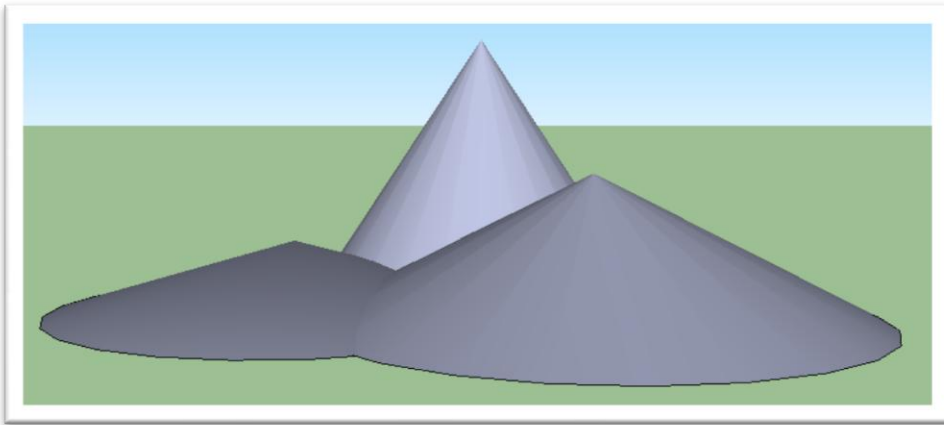


Figuur 23. Analyse scenario 7.

Uit de grafiek blijkt dat er gigantisch bespaard is op materiaal. De netto opbrengst per kubieke meter gebouwd materiaal is hoog en de netto opbrengst per jaar is relatief laag. Dat kan alleen met een zeer lage hoeveelheid materiaalgebruik. Daarnaast valt op dat de netto opbrengst met deze uitgangspunten en aannames elk jaar positief is. Het negatieve resultaat van de hoogste top uit scenario 6 is in dit scenario verholpen door de top zeer steil te maken. Kosten en opbrengsten zijn nu beide lager.

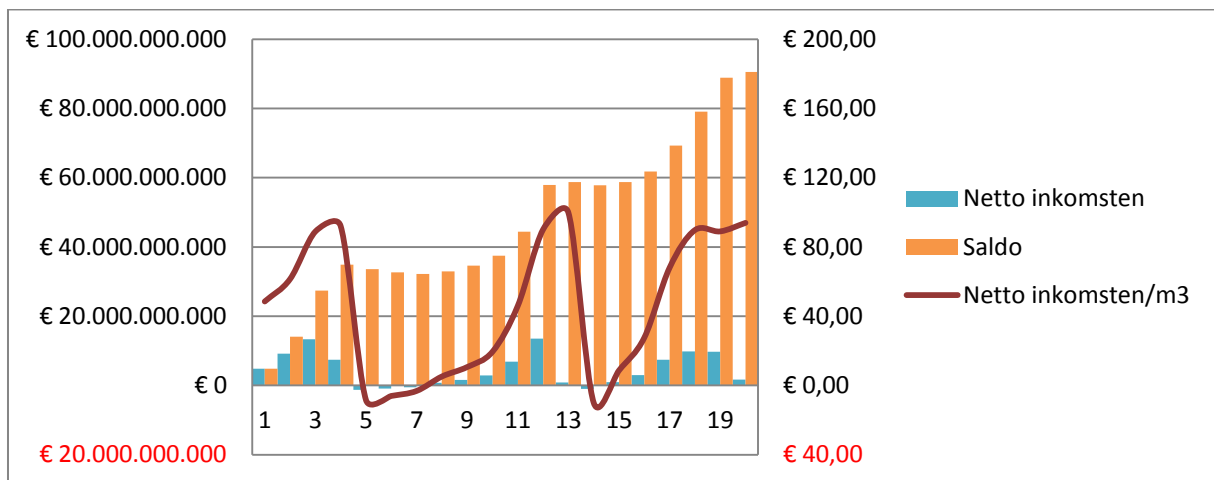
Scenario 8

Het laatste scenario is gebaseerd op de complexe vulkaan (zie Bijlage A). Er wordt één berg gebouwd, maar nu met meerdere toppen. De hellingen en hoogtes van de toppen zijn gelijk aan die in scenario 7, maar met dit scenario kan materiaal bespaard worden ten opzichte van de losse toppen. De verworven hoeveelheid oppervlakte en volume wordt daarnaast ook kleiner. De toppen worden één voor één opgebouwd, in horizontale lagen.



Figuur 24. Google sketchup impressie scenario 8.

Het financiële verloop over de tijd van scenario 8 is weergegeven in de onderstaande grafiek. Het saldo is weergegeven op de linker as, de netto opbrengst/m³ op de rechteras. De horizontale as geeft de tijd in jaren.



Figuur 25. Analyse scenario 8.

Uit de grafiek blijkt dat de opbrengst per kubieke meter gebouwd materiaal alle jaren iets lager is dan in scenario 7. Hierdoor zijn de netto opbrengsten per jaar en ook het eindresultaat iets lager. Door de materiaalbesparing zijn er zowel minder kosten als opbrengsten, maar blijkbaar is de kosteneffectiviteit hoger wanneer de toppen los van elkaar staan.

Enkele uitkomsten verklaard

Uit de analyses van de scenario's zijn al een aantal interessante aspecten naar voren gekomen die de haalbaarheid van het project kunnen vergroten. De twee meest opvallende worden hieronder nader geanalyseerd. In 3.3.3 wordt de uitkomst van de parameterstudie besproken, waarin de invloed van alle gestelde aannames is geanalyseerd.

Relatie kosten - opbrengsten

Er wordt in dit onderzoek vanuit gegaan dat de berg zichzelf moet kunnen bekostigen. Dit betekent voor de financiële haalbaarheid dat de afstemming van kosten en opbrengsten van belang is. Praktisch gezien betekent dit dat er een goede afstemming tussen het aantal kubieke meter te bouwen materiaal en de hoeveelheid exploiteerbare grond en volume moet zijn. Om voor ieder scenario te achterhalen wat de verhouding is hiertussen, kan een vergelijking worden gemaakt tussen het benodigde materiaal en de verkregen hoeveelheid grondoppervlakte. De opbrengsten zijn namelijk rechtevenredig met de verkregen oppervlakte. In Tabel 7 staat een overzicht van de gegevens van ieder scenario.

Scenario	Benodigd materiaal (miljard m ³)	Oppervlakte nieuw (miljoen m ²)	Benodigd aantal m ³ materiaal per m ² opp.
1	1,1	10	110
2	10,1	56	180
3	30,8	160	192
4	30,8	160	192
5	30,8	160	192
6	35,1	210	167
7	2,9	34	85
8	2,4	26	90

Tabel 7. Benodigd materiaal, verworven oppervlakte en verhouding hiertussen, per scenario.

Uit de tabel kunnen een aantal interessante dingen worden afgelezen. Ten eerste valt op dat scenario 1, 7 en 8 gemiddeld ongeveer 50% minder materiaal per verworven hoeveelheid oppervlakte nodig hebben dan de overige scenario's. Scenario's 1, 7 en 8 zijn daarmee een stuk kosten efficiënter dan 2, 3, 4, 5 en 6. Daarnaast is er voor eveneens scenario 1, 7 en 8 in absolute zin veel minder materiaal nodig dan voor de overige scenario's. Scenario 2 is hierbij enigszins de uitzondering met ongeveer 10 miljard m³. De vraag is nu waarom scenario's 1, 7 en 8 zoveel efficiënter en zuiniger zijn dan de rest. De verklaring hiervoor ligt in de gekozen helling van de top(pen). Hieronder zal dit nader uitgelegd worden.

Helling

Het tweede opvallende aspect dat uit de analyse naar voren is gekomen, is de invloed van de helling op de benodigde hoeveelheid materiaal, de daarbij behorende kosten en de kosten effectiviteit. Omdat de te bereiken hoogte vastgelegd is, kan, door de helling van een top steiler te maken, met minder materiaal dezelfde hoogte worden bereikt. Een nadeel hiervan is dat hierdoor de verworven hoeveelheid oppervlakte (en volume) verkleint, al blijkt de kosteneffectiviteit daarmee omhoog te gaan. Gemiddeld worden de inkomsten per m³ namelijk groter. Dit is uiteraard een positief effect van het vergroten van de helling, omdat zo simpelweg meer geld verdiend kan worden. Omdat de te bereiken hoogte is vastgelegd, gaan kostenbesparing en kosteneffectiviteit in dit geval dus hand in hand.

3.3.3. Parameter analyse

Door de scenario's te analyseren is veel informatie verkregen over het effect van verschillende ontwerpen en faseringen. De invloed van individuele parameters (alle aannames die gedaan worden in Tabel 5 en 6) is echter nog niet duidelijk. Om de invloed van elk parameter op het uiteindelijke resultaat in kaart te brengen, is een analyse van de financieel haalbare berghoogte gedaan (omdat hoogte creëren het uiteindelijke doel is) waarbij steeds één parameter is gevarieerd en de overige constant en gelijk aan scenario 3 zijn gehouden. De berghoogte is in deze analyse dus de resultante en niet het financiële resultaat (die ligt vast, zie hiervoor de volledige analyse). Hiermee is inzicht verkregen in het relatieve effect van elke parameter. In Bijlage C staat de volledige analyse. Hieronder staat een overzicht van de belangrijkste resultaten.

De meest invloedrijke parameter blijkt de materiaalsprijs te zijn. De financieel haalbare hoogte wordt namelijk exponentieel hoger bij een lagere materiaalsprijs. Door de lagere kosten kan er meer hoogte worden gemaakt en daarnaast kan door deze extra hoogte meer worden verdiend. Deze effecten versterken elkaar, waardoor een lagere materiaalsprijs extra gunstig is (hier moet wel bij vermeld worden dat dit alleen geldt bij een variabele berghoogte; wanneer een vaste hoogte wordt aangehouden, is dit effect lineair stijgend in plaats van exponentieel).

Na de materiaalsprijs zijn de exploitatiegraad, verkoopprijs en bruikbaarheidsgraad van het volume en de horizontale bruikbaarheidsafstand de vier invloedrijkste parameters. Het blijkt dat de inkomsten uit de exploitatie van volume veel groter zijn dan de inkomsten uit de exploitatie van grond (met de huidige aannames ongeveer 35 keer zo groot). Dit betekent dat bijna alle inkomsten uit de exploitatie van volume moeten komen. Daarom zijn deze vier parameters zeer invloedrijk. Allevier parameters hebben een elasticiteit van iets minder dan 1, wat betekent dat bij een verhoging van 1% (van de waarde), de haalbare berghoogte met iets minder dan 1% stijgt.

Zoals eerder genoemd, heeft ook de helling van een top invloed op het financiële resultaat. De elasticiteit hiervan is echter kleiner dan die van de hiervoor besproken parameters. In de scenario's zijn hellingen tussen 0,29 (2:7) en 1,50 (3:2) gebruikt. Hierin zit een verschil van ruim factor 5, terwijl de haalbare berghoogte met een factor 1,7 stijgt.

De overige parameters – de exploitatiegraad en verkoopprijs van de grond – blijken veel minder effect te hebben op de haalbare berghoogte. Een simpele uitleg hiervoor is dat met het vergroten van de hoogte van de berg, het volume (en daarmee de kosten en de opbrengsten uit exploiteerbaar volume) zich in drie richtingen uitbreidt en de oppervlakte (en daarmee de opbrengsten uit exploiteerbare grond) slechts in twee. De elasticiteit van deze op de oppervlakte betrekking hebbende parameters is tussen 0,01 – 0,1. Als de waarde van deze parameters met 1% stijgt, zal de haalbare berghoogte met 0,01 – 0,1% stijgen.

3.3.4. Conclusie

Bovenstaande paragraaf bood een overzicht van de uitkomsten van een aantal verschillende analyses. Eerst is een aantal scenario's onderzocht, waarbij vorm en opbouw van een potentiële berg op allerlei manieren gevarieerd en gecombineerd is. Deze scenario's zijn onderling vergeleken, maar hierbij kon de invloed van de individuele parameters niet worden gemeten. Daarom is per parameter ook nog een analyse gemaakt voor de financieel haalbare berghoogte.

Uit de analyse van de scenario's kwamen als belangrijkste factoren de relatie tussen kosten en opbrengsten en de invloed van de helling naar voren. Omdat de beschikbaarheid van geld een van de grote struikelpunten is voor de haalbaarheid van de berg, is het belangrijk dat de opbrengsten de kosten zo goed mogelijk dekken. Hiervoor blijkt de verhouding tussen het benodigde aantal kubieke meter materiaal en de verworven hoeveelheid oppervlakte van groot belang. Hoe lager dit getal, hoe groter de haalbaarheid. Daarnaast is de helling van groot belang, omdat bij een vastgelegde hoogte een steilere helling zorgt voor minder materiaalgebruik en tevens een betere kosteneffectiviteit.

Uit de parameter analyse is gebleken dat de materiaalprijs de grootste invloed op de haalbaarheid heeft als individuele parameter. Ook de exploitatiegraad, de verkoopprijs en de bruikbaarheidsgraad van het volume en de horizontale bruikbaarheidsafstand zijn van essentieel belang voor de haalbaarheid. De opbrengsten uit exploitatie van de oppervlakte van de berg blijken van veel kleinere invloed en verdienen dus relatief minder aandacht dan exploitatie van het volume.

4. Discussie

4.1. Hoe kunnen zo veel mogelijk positieve effecten van alle scenario's gecombineerd worden in één scenario?

Na de uitgebreide analyses uit hoofdstuk 3 zal nu door middel van een discussie een zo ver mogelijk geoptimaliseerd scenario opgebouwd worden. Uit de analyses zijn voldoende aanknopingspunten naar voren gekomen om een uitgebreide discussie te houden. De voor- en nadelen van bepaalde afwegingen worden besproken, de aanbevelingen en ook de concessies die gepleegd zullen moeten worden. Er is bewust voor gekozen om geen numerieke analyse van dit nieuwe scenario te maken, om geen schijnzekerheid te creëren. Door de grote hoeveelheid aan aannames, zeggen de getalswaarden op dit moment namelijk nog te weinig. De numerieke analyses hebben enkel en alleen als doel gehad om de eerdere scenario's onderling te vergelijken.

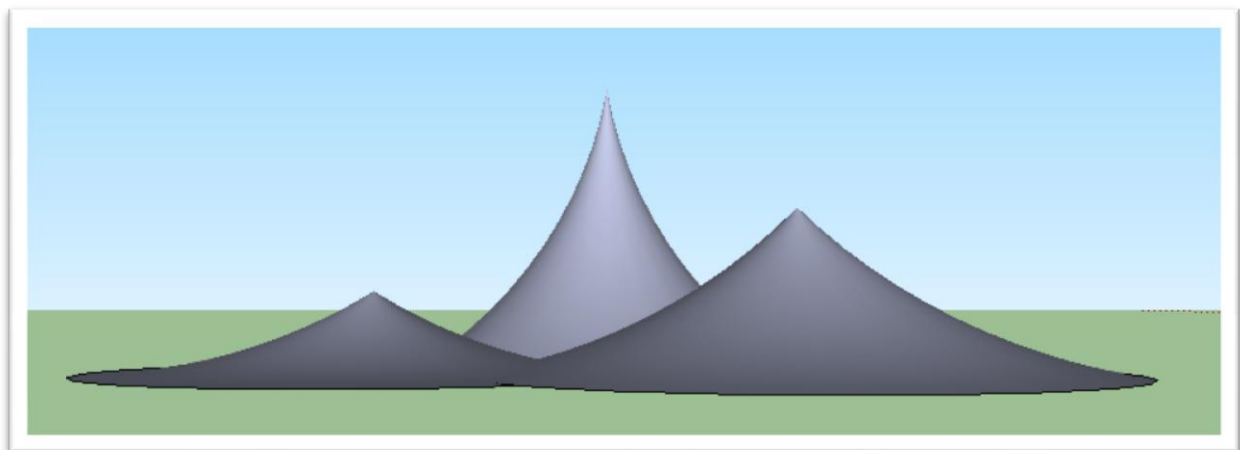
Vorm en opbouw voor een nieuw scenario

De twee belangrijkste factoren om vast te leggen, zijn de vorm en de opbouw van de berg. Uit de analyses is namelijk gebleken dat dit erg veel effect heeft op het resultaat en de haalbaarheid. Wat betreft de vorm bleek dat het bouwen van steilere toppen zowel kosteneffectiever als goedkoper is. Dit lijkt dan ook een vrij eenvoudige manier om de haalbaarheid te vergroten. Té steile hellingen zijn echter niet wenselijk, omdat deze waarschijnlijk lastiger te exploiteren zijn. Exploitatie is een belangrijk aspect voor een grotere haalbaarheid, want hier komen alle inkomsten vandaan (zoals aangenomen in dit onderzoek). De exploitatie van de grond is, aan de andere kant, niet de grootste invloed op de haalbaarheid, maar het steiler maken van een top zal de opbrengsten (in kleine mate) toch terugdringen. Hierdoor wordt de beoogde kostenbesparing minder efficiënt. Concluderend kán een top dus steiler gemaakt worden, maar deze kostenbesparing is tegelijkertijd ook een concessie op de exploitatiemogelijkheden.

Het aantal te bouwen toppen is ook onderzocht en het blijkt financieel gunstig te zijn om meerdere toppen te bouwen, met verschillende afmetingen. Hierdoor kunnen lagere, vaak kosteneffectievere toppen voor eventuele verliezen van hogere toppen compenseren en bovendien kan het tussentijdse resultaat in meerdere opzichten een verstandige stap zijn. Naast de cashflow die deze toppen moeten genereren (ze mogen inderdaad eigenlijk niet verlieslijdend zijn, omdat de hogere toppen vaak nog minder kosteneffectief blijken te zijn), is een tussentijds resultaat wellicht een verstandige vorm van risico beheersing. Zo kan er, in het geval dat niet het gehele project voltooid kan worden, toch een volledige berg staan, in plaats van een bult die onaf is. Ook kan dan aan investeerders getoond worden dat de bouw haalbaar is.

Er is verder gebleken dat de relatie tussen de helling en de hoogte van een top grote gevolgen heeft. De berg zoals doorgerekend door SWI bijvoorbeeld, bleek zich met de in dit onderzoek gestelde aannames ver onder de grens van het financieel haalbare te bevinden, omdat de helling en de hoogte ongunstig afgestemd waren. Het is aan te bevelen om een hoge top steiler te maken, omdat de kostenbesparing dan in grote schaal opweegt tegen de vermindering van de verworven exploiteerbare grond en het verlagen van de exploitatiegraad (zie hiervoor ook Bijlage C). De lagere toppen kunnen juist minder steil worden gemaakt, omdat daar de winst aan exploiteerbare grond wél opweegt tegen de meerkosten van extra benodigd bouwvolume.

Op basis van bovenstaande argumenten is de vorm als volgt gekozen:



Figuur 26. De eerste stap: vormkeuze voor het nieuwe scenario.

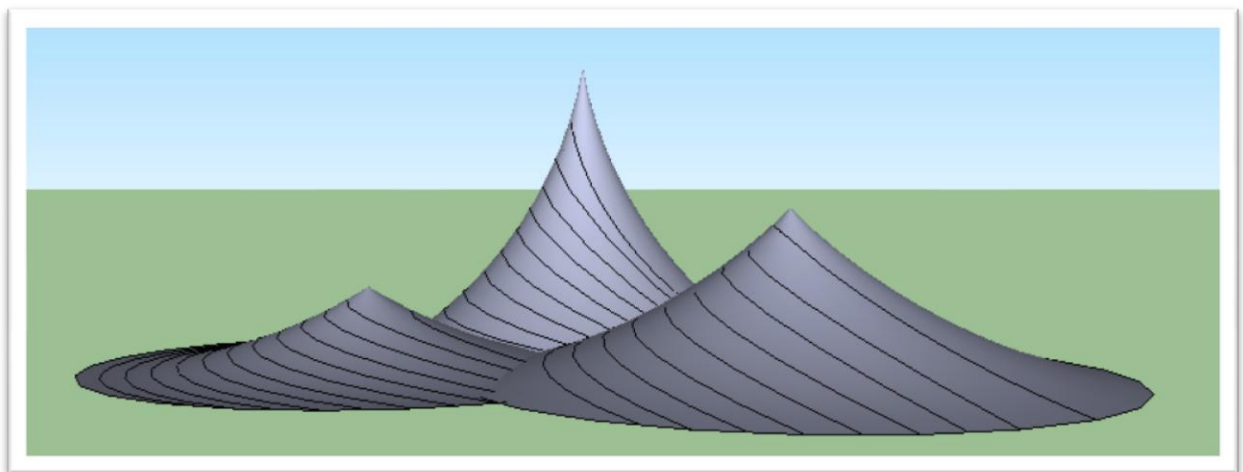
Het ontwerp lijkt veel op scenario 8. Net als in scenario 8 is er gekozen voor 3 toppen met verschillende hoogtes en verschillende hellingen, namelijk één top van 500, één van 1000 en één van 2000 meter. De hellingen zijn grofweg 2:7 voor de laagste top, 1:2 voor de middelste en 3:2 voor de hoogste top. Hoger en steiler is theoretisch gezien altijd beter, maar omdat de lagere toppen voor veel grondoppervlak moeten zorgen en bovendien als tussenstappen naar de hoogste top moeten dienen, is voor deze hoogtes en hellingen gekozen. Tevens zijn de hellingen niet geheel recht, maar enigszins parabolisch van vorm. Dit is een keuze geweest die te maken heeft met de kosteneffectiviteit, die door deze vorm iets groter wordt. Er wordt namelijk bespaard op bouwvolume en dus op kosten (ook dit is een stukje risicobeheersing, aangezien de kosten vanaf de ontwerpfase al aardig zijn in te schatten, maar de opbrengsten nog niet. Dit soort ontwerpbeslissingen zouden daarom ook uitgesteld kunnen worden totdat investeerders gevonden zijn). Tot slot zijn de toppen enigszins in elkaar geschoven. Dit komt niet ten goede van de kosteneffectiviteit, maar zal voor de uitstraling van de berg waarschijnlijk wel nodig zijn, aangezien het doel is om één berg te bouwen en niet drie losse bergen.

Het totale volume van deze berg komt uit op ongeveer $8,0 - 8,5 \text{ km}^3$. Met ongeveer 30% van het volume benodigd voor de constructie zal er $2.400.000.000 - 2.550.000.000 \text{ m}^3$ bouw materiaal nodig zijn. Ten opzichte van het door SWI doorgerekende ontwerp is dit een materiaalbesparing van ruim 90%.

Uit de analyses van de scenario's is gebleken dat sommige faseringen zorgen voor relatief meer opbrengsten vroeger in het project, sommige faseringen pas veel later hogere opbrengsten genereren en dat sommige faseringen zorgen voor flexibele netto opbrengsten. In dit geval lijken twee situaties wenselijk. Ten eerste lijkt het verstandig om vanwege de vrij extreme geldbedragen de kosten en opbrengsten zo veel mogelijk te spreiden over het project, om de financiële risico's daarmee enigszins in te perken. Een ketelvormige opbouw zou deze flexibiliteit mogelijk kunnen maken. Ten tweede is eerder geld verdienen te verkiezen boven later geld verdienen, omdat de gemaakte kosten ook aan het begin van het project betaald zullen moeten worden. Het scenario dat hierbij aansluit is scenario 4, waarbij de berg in 'diagonale lagen' wordt opgebouwd. Dit scenario bleek al vroeg veel opbrengst te kunnen genereren. De twee genoemde faseringen hebben beide voor- en nadelen. Het bouwen in diagonale lagen heeft bijvoorbeeld als groot voordeel dat er één

kant op wordt gebouwd en de bouwplaats dus minder groot is en bij voltooide delen minder overlast veroorzaakt. Bovendien zijn aanvoerroutes dan gemakkelijker aan te leggen en te bereiken. Minder aan deze opbouw is wel dat de financiële flexibiliteit niet zo groot is als bij het ketelvormig opbouwen, waarbij echt alleen het strikt noodzakelijke kan worden gebouwd, of juist heel veel 'vooruit gebouwd' kan worden, in financieel betere tijden. Tot slot heeft het in diagonale lagen opbouwen als voordeel dat er een aaneengesloten 'bult' ontstaat, die bij eventueel stopzetten van het project al een geheel vormt. Wanneer de berg ketelvormig wordt opgebouwd daarentegen, blijft er tot het moment van voltooiing een soort mega-donut in het landschap aanwezig, wat niet erg sierlijk is.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat beide faseringen in zekere zin wenselijk zijn. Gelukkig sluiten de faseringen elkaar niet volledig uit en kunnen deze juist vrij goed gecombineerd worden, door een vrij letterlijke tussenoplossing, zoals weergegeven in onderstaande figuur (de zwarte lijnen zijn hierin de 'faseringslijnen': de opbouw begint met de bouw van de laagste top, van links naar rechts; vervolgens de middelste top, van links naar rechts en tot slot de hoogste top, van links naar rechts). Dit is een eenvoudige weergave van het nieuwe scenario, zoals hierboven besproken:



Figuur 27. Ontwerp van een nieuw scenario met daarin faseringslijnen aangebracht. Eerst zal de laagste top worden gebouwd (500 meter hoog), vervolgens de middelste (1000 meter) en tot slot de top die 2000 meter hoog wordt. De toppen worden ieder van links naar rechts opgebouwd in de vorm van de faseringslijnen en hebben een gezamenlijk volume van ongeveer 8,0 – 8,5 miljard m³.

5. Conclusies en aanbevelingen

De doelstelling van dit onderzoek was 'het vergroten van de haalbaarheid van 'De Berg' door het maken van een blauwdruk voor de fasering van de bouw'. De blauwdruk is gemaakt en beschrijft in essentie het volgende:

- De berg krijgt meerdere toppen, waarvan de hogere steiler zijn dan de lagere.
- De toppen worden van laag naar hoog gebouwd.
- De toppen worden gefaseerd als een combinatie van de beschreven scenario's 4 en 5.

Het onderzoek toont aan dat de haalbaarheid van dit ontwerp met bijbehorende fasering groter is dan de tot voor dit onderzoek onderzochte ideeën. Er zal namelijk **minder tijd nodig** zijn dan in eerste instantie verwacht, **minder materiaal nodig** zijn en **minder geld nodig**. Het is dan ook aan te bevelen om deze blauwdruk in verdere plannen mee te nemen.

Om deze blauwdruk in praktijk te kunnen gebruiken, is het aan te bevelen om zo snel mogelijk alle 'werkelijke' waarden voor de parameters te achterhalen. Welke materialen kunnen er gebruikt worden (en vooral, hoeveel kosten die?), hoe diep kunnen we de berg in voor exploiteerbaar volume en hoeveel m³ verwachten we te kunnen verkopen? Dit zijn zaken die van essentieel belang zijn om deze blauwdruk van praktische waarde te maken.

Ter afsluiting nog enkele concrete adviezen. Ten eerste wijst dit onderzoek er op dat er financieel gezien veel winst is te behalen op het vinden van goedko(o)p(er) bouw materiaal. Wellicht is zand een optie in plaats van beton, wat in dit onderzoek is verondersteld. Als er naar de praktijk wordt gekeken, zou zand vele malen goedkoper kunnen zijn en de kosten van het gehele project tientallen procenten omlaag kunnen brengen. Verder is het aan te raden om zo vroeg mogelijk te zoeken naar serieuze exploitanten voor de berg. De kosten zullen ongetwijfeld hoog zijn en al is er wellicht voldoende exploiteerbare grond, iemand zal het moeten kopen.

6. Literatuurlijst

Andrade Serra, P.J. De, et. all., 2012. *Proceedings of the 84th European Study Group Mathematics with Industry, De Berg Report*, Ongepubliceerd.

Onbekende auteur (2013), *Expressways of China*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/National_Trunk_Highway_System

Onbekende auteur (2013), *Khazar Islands*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Khazar_Islands

Onbekende auteur (2013), *Palm Islands*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Palm_Islands

Onbekende auteur (2013), *Shimizu Mega-City Pyramid*. Geraadpleegd op 24 juni 2013, van http://en.wikipedia.org/wiki/Shimizu_Mega-City_Pyramid

Stichting Haalbaarheidsonderzoek Die Berg Komt Er. (2012). *Plan van Aanpak* (revisie 02). Amsterdam, Nederland: To. K.L., Gleijm, A., Tigelaar, J.H., Galjaard, J., Tetteroo, E.

Zonneveld, T. (2011), *Berg!* Geraadpleegd op 25 juni 2013, van <http://www.nu.nl/column-vrijdag/2577054/berg.html>

Foto's:

Mount Fuji, p.6: <http://famouswonders.com/wp-content/gallery/mount-fuji/mount-fuji-and-city-views.jpg>

Burj Khalifa, p.8: <http://www.burjdubaiskyscraper.com/2010/02/burj0902.jpg>

Panama kanaal, p.9: http://www.sapapanatravel.nl/image/1416/overview_panamakanaal_GOED.jpg

Palm Island en The World, p.9:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/The_universe.jpg

Shimizu Mega-City Pyramid, p.15: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Try2004.gif>

NTHS, p.16: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Map_of_NTNS_Expressways_of_China.png

Khazar Islands, p.17: <http://www.mtlurb.com/forums/showthread.php/20660-Khazar-Islands-Azerbaijan-Tower>

Palm Jumeirah, p.18: <http://jbadusa.com/2006/10/the-palm-jumeirah/>

Bijlage A – Natuurlijke bergvorming als basis voor bouwscenario's

In dit hoofdstuk worden de natuurlijke bergvormen besproken die als basis hebben gediend voor de scenario's. Hierbij worden alleen de vormen besproken die 'bruikbare' hellingen hebben. Een verticale wand kan wellicht gebruikt worden voor wandklimmen, maar is waarschijnlijk ongeschikt voor exploitatie. Er wordt in dit onderzoek daarom een maximale helling van 3:2 gehanteerd (als extreme variant in de scenario's). De natuurlijke bergvormen die hier worden besproken, vormen geen uitputtende lijst, maar geven de vormen weer die ter inspiratie van de scenario's zijn gebruikt.

Natuurlijke vormen

In Nederland, wat letterlijk laagland betekent, zijn we niet erg bekend met grote verhogingen in het landschap. In veel andere delen van de wereld is dit echter een veelvoorkomend fenomeen, wat zich uit in heuvels van tientallen of honderden meters hoog – die wij zelfs in Nederland kennen – tot bergen van enkele kilometers. Tot op heden zijn alle heuvels en bergen hoger dan grofweg 200 meter echter op natuurlijke wijze ontstaan. Blijkbaar heeft er zich tot nu toe nog geen noodzaak voorgedaan om aan het creëren van eigen bergen te beginnen. Een van de redenen hiervoor is wellicht de moeilijkheid van het bouwen ervan. Waar wij het bouwen van een berg waarschijnlijk met machines zouden doen, ontstaan deze op natuurlijke wijze in de meeste gevallen namelijk door de bewegingen van tektonische platen en deze laten zich in de praktijk slecht door mensen beïnvloeden. Door langs elkaar, van elkaar af of tegen elkaar aan te schuiven, kunnen de tektonische platen verschillende vormen en typen verhogingen in het landschap doen ontstaan. Vulkanische activiteit en allerlei vormen van erosie helpen daarnaast mee om de diversiteit aan bergen nog eens flink uit te breiden.

Er bestaat een enorme lijst aan verschillende (ontstaans-)vormen van bergen en vulkanen. Het is weinig zinvol dezen hier allemaal te benoemen, want er is veel overlap tussen verschillende vormen en daarnaast zijn niet alle vormen geschikt om als basis voor een scenario te dienen. Alleen de vormen die geresulteerd hebben in een scenario, worden hieronder besproken.

De "Arête"

Deze bergvorm komt voornamelijk voor als hoge, steile bergkam, die ook wel een graat wordt genoemd. Deze ontstaat op plaatsen waar opgestuwde tektonische platen bergketens vormen en waarbij aan twee zijden van een top gletsjers zijn ontstaan. Door het zogenaamde 'lopen' van de gletsjers, erodeert de berg sterk en kunnen er zeer steile hellingen ontstaan. Het is ook mogelijk dat dit aan drie of meer zijden gebeurt, waardoor een steile piek ontstaat. Scenario 1 is gebaseerd op deze bergvorm.

De stratovulkaan

De stratovulkaan, ook wel een samengestelde vulkaan genoemd, is een uit laagjes opgebouwde vulkaan. Doordat de lava uit deze vulkaan viskeus is, stroomt deze langzaam en zal daarom op korte afstand van de uitbarsting stollen. Hierdoor ontstaat een vrij steile berg, die bij elke uitbarsting over de gehele hoogte wat extra volume krijgt. De vorm van deze berg dient als basis voor scenario 2 en de vorming (in laagjes) als basis voor scenario 4.

De schildvulkaan

Een schildvulkaan lijkt in veel opzichten op een stratovulkaan. Door een verschil in viscositeit van het magma, vormt de berg om het 'gat' heen zich echter heel anders. De weinig viskeuze lava stroomt

snel over de hellingen van de vulkaan naar beneden en kan daardoor een grote afstand afleggen voordat deze stolt. De lava komt hierdoor verder en lager te liggen dan bij een stratovulkaan, wat zorgt voor een veel vlakker en bredere berg. Dit type vulkaan dankt zijn naam dan ook aan zijn uiterlijk, dat lijkt op een schild. Scenario 3 is gebaseerd op de vorm van dit type vulkaan.

De calderavulkaan

Dit type vulkaan ontstaat doordat er, meestal gedurende wat langere tijd, zoveel magma uit een bestaande vulkaan wordt uitgestoten, dat de top van de vulkaan in de ontstane ruimte eronder zakt. Hierdoor ontstaat een ketelvormige berg, met opstaande randen en in het midden een soort kuil. Scenario 5 is gebaseerd op dit principe, al is dit type vulkaan niet als eindontwerp, maar juist als vorm voor de tussenstappen gebruikt. Via ketelachtige vormen zal dus naar het eindontwerp toe worden gewerkt.

Ketens

Het grootste gedeelte van de bestaande bergen en vulkanen is zoals gezegd gevormd door de bewegingen van tektonische platen. Hierdoor ontstaat meestal dan ook niet zomaar één losse berg of vulkaan, maar vormt zich meestal over de gehele lengte van de tektonische interactie een keten van bergen of vulkanen. Bekende voorbeelden zijn bijvoorbeeld de Alpen, de Himalaya, de Andes en de Pacifische 'Ring van Vuur'. Een berg komt dus zelden alleen en deze gedachte is dan ook de basis geweest voor scenario 6 en scenario 7.

De complexe vulkaan

Een vulkaan heeft niet altijd maar één top waar vloeibaar gesteente uit komt. Door zwakheden in het gesteente of bijvoorbeeld verstopping van de hoofdschat, kunnen nieuwe schachten met bijbehorende uitgangen ontstaan, waardoor de vulkaan een nieuwe top krijgt. Zo kan een complexe vulkaan ontstaan, die niet één typische top heeft, maar verschillende toppen met verschillende omvang. Dit is gesimuleerd in scenario 8 van de analyse.

Bijlage B – Berekeningen achter de analyses

Ter onderbouwing van de analyses, geeft dit hoofdstuk de berekeningen die aan deze analyses ten grondslag liggen. Ten eerste worden de gebruikte formules voor volumes en oppervlaktes gegeven, daarna volgen de formules gebruikt in de scenario's, waarbij eerst de verschillende manieren van opbouw worden behandeld, vervolgens de berekeningen van de kosten en tot slot die van de opbrengsten. Daarna worden nog de berekeningen behandeld die de financieel meest gunstige en financieel nog net haalbare berghoogtes berekenen.

Gebruikte symbolen

Parameter	Symbool
Straal; straal eindontwerp	$r; R$
Hoogte; hoogte eindontwerp	$h; H$
Oppervlakte; oppervlakte eindontwerp	Opp; OPP
Te bouwen volume	BV
Helling	θ
Kosten materieel en personeel als percentage van kosten materiaal	c
Exploitatiegraad oppervlakte	α_1
Exploitatiegraad volume	α_2
Verkoopprijs per m ² oppervlakte	p_1
Verkoopprijs per m ³ volume	p_2
Kostprijs per m ³ materiaal	p_3
Bruikbaarheidsgraad volume	χ
Horizontale bruikbaarheidsafstand	m
Bebouwingsgraad	s
Porositeit	n

Volume en oppervlakte algemeen

Omdat er in alle scenario's uitgegaan is van kegelvormige toppen, zijn de volgende standaard-formules voor volume en oppervlakte van kegels gebruikt.

$$Volume = \frac{1}{3} * basis * hoogte = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$Oppervlakte = \pi r l = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$$

Kosten en opbrengsten algemeen

Voor de totale kosten van een scenario geldt:

$$Kosten = p_3 BV (1 + c)$$

$$Opbrengst = \alpha_1 p_1 Opp + \alpha_2 p_2 Opp m \chi n$$

Opbouw van scenario's

Gebruikte formules voor de opbouw van scenario's in:

Horizontale lagen

Bij deze opbouw wordt uitgegaan van een (vaste) hoeveelheid te bouwen materiaal per jaar. De hoogte die bijgebouwd kan worden met deze hoeveelheid materiaal kan berekend worden uit het

verschil van de volumes van de kegels die op de berg mét en zonder extra materiaal passen (zoals weergegeven in Figuur 28).



Figuur 28. Berekening van verworven hoogte voor bouw in horizontale lagen, door middel van vergelijking van de inhouden van twee kegels.

De berekening voor de hoogte, uit het nieuwe volume is dan als volgt:

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} * basis_{oud} * hoogte_{oud} - \frac{1}{3} * basis_{nieuw} * hoogte_{nieuw} &= \frac{volume\ bouwmaterial}{s} \\ \Rightarrow \frac{1}{3} \pi r_{nieuw}^2 h_{nieuw} &= \frac{1}{3} \pi r_{oud}^2 h_{oud} - \frac{BV}{s} \\ r^2 &= \frac{h^2}{\theta^2} \\ \Rightarrow \frac{\pi}{3\theta^2} h_{nieuw}^3 &= \frac{\pi}{3\theta^2} h_{oud}^3 - \frac{BV}{s} \\ \Rightarrow h_{nieuw} &= \sqrt[3]{h_{oud}^3 - \frac{BV}{\frac{\pi}{3\theta^2}}} = \sqrt[3]{h_{oud}^3 - \frac{3\theta^2 BV}{\pi s}} \end{aligned}$$

h_{nieuw} geeft de hoogte van de kegel die op de gebouwde (nieuwe) laag past. De *bijgebouwde* hoogte is dus $h_{oud} - h_{nieuw}$.

Voor de oppervlakte worden ook weer de kegels uit Figuur 28 gebruikt, maar nu moet de hoogte als enige onbekende overblijven. Voor de verworven oppervlakte geldt:

$$Opp_{nieuw} = (\pi r \sqrt{r^2 + h^2})_{oud} - (\pi r \sqrt{r^2 + h^2})_{nieuw}$$

Waarin: $r = R - \theta h$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Opp_{nieuw} &= \\ &\pi(R - \theta h_{oud}) \sqrt{(R - \theta h_{oud})^2 + (H - h_{oud})^2} - \\ &\pi(R - \theta h_{nieuw}) \sqrt{(R - \theta h_{nieuw})^2 + (H - h_{nieuw})^2} \end{aligned}$$

Diagonale lagen (scenario 4)

Bij het opbouwen in diagonale lagen, worden er steeds grotere kegel-vormen gebouwd. Dit betekent dat de standaardformule voor het volume van een kegel gebruikt kan worden, aangezien de totale hoeveelheid gebouwd materiaal bekend is:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3\theta^2 * \text{volume gebouw materiaal}}{s\pi}}$$

Bij de gekozen opbouwmethode hoort een (te) ingewikkelde berekening voor de nieuw verworven oppervlakte. Omdat slechts een goede benadering nodig is, zal voor de oppervlakte van dit scenario een schatting worden gebruikt. Bekend is dat voor de oppervlakte geldt dat deze kwadratisch groter wordt met de hoogte en daarom is de volgende schatting aangehouden (met h nu de werkelijk bereikte hoogte):

$$Opp_{nieuw} = \frac{h_{nieuw}^2 - h_{oud}^2}{H^2} * OPP$$

Ketelvormige lagen (scenario 5)

Voor een beschrijving van deze opbouw, zie scenario 5, p.26. De berekening voor het volume bestaat uit twee verschillende berekeningen. De eerste is geldig als $0 \leq h \leq \frac{1}{2}H$:

$$h(x) = \begin{cases} \theta x, & 0 \leq x \leq \frac{h}{\theta} \\ 2h - \theta x, & \frac{h}{\theta} \leq x \leq \frac{2h}{\theta} \end{cases}$$

Dit wordt de dwarsdoorsnede van de berg uit scenario 5. Het volume hiervan kan berekend worden door te wentelen om de denkbeeldige verticale as in het midden van de berg:

$$\begin{aligned} V(x) &= \int_{x=0}^{\frac{h}{\theta}} ((\theta x) 2\pi(R-x)) dx + \int_{x=\frac{h}{\theta}}^{\frac{2h}{\theta}} ((2h - \theta x) 2\pi(R-x)) dx \\ \Rightarrow V(x) &= \theta \pi R x^2 - \frac{2}{3} \theta \pi x^3 \Big|_{x=0}^{\frac{h}{\theta}} + \pi \left(4hRx - (2h + \theta R)x^2 + \frac{2}{3} \theta x^3 \right) \Big|_{\frac{h}{\theta}}^{\frac{2h}{\theta}} \\ \Rightarrow V(x) &= \left(\frac{\pi R h^2}{\theta} - \frac{2\pi h^3}{3\theta^2} \right) + \left(\pi \left(\frac{4h^2 R}{\theta} - \frac{6h^3}{\theta^2} - \frac{3Rh^2}{\theta} + \frac{14h^3}{3\theta^2} \right) \right) \\ \Rightarrow V(x) &= \frac{2\pi R h^2}{\theta} - \frac{2\pi h^3}{\theta^2} \end{aligned}$$

Voor het benodigde materiaal moet $V(x)$ nog met de bebouwingsgraad worden vermenigvuldigd.

Voor $\frac{1}{2}H \leq h \leq H$ geldt:

$$h(x) = \begin{cases} \theta x, & 0 \leq x \leq \frac{h}{\theta} \\ \frac{R-x}{\frac{R}{h} - \frac{1}{\theta}}, & \frac{h}{\theta} \leq x \leq R \end{cases}$$

Voor het totale volume van de opgebouwde berg:

$$V(x) = \int_{x=0}^{\frac{h}{\theta}} ((\theta x) 2\pi(R-x)) dx + \int_{x=\frac{h}{\theta}}^R \left(\left(\frac{R-x}{\frac{R}{h} - \frac{1}{\theta}} \right) 2\pi(R-x) \right) dx$$

Dit wordt in twee stukken gesplitst, voor het overzicht:

$$V_1(x) = \int_{x=0}^{\frac{h}{\theta}} (2\pi \theta R x - 2\pi \theta x^2) dx$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow V_1(x) &= \pi \theta R x^2 - \frac{2}{3} \pi \theta x^3 \Big|_0^{\frac{h}{\theta}} \\
\Rightarrow V_1(x) &= \frac{\pi R h^2}{\theta} - \frac{2 \pi h^3}{3 \theta^2} \\
V_2(x) &= \int_{x=\frac{h}{\theta}}^R \left(\left(\frac{R-x}{\frac{R}{h}-\frac{1}{\theta}} \right) 2 \pi (R-x) \right) dx \\
\Rightarrow V_2(x) &= \frac{2 \pi}{\frac{R}{h}-\frac{1}{\theta}} \left(R^2 x - R x^2 + \frac{1}{3} x^3 \right) \Big|_{\frac{h}{\theta}}^R \\
\Rightarrow V_2(x) &= \frac{2 \pi}{\frac{R}{h}-\frac{1}{\theta}} \left(\left(R^3 - R^3 + \frac{1}{3} R^3 \right) - \left(\frac{R^2 h}{\theta} - \frac{R h^2}{\theta^2} + \frac{h^3}{3 \theta^3} \right) \right) \\
\Rightarrow V_2(x) &= \frac{2 \pi}{\frac{R}{h}-\frac{1}{\theta}} \left(\frac{1}{3} R^3 - \frac{R^2 h}{\theta} - \frac{R h^2}{\theta^2} + \frac{h^3}{3 \theta^3} \right) \\
\Rightarrow V(x) &= V_1(x) + V_2(x) \\
\Rightarrow V(x) &= \frac{\pi R h^2}{\theta} - \frac{2 \pi h^3}{3 \theta^2} + \frac{2 \pi}{\frac{R}{h}-\frac{1}{\theta}} \left(\frac{1}{3} R^3 - \frac{R^2 h}{\theta} - \frac{R h^2}{\theta^2} + \frac{h^3}{3 \theta^3} \right)
\end{aligned}$$

Voor het benodigde materiaal moet $V(x)$ nog met de bebouwingsgraad worden vermenigvuldigd.

De verworven oppervlakte is als bij de opbouw in horizontale lagen.

Financieel haalbare berghoogtes

Voor het financieel resultaat van een scenario geldt:

Resultaat (x) =
*Inkomsten volume + Inkomsten grond – Kosten materiaal –
 Kosten materieel en personeel*

Dit invullen geeft:

$$Resultaat(x) = (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi x}{\theta} \sqrt{x^2 + \left(\frac{x}{\theta}\right)^2} - \frac{1+c}{3} \pi s p_3 \frac{x^3}{\theta^2}$$

Voor de haalbare hoogte met het hoogste financiële resultaat geldt:

$$R_{max}(x) \rightarrow R'(x) = 0, x \neq 0$$

$$R'(x) = \frac{\left(\frac{1+\theta^2}{\theta^2}\right)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi x^2}{\theta}}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{x}{\theta}\right)^2}} + (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi}{\theta} \sqrt{x^2 + \left(\frac{x}{\theta}\right)^2} - \left(\frac{1+c}{\theta^2}\right) \pi s p_3 x^2$$

$$\Rightarrow R'(x) = \left(\frac{2+2\theta^2}{\theta^2}\right)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi}{\theta} x \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{\theta^2}}} - \frac{1+c}{\theta^2} \pi s p_3 x^2$$

$$R_{max}(x) \rightarrow \frac{\left(\frac{2+2\theta^2}{\theta^2}\right)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi}{\theta}}{\sqrt{1+\frac{1}{\theta^2}}} = \frac{1+c}{\theta^2} \pi s p_3 x$$

$$\Rightarrow x = \frac{(2+2\theta^2)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m)}{(1+c)\theta s p_3 \sqrt{1+\frac{1}{\theta^2}}}, x \neq 0$$

In plaats van het hoogste financiële resultaat willen behalen, kan de organisatie van De Berg er ook voor kiezen om een zo hoog mogelijke berg te bouwen zonder winst te maken. Dan geldt dus dat het resultaat 0 is en de hoogte gemaximaliseerd wordt onder die voorwaarde. Hiervoor kan worden gevonden:

$$R_{0,h=\max}(x) \rightarrow R(x) = 0, h \neq 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{1+c}{3} \pi s p_3 \frac{x^3}{\theta^2} = (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \frac{\pi x}{\theta} x \sqrt{1 + \frac{1}{\theta^2}}$$

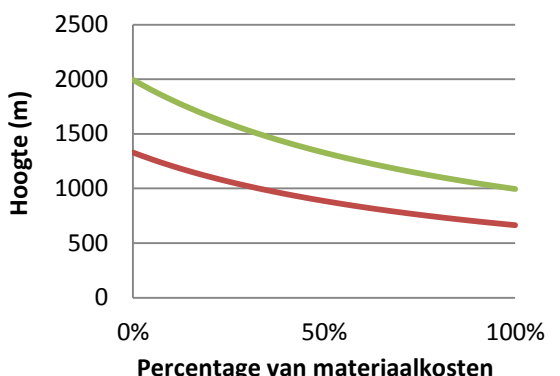
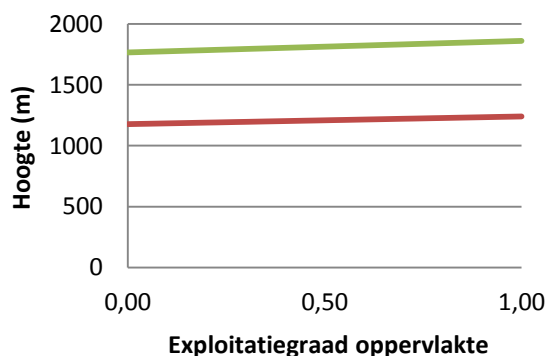
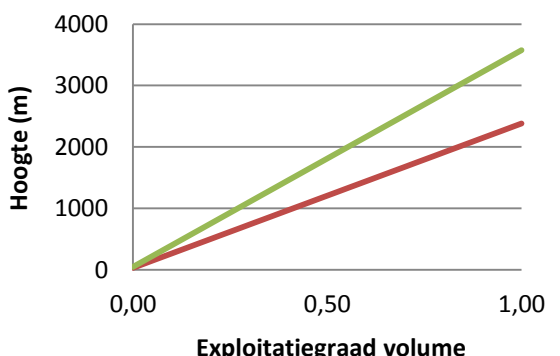
$$\Leftrightarrow x \frac{1}{\theta} \left(\frac{1+c}{3} \right) s p_3 = (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \sqrt{1 + \frac{1}{\theta^2}}$$

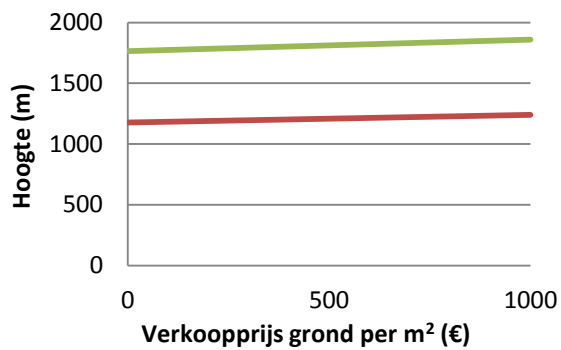
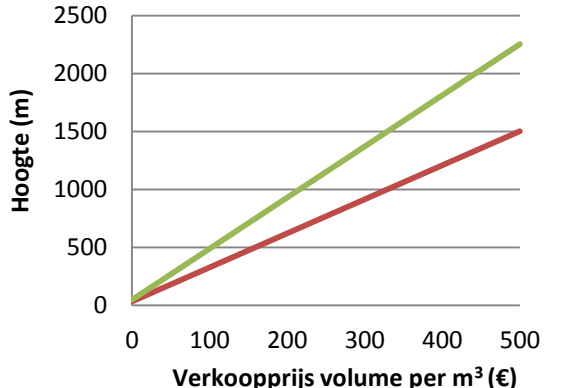
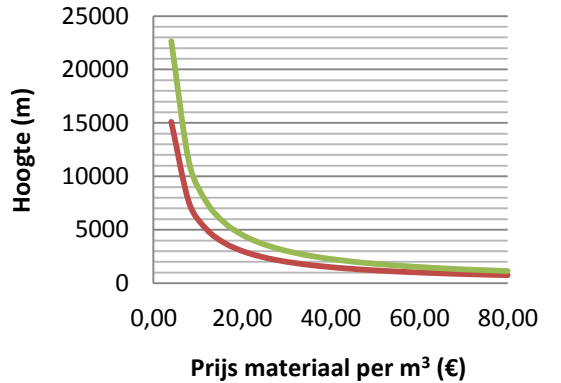
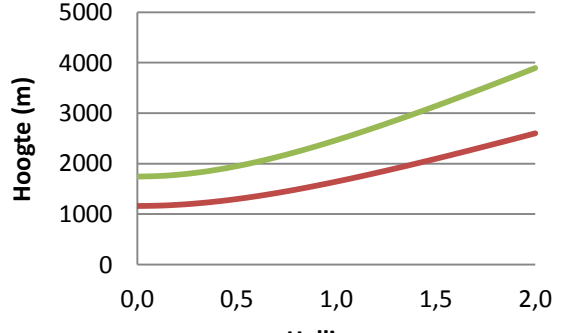
$$\Leftrightarrow x = \frac{\theta(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \chi n m) \sqrt{1 + \frac{1}{\theta^2}}}{\frac{1+c}{3} s p_3}, x \neq 0$$

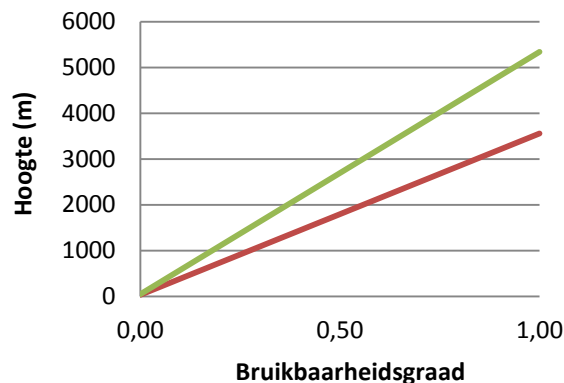
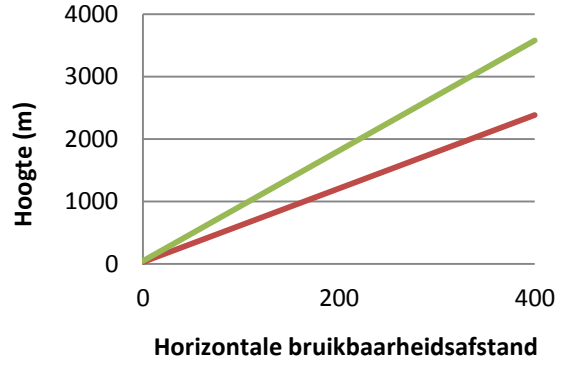
Bijlage C – Parameter analyse

De aannames zoals gesteld in 3.3.1 zijn verwerkt in alle scenario's. Onderling zijn de scenario's daardoor goed te vergelijken, maar concrete uitkomsten per scenario zeggen weinig zonder een duidelijke analyse van alle aannames. Daarom is een uitgebreide analyse uitgevoerd, waarbij iedere aanname, parameter, individueel is onderzocht. Deze analyse wordt in dit hoofdstuk besproken.

De tabel hieronder geeft van elke parameter – voor alle mogelijke of enigszins aannemelijke waarden – een overzicht van de haalbare hoogtes bij een gewenst financieel resultaat. De rode lijn geeft in elke grafiek de haalbare hoogte met het hoogste financiële resultaat, de groene lijn geeft de maximale hoogte waarbij nog nét geen verlies wordt gemaakt.

Materieel- en personeelskosten De invloed van de opslag voor materieel- en personeelskosten kan beschreven worden met de volgende formule: $F = \frac{1}{1+P}$ Waarin F staat voor de factor ten opzichte van de haalbare hoogte bij 0% opslag en P voor het opslag percentage. 10% opslag geeft bijvoorbeeld een factor 0,91; 20% een factor 0,83 en 50% een factor 0,67.	 <table><caption>Data for Materieel- en personeelskosten graph</caption><thead><tr><th>Percentage van materiaalkosten</th><th>Hoogte (m) - Groene lijn</th><th>Hoogte (m) - Rode lijn</th></tr></thead><tbody><tr><td>0%</td><td>2000</td><td>1300</td></tr><tr><td>50%</td><td>1500</td><td>1000</td></tr><tr><td>100%</td><td>1000</td><td>700</td></tr></tbody></table>	Percentage van materiaalkosten	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn	0%	2000	1300	50%	1500	1000	100%	1000	700
Percentage van materiaalkosten	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn											
0%	2000	1300											
50%	1500	1000											
100%	1000	700											
Exploitatiegraad oppervlakte De exploitatiegraad kan een waarde tussen 0 en 1 aannemen, dus de grafiek geeft alle uitkomsten tussen 'geen oppervlakte exploiteren' en 'alle beschikbare oppervlakte exploiteren' weer. Uit de grafiek blijkt dat exploitatie van de grond relatief weinig effect op de financieel haalbare berghoogte heeft.	 <table><caption>Data for Exploitatiegraad oppervlakte graph</caption><thead><tr><th>Exploitatiegraad oppervlakte</th><th>Hoogte (m) - Groene lijn</th><th>Hoogte (m) - Rode lijn</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,00</td><td>1800</td><td>1200</td></tr><tr><td>0,50</td><td>1850</td><td>1250</td></tr><tr><td>1,00</td><td>1900</td><td>1300</td></tr></tbody></table>	Exploitatiegraad oppervlakte	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn	0,00	1800	1200	0,50	1850	1250	1,00	1900	1300
Exploitatiegraad oppervlakte	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn											
0,00	1800	1200											
0,50	1850	1250											
1,00	1900	1300											
Exploitatiegraad volume Ook hier kan de exploitatiegraad een waarde tussen 0 en 1 aannemen en geeft hier dus alle uitkomsten tussen 'geen volume exploiteren' en 'al het beschikbare volume exploiteren' weer. Aangezien de financieel haalbare berghoogte bij een exploitatiegraad van 0 ongeveer 0 meter is en bij 1 2500 – 3500 meter, heeft de exploitatie van het volume dus zeer grote invloed op de gehele financiële haalbaarheid.	 <table><caption>Data for Exploitatiegraad volume graph</caption><thead><tr><th>Exploitatiegraad volume</th><th>Hoogte (m) - Groene lijn</th><th>Hoogte (m) - Rode lijn</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,00</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0,50</td><td>1800</td><td>1200</td></tr><tr><td>1,00</td><td>3500</td><td>2500</td></tr></tbody></table>	Exploitatiegraad volume	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn	0,00	0	0	0,50	1800	1200	1,00	3500	2500
Exploitatiegraad volume	Hoogte (m) - Groene lijn	Hoogte (m) - Rode lijn											
0,00	0	0											
0,50	1800	1200											
1,00	3500	2500											

Verkoopprijs grond per m² Voor de verkoopprijs van de grond geldt eigenlijk hetzelfde als voor de exploitatiegraad. Het enige verschil hierin is dat de verkoopprijs per vierkante meter geen maximale waarde heeft, maar het is niet te verwachten dat dit bedrag zó hoog wordt, dat dit een substantiële rol gaat spelen in de financiële haalbaarheid.	
Verkoopprijs volume per m³ Voor de verkoopprijs per kubieke meter volume geldt, zo blijkt uit de grafiek, hetzelfde als voor de exploitatiegraad. De verkoopprijs heeft dus ook een grote invloed op de financiële haalbaarheid.	
Materiaalprijs per m³ De materiaalprijs heeft bij een flexibele hoogte een zeer grote invloed. De financieel haalbare hoogte wordt namelijk exponentieel hoger bij een lagere materiaalprijs. Door de lagere kosten kan er meer hoogte worden gemaakt en daarnaast kan door deze extra hoogte meer worden verdiend. Deze effecten versterken elkaar, waardoor een lagere materiaalprijs extra gunstig is.	
Helling Door de helling van een top steiler te maken, kan met dezelfde hoeveelheid materiaal een grotere hoogte worden bereikt. Hierdoor wordt er meer exploiteerbare grond en volume gecreëerd. Terwijl de kosten dus gelijk blijven, stijgt de opbrengst.	

Bruikbaarheidsgraad volume Voor de bruikbaarheid van het volume geldt, zo blijkt uit de grafiek, hetzelfde als voor de exploitatiegraad en de verkoopprijs. De bruikbaarheidsgraad heeft dus ook een grote invloed op de financiële haalbaarheid.	 <table><caption>Data for Bruikbaarheidsgraad volume graph</caption><thead><tr><th>Bruikbaarheidsgraad</th><th>Hoogte (m) - Green Line</th><th>Hoogte (m) - Red Line</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,00</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0,50</td><td>~2650</td><td>~1750</td></tr><tr><td>1,00</td><td>~5300</td><td>~3500</td></tr></tbody></table>	Bruikbaarheidsgraad	Hoogte (m) - Green Line	Hoogte (m) - Red Line	0,00	0	0	0,50	~2650	~1750	1,00	~5300	~3500
Bruikbaarheidsgraad	Hoogte (m) - Green Line	Hoogte (m) - Red Line											
0,00	0	0											
0,50	~2650	~1750											
1,00	~5300	~3500											
Horizontale bruikbaarheidsafstand Ook voor het aantal meter dat, vanaf de buitenkant van de berg, benut wordt voor exploitatie, geldt dat de financiële haalbaarheid hier in grote mate vanaf hangt. Uit de grafiek blijkt dat wanneer dit 0 meter is, de financieel haalbare hoogte bijna 0 is. Het volume zorgt namelijk voor het grootste gedeelte van de inkomsten en dit is lineair afhankelijk van de bruikbaarheidsafstand. Dit betekent aan de andere kant ook dat bij verdubbeling van de bruikbaarheidsafstand de financieel haalbare hoogte ook bijna verdubbeld.	 <table><caption>Data for Horizontale bruikbaarheidsafstand graph</caption><thead><tr><th>Horizontale bruikbaarheidsafstand</th><th>Hoogte (m) - Green Line</th><th>Hoogte (m) - Red Line</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>200</td><td>~1750</td><td>~1150</td></tr><tr><td>400</td><td>~3500</td><td>~2300</td></tr></tbody></table>	Horizontale bruikbaarheidsafstand	Hoogte (m) - Green Line	Hoogte (m) - Red Line	0	0	0	200	~1750	~1150	400	~3500	~2300
Horizontale bruikbaarheidsafstand	Hoogte (m) - Green Line	Hoogte (m) - Red Line											
0	0	0											
200	~1750	~1150											
400	~3500	~2300											

Tabel 8. Parameteranalyse.