

Ruimte-intensivering EMO-schiereiland

Haalbaarheidsstudie



Auteur:

T.M. Henneveld

Februari 2011

Ruimte-intensivering EMO-schiereiland

Haalbaarheidsstudie naar ruimte-intensivering op het
EMO-schiereiland

Eindrapport

Rotterdam, februari 2011

Auteur: T.M. Henneveld
Stud.nr.: 1385534
E-mail: tomhennveld@hotmail.com

Afstudeerscriptie
Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek
Hydraulic Engineering
Ports and Waterways

Afstudeercommissie:

Prof. Ir. H. Ligteringen	TU Delft, Ports and Waterways
Ir. M. de Jong	TU Delft, Ports and Waterways
Ir. S. van der Woude	TU Delft, Geo-engineering
Ir. J. Ruitenbergh MBA	Havenbedrijf Rotterdam, Realisatie Infrastructuur

Voorwoord

Voor u ligt de haalbaarheidsstudie “Ruimte-intensivering EMO-schiereiland”. Dit is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek, waarmee mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft (TUD) wordt afgerond. Deze studie heeft plaats gevonden bij de leerstoel Havens en Vaarwegen van de sectie Waterbouwkunde.

De keuze voor het onderwerp van deze studie is ontstaan in het Port Research Centre Rotterdam-Delft (samenwerkingsverband tussen het Havenbedrijf Rotterdam en de TUD). Doordat de fysieke grenzen van de Rotterdamse haven in zicht komen en de haven wil blijven groeien, komt het thema *ruimte-intensivering* steeds hoger op de agenda te staan bij het Havenbedrijf Rotterdam. Toen ik de kans kreeg om voor mijn studie een bijdrage te leveren aan de oplossing voor de ruimteproblematiek van de haven, heb ik deze met beide handen aangepakt. Het EMO-schiereiland is aangewezen als onderzoeksgebied in verband met een dreigend gebrek aan ruimte op het schiereiland.

Via deze weg wil ik graag alle leden van mijn afstudeercommissie bedanken voor de tijd die ze hebben vrijgemaakt voor de begeleiding van mijn onderzoek. Het Havenbedrijf wil ik bedanken voor alle faciliteiten waarvan ik gebruik heb kunnen maken. Verder ben ik nog dank verschuldigd aan EMO en Electrabel voor de informatie die ze aan mij verstrekt hebben.

T.M. Henneveld
Rotterdam, februari 2011

Inhoudsopgave

Voorwoord	III
Samenvatting	VI
1. Inleiding	1
2. Inventarisatie EMO-schiereiland	4
2.1 EMO	4
2.1.1 Proces.....	4
2.1.2 Indeling terminal.....	6
2.1.3 Aan- en afvoer droge bulk.....	7
2.1.4 Oppervlakte van opslagterrein en terminal.....	8
2.1.5 Kade	8
2.2 Electrabel	9
2.2.1 Proces.....	9
2.2.2 Indeling terrein	10
2.2.3 Aanvoer en opslag van kolen en biomassa	11
2.2.4 Oppervlakte terrein	12
2.2.5 Kade	12
2.2.6 Kabels en leidingen.....	12
2.3 Gasunie	13
2.3.1 Proces.....	13
2.3.2 Indeling terrein	14
2.3.3 Oppervlakte terrein	14
2.3.4 Kabels en leidingen.....	14
2.4 Relaties tussen bedrijven	14
3. Capaciteitsanalyse EMO-schiereiland	15
3.1 EMO	15
3.1.1 Benodigde opslagcapaciteit.....	15
3.1.2 Oppervlakte opslagterrein	16
3.1.3 Kade	20
3.1.4 Conclusie	24
3.2 Electrabel	25
3.2.1 Benodigde opslagcapaciteit biomassa.....	25
3.2.2 Kade	25
3.2.3 Tweede kolen/biomassacentrale.....	26
3.2.4 Conclusie	26
3.3 Conclusie.....	26
4. Ruimte-intensivering droge bulkopslag	27
4.1 Ruimte-intensivering EMO-schiereiland.....	27
4.2 Droge bulkopslag.....	27
4.2.1 Eigenschappen droge bulk	28
4.2.2 Opslagvarianten	29
4.2.3 Opslagvormen.....	33
4.2.4 Materieel	34
4.2.5 Milieuaspecten	37

5. Alternatieven ruimte-intensivering.....	39
5.1 Opslag EMO	39
5.1.1 Alternatieven	39
5.1.2 Selectie	40
5.1.3 Resultaten.....	41
5.1.4 Toelichting alternatieven	42
5.2 Op- en overslag biomassa Electrabel.....	42
5.2.1 Alternatieven	43
5.2.2 Selectie	44
5.2.3 Resultaat.....	44
5.2.4 Toelichting alternatieven	45
6. Uitwerking alternatieve ruimte-intensivering	46
6.1 Opslagterrein EMO.....	46
6.1.1 Ruimtewinst	48
6.1.2 Investeringskosten	52
6.1.3 Extra lopende kosten	54
6.1.4 Productieverlies tijdens de aanleg.....	55
6.1.5 Selectie	56
6.1.6 Ruimte-intensivering of uitbreiden op een nieuwe locatie	58
6.2 Op- en overslag biomassa Electrabel.....	59
6.2.1 Biomassaopslag.....	59
6.2.2 Overslag biomassa.....	62
7. Constructieve uitwerking.....	63
7.1 Opslagterrein EMO.....	63
7.1.1 Ontwerp	63
7.1.2 Controle berekening	67
7.1.3 Gevolgen aanpassingen keerwand.....	71
8. Resultaten ruimte-intensivering EMO-schiereiland.....	74
8.1 Opslagterrein EMO.....	74
8.2 Op- en overslag biomassa Electrabel.....	77
8.3 EMO-schiereiland	77
9. Conclusies en aanbevelingen	79
9.1 Conclusies	79
9.1.1 Opslagterrein EMO	79
9.1.2 Op- en overslag biomassa Electrabel	80
9.1.3 EMO-schiereiland	80
9.2 Aanbevelingen	80
Literatuurlijst	82

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelengte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kosten kolenopslag

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Samenvatting

Aangezien de ruimte in de Rotterdamse haven steeds schaarser wordt, is het voor de haven veel interessanter als bedrijven ruimte intensiveren in plaats van uitbreiden op een andere locatie. Dit is ook één van de ambities van het Havenbedrijf Rotterdam. Vanuit deze gedachten is het idee ontstaan om een studie te doen naar de mogelijkheden voor ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland.

Het EMO-schiereiland is gelegen op de eerste Maasvlakte en biedt plaats aan de volgende drie bedrijven: EMO (Europees Massagoed- Overslagbedrijf), Electrabel en Gasunie. EMO is gespecialiseerd in het op- en overslaan van kolen en ijzererts. Het maakt op dit moment gebruik van verreweg het grootste gedeelte van het terrein qua oppervlak. Als nieuwe klant realiseert Electrabel op dit terrein een kolen/biomassacentrale en is er een optie voor nog een tweede kolen/biomassacentrale. Gasunie heeft op het schiereiland een *peak shaver* die ervoor zorgt dat in koude tijden, waarin veel gas wordt verbruikt, het tekort aan gas kan worden aangevuld op het landelijke netwerk.

Doordat er steeds meer activiteiten plaatsvinden op het EMO-schiereiland dreigt er ruimtegebrek op het schiereiland in de nabije toekomst. De drie redenen voor ruimtegebrek zijn:

- verbreding van de Amazonehaven, waardoor het EMO-schiereiland verkleind wordt;
- komst van Electrabel, waarvoor EMO ruimte heeft afgestaan;
- verwachte groei van EMO.

Een capaciteitsanalyse is uitgevoerd gevolgd door een studie naar ruimte-intensivering. Uit de capaciteitsanalyse is gebleken dat vooral bij de droge bulkopslag op de EMO-terminal een te kort ontstaat aan ruimte. Daarnaast moet er ook ruimte op het EMO-schiereiland worden gevonden voor de op- en overslag van biomassa voor de kolen/biomassa.

De studie naar ruimte-intensivering focust zich op de volgende twee onderdelen:

- opslag van droge bulk op de EMO-terminal;
- op- en overslag van biomassa bij Electrabel.

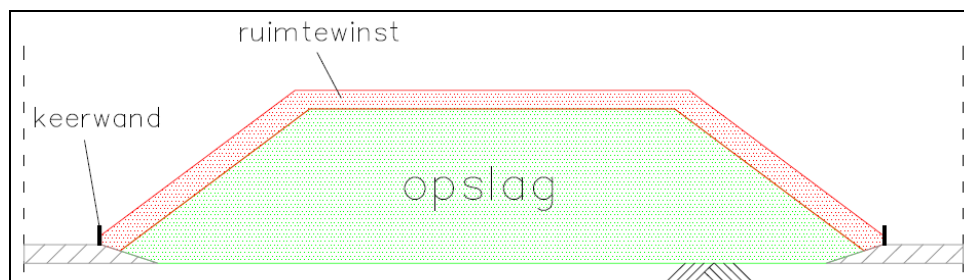
Met behulp van een brainstorm zijn alle alternatieven voor beide onderdelen verzameld. Uit de selectie voor de opslag van droge bulk is de *keerwand* als beste alternatief naar voren gekomen.

Bij de selectie voor zowel de op- als de overslag van biomassa komt het beste alternatief overeen met de huidige plannen (silo's voor de opslag en meervoudig ruimtegebruik bij de overslag van biomassa).

Dit heeft ertoe geleid dat er alleen is gekeken naar het onderdeel *opslag van droge bulk op de EMO-terminal*. Hierbij is het alternatief *keerwand* uitgewerkt.

Alternatief keerwand

Bij het alternatief *keerwand* worden er keerwanden aan beide zijdes van de opslag geplaatst zodat het opslagvolume wordt vergroot. Daarbij wordt ook de kombi aangepast zodat er hoger gestort en afgegraven kan worden. Het alternatief *keerwand* is weergegeven op de volgende pagina.



Alternatief keerwand

Het alternatief *keerwand* is interessant vanuit verschillende gezichtspunten:

- ruimtewinst
- financieel positief
- technische uitvoerbaar
- milieutechnisch aantrekkelijk

Het alternatief *keerwand* zorgt voor een aanzienlijke hoeveelheid aan ruimtewinst (circa 15,3% voor de droge bulkopslag van EMO), waarbij bijna de volledige opslag bereikbaar blijft voor de kombi.

De prijs voor een extra kubieke meter opslag is relatief laag (€12,72 /m³). De totale investering zal €21.620.000,- bedragen. Hierbij zullen echter de lopende kosten licht stijgen en wordt er productieverlies geleden tijdens de aanleg van de keerwand en het aanpassen van de kombi.

Voor het alternatief *keerwand* moet de kombi worden aangepast en zullen er L-muren geplaatst worden om de capaciteit van de opslag te laten toenemen. Beide onderdelen zijn technisch haalbaar. Om voldoende ruimtewinst te behalen zullen beide onderdelen toegepast moeten worden.

Ook milieutechnisch is het alternatief *keerwand* zeer de moeite waard. Dit komt doordat de verhouding tussen oppervlak en volume in de opslag kleiner wordt. De stofontwikkeling per volume wordt hierdoor kleiner.

Aan het alternatief *keerwand* kleeft een praktisch nadeel. De keerwand wordt gezien als hindernis. De bewegingsvrijheid voor de laadschoppen en dumpers wordt beperkt. Dit wordt door EMO gezien als het grootste nadeel van het alternatief *keerwand*.

Ruimte-intensivering of uitbreiding op een nieuwe locatie

Om ruimte-intensivering echt succesvol te laten zijn moet het hoger scoren dan uitbreiding op een nieuwe locatie. De studie laat zien dat ruimte-intensivering een goede concurrent is voor uitbreiding op een nieuwe locatie.

	Ruimte-intensivering (keerwand)	Nieuwe locatie
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ruimtewinst ▪ financieel aantrekkelijk <ul style="list-style-type: none"> - investeringskosten laag - lopende kosten laag ▪ milieutechnisch aantrekkelijk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ruimtewinst ▪ geen hindernissen voor het materieel ▪ geen productie verlies tijdens de aanleg
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ de keerwand is een hindernis voor het materieel ▪ productieverlies tijdens de aanleg 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ financieel nadelig <ul style="list-style-type: none"> - investeringskosten hoog - lopende kosten hoog ▪ meer milieuvervuiling

Voor- en nadelen van zowel het alternatief *keerwand* als uitbreiding op een nieuwe locatie

Vooraf op financieel gebied is ruimte-intensivering aantrekkelijk. De investeringskosten en de lopende kosten zijn beduidend lager. De lopende kosten zijn lager doordat de terminal niet wordt opgesplitst en er geen extra grond gehuurd hoeft te worden.

Het belangrijkste argument tegen het alternatief *keerwand* (ruimte-intensivering) is dat het materieel minder bewegingsvrijheid heeft.

Ruimte-intensivering EMO-schiereiland

Gebleken is dat ruimte-intensivering voor het EMO-schiereiland interessant is. Dit in tegenstelling tot vele andere ideeën voor ruimte-intensivering in de haven, die in de meeste gevallen afvallen door hoge investeringskosten.

Door het toepassen van ruimte-intensivering is er geen directe noodzaak voor bedrijven om voor hun groei uit te wijken naar een andere locatie. Vanuit financieel en milieutechnisch oogpunt is ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland een veel aantrekkelijkere optie voor bedrijven om te groeien.

De studie ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland draagt bij aan de ambitie van het Havenbedrijf Rotterdam om efficiënter met ruimte om te gaan.

Geconcludeerd kan worden dat ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland haalbaar en interessant is.

Voor het vervolg van de haalbaarheidsstudie kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Verdere optimalisatie van het alternatief *keerwand*. Dit zal leiden tot een nog lagere prijs voor een extra kubieke meter opslag.
- Onderzoek naar het aanpassen van de kombi. Gekeken moet worden of de kombi zo gemaakt kan worden dat deze ook langs een hoge keerwand kan afgraven. Dit met het oog op verdere intensivering van de ruimte. Daarnaast zou het vergroten van de doorrijhoogte en -breedte onder de kombi de bewegingsvrijheid van het materieel doen toenemen.
- Uitwerken van het alternatief keerwand voor de droge bulkopslag van EMO. In dit onderzoek is het opslagterrein vereenvoudigd tot één groot rechthoek. In werkelijkheid is dat niet het geval en zijn bijna alle windrijen en kombi's verschillend. Om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de resultaten voor EMO zal voor elke windrij en kombi het resultaat afzonderlijk bekeken moeten worden.
- Vergelijking tussen ruimte-intensivering en uitbreiding op een nieuwe locatie uitwerken in een *life cycle* analyse. Dit geeft meer inzicht in de kosten van beide scenario's.

1. Inleiding

Het EMO-schiereiland is het meest zuidelijk gelegen schiereiland op de eerste Maasvlakte, zie figuur 1.1.

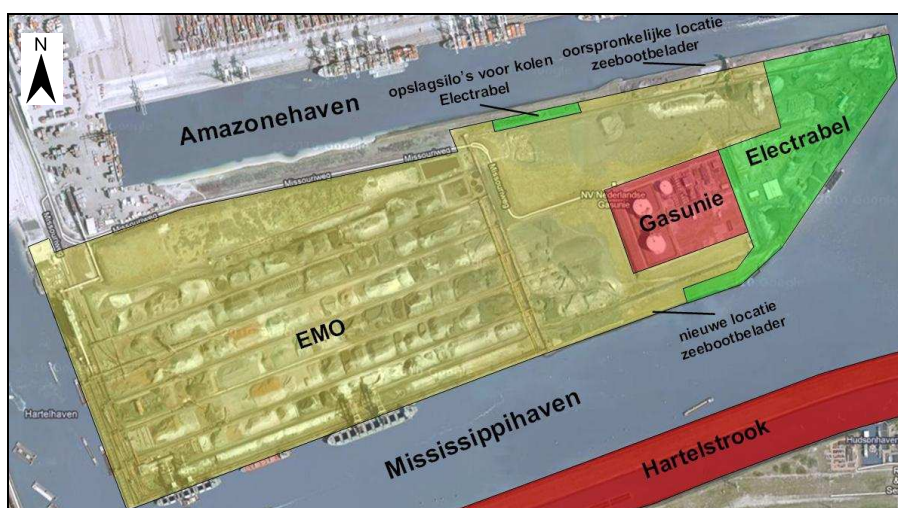


Figuur 1.1: locatie van het EMO-schiereiland

Op het schiereiland hebben zich drie bedrijven gevestigd:

- EMO (Europees Massagoed- Overslagbedrijf)
- Electrabel (kolen/biomassacentrale)
- Nederlandse Gasunie (peak shaver)

In figuur 1.2 is de huidige indeling van het schiereiland weergegeven.



Figuur 1.2: indeling EMO-schiereiland

EMO is gespecialiseerd in het op- en overslaan van kolen en ijzererts. EMO gebruikt momenteel verreweg het grootste gedeelte van het EMO-schiereiland qua oppervlak (circa 83%).

Als nieuwe klant realiseert Electrabel op het schiereiland een kolen/biomassacentrale. EMO heeft hiervoor, in overleg met Electrabel, ruimte moeten inleveren op het EMO-schiereiland. Gasunie heeft op het schiereiland een *peak shaver* die ervoor zorgt dat in koude tijden, waarin veel gas wordt verbruikt, het tekort aan gas kan worden aangevuld op het landelijke gasnetwerk.

Doordat er steeds meer activiteiten plaatsvinden op het EMO-schiereiland dreigt er ruimtegebrek op het schiereiland in de nabije toekomst. Hiervoor zijn drie redenen. Deze zijn:

- verbreding van de Amazonehaven
- komst van Electrabel
- verwachte groei van EMO

Tussen het EMO-schiereiland en het noordelijk gelegen ECT-schiereiland ligt de Amazonehaven met een relatief geringe breedte van 255 meter. Aan de zuidzijde van het ECT-schiereiland bevindt zich de containerterminal ECT (Europe Container Terminals). Door de enorme groei in afmeting van containerschepen is de Amazonehaven in nautisch opzicht te smal geworden. Om dit probleem te verhelpen is er door het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) besloten om de kade aan de noordzijde van het EMO-schiereiland met 55 meter te verleggen in zuidelijke richting. Hierdoor krijgt deze haven weer de gewenste breedte zodat de grotere schepen de containerterminal van ECT veilig kunnen bereiken. Het grote nadeel is wel dat hierdoor de oppervlakte van het EMO-schiereiland verkleind wordt. Tijdens de verbreding wordt ook de zeebootbelader van EMO verplaatst van de noordkant naar de zuidkant van het schiereiland. De zeebootbelader wordt gebruikt voor het beladen van *shortsea* schepen die vanuit de Rotterdamse haven de droge bulk transporteren naar andere dichtbij gelegen havens.

Voor de bouw van de kolen/biomassacentrale heeft Electrabel ruimte nodig op het EMO-schiereiland (groene gedeelte in figuur 1.1). Hiervoor heeft EMO eveneens ruimte moeten afstaan. EMO wordt hiervoor gecompenseerd op de Hartelstrook (grondgebied aan de andere kant van de Mississippihaven). Het onderzoek "Ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland" richt zich echter alleen op het EMO-schiereiland en laat de Hartelstrook buiten beschouwing.

Naast het feit dat er meer bedrijven op een kleiner stuk grond komen, verwacht EMO ook te gaan groeien. EMO heeft aangegeven dat het een stijging verwacht van meer dan 15% in 2020 bij de overslag. Er zijn drie duidelijke redenen waarom EMO verwacht te gaan groeien. Deze zijn:

- het sluiten van de Duitse kolenmijnen. Hierdoor stappen Duitse kolencentrales over van binnenlandse kolen op importkolen.
- de nieuwbouw van twee energiecentrales op de Maasvlakte met steenkool als primaire brandstof. De opslagcapaciteit van de centrales is beperkt waardoor de opslag van EMO gebruikt zal worden.
- traders en mijnbouwondernemingen die fysieke voorraden aanhouden anticiperen op prijsschommelingen in de kolenmarkt. Kolen worden voor een lage prijs ingekocht en voor langere periode opgeslagen totdat de prijs voldoende is gestegen, zodat ze met winst verkocht kan worden. Door de langere opslagperiode van kolen wordt het ruimtebeslag in de opslag groter.

Geconcludeerd kan worden dat vooral de op- en overslag van kolen zal toenemen.

Doordat de ruimte in de Rotterdamse haven steeds schaarser wordt, is het voor de haven veel interessanter als bedrijven ruimte intensiveren in plaats van uitbreiden op een andere locatie. Efficiënt ruimtegebruik is dan ook één van de ambities van het Havenbedrijf Rotterdam. Vanuit deze gedachten is ook het idee ontstaan om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn voor ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland.

Opbouw rapport

Eerst wordt, in hoofdstuk 2, een inventarisatie uitgevoerd van het EMO-schiereiland om een beeld te krijgen van wat er zich allemaal bevindt en afspeelt.

In hoofdstuk 3 wordt er een capaciteitsanalyse gemaakt van het schiereiland. Deze analyse wordt vergeleken met de inventarisatie die gemaakt is in hoofdstuk 2. Hieruit moet blijken of er daadwerkelijk ruimtegebrek ontstaat op het EMO-schiereiland.

Vervolgens wordt er gekeken naar de mogelijkheid tot ruimte-intensivering om zo ruimte te winnen op het schiereiland. Dit gebeurt in hoofdstuk 4.

Met behulp van een brainstorm zijn er allerlei alternatieven tot stand gekomen die moeten leiden tot ruimte-intensivering. De alternatieven worden in dit hoofdstuk geordend en er vindt een grove selectie plaats.

In hoofdstuk 6 krijgt de selectie een vervolg waarbij uiteindelijk de meest kansrijke alternatieven overblijven.

Hoofdstuk 7 gaat in op de constructieve aspecten van de overgebleven alternatieven.

Uiteindelijk moet in hoofdstuk 8 blijken of de alternatieven voor ruimte-intensivering daadwerkelijk toekomst hebben op het EMO-schiereiland.

Tot slot zullen de conclusies en aanbevelingen worden besproken in hoofdstuk 9.

2. Inventarisatie EMO-schiereiland

Om inzicht te krijgen in wat er zich allemaal afspeelt op het EMO-schiereiland wordt eerst een inventarisatie uitgevoerd. Voor elk bedrijf, dat gevestigd is op het EMO-schiereiland, zal het bedrijfsproces beschreven worden en de indeling van het bedrijventerrein worden weergegeven. Indien nodig zullen deze onderdelen nog worden aangevuld met extra informatie.

In elke paragraaf zal één van de drie bedrijven besproken worden.

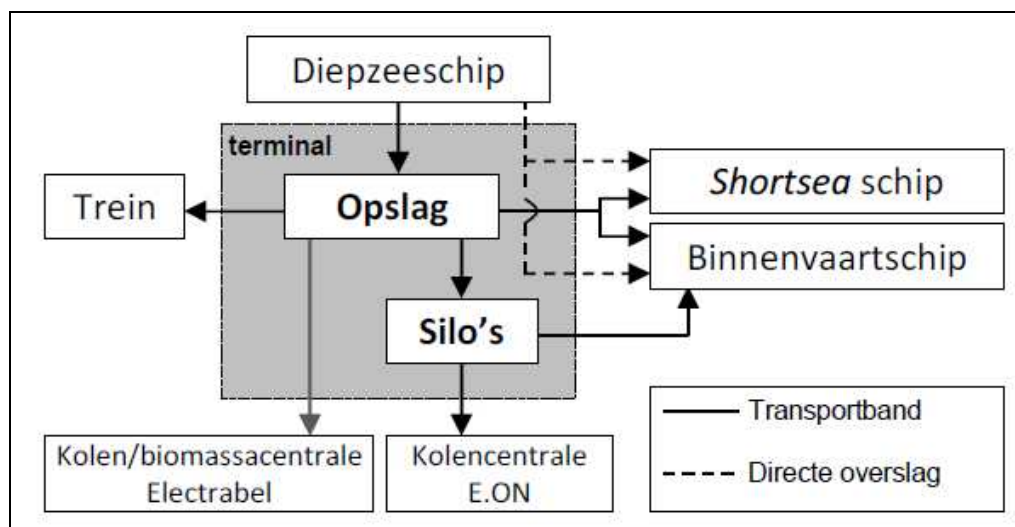
2.1 EMO

EMO is een droge bulk terminal op het EMO-schiereiland met als specialisme het op- en overslaan van ijzererts en steenkool. Het is de grootste droge bulk terminal van Europa met een overslag van meer dan 35 miljoen ton per jaar.

Eerst zal het proces beschreven worden dat plaatsvindt op de EMO-terminal. Vervolgens wordt de huidige indeling van de terminal, met de bijbehorende oppervlaktes en afmetingen, besproken.

2.1.1 Proces

De droge bulk wordt per diepzeeschip aangeleverd bij EMO, zie figuur 2.1. Met behulp van een grijpkraan wordt de bulk vanuit het ruim van het schip in de stortkoker, die op de kademuur is gestationeerd, gestort. Vanuit de stortkoker komt de bulk terecht op de transportband.



Figuur 2.1: proces EMO

Het grootste gedeelte van de bulk gaat per transportband naar het opslagterrein van EMO. De transportband is hier aangesloten op een *bucket wheel stacker-reclaimer*, ook wel kombi genaamd, die ervoor zorgt dat de bulk terecht komt in de open opslag (figuur 2.2).



Figuur 2.2: kombi (EMO², 2010)



Figuur 2.3: drijvende kraan (EMO², 2010)

Een klein gedeelte van de bulk wordt direct overgeslagen op een *shortsea* of binnenvaartschip. Dit kan op twee verschillende manieren plaatsvinden:

- drijvende kraan; deze komt samen met een binnenvaartschip of ponton langs zij voor het overslaan van de lading (figuur 2.3);
- over land; de geloste bulk gaat met behulp van transportbanden direct naar de zeeboot- (figuur 2.4) (voor *shortsea* schepen) of lichtbelader (figuur 2.5) (voor binnenvaartschepen) die de schepen van lading voorziet.



Figuur 2.4: zeebootbelader (EMO², 2010)



Figuur 2.5: lichtbelader (EMO², 2010)

De kombi graaft het bulkmateriaal uit de opslag zodra de bulk verder getransporteerd moet worden. Een transportband zorgt voor transport naar trein, schip of mengsilo. De mengsilo (figuur 2.6) wordt gebruikt voor het mengen van kolen zodat er een product ontstaat met de juiste chemische en fysische eigenschappen. De gemengde kolen worden vervolgens per transportband naar de E.ON kolencentrale getransporteerd of ze worden in een binnenvaartschip of trein geladen.



Figuur 2.6: mengsilo's EMO (EMO², 2010)

Per schip of trein zal de bulk uiteindelijk het achterland bereiken.

In de toekomst, als de kolen/biomassacentrale van Electrabel in bedrijf is genomen, zal er ook een transportband komen te lopen, die de kolen van de EMO-opslag naar de opslagsilo's van Electrabel transporteert.

Naast de op- en overslag van droge bulk kunnen de kolen op de terminal ook worden gewassen en gezeefd. Bij het wassen wordt verontreiniging verwijderd. Het zeven wordt toegepast om verschillende fracties te scheiden.

2.1.2 Indeling terminal

De EMO-terminal beschikt over een terminaloppervlak van circa 166 hectare. De twee belangrijkste onderdelen op de terminal zijn:

- Kade; voor de overslag van droge bulk.
- Opslag; als buffer om fluctuaties in aan- en afvoer op te vangen.

EMO maakt gebruik van twee verschillende vormen van opslag. Deze zijn:

- Opslag binnen bereik van kombi's (windrij);
- Opslag buiten bereik van kombi's (externe opslag).

Een windrij is een lang uitgerekte opslaggebied. In de meeste gevallen bestaat een totale opslag uit meerdere windrijen naast elkaar, zie figuur 2.7.



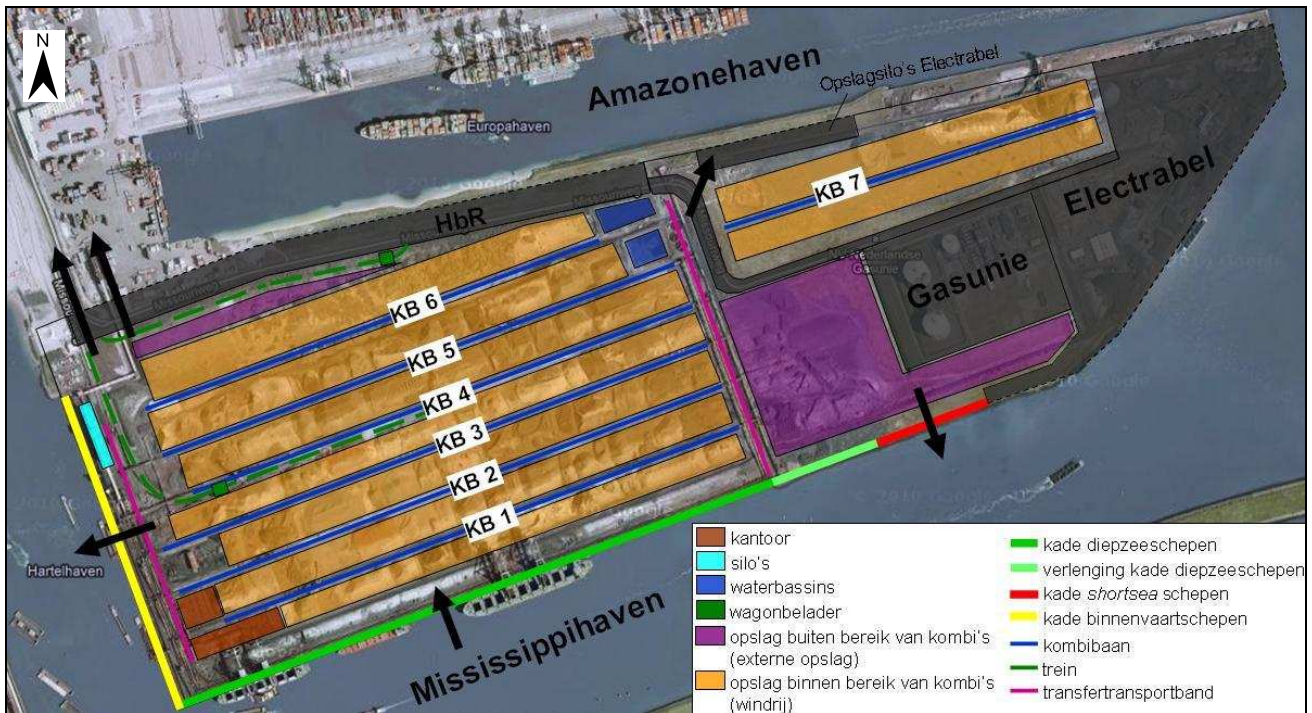
Figuur 2.7: opslag bestaande uit windrijen met daartussen de kombi's

De windrijvormige opslag is zeer efficiënt voor grote hoeveelheden droge bulk. De windrijvormige opslag kan ook volledig geautomatiseerd worden. Het nadeel, ten opzichte van externe opslag, is dat het minder flexibel is. Bij de externe opslag wordt de volledige opslag gecreëerd met dumpers en laadschoppen.

In hoofdstuk 4 komt de opslag van droge bulk nog ruimschoots aan de orde.

In figuur 2.8 is de indeling van de EMO-terminal te zien na verbreding van de Amazonehaven en het verplaatsen van de zeebootbelader (rood) van de noordkant naar de zuidkant van het schiereiland. Op de plek van kombibaan 7 (KB 7) is nu nog een *externe opslag*. Zodra de zeebootbelader daar weg is zal er begonnen worden met de aanleg van KB 7.

Waar de kade voor diepzeeschepen (groen) eerst tot aan de oostelijke transfertransportband liep, wordt deze met circa 290 meter verlengd (licht groen) tot aan de nieuwe kade voor *shortsea* schepen.



Figuur 2.8: indeling EMO-terminal

Met pijlen wordt, in figuur 2.8, de in- en uitstroom van de droge bulk weergegeven. De twee pijlen ten noordwesten van het schiereiland geven het transport per trein en het transport naar de E.ON kolencentrale weer. De pijl ten noordwesten van KB 7 laat het toekomstige kolentransport naar de opslagsilo's van Electrabel zien.

Loodrecht op de kombibanen lopen de transfertransportbanden (roze) die zorgen voor de aan- en afvoer van droge bulk van en naar de kombibanen.

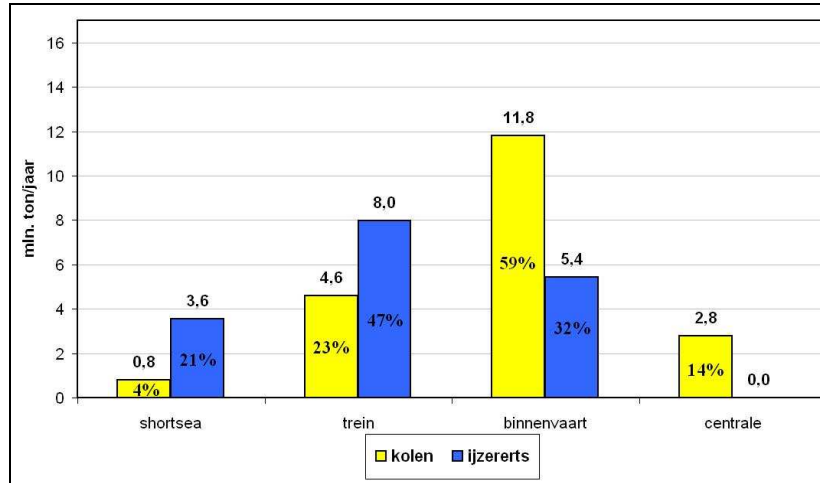
2.1.3 Aan- en afvoer droge bulk

Aanvoer

In 2008 hebben diepzeeschepen 37 miljoen ton aan droge bulk aangevoerd (EMO², 2010). De bulk bestaat voor ongeveer 57% uit kolen (21 mln. ton) en 43% uit ijzererts (16 mln. ton) (EMO¹, 2010). Van deze 37 miljoen ton bulk wordt circa 18% direct doorgevoerd (6,7 mln. ton) en komt dus niet in de opslag terecht.

Afvoer

De modaliteitenverdeling is weergegeven in figuur 2.9. Het aantal tonnen per modaliteit in 2008 is bepaald aan de hand van de modaliteitpercentages (EMO¹, 2010).



Figuur 2.9: modaliteitverdeling (EMO¹, 2010)

2.1.4 Oppervlakte van opslagterrein en terminal

Het volledige oppervlak van de terminal bedraagt circa 166 hectare. Hiervan neemt de opslag veruit het meeste ruimte in. Volgens de situatie die geschetst is in paragraaf 2.1.2 neemt de windrijvormige opslag circa 95 hectare en de externe opslag circa 16 hectare in beslag.

Het totale oppervlak van het opslagterrein komt hiermee op 111 hectare.

De rest van de ruimte (circa 55 ha) wordt ingenomen door:

- kantoorruimte
- silo's
- kademuren en -materieel
- spoortracé
- transportbanden
- waterbassins
- wegen

2.1.5 Kade

EMO beschikt over een kade voor diepzee-, shortsea- en binnenvaartschepen. Voor alle drie de kadetypes wordt in deze paragraaf de kadelengte en constructiediepte gegeven.

Diepzeeschepen

De kade voor diepzeeschepen bestaat uit de huidige kade (1.366 m) en een geplande verlenging van de kade (290 m). Na verlenging heeft de kade dan een lengte van 1.656 meter. Tussen de huidige kade en de nieuw te bouwen kade zit een stuk kade waar de kranen niet kunnen komen in verband met een transferpunt, dat ervoor zorgt dat de kadetransportband wordt verbonden met de transfertransportband (roze).

Na verlenging heeft de diepzeekade aan de Mississippihaven drie verschillende contractdieptes. De contractdiepte is de minimale diepte van de kade aan de waterzijde. In paragraaf 3.1.3 wordt de contractdiepte nader toegelicht. Hieronder worden de dieptes voor de diepzeekade beschreven van west naar oost.

Tweeënhalve ligplaats (888 m)	NAP -21,00 m
Anderhalve ligplaats (478 m)	NAP -22,35 m
Eén ligplaats (verlenging) (390 m)	NAP -18,00 m

Shortsea schepen

Het gaat hier om de nieuw te bouwen kade voor de zeebootbelader aan de Mississippihaven. De kade krijgt een lengte van 257 meter. De contractdiepte bedraagt NAP -18,00 m.

Eén ligplaats (257 m)	NAP -18,00 m
-----------------------	--------------

Binnenvaartschepen

De binnenvaartkade, die gelegen is aan de Hartelhaven, heeft een lengte van 700 meter. De contractdiepte bedraagt NAP – 5,35 m.

Drie ligplaatsen (700 m)	NAP -5,35 m
--------------------------	-------------

2.2 Electrabel

Electrabel is momenteel druk bezig met de bouw van een kolen/biomassacentrale. De nieuwe centrale krijgt een elektrisch vermogen van 800 megawatt (MWe), waarmee Electrabel in de toekomst aan de groeiende vraag naar energie kan voldoen.

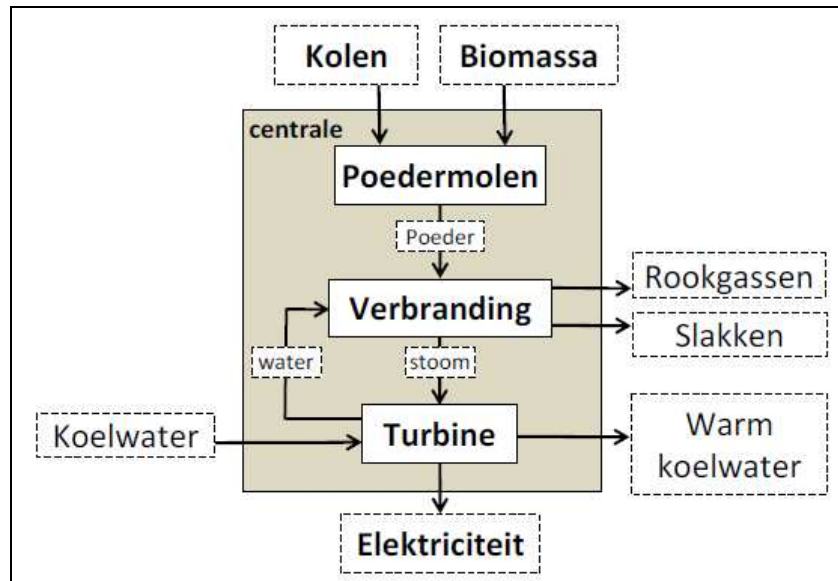


Figuur 2.10: nieuwe kolen/biomassacentrale (Electrabel, 2010)

Eerst wordt het proces beschreven dat plaatsvindt op het terrein van Electrabel. Vervolgens wordt de huidige situatie besproken. De indeling van de terminal, met de bijbehorende oppervlaktes, opslagvolumes en kadeafmetingen, komt hier aan de orde.

2.2.1 Proces

De kolen worden gelost en opgeslagen op het terrein van EMO. Vanaf het EMO-terrein worden de kolen per transportband naar de opslagsilo's van Electrabel getransporteerd. De silo's zorgen voor een voorraad van enkele dagen. Naast de bufferfunctie van de silo's kunnen de kolen hier ook gemengd worden. Vanuit de silo's worden de kolen naar de centrale getransporteerd. De kolen komen dan in de dagbunkers terecht. Voordat de kolen de verbrandingsketel in gaan worden ze eerst vermalen in de poedermolens, zie figuur 2.11.



Figuur 2.11: proces Electrabel

Electrabel heeft een eigen kade voor de schepen die beladen zijn met biomassa (droge houtpellets). De biomassa wordt gelost met een drijvende kraan en komt, via de transportband, terecht in de opslag. Voordat de houtpellets de verbrandingsketel in gaan worden ze, net als de kolen, eerst vermalen in de poedermolens. De poedermolens voor houtpellets wijken af van die voor kolen.

De poederkool en verpulverde biomassa worden in de verbrandingsketel geblazen waarna verbranding plaatsvindt.

Het water, dat in een gesloten systeem door de ketel loopt, verdampt. De stoom gaat via leidingen naar de (stoom)turbine waar, door middel van druk, de turbine in beweging wordt gebracht. De beweging wordt door een generator omgezet in elektriciteit. De stoom wordt vervolgens met koelwater gecondenseerd, waarna het weer hergebruikt wordt in de verbrandingsketel.

Bij het opwekken van elektriciteit blijven er naast elektriciteit ook drie restproducten over, namelijk:

- rookgassen
- slakken
- warm koelwater

In bijlage A worden alle drie de restproducten beschreven.

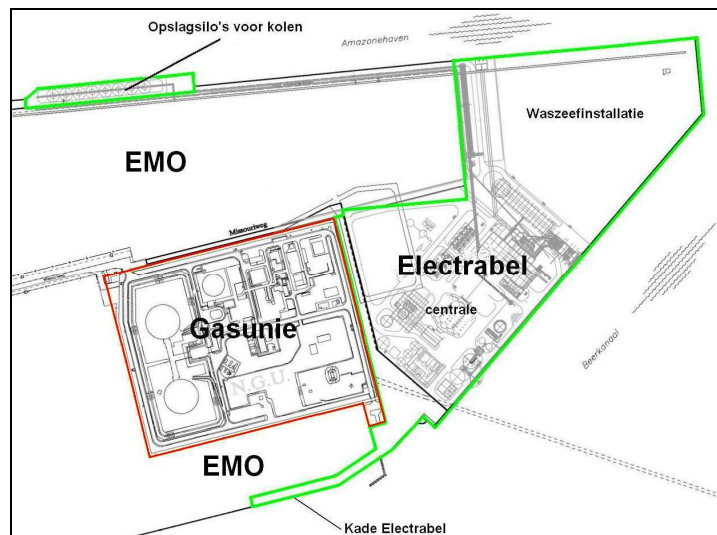
2.2.2 Indeling terrein

Electrabel is gelegen in het oostelijke gedeelte van het schiereiland, zie figuur 2.12. Het terrein bestaat hoofdzakelijk uit 5 onderdelen. Deze zijn:

- de centrale
- opslagsilo's voor kolen
- opslag voor biomassa
- kade voor schepen
- waszeefinstallatie

Voor de opslag van biomassa moet nog een geschikte locatie worden gevonden. Voorlopig zijn er twee locaties die in aanmerking komen. De eerste locatie bevindt zich op de grens

van Electrabel en de Gasunie. De tweede optie is aan de zuidzijde van de Gasunie. Dit terrein is nu nog in beheer van EMO. De kade is vooral nodig voor het lossen van de schepen met biomassa. Deze kade moet nog gerealiseerd worden. Op de locatie van de waszeefinstallatie heeft Electrabel een optie voor de bouw van een tweede energiecentrale.



Figuur 2.12: indeling Electrabel

2.2.3 Aanvoer en opslag van kolen en biomassa

Voor het produceren van 800 MWe vermogen is de aanvoer van brandstof nodig. De energiecentrale van Electrabel is geschikt voor het stoken van:

- kolen
- biomassa

Kolen

Steenkool is de primaire brandstof van de centrale. Als de centrale volledig operationeel is, wordt er 1,7 mln. ton kolen per jaar verstoekt (100% kolen gestookt) (ARCADISenElectrabel, 2006). Dit komt neer op 227 ton kolen per uur.

De kolen worden opgeslagen in silo's die samen opslagcapaciteit hebben van circa 48.000 m³. De opslag neemt in totaal circa 1,3 hectare in beslag.

Biomassa

Omdat steenkool de primaire brandstof is, wordt er voor biomassa geen strategische voorraad aangelegd. Alleen zodra biomassa voorradig is zal het bijgestookt worden. De centrale is ontworpen voor het bijstoken van maximaal 60% biomassa.

Voor de centrale op de Maasvlakte heeft Electrabel gekozen voor houtpellets als biobrandstof. Het is een restproduct uit de houtindustrie. Het fijne resthout wordt gedroogd en gepelletiseerd, zie figuur 2.13.



Figuur 2.13: houtpellets (Ecofys, 2005)

Het bijstoken van 60% biomassa betekent dat 60% van de energieproductie wordt geleverd door biomassa. Bij het maximaal bijstoken van biomassa (60%) wordt er gemiddeld 1,6 mln. ton per jaar (212 ton/uur) aan biomassa gestookt.

De exacte locatie voor de opslag van biomassa is nog onbekend. Wel wordt er gesproken over opslag in silo's. De volledige opslagcapaciteit van biomassa zal circa 100.000 m³ gaan bedragen (ARCADISenElectrabel, 2006). Volgens de huidige plannen zal de opslag een netto oppervlak van circa 0,5 hectare in beslag nemen. Het bruto oppervlak (circa 1,3 ha) dat nodig is voor de silo-opslag ligt 2,5 keer hoger dan het netto oppervlak.

2.2.4 Oppervlakte terrein

Voor de kolen/biomassacentrale huurt Electrabel een terreinoppervlak van circa 22 hectare van het Havenbedrijf Rotterdam. Dit oppervlak is voldoende voor de bouw van de eerste kolen/biomassacentrale. Wel moet er nog ruimte gevonden worden voor de biomassaopslag. In onderhandelingen tussen het Havenbedrijf Rotterdam en Electrabel is besloten dat het Havenbedrijf op zoek moet gaan naar een geschikte locatie voor de opslag van biomassa.

De ruimte van de waszeefinstallatie is gereserveerd voor de tweede kolen/biomassacentrale.

2.2.5 Kade

De kade voor schepen geladen met biomassa komt te liggen aan de zuidzijde van het schiereiland, zie figuur 2.12. De geplande kade krijgt een lengte van 248 meter. De contractdiepte wordt NAP -6,00 meter. Doordat er een drijvende kraan tussen de kade en het schip komt te liggen, die zorgt voor de overslag van biomassa, zal de contractdiepte ter plaatse van de ligplaats van het schip NAP -12,00 meter bedragen.

Eén ligplaats (248 m)	NAP -12,00 m
-----------------------	--------------

2.2.6 Kabels en leidingen

Het elektrisch vermogen van de centrale bedraagt 800 MWe. Hiervan is 50 MWe nodig voor eigen gebruik. De overige 750 MWe wordt aan het elektriciteitsnet geleverd. De opgewekte elektriciteit wordt met een spanning van 380 kV per kabel naar het elektrisch verdelstation getransporteerd. De kabels komen in de leidingstrook, die parallel aan de Missouriweg loopt, te liggen, zie figuur 2.14.



Figuur 2.14: leidingstrook EMO-schiereiland

Proceswater wordt uit het Brielse meer gehaald en per leiding stroomt het water naar het terrein van Electrabel. Het gaat om ongeveer 180 m³/h dat voornamelijk bestemd is voor de rookgasontzwavelingsinstallatie (bijlage A).

2.3 Gasunie

De Nederlandse Gasunie beschikt over een *peak shaver*. Deze installatie slaat vloeibaar gas op. Zodra er een grote vraag naar gas is, wordt het gasvormig gemaakt en toegevoegd aan het gastransportnet. De gasbuffer is aangelegd voor de Randstad (Gasunie, 2010).

De *peak shaver* van Gasunie is gebouwd in de periode dat de Maasvlakte nog één grote vlakte was. Ruimtegebrek in de haven bestond toen nog niet en elke klant was meer dan welkom. Achteraf is gebleken dat de gekozen locatie niet de meest ideale locatie is voor de *peak shaver*. Door de centrale ligging op het schiereiland ontstaan er veel “dode hoeken” op het EMO-schiereiland, die niet zeer waardevol zijn voor de andere bedrijven.



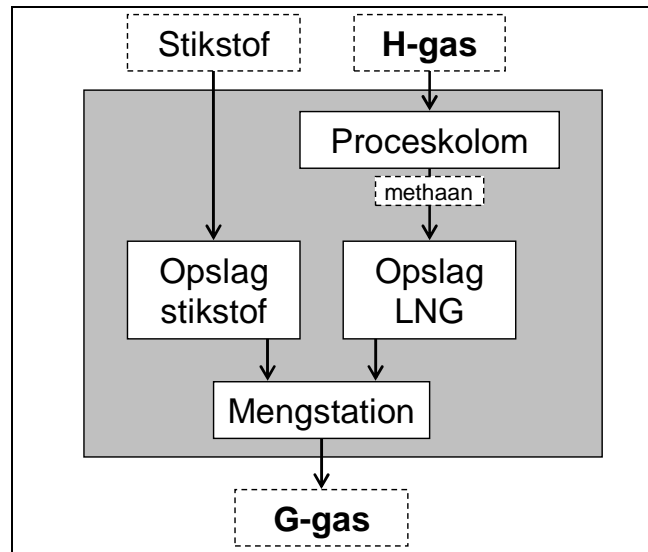
Figuur 2.15: *peak shaver* Gasunie op de Maasvlakte

In deze paragraaf wordt gekeken naar het proces van de *peak shaver* en de huidige situatie op het terrein.

2.3.1 Proces

Via een leiding wordt er hoogcalorisch gas (H-gas) aangevoerd, zie figuur 2.16. In de proceskolom wordt het gas afgekoeld tot een temperatuur van $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gate terminal bv, 2005). Hierdoor condenseert het gas waardoor LNG (Liquefied Natural Gas) ontstaat. LNG wordt ook wel vloeibaar methaan (CH_4) genoemd. Het gas wordt gecondenseerd omdat het volume van LNG 600 keer kleiner is dan dat van aardgas. De LNG wordt vervolgens opgeslagen in twee grote opslagtanks.

Zodra er een piekvraag is aan gas wordt de LNG verdampt waardoor er weer H-gas ontstaat. De openbare markt gebruikt echter “Groningen gas” (G-gas). G-gas heeft een iets lagere calorische waarde. Om dit te bereiken wordt H-gas aangemengd met stikstof zodat er G-gas ontstaat. Op het terrein van Gasunie is één stikstoftank aanwezig voor opslag van stikstof. Na het mengstation wordt het gas geïnjecteerd in het gastransportnet voor de Randstad.



Figuur 2.16: proces peak shaver

2.3.2 Indeling terrein

Gasunie bevindt zich centraal op het EMO-schiereiland. Door de hoge investeringskosten in de *peak shaver* is het verhuizen van de *peak shaver* niet rendabel.

Op het maaiveld bevinden zich een aantal tanks en gebouwen. Ondergronds bevindt zich een complex netwerk aan leidingen.

2.3.3 Oppervlakte terrein

Voor de *peak shaver* huurt de Nederlandse Gasunie een terreinoppervlak van circa 12 hectare van het Havenbedrijf Rotterdam. Dit terrein is volledig in gebruik. Aan de oostkant is het mogelijk om een dunne strook te gebruiken voor andere doeleinden. Hiervoor moet wel een gasleiding worden omgelegd.

2.3.4 Kabels en leidingen

Er lopen twee grote (diameter >500 mm) en drie kleinere gasleidingen (diameter <500 mm) naar de Gasunie. Vier van deze leidingen liggen in de leidingstrook die langs de Missouriweg loopt, zie figuur 2.14. Eén gasleiding gaat de andere richting op naar het zuidoosten onder de Mississippihaven door.

2.4 Relaties tussen bedrijven

Op het EMO-schiereiland hebben alleen EMO en Electrabel een nauwe relatie. Doordat Gasunie enkel gas opslaat, bestaat er geen relatie tussen Gasunie en één van de andere twee bedrijven.

EMO en Electrabel zitten op het gebied van kolen in dezelfde transportketen. Hierbij zorgt EMO voor de op- en overslag en is Electrabel de eindgebruiker van de kolen. Doordat de twee bedrijven naast elkaar liggen kunnen de kolen vanaf het EMO-terrein eenvoudig per transportband worden aangeleverd bij Electrabel. Het aantal handelingen in de keten is hiermee beperkt.

Naast de relatie op het gebied van kolen is er ook samenwerking mogelijk op het gebied van biomassa. EMO zou, als specialist in op- en overslag van droge bulk, het overslaan van de biomassa voor zijn rekening kunnen nemen. De kade voor het lossen van biomassa komt dan in handen van EMO. Hierdoor kan er een efficiëntere kadebezetting plaatsvinden.

3. Capaciteitsanalyse EMO-schiereiland

In dit hoofdstuk wordt er een capaciteitsanalyse uitgevoerd. Een capaciteitsanalyse moet inzicht geven in de benodigde oppervlaktes en afmetingen van de verschillende onderdelen, die zich op het terrein bevinden. De analyse wordt vergeleken met de waardes van de huidige situatie (hoofdstuk 2). Uit de analyse moet blijken of er daadwerkelijk ruimtegebrek dreigt op het EMO-schiereiland.

Per paragraaf wordt er een bedrijf geanalyseerd. Omdat Gasunie niet van plan is om uit te breiden of te krimpen en er weinig ruimte valt te intensiveren door de complexiteit van de installatie zal voor het terrein van Gasunie geen capaciteitsanalyse worden uitgevoerd. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een conclusie waarin geconcludeerd wordt of er daadwerkelijk ruimtegebrek dreigt op het EMO-schiereiland.

3.1 EMO

Bij de capaciteitsanalyse voor de EMO-terminal wordt er met behulp van berekeningen gekeken naar:

- opslagcapaciteit
- oppervlakte van het opslagterrein
- kademuuren

De berekende waardes worden vergeleken met de huidige situatie.

3.1.1 Benodigde opslagcapaciteit

Van de jaarlijkse aanvoer van droge bulk wordt circa 30,3 miljoen ton (82%) opgeslagen.

Voor het bepalen van de opslagcapaciteit is niet alleen de hoeveelheid bulk van belang maar ook:

- verblijftijd;
- aankomst-/afslagpatroon van de droge bulk;
- bezettingsgraad van de grond.

De opslagcapaciteit wordt bepaald aan de hand van de volgende formule (Huijstee, 2004):

$$C_t = \frac{C_o}{m \cdot v \cdot (365/t)}$$

waarin: C_t = opslagcapaciteit [ton]

C_o = jaarlijkse aanvoer van droge bulk [ton/jaar]

m = gemiddelde bezettingsgraad in de tijd, om fluctuaties in aan-/afvoer op te vangen [-]

v = ruimtelijke bezettingsgraad, verlies door het niet optimaal benutten van de ruimte [-]

t = gemiddelde verblijftijd van een bulkpartij [dagen]

Een parameter voor de bezettingsgraad in tijd (m) is nodig om de fluctuaties in aan- en afvoer van lading mee te nemen bij het bepalen van de opslagcapaciteit. Door extra ruimte te reserveren kunnen de pieken in aanvoer en dalen in afvoer worden opgevangen.

In 2004 was de bezettingsgraad van EMO 90% (Huijstee, 2004). Hierbij gaat men er vanuit dat bij een overschrijding van de opslagcapaciteit er extern, buiten het bereik van de kombi's, nog bulk kan worden opgeslagen. In deze analyse wordt er vanuit gegaan dat er geen extern terrein beschikbaar is en dat de volledige opslag binnen bereik van de kombi's zal zijn. Een

piek in de aanvoer of dal in de afvoer kan hierdoor niet tijdelijk worden opgevangen met de externe opslag. De capaciteit van de externe opslag is echter maar beperkt. Er wordt daarom aangenomen dat de bezettingsgraad 85% is.

De ruimtelijke bezettingsgraad (v) wordt bepaald door de bulkpartijen in de opslag. Als een partij in de opslag komt dan wordt het keurig langs de randen en tot de maximale hoogte gestort. Het probleem is echter dat bij de afslag maar kleine gedeeltes van de opgeslagen partij worden afgegraven. Hierdoor neemt een partij meer ruimte in dan noodzakelijk is. Om dit probleem enigszins te beperken wordt de bulkpartij, met behulp van laadschoppen, weer in model gebracht waardoor het terreinoppervlak van de partij verkleind wordt. Volgens EMO bedroeg in 2004 het ruimteverlies 15% (Huijstee, 2004). De werkwijze bij EMO heeft sindsdien geen grote veranderingen ondergaan. Een ruimtelijke bezettingsgraad van 85% zal daarom worden aangenomen.

In 2004 bedroeg de gemiddelde verblijftijd (t) 70 dagen (Huijstee, 2004). Met name doordat traders en mijnbouwondernemingen anticiperen op prijschommelingen in de kolenmarkt, is de verblijftijd van kolen de laatste jaren verder gestegen. De gemiddelde verblijftijd wordt geschat op 80 dagen.

De benodigde opslagcapaciteit voor droge bulk komt hiermee op:

$$C_i = \frac{30,3 \cdot 10^6}{0,85 \cdot 0,85 \cdot (365/80)} = 9,19 \cdot 10^6 \text{ ton}$$

3.1.2 Oppervlakte opslagterrein

Met behulp van de benodigde opslagcapaciteit (paragraaf 3.1.1) kan de oppervlakte van het opslagterrein bepaald worden.

Om het oppervlak van het opslagterrein te bepalen wordt eerst het gewicht van de droge bulk omgezet in volume. Vervolgens wordt er een formule opgesteld die de verhouding weergeeft tussen het opslagvolume en de vorm van de opslag. Door het opslagvolume gelijk te stellen aan het volume droge bulk kan het oppervlak van de opslag bepaald worden. Als laatste stap wordt het oppervlak nog geoptimaliseerd zodat het minimale oppervlak berekend wordt.

Volume droge bulk

Het opslagterrein heeft een capaciteit nodig van 9,19 mln. ton om de droge bulk op te slaan. Dit is onder te verdelen in circa 5,24 mln. ton kolen (57%) en 3,95 mln. ton ijzererts (43%). Voor het storten van kolen en erts wordt de gemiddelde stuwfactor aangenomen. Voor kolen is dat 1,24 m³/ton en voor ijzererts 0,40 m³/ton.

Voor het bepalen van het terreinoppervlak is het totale volume aan droge bulk nodig. Deze wordt als volgt bepaald:

$$V_{\text{droge bulk}} = V_{\text{kolen}} + V_{\text{ijzererts}}$$

waarin: $V_{\text{droge bulk}}$ = totale volume droge bulk [m³]

V_{kolen} = volume kolen [m³]

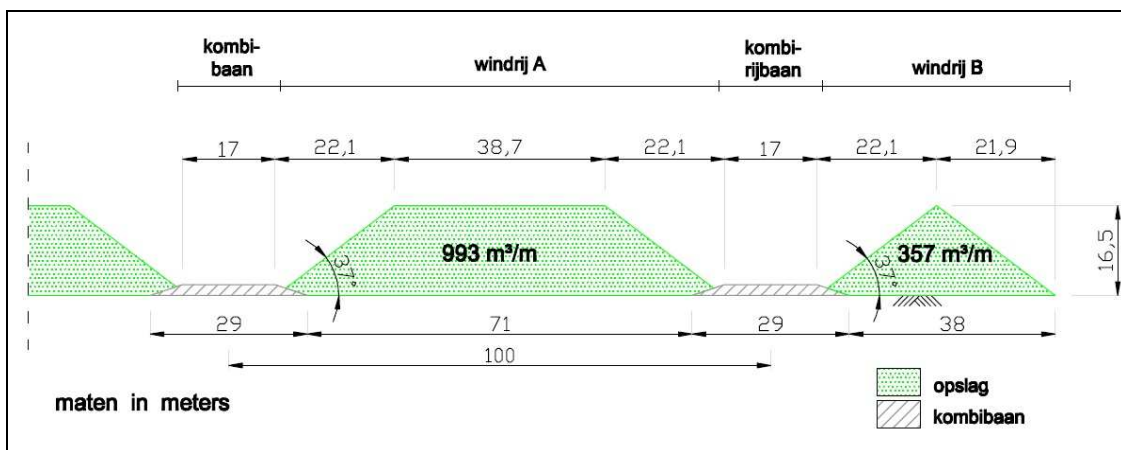
$V_{\text{ijzererts}}$ = volume ijzererts [m³]

Het totale volume aan droge bulk wordt dan:

$$V_{\text{droge bulk}} = 5,24 \cdot 10^6 \cdot 1,24 + 3,95 \cdot 10^6 \cdot 0,40 = 8,08 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Opslagvolume

Het opslagterrein voor kolen en ijzererts bestaat uit lange windrijen, zie figuur 3.1. Tussen twee windrijen ligt een kombibaan waarover de kombi zich verplaatst. Alle windrijen, met uitzondering van de buitenste twee, kunnen aan beide kanten bereikt worden door kombi's. Een droge bulkpartij die tussen twee kombibanen in komt te liggen (windrij A) heeft een trapeziumvorm. De buitenste windrijen (windrij B) hebben een zuivere driehoeksvorm.



Figuur 3.1: doorsnede van het opslagterrein

Voor de opslag worden de volgende aannames gedaan (Huijstee, 2004):

- gemiddelde storthoek voor kolen bedraagt 38° ;
- gemiddelde storthoek voor ijzererts bedraagt 36° ;
- hart op hart afstand tussen de kombibanen bedraagt 100 m;
- maximale storthoogte bedraagt 18 m;

Omdat de storthoek van kolen bijna gelijk is aan die van ijzererts wordt er gekozen voor een storthoek van 37° voor zowel kolen als ijzererts.

Niet alle kombi's kunnen tot een hoogte van 18 meter storten. Er wordt daarom een gemiddelde storthoogte van 16,5 meter aangehouden.

Om ervoor te zorgen dat de kombibaan vrij blijft van bulkmateriaal wordt de bulk tot op tweederde van het talud aangenomen. Deze aanname is gedaan op basis van een visuele inschatting. De bufferzone, tussen het bulktaled en de kombibaan, kan afschuiving van het talud of het rollen van bulkfracties opvangen. Naast de bufferfunctie zorgt de vrije ruimte er ook voor dat het materieel, dat niet onder de kombi door kan, er omheen kan rijden. Hierdoor hoeft het materieel niet een grote omweg te maken.

Voor de terreinbaan tussen de twee kombibanen geldt een volume van ongeveer $993 \text{ m}^3/\text{m}$ en voor de buitenste terreinbaan is dit ongeveer $357 \text{ m}^3/\text{m}$.

Elke windrij is opgebouwd uit meerdere bulkpartijen. Deze bulkpartijen sluiten niet naadloos op elkaar aan. Dit komt doordat elke klant de eigen bulkpartij apart wil opslaan om kwaliteitsverlies van zijn bulkpartij tegen te gaan. Aan de hand van een visuele inschatting wordt een volumeverlies van 15% aangenomen.

Aan de hand van deze gegevens kan de volgende formule worden opgesteld voor het bepalen van het totale volume van de opslag:

$$V_{\text{totale opslag}} = \text{volume verlies} \cdot (V_{\text{windrij A}} + V_{\text{windrij B}})$$

$$= 0.85 \cdot (993 \cdot x_A + 357 \cdot x_B)$$

waarin: $V_{\text{totale opslag}}$ = totale opslagvolume [m³]
 $V_{\text{windrij A}}$ = opslagvolume windrij A [m³]
 $V_{\text{windrij B}}$ = opslagvolume windrij B [m³]
 x_A = totale lengte windrij A [m]
 x_B = totale lengte windrij B [m]

Het uiteindelijke doel is om de oppervlakte van het opslagterrein zo klein mogelijk te krijgen. Ter vereenvoudiging wordt er uitgegaan van een rechthoekig opslagterrein. Dit komt redelijk overeen met de vorm van het schiereiland. Hierdoor kan worden aangenomen dat de lengte van elke windrij gelijk is ($x_A = n \cdot x$ en $x_B = 2 \cdot x$, met: x = lengte windrij en n = aantal windrijen A). De vergelijking voor het totale volume van de opslag wordt dan:

$$V_{\text{totale opslag}} = 844 \cdot x \cdot n + 2 \cdot 303 \cdot x$$

$$= (844 \cdot n + 606) \cdot x$$

waarin: x = lengte van één windrij [m]
 n = aantal windrijen A

De breedte van de opslag kan bepaald worden met het aantal windrijen A (n). De formule hiervoor luidt:

$$b_{\text{totale opslag}} = (2 \cdot b_{\text{windrij B}} + b_{\text{windrij A}} \cdot n + (n + 1) \cdot b_{\text{kombibaan}})$$

$$= (105 + 100n)$$

waarin: $b_{\text{totale opslag}}$ = totale breedte opslagterrein [m]
 $b_{\text{windrij B}}$ = breedte windrij B (44 m) [m]
 $b_{\text{windrij A}}$ = breedte windrij A (83 m) [m]
 $b_{\text{kombibaan}}$ = breedte kombibaan (17 m) [m]

De vergelijking $b_{\text{totale opslag}}$ kan vervolgens gesubstitueerd worden in $V_{\text{totale opslag}}$. Hierdoor ontstaat de formule die de verhouding weergeeft tussen het volume en de oppervlakte van de opslag. De formule ziet er als volgt uit:

$$V_{\text{totale opslag}} = (8,44 \cdot b_{\text{totale opslag}} - 280,2) \cdot x$$

Volume droge bulk is gelijk aan het opslagvolume

Het totale volume droge bulk ($V_{droge\ bulk}$) kan gelijk worden gesteld aan het totale volume van de opslag ($V_{totale\ opslag}$). Hieruit ontstaat de onderstaande functie:

$$V_{droge\ bulk} = V_{totale\ opslag}$$

$$8,08 \cdot 10^6 = (8,44 \cdot b_{totale\ opslag} - 280,2) \cdot x$$

Optimalisatie van de oppervlakte

Om de juiste verhouding tussen de lengte en de breedte van de opslag te krijgen wordt er een formule opgesteld voor het oppervlak van het opslagterrein, uitgedrukt in lengte en breedte.

Het oppervlak van het rechthoekige opslagterrein kan bepaald worden met behulp van de volgende vergelijking:

$$A_{opslagterrein} = x \cdot b_{totale\ opslag}$$

waarin: $A_{opslagterrein}$ = totale oppervlakte opslagterrein [m²]
 x = lengte van één windrij [m]
 $b_{totale\ opslag}$ = totale breedte opslagterrein [m]

Door vergelijking $V_{totale\ opslag}$ te substitueren in $A_{opslagterrein}$ ontstaat er een functie met twee onbekenden. De vergelijking ziet er als volgt uit:

$$A_{opslagterrein} = 33,2 \cdot x + 95,74 \cdot 10^4$$

waarin: $A_{opslagterrein}$ = totale oppervlakte opslagterrein [m²]
 x = lengte van één windrij [m]

Uit deze functie blijkt dat voor een minimaal oppervlak van het opslagterrein de lengte (x) klein moet zijn en breedte ($b_{totale\ opslag}$) dus groot. Echter, de breedte van het schiereiland is beperkt waardoor er maximaal vijf windrijen (n) mogelijk zijn bij de gegeven afmetingen. Daarnaast heeft men ook te maken met een minimale lengte van een kombibaan zodat het werkterrein per kombi niet te klein wordt. Dit zou leiden tot een te lage productie per kombi ten opzichte van de investering.

Bij vijf windrijen (n) wordt het oppervlak van het opslagterrein circa 101 ha (1674 x 605 m). Hiermee is bijna het volledige opslagterrein (circa 111 ha) in gebruik.

3.1.3 Kade

Voor het lossen van diepzeeschepen en het laden van *shortsea*- en binnenvaartschepen zijn kades nodig. De lengte van de kades hangt af van het aantal ligplaatsen en de gemiddelde scheepslengte. Hiervoor geldt de volgende formule (Ligtingen, 2007):

$$L_q = 1,1 \cdot n \cdot (\bar{L}_s + 15) + 15$$

met: $n = \frac{C_s}{C_b}$

waarin: L_q = kadelengte [m]
 n = aantal ligplaatsen [-]
 \bar{L}_s = gemiddelde scheepslengte [m]
 C_s = benodigde capaciteit [ton/jaar]
 C_b = ligplaatscapaciteit [ton/jaar]

De capaciteit per ligplaats hangt af van een aantal factoren:

- capaciteit van de kranen/beladers
- bezettingsgraad van de kranen/beladers
- aantal operationele uren

De standaard formule die geldt voor de ligplaatscapaciteit is (Ligtingen, 2007):

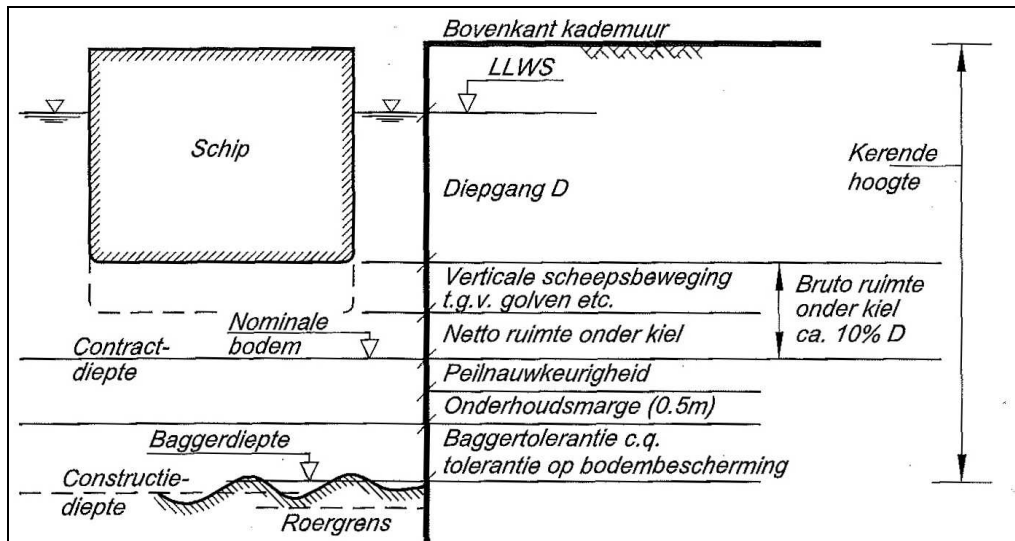
$$C_b = p \cdot t_n \cdot m_b$$

waarin: C_b = ligplaatscapaciteit [ton/jaar]
 p = gemiddelde productie [ton/uur]
 t_n = aantal operationele uren per jaar [uren]
 m_b = kade bezettingsgraad [-]

De terminal is 24 uur per dag en 7 dagen per week in bedrijf. Vanwege bijvoorbeeld feestdagen of slecht weer vindt er oponthoud plaats. Voor 95% van de tijd (347 dagen/jaar) is de terminal operationeel (Huijstee, 2004).

Naast de kadelengte is ook de waterdiepte voor de kademuur van belang. Er is hierbij een verschil tussen contract- en constructiediepte (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, e.a., 2003).

De contractdiepte is opgebouwd uit: laag laagwater spring (LLWS), maximale diepgang (D), verticale bewegingen ten gevolge van golven, slagzij, trim en ruimte voor onder kiel. Voor de verticale beweging en de ruimte voor de onder kiel mag 10% van de maximale diepgang worden aangenomen, zie figuur 3.2.



Figuur 3.2: Invloedsfactoren bij contract- en constructiediepte (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, e.a., 2003)

Voor de contractdiepte geldt de volgende formule (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, e.a., 2003):

$$d_{\text{contract}} = LLWS - 1,1 * D$$

waarin: d_{contract} = diepte ligplaats t.o.v. NAP [m]
 D = maximale diepgang schip [m]

De constructiediepte is de contractdiepte plus onderhoudsmarge, peilnauwkeurigheid en baggertoleranties.

De onderhoudsmarge is de ruimte voor sedimentatie. Peilnauwkeurigheid is de nauwkeurigheid van meetresultaten van het peilen. In de Rotterdamse haven wordt voor de onderhoudsmarge en peilnauwkeurigheid samen 0,5 meter aangehouden. De baggertolerantie is afhankelijk van de waterdiepte en kan oplopen van 0,2 tot 0,7 meter.

Alleen de contractdiepte wordt berekend in dit hoofdstuk omdat deze vergeleken wordt met de huidige contractdiepte die beschreven is in hoofdstuk 2. Aan de constructiediepte wordt verder in deze studie geen aandacht meer besteed.

Het maaiveld (bovenkant kademuur) ligt in alle gevallen op NAP +5,0 meter.

In deze paragraaf zal een onderscheid gemaakt worden tussen de kademuur voor diepzee-, shortsea- en binnenvaartschepen.

Diepzeeschepen

Kadelengte

Jaarlijks wordt er 37 mln. ton droge bulk gelost (C_s) aan de kade voor diepzeeschepen.

EMO beschikt over vier grijpkranen en één drijvende kraan voor het lossen van de lading. Zodra de diepzeekade is verlengd met 290 meter komt er nog een grijpkraan bij. Voor de

berekening wordt deze niet meegenomen omdat er gekeken wordt of uitbreiding van de capaciteit überhaupt wel nodig is. Aan de hand van het aantal ligplaatsen die berekend worden, kan beoordeeld worden of een extra kraan en extra kadelengte daadwerkelijk noodzakelijk is.

De capaciteit van de kadekranen (oude en nieuwe grijpkranen), die momenteel in bedrijf zijn, is te vinden in de tabel hieronder (Huijstee, 2004). Van de drijvende kraan is alleen de maximale capaciteit bekend. Om de effectieve capaciteit van de drijvende kraan te bepalen is het gemiddelde percentage van de nieuwe en oude grijpkraan genomen.

	Maximum capaciteit [ton/uur]	Effectieve capaciteit [ton/uur]	Percentage van maximale capaciteit
2 nieuwe grijpkranen	4000	2100 (kolen) 2500 (ijzererts)	52,5 % 62,5 %
2 oude grijpkranen	2500	1600 (kolen) 2000 (ijzererts)	64 % 80 %
Drijvende kraan	750	435 (kolen) 533 (ijzererts)	58 % 71 %

Tabel 1: capaciteit kranen (Huijstee, 2004)

Voor een berekening wordt er gebruik gemaakt van de effectieve capaciteit. De effectieve capaciteit is gedefinieerd als de gemiddelde capaciteit voor het lossen van een volledige scheepslading. De benodigde interrupties voor het veranderen van ruim, opruimen, trimmen, etc., zijn hierbij inbegrepen. Het moment dat de terminal niet operationeel is wordt hierin niet meegenomen.

Uit onderzoek van EMO in 2004 blijkt dat de bezettingsgraad van de ligplaats 61% bedraagt. Doordat bij deze terminal de kade uit meerdere ligplaatsen zal bestaan en er een kadebezettingsgraad is van 61% (Huijstee, 2004) kan er verondersteld worden dat er altijd minimaal één schip aan de kade ligt dat gelost wordt.

Door de flexibiliteit van de kranen langs de kade kunnen alle vier de kranen dan op één schip ingezet worden. Hierdoor kunnen alle kranen bijna continu ingezet worden. Toch moet er ook rekening worden gehouden met stilstand van kranen door storing of onderhoud. Door de stilstand van één kraan kan vaak ook een andere kraan niet ingezet worden bij het lossen van een schip. Ook komt het voor dat een schip te klein is voor het lossen met alle kranen. Aangenomen wordt dat 90% van de tijd de kranen operationeel kunnen zijn.

Met al deze gegevens kan berekend worden wat de te behalen productie per ligplaats is. De te behalen productie per ligplaats, uitgaande van 4 ligplaatsen, komt uit op 1.902 ton per uur (bijlage B1). Op jaarbasis zal de gemiddelde productie per ligplaats dan 9,7 miljoen ton bedragen. Bij een productie van 37 miljoen ton per jaar zullen er dan 4 ligplaatsen nodig zijn.

Bij een jaarlijkse aanvoer van meer dan 38,8 miljoen ton zal de ligplaatscapaciteit verhoogd of de kade met een ligplaats verlengd moeten worden. Bij het verlengen van de kade moet er wel een extra kraan worden aangeschaft.

Doordat er al vijf kranen actief zijn, aan een kade voor vier ligplaatsen, is het opvoeren van de ligplaatscapaciteit lastig. Het verlengen van de kade met een extra kraan lijkt dan ook de juiste keuze.

De gemiddelde lengte van een schip dat aan de diepzeekade kwam te liggen in 2008 bedraagt, volgens de data van het HbR, 267 meter. Bij het toepassen van vier ligplaatsen wordt de kadelengte 1.256 meter.

Dit komt in de buurt van de huidige kadelenkte (1.366 m). Zodra de aanvoer van droge bulk serieus gaat groeien, zal er een vijfde ligplaats bij moeten komen waardoor de theoretische kadelenkte 1.566 meter wordt. Dit is 90 meter korter dan de geplande kadelenkte van 1.656 meter (na verlenging). Dat de theoretische kadelenkte korter is dan de geplande kadelenkte valt te verklaren doordat de transfertransportband een gedeelte van de kade in beslag neemt. Op de plek van de transfertransportband kunnen de grijpkranen niet komen waardoor de kade langer moet worden uitgevoerd.

Contractdiepte

De maximale diepgang van de diepzeeschepen wordt aangenomen op 20,0 meter. Enkele schepen hebben diepgang die groter is dan 20 meter. Deze schepen zullen dan niet bij LLWS kunnen afmeren. De LLWS in de Mississippihaven bedraagt NAP -1,25 m (Havenbedrijf Rotterdam, 2004). Hiermee wordt de contractdiepte van de ligplaatsen NAP -23,25 m (bijlage B1).

In de huidige situatie ligt de contractdiepte ($d_{contract} = \text{NAP} -22,35 \text{ m}$) bijna een meter hoger dan de theoretische diepte. Dit betekent dat sommige schepen die maximaal beladen zijn bij laagwater niet kunnen afmeren aan de kade.

Shortsea schepen

Kadelenkte

In de modaliteitverdeling is te zien dat er jaarlijks ongeveer 4,4 mln. ton aan droge bulk (18% kolen en 82% ijzererts) via shortsea schepen naar andere havens wordt getransporteerd. De *shortsea* schepen worden beladen met behulp van een zeebootbelader die een productie heeft van 3.000 ton/uur voor kolen en 5.000 ton/uur voor ijzererts (Huijstee, 2004). Door storingen en onderhoud staat de zeebootbelader ongeveer 10% van de tijd stil. EMO beschikt over één zeebootbelader waardoor er ook maar één ligplaats nodig is. Hiervoor wordt een bezettingsgraad van 0,60 aangenomen (Ligtingen, 2007). Uit berekening (bijlage B1) blijkt dat één ligplaats voldoende is en de bezettingsgraad veel te laag is.

Doordat de kade uit één ligplaats bestaat moet de maatgevende scheepslengte in plaats van de gemiddelde lengte aangehouden worden. Bij één ligplaats verandert de functie voor het bepalen van de kadelenkte in:

$$L_{q \text{ shortsea schepen}} = 1 \cdot (L_s + 15) + 15$$

De shortsea schepen die bij EMO afmeren hebben een maximale afmeting van Panamax formaat (lengte 290 m). De kadelenkte die één ligplaats nodig heeft, komt dan uit op 320 meter.

In vergelijking met de geplande kadelenkte voor *shortsea* schepen (257 m) is de theoretische kadelenkte wat aan de lange kant.

Doordat de geplande kade naast de kade voor diepzeeschepen komt te liggen kan er flexibeler met de kadelenkte worden omgegaan. De kade voor *shortsea* schepen kan dus korter dan de theoretisch benodigde lengte worden uitgevoerd.

Contractdiepte

Panamax schepen hebben een maatgevende diepgang van 12 m. De benodigde contractdiepte voor de ligplaats van *shortsea* schepen komt hiermee op NAP -14,45 m.

De geplande contractdiepte voor *shortsea* schepen ($d_{contract} = \text{NAP} - 18,00 \text{ m}$) is een stuk groter dan de theoretische diepte.

Door de grotere diepte is de kade multifunctioneel. Met een contractdiepte van 18 meter kunnen ook diepzeeschepen, van de naastgelegen diepzeekade, gebruik maken van deze kade.

Binnenvaartschepen

Kadelengte

De afvoer van bulk per binnenvaartschip is, met 17,4 mln. ton per jaar (59% kolen en 32% ijzererts), veruit de grootste modaliteit. EMO beschikt over 3 lichtbeladers, met elk een productie van 2.000 ton/uur, om alle binnenvaartschepen te beladen (Huijstee, 2004). Omdat de kade uit meerdere ligplaatsen zal bestaan wordt er een bezettingsgraad van 65% aangenomen. Door storingen en onderhoud staan de lichtbeladers ongeveer 10% van de tijd stil (Huijstee, 2004).

Met al deze gegevens komt de ligplaatscapaciteit uit op 9,7 miljoen ton per jaar (bijlage B1). Om de jaarlijkse productie te behalen zijn er dan twee ligplaatsen nodig.

In de huidige situatie zijn er drie ligplaatsen voor binnenvaartschepen. De overcapaciteit aan ligplaatsen komt door een verschuiving in de modaliteitverdeling. De binnenvaart is iets afgenomen en het vervoer per spoor is toegenomen gedurende de laatste jaren. Dit verklaart het overschot aan ligplaatsen voor binnenvaartschepen.

Voor de binnenvaart binnen Europa geldt een maximale diepgang van 4,5 meter. De scheepslengte kan variëren van 40 m (CEMT-klasse 1) tot 285 m (CEMT-klasse VII). Er meren voornamelijk schepen en duwkonvooien uit CEMT-klasse V, VI en VII aan bij EMO. De gemiddelde lengte wordt geschat op ongeveer 180 meter. Bij drie ligplaatsen krijgt de kade een lengte van 659 meter (bijlage B1).

Dit komt redelijk overeen met de 700 meter kade die momenteel beschikbaar is voor de binnenvaartschepen. Echter in de huidige situatie zou een kadelengte van 444 meter (2 ligplaatsen) voldoen.

Contractdiepte

Met de maximale diepgang voor binnenvaartschepen (4,5 m) kan de contractdiepte berekend worden (bijlage B). De contractdiepte komt uit op NAP -6,2 m.

De theoretische diepte ligt ongeveer een meter lager dan de huidige diepte. Dit betekent dat niet onder alle condities een vol geladen binnenvaartschip kan afmeren aan de kade.

3.1.4 Conclusie

Uit de capaciteitsanalyse kan het volgende geconcludeerd worden. Als de geplande groei van EMO doorzet dan:

- ontstaat er ruimtegebrek in de opslag ($V_{beschikbaar} < V_{benodigd}$);
- zal de diepzeekade, zoals gepland, verlengd moet worden;
- is verlenging en het uitdiepen van de shortsea- en binnenvaartkade niet nodig.

Rekening moet worden gehouden met het feit dat bij de verbreding van de Amazonehaven en de aanleg van kombibaan 7 er gedurende de uitvoering van de werkzaamheden een gedeelte van de opslag niet beschikbaar is. Dit kan oplopen tot 10% van het totale oppervlak van de opslag.

3.2 Electrabel

Bij de capaciteitsanalyse voor Electrabel wordt er met behulp van berekeningen gekeken naar:

- opslagcapaciteit van biomassa;
- lengte en diepte van de kademuur;
- tweede kolen/biomassacentrale.

De benodigde ruimte voor de verschillende onderdelen wordt vergeleken met de huidige situatie.

De opslagcapaciteit voor kolen wordt niet geanalyseerd vanwege het feit dat dit niet de volledige opslag is voor de centrale. Het grootste gedeelte van de opslag bevindt zich op het EMO-terrein. De buffer die Electrabel creëert op het eigen terrein is nodig voor het geval dat EMO tijdelijk geen kolen kan aanleveren. Electrabel verwacht circa 48.000 m³ nodig te hebben als buffer. Met een buffer van 48.000 m³ kolen kan Electrabel nog ruim een week vooruit zonder in de problemen te komen.

De capaciteitsanalyse geeft inzicht in de theoretische benodigde oppervlaktes, opslagvolumes en kadeafmetingen. De analyse wordt vergeleken met de huidige situatie (paragraaf 2.2). Hieruit zal blijken of de geplande situatie overeen komt met de theoretische situatie.

De paragraaf wordt afgesloten met een conclusie.

3.2.1 Benodigde opslagcapaciteit biomassa

De houtpellets worden per schip aangevoerd. Het maatgevende schip is een Panamax type met een Dead Weight Tonnage van 70.000 ton (LOA = 225 m, B = 32 m en D = 11 m). Dit schip kan circa 110.000 m³ biomassa transporteren.

Omdat biomassa niet de primaire brandstof is wordt een opslagvolume van iets meer dan één keer de grootste scheepslading aangehouden. Dit komt neer op een opslagvolume van circa 120.000 m³.

Als er continu voor 60% bijgestookt wordt zal er om de 16 dagen een Panamax schip moeten aanmeren bij Electrabel.

Het theoretische opslagvolume komt redelijk overeen met het geplande opslagvolume van 110.000 m³ (1,3 ha). Voor de geplande opslag is 1,3 hectare nodig.

3.2.2 Kade

Voor het berekenen van de kadelengte en de contractdiepte wordt gebruik gemaakt van de rekenmethoden die eerder al zijn toegepast voor EMO in paragraaf 3.1.3.

De kade zal bestaan uit één ligplaats omdat de aan- en afvoer van goederen aan de kade van Electrabel relatief laag zal zijn. De maximale scheepslengte bedraagt 225 meter (Panamax type).

Kadelengte

Uit de berekening voor kadelengte blijkt dat de kade een lengte moet hebben van 255 meter (bijlage B2). De theoretische kadelengte komt goed overeen met de geplande kadelengte van 248 meter.

Contractdiepte

De maximale diepgang van het maatgevende schip is 11 meter. De contractdiepte komt hiermee op NAP -13,65 m.

De theoretische diepte ligt ongeveer 1,5 meter lager dan de geplande diepte. Dit betekent dat niet onder alle condities het maatgevende schip kan afmeren aan de kade.

3.2.3 Tweede kolen/biomassacentrale

Mocht de optie voor de bouw van een tweede centrale (circa 6,6 ha) gelicht worden dan zal er voor de centrale zelf nog voldoende ruimte zijn op de plek van de waszeefinstallatie (7,1 ha).

Wel dreigt er dan ruimtegebrek bij de opslag van kolen en biomassa. Uitgaande van de opslag voor de eerste centrale zal hiervoor circa 2,6 hectare nodig zijn. Dit oppervlak zal niet beschikbaar zijn op de locatie van de waszeefinstallatie. Er moet dan nog 2,1 hectare gevonden worden buiten het terrein van de waszeefinstallatie voor de opslag.

3.2.4 Conclusie

Aan de hand van de capaciteitsanalyse kan geconcludeerd worden dat:

- er ruimte gevonden moet worden voor de opslag van biomassa (circa 1,3 ha);
- de kade voor het lossen van de biomassa voldoet;
- bij het lichten van de optie, voor de bouw van een tweede kolen/biomassacentrale, zal er niet voldoende ruimte zijn op het terrein van Electrabel voor de opslag van kolen en biomassa (2,5 hectare).

3.3 Conclusie

Zodra er begonnen wordt met de verbreding van de Amazonehaven en de aanleg van kombibaan 7 zal ruimtegebrek voelbaar zijn voor EMO. De ruimte die hiervoor moet worden ingeleverd kan oplopen tot 10% van de totale opslag.

Als de verwachte groei van EMO doorzet dan zal er structureel gebrek aan ruimte ontstaan. De opslagcapaciteit zal dan te klein zijn voor het aanbod van kolen en ijzererts. Ook bij de overslag zal er een capaciteitsgebrek ontstaan. De geplande verlenging van de diepzeekade zal dan ook noodzakelijk zijn.

Het probleem voor Electrabel en het Havenbedrijf is dat er op de korte termijn nog een geschikte locatie moet worden gevonden voor de opslag van biomassa (1,3 ha).

Daarnaast gaat er ruimtegebrek ontstaan zodra Electrabel de optie voor de tweede kolen/biomassacentrale opneemt. Het gewenste oppervlak voor de opslag van kolen en biomassa (circa 2,5 ha) zal niet gerealiseerd kunnen worden binnen de grenzen van het Electrabel terrein.

In dit hoofdstuk is gebleken dat er ruimtegebrek dreigt op het EMO-schiereiland. Om ervoor te zorgen dat de bedrijven toch kunnen groeien en niet elders, buiten het EMO-schiereiland, zullen gaan uitbreiden wordt onderzocht welke alternatieven er zijn voor ruimte-intensivering op het schiereiland.

4. Ruimte-intensivering droge bulkopslag

In het vorige hoofdstuk is duidelijk geworden dat er ruimtegebrek dreigt op het EMO-schiereiland. Dit ruimtegebrek speelt op zowel het terrein van EMO als dat van Electrabel. Nu het dreigende ruimtegebrek is vastgesteld, wordt er in dit hoofdstuk gekeken naar mogelijkheden voor ruimte-intensivering.

Bij ruimte-intensivering wordt een vierkante meter intensiever benut. Voor opslag komt het er op neer dat de ruimte onder of boven de huidige opslag benut wordt of dat de opslag compacter wordt.

Er zijn meerdere studies verricht naar ruimte-intensivering bij de opslag van goederen. In bijna alle gevallen zorgt een negatief financieel resultaat ervoor dat het alternatief niet haalbaar is.

Allereerst zal beschreven worden op welk gebied er gezocht wordt naar ruimte-intensivering. Over het gebied, waar ruimte-intensivering wordt toegepast, zal vervolgens de benodigde informatie verstrekt worden. Deze kennis is nodig om later tijdens de studie alternatieven voor ruimte-intensivering te bedenken en uit te werken.

4.1 Ruimte-intensivering EMO-schiereiland

EMO en Electrabel hebben gemeen dat beide bedrijven een aanzienlijk oppervlak van het terrein kwijt zijn aan de opslag van droge bulk. Het is tevens het onderdeel waar beide bedrijven een gebrek aan capaciteit ondervinden.

Het oppervlak van de EMO-terminal bestaat voor 67% uit opslag voor droge bulk (111 ha). Het behalen van een klein percentage aan ruimtewinst levert al gauw enkele hectaren op. De focus bij EMO ligt dan ook op de opslag van droge bulk.

Bij Electrabel zijn het de silo's voor biomassaopslag waarvoor nog ruimte moet worden gevonden. Momenteel wordt er nog hard nagedacht, door zowel Electrabel als het Havenbedrijf, over wat de beste locatie is voor de opslag. Ruimtewinst door ruimte-intensivering zou het inpassen van de biomassaopslag een stuk eenvoudiger maken. Ook bij de overslag van biomassa zijn er nog onzekerheden. Zo vraagt men zich af of overslag per kraanponton wel ideaal is.

Door bij de op- en overslag van biomassa te kijken naar innovaties kan er mogelijk nog ruimte gewonnen worden. De op- en overslag van biomassa kan dan ingepast worden binnen de nog beschikbare ruimte. Ook bij de eventuele bouw van de tweede centrale zal dit zeer zeker van pas komen.

Bij zowel EMO als Electrabel wordt er gekeken naar de opslag van droge bulk. Bij Electrabel wordt daarbij ook de overslag van droge bulk meegenomen.

Omdat de studie naar ruimte-intensivering zo specifiek in gaat op de opslag van droge bulk, wordt het verdere hoofdstuk geweid aan de droge bulkopslag.

4.2 Droge bulkopslag

Nu het bekend is dat droge bulk het onderdeel is waarop ruimte geïntensiveerd zal worden, zal er in deze paragraaf de verdieping plaatsvinden die nodig is bij het bedenken en uitwerken van de alternatieven.

Droge bulkopslag heeft twee hoofdfuncties (Wolpers, 1995):

- buffer;
- mengen/homogeniseren.

De bufferfunctie zorgt voor een reserve aan grondstoffen zodat, onder verschillende omstandigheden, het verschil tussen levering en doorvoer opgevangen kan worden. Een nadeel van een buffer is dat het geld kost. Er moet daarom worden gezocht naar een optimum tussen de opslagcapaciteit en kosten.

Mixen en homogeniseren van materiaal zorgt voor een goede samenstelling van het materiaal. Dit wordt voor een groot deel bereikt door het kiezen van de juiste stortmethode. Meer informatie over de homogeniteit bij het storten kan gevonden worden in bijlage C1.

Deze paragraaf geeft inzicht in de verschillende mogelijkheden voor het opslaan van droge bulk. Dit gebeurt aan de hand van 5 onderdelen. Deze zijn:

- eigenschappen droge bulk
- opslagvarianten
- opslagvormen
- materieel
- milieuaspecten

4.2.1 Eigenschappen droge bulk

De eigenschappen van droge bulk zijn zeer bepalend voor de manier van opslaan. Interessante eigenschappen zijn: stuwfactor, storthoek, korrelgrootte, vochtbestendigheid en broei bij brandstoffen.

De stuwfactor is het volume dat nodig is om één ton aan materiaal op te slaan. Het is een lastig te bepalen waarde doordat het soortelijk gewicht van een grondstof en de korrelgradatie van een bulkpartij sterk varieert. De stuwfactor moet dan ook met grote nauwkeurigheid worden toegepast.

Bij de opslag van droge bulk heeft men op het EMO-schiereiland te maken met drie grondstoffen, namelijk:

- kolen
- ijzererts
- houtpellets

In deze paragraaf worden de eigenschappen van de drie grondstoffen beschreven.

Kolen

Steenkool is een fossiele brandstof met een stuwfactor die varieert tussen de 1,08 en 1,39 m³/t. De storthoek varieert van 30° tot 45° (Agerschou, Dand, e.a., 2004).

Steenkool kan onderverdeeld worden in vier verschillende kwaliteiten (geordend van hoogste naar laagste kwaliteit): antraciet, bitumen steenkool, subbitumen steenkool en bruinkool (Stoves online, 2010). De kwaliteit wordt bepaald door het percentage koolstof in de kolen. Een hoog percentage koolstof zorgt voor een hoge energieproductie per volume. Antraciet is steenkool met een koolstofpercentage van circa 90% en bruinkool heeft een percentage van circa 70%. Laagwaardig steenkool zorgt ook voor een hoge productie van schadelijke stoffen ten opzichte van hoogwaardig steenkool.

Bij de opslag van kolen is broeigevaar een veel voorkomend probleem. De broei ontstaat zodra steenkool in aanraking komt met warmte en zuurstof. De kwaliteit van kolen wordt hierdoor aangetast. Het broeigevaar varieert sterk per kolensoort. Grote doorlatendheid van het materiaal stimuleert de *hot spots*. Een grote doorlatendheid heeft dezelfde werking als

een schoorsteen waardoor extra zuurstof wordt aangevoerd. Het verdichten van het materiaal is de meest effectieve manier om *hot spots* te bestrijden. Hierdoor blijft de goede kwaliteit van de kolen langer behouden.

De stofoverlast die ontstaat door wind wordt tegengegaan door het sproeien van water of een ander stof die de werking heeft van een coating. Ook verdichting is een zeer effectief middel tegen stofoverlast.

IJzererts

IJzererts is een zware grondstof met een stuwfactor van 0,33 - 0,47 m³/t. De storthoek van ijzererts ligt tussen de 30° en 50°.

Door het hoge soortelijk gewicht is de opslaghoogte, vanwege het beperkte draagvermogen van de ondergrond, vaak gelimiteerd.

Ook bij ijzererts moeten maatregelen getroffen worden om stofoverlast te voorkomen.

Houtpellets

Houtpellets ontstaan door het samenpersen van zaagsel, waardoor het volume wel zes keer zo klein wordt (Ecofys, 2005). Daarnaast zorgen pellets voor minder stofoverlast. In de praktijk blijkt echter dat de kwaliteit van de pellets kan tegenvallen. Tijdens transport breken de pellets waardoor de lading erg stoffig wordt. Dit kan leiden tot explosiegevaar.

Voor de opslag van houtpellets geldt een stuwfactor van 1,4 m³/t. Vanwege grote gevoeligheid voor vocht moeten de pellets opgeslagen worden in een afgesloten opslag. De silo en de bunker zijn de twee bekendste voorbeelden. Bij een bunker kan als vuistregel worden aangenomen dat $\frac{2}{3}$ van de bunker bestemd is voor de opslag van pellets. De rest van de ruimte is nodig voor het terug winnen van de pellets.

De houtpellets kunnen maximaal tot een hoogte van 25 meter worden gestort. Bij een hogere opslag wordt de bovenbelasting op de onderste pellets te groot waardoor de pellets in elkaar gedrukt worden en er grote brokken ontstaan onder in de opslag.

Net als bij kolen bestaat ook hier de kans op broei.

4.2.2 Opslagvarianten

Er zijn diverse varianten voor het opslaan van droge bulk. De vier hoofdvarianten zijn (Agerschou, Dand, e.a., 2004):

- open opslag;
- overdekte/afgesloten opslag;
- silo;
- onderwater opslag.

De eigenschappen van droge bulk zijn bepalend bij de keuze voor de opslagvariant.

Daarnaast spelen ook andere factoren een rol bij de keuze voor een opslagvariant. Deze zijn (Dreyer, 1995):

- optimale opslagcapaciteit;
- stort- en graafcapaciteit;
- kwaliteitsvermindering van het materiaal;
- weersinvloeden op het materiaal (vocht en oxidatie);
- milieueffecten op de omgeving;
- kosten.

In deze paragraaf worden de verschillende opslagsystemen toegelicht.

Open opslag

Open opslag is de goedkoopste manier van opslag die in de praktijk wordt toegepast. Het heeft ook als voordeel dat uitbreiding van de opslag relatief eenvoudig is. Het materiaal moet wel voldoen aan de volgende eisen (Kulwiec, 1985):

- vochtbestendig;
- korrelgrootte groter dan 200 micrometer;
- blootgesteld kunnen worden aan lucht;
- windbestendig.

Kolen en ijzererts zijn de grondstoffen die het meeste voorkomen in open opslag.



Figuur 4.1: open opslag (EMO-terminal)

Een open opslag heeft een aantal negatieve milieuaspecten, zoals geluidsoverlast, lucht- en watervervuiling. Maatregelen moeten ervoor zorgen dat deze milieuaspecten binnen de gestelde normen blijven.

Als vuistregel geldt dat de capaciteit van de open opslag, per grondstof, 4 tot 6 keer de grootte heeft van de grootste scheepslading (Agerschou, Dand, e.a., 2004).

Overdekte/afgesloten opslag

Overdekte opslag wordt toegepast als de bulk beschermd moet worden tegen neerslag. De bulk komt in de afgesloten opslag terecht als het materiaal niet mag worden blootgesteld aan klimaatveranderingen of het voor milieuproblemen zorgt (Willekes, 1999).

De keuze tussen een afgesloten opslag of silo is over het algemeen gebaseerd op kosten. Silo's hebben de voorkeur wanneer de verblijftijd kort is, of de grondstof zeer poederig is.

Een variant van de afgesloten opslag die steeds vaker voorkomt is de dome, zie figuur 4.2. Het grote voordeel van een dome is de compactheid van de constructie. Er bestaan domes met een opslagvolume van 250.000 m³ (Dry Cargo international, June 2010).



Figuur 4.2: dome opslag (Dry Cargo international, June 2010)

Voor een afgesloten opslag mag worden aangenomen dat de capaciteit, per grondstof, 3 tot 4 keer de grootte heeft van de grootste scheepslading (Agerschou, Dand, e.a., 2004).

Silo

Een silo is een opslagplaats voor poeders en korrelvormige bulk. Het zijn kokervormige of vierkante torens waarin de bulk is opgeslagen. De silo is volledig afgesloten zodat deze zeer geschikt is voor grondstoffen die beschermd moeten worden tegen weersinvloeden.

Voor de opslag in silo's geldt als vuistregel dat de capaciteit, per grondstof, 2 tot 4 keer de grootte heeft van de grootste scheepslading (Agerschou, Dand, e.a., 2004).

Onderwater opslag

Eind jaren 90 is een studie verricht door De Weger en Croese naar Onderwater Stortgoed Terminal (OST). Doel van de studie was de technische haalbaarheid testen, de ruimtewinst bepalen en realistische varianten uitwerken (t' Zelfdeenkoppen, 1999).

De OST bestaat uit grote waterbassins met een diepte van circa 20 meter, waarin de droge bulk wordt opgeslagen. De wanden bestaan uit kadeconstructies en de bodem wordt beschermd door geotextiel in combinatie met betonblokken of onderwaterbeton. Op de bodem worden lage compartimenteringwanden toegepast, hierdoor wordt de vrije ruimte tussen bulkpartijen verkleind, maar blijven de bulkpartijen gescheiden.

Tijdens dit onderzoek is er naar twee verschillende varianten gekeken: de meest ruimte-intensieve variant en de meest milieuvriendelijke variant. Bij de meest ruimte-intensieve variant worden de kolen zowel onder- als bovenwater opgeslagen en bij de meest milieuvriendelijke variant worden de kolen volledig onderwater opgeslagen om stofvorming tegen te gaan. De meest ruimte-intensieve variant levert een ruimtewinst op van 30% ten opzichte van de conventionele droge bulk terminal, voor de milieuvriendelijke variant bedraagt dit circa 15%.

De droge bulk die per bulkschip binnen komt wordt zonder behandeling opgeslagen in de bassins.

Voor het afgraven van de bulk uit de bassins kan gekozen worden tussen hydraulisch afgraven (cutterzuiger) met hydraulisch transport of mechanisch afgraven (grijperkraan) met mechanisch transport. Door het hoge proceswaterdebiet, het energieverbruik en de grote mate van onderhoud is het hydraulische transport aanzienlijk duurder en gecompliceerder dan mechanisch transport. Hydraulisch transport is daarom niet de geschikte methode.

Vervolgens komt de bulk in de ontwateringsilo's terecht (links in figuur 4.3). De bulk wordt hier passief ontwaterd door gebruik te maken van drainage. Dit proces kan eventueel gestimuleerd worden met onderdruk aan de onderzijde van de silo. Het uitlekwater wordt opgevangen in een bassin waar de fijne deeltjes bezinken en vervolgens weer worden terug gebracht in de ontwateringsilo.

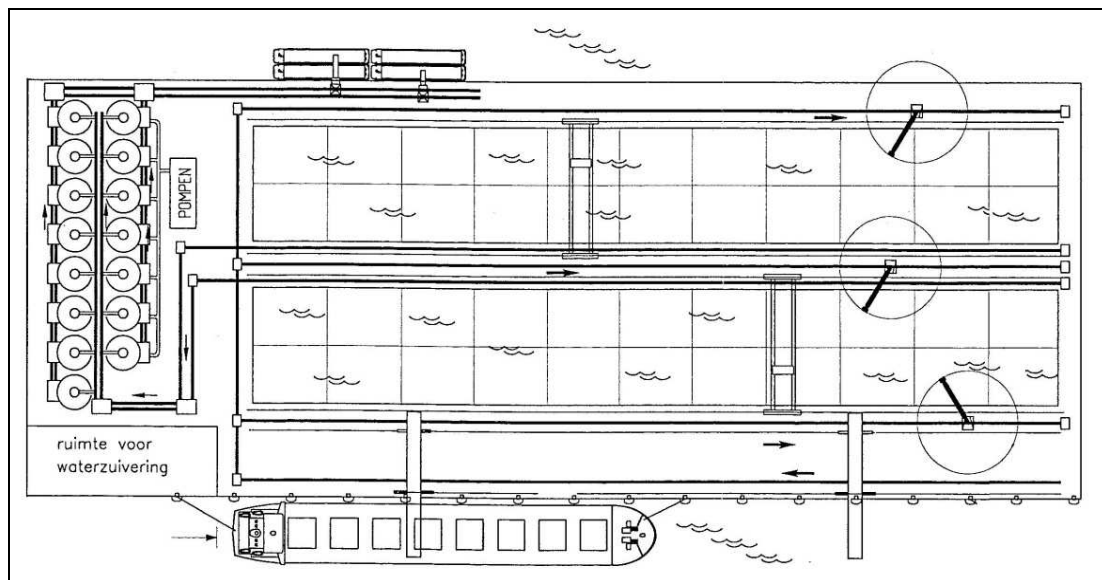
Na het ontwateren wordt de bulk op de traditionele wijze door getransporteerd.

Voordelen OST:

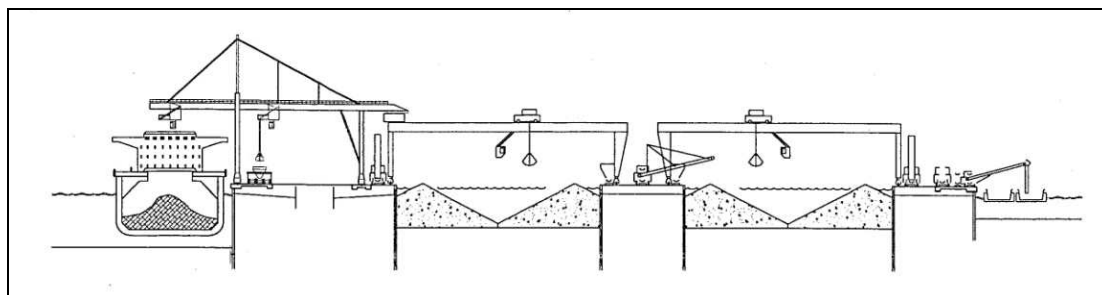
- ruimtewinst;
- all-in prijs per ton goedkoper;
- minder luchtvervuiling/verwaaiing;
- kleinere kans op broei van kolen.

Nadelen OST:

- onzekerheid over het ontwateringsproces;
- onzekerheid over de kosten.



Figuur 4.3: bovenaanzicht Onderwater stortgoed Terminal (t' Zelfdeenkoppen, 1999)



Figuur 4.4: zijaanzicht Onderwater Stortgoed Terminal (t' Zelfdeenkoppen, 1999)

De Onderwater Stortgoed Terminal is één van de weinige innovaties op het gebied van ruimtegebruik, die een positief financieel resultaat laat zien. Toch wordt het in de praktijk nog niet toegepast. Een reden hiervoor is waarschijnlijk het feit dat eigenaren van bulkpartijen weinig vertrouwen hebben in het behouden van de kwaliteit van het product wanneer het onder water wordt opgeslagen. Vooral bij de opslag van kolen speelt dit een rol (Muilwijk, 2007).

4.2.3 Opslagvormen

De droge bulk kan in allerlei figuurlijke vormen worden opgeslagen. De meest voorkomende vormen bij droge bulkopslag zijn (Jong, 1994):

- hellingvorm
- kegelvorm
- radiaalvorm
- windrijvorm
- blokvorm

In figuur 4.5 zijn verschillende vormen van opslag weergegeven.

Bij de keuze tussen de verschillende vormen wordt er gekeken naar het benodigde opslagvolume, het beschikbare landoppervlak en het beschikbare materieel voor het storten en afgraven.

De helling- en kegelvorm zijn de twee eenvoudigste manieren van opslag. Bij een hellingvormige opslag zijn alleen laadschoppen en dumpers nodig. Hierdoor is de opslag zeer flexibel.

Bij de kegelvorm wordt de bulk gestort met een transportband en in de meeste gevallen weer afgegraven met laadschoppen.

<p>Hellingvormig</p> $V = 1/2 \cdot A \cdot h \approx 1/2 \cdot r \cdot l \cdot h$	<p>Kegelvormig</p> $V = 1/3 \cdot A \cdot h = 1/3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \tan \theta$	<p>Radiaalvorm</p> $V = 1/2 \cdot A \cdot h \approx 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot r^2 \cdot \tan \theta$
<p>Windrijvormig</p> $V = 1/2 \cdot A \cdot h \approx r^2 \cdot l \cdot \tan \theta$	<p>Blokvormig</p> $V = (r_1 + r_2)(l_1 + l_2) \cdot h = (l_1 + r_2)(l_1 + l_2) \cdot l_1 \cdot \tan \theta$	
<p>V = volume</p>		

Figuur 4.5: Opslagvormen met de bijbehorende functie voor het volume (Jong, 1994)

De voordelen van helling- en kegelvormige opslag zijn de eenvoud van opslag en de relatief lage kosten voor het storten en afgraven. Deze twee vormen van opslag zijn echter alleen geschikt voor kleine hoeveelheden droge bulk. Voor grote hoeveelheden moet gekeken worden naar radiaal-, windrij- en blokvormige opslag.

Wil een blokvormige opslag efficiënt zijn dan zal de breedte significant groter moeten zijn dan die van de windrijvormige opslag. Deze breedte moet echter overbrugd worden door het materieel. De kosten hiervoor worden door de grote overspanning exorbitant hoog. De windrijvormige opslag is daarom bij zowel een kleine als grote breedte altijd voordeliger dan de blokvormige opslag.

De windrijvorm heeft als voordeel ten opzichte van de radiaalvorm, dat een windrij, theoretisch, oneindig lang is en dus het volume oneindig groot kan worden. Bij de radiaalvorm is het materieel gefixeerd op één punt, waardoor het opslagvolume beperkt is. Als gevolg hiervan zullen er, bij een grote hoeveelheid aan bulk, meerdere radiaalvormige opslaggebieden nodig zijn. Dit leidt tot een grote hoeveelheid aan materieel voor de opslag. De kosten voor de radiaalvormige opslag zullen hierdoor hoger uitvallen dan voor windrijvormige opslag. Daarnaast is uitbreiding van een windrij veel eenvoudiger ten opzichte van de radiaalvorm.

De radiaalvorm heeft verschillende voordelen ten opzichte van de windrij. Zo is de opslag compacter (tot wel 30%) (Dry Cargo international, Sep. 2009), makkelijker te overkoepelen en de homogeniteit beter bij de juiste stort- en graafmethode (Wolpers, 1995).

Het ontwerpen van een optimale opslag is, vanuit een operationeel en financieel oogpunt, een complex probleem (Jong, 1994). Dit komt door de grote wisselwerking tussen de verschillende opslagvariabelen. Het wijzigen van één willekeurige variabele heeft positieve en negatieve gevolgen voor de andere ontwerpvariabelen. In bijlage C2 worden hiervan twee voorbeelden gegeven.

4.2.4 Materieel

Materieel is nodig voor het storten en afgraven van droge bulk. Voor het storten wordt gebruik gemaakt van een *stacker*. Het afgraven gebeurt met behulp van een *reclaimer*. Een combinatie van beide is een *stacker-reclaimer*, ook wel *kombi* genaamd.

Een *stacker* stort met behulp van zwaartekracht de droge bulk in de opslag. Elke type droge bulk kan op deze manier gestort worden. Meer informatie over stortmethoden kan gevonden worden in bijlage C3. De capaciteit van een *stacker* wordt voornamelijk bepaald door de transportbandsnelheid en -breedte (Jong, 1994).

Bij de *reclaimer* is er, net als bij de *stacker*, een geruime keus aan systemen. De capaciteit per type *reclaimer* varieert sterk. Factoren die bepalend zijn voor de capaciteit zijn:

- vorm en grootte van de opslag;
- draai- en voortplantingssnelheid van de *reclaimer*;
- acceleratie van de *reclaimer*;
- afgraafmethode.

Bij een *stacker-reclaimer* zijn de *stacker* en *reclaimer* samengevoegd tot één machine. Het grote voordeel van de *kombi* is dat door het samenvoegen kosten bespaard kunnen worden.

Voor het storten en afgraven van de droge bulk zijn vele systemen beschikbaar. Bij de keuze voor een *stacker* en/of *reclaimer* spelen een aantal factoren een rol (Dreyer, 1995):

- opslagcapaciteit
- capaciteit *stacker/reclaimer*
- stortmethode
- bulktype
- opslagvarianten
- opslagvorm
- transportsysteem
- kosten

Bij het storten en afgraven van de kolen- en ijzerertsopslag van EMO wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van de *bucket wheel stacker-reclaimer* bij de windrijvormige opslag. Voor de opslag op het externe opslagterrein wordt er gebruik gemaakt van dumpers en laadschoppen.

Voor wat betreft de opslag van biomassa is nog niet bekend welk materieel daarbij gebruikt zal worden.

In deze paragraaf wordt alleen het materieel behandeld dat momenteel wordt toegepast bij de droge bulkopslag op het EMO-schiereiland. Dit materieel bestaat uit:

- *bucket wheel stacker-reclaimer*
- *dumpruck en laadschoppen*

Een helder overzicht van het meest gebruikte materieel bij de opslag van droge bulk is te vinden in bijlage C4.

Bucket wheel stacker-reclaimer

De *bucket wheel stacker-reclaimer* rijdt over de volledige lengte parallel aan de windrij opslag en kan aan beide zijdes van de kombibaan het materiaal storten. De transportband, die tussen de rails van de kombi door loopt, staat met de *stacker-reclaimer* in verbinding en via de arm wordt het materiaal gestort (ThyssenKrupp Robins). De arm kan zowel verticaal als horizontaal om de as bewegen. Door de arm zo laag mogelijk boven de opslag te positioneren (minimale storthoogte) wordt het ontstaan van stof, geluid en korrelsegregatie (scheiding van materiaalfracties tijdens het storten) tot een minimum beperkt (Dry Cargo international, June 2009).

Met behulp van een roterend emmerwiel, aan het uiteinde van de arm, graaft de machine het materiaal uit de opslag. Hierbij wordt, door rotatie, de emmer vol met materiaal geschept. Als het wiel verder roteert, valt het materiaal uit de emmer op de transportband, die over de arm loopt. Via de arm komt het materiaal op de transportband, die tussen de rails loopt, terecht. Doordat de arm zowel horizontaal als verticaal om de as kan bewegen, wordt bijna elke plek in de opslag bereikt (Knappe, 1995). De *reclaimer* heeft door zijn flexibiliteit het grote voordeel dat het erg selectief kan zijn. Vanwege het kleine afgraafvlak van het emmerwiel draagt de *reclaimer* niet bij aan de homogeniteit van het materiaal.

De *reclaimer* graaft steeds de bovenste laag van de opslag eraf. De dikte van deze laag is circa 0,65 keer de diameter van het emmerwiel. Bij het afgraven van een dikkere laag bestaat de kans op ondergraving en ingraving.



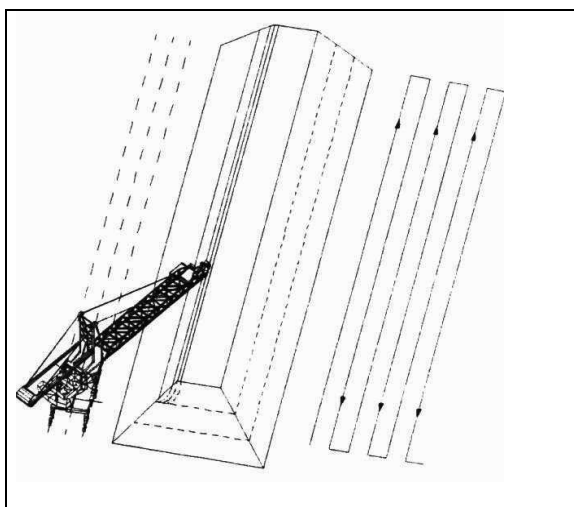
Figuur 4.6: bucket wheel stacker-reclaimer (UBE, 2010)

Het afgraven van de opslag kan op twee manieren (Knappe, 1995):

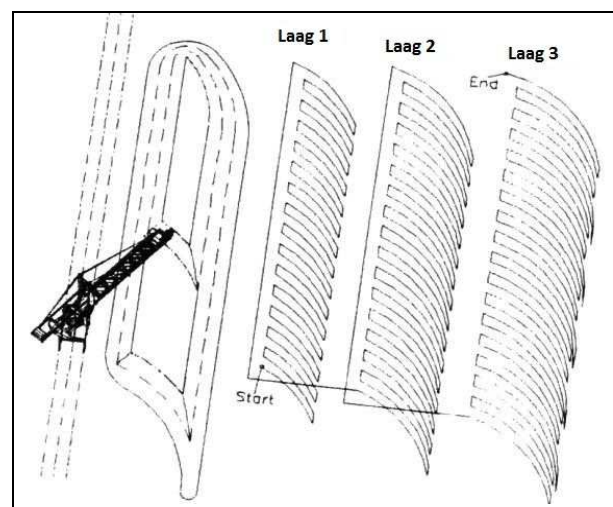
- Long travel reclaiming
- Slew reclaiming

Bij *long travel reclaiming* wordt het afgraven uitgevoerd in de lengterichting van de windrij, zie figuur 4.7. Na het afgegraven van de bovenste laag kan er begonnen worden met de tweede laag. Deze cyclus wordt herhaald totdat de *reclaimer* het einde van de opslag heeft bereikt in de laagste laag. In praktijk wordt deze methode weinig toegepast. Dit komt voornamelijk doordat het niet de meest praktische methode is voor het afgraven van een bulkpartij. Als een bulkpartij gedeeltelijk wordt afgegraven blijft het benodigde grondoppervlak in de opslag gelijk en komt er geen ruimte vrij voor een nieuwe bulkpartij.

Bij *slew reclaiming* maakt de arm zwaaibewegingen waardoor de bulk in de breedte wordt afgegraven, zie figuur 4.8. Door in stapjes vooruit te rijden wordt de bovenste laag afgegraven tot een willekeurig punt. Vervolgens rijdt de *reclaimer* terug naar het startpunt en begint met de tweede laag. Als dit proces zich tot op de bodem voortzet wordt de kop van de opslag naar achter verplaatst. Hierdoor komt er ruimte vrij voor een nieuwe bulkpartij. Om deze reden is *slew reclaiming* de methode die EMO toepast bij het afgraven van de opslag.



Figuur 4.7: long travel reclaiming (Knappe, 1995)



Figuur 4.8: slew reclaiming (Knappe, 1995)

De *bucket wheel stacker-reclaimer* is het meest kosteneffectieve materieel voor het afgraven van een open opslag met hoge capaciteit. Het stort- en graafproces zijn in de meeste gevallen geautomatiseerd. Alleen het afgraven van de onderste laag gebeurt handmatig om contact tussen het emmerwiel en de bodem van de opslag te voorkomen. De maximale stort- en graafcapaciteit ligt voor beide rond de 12.000 ton per uur en het gemiddelde rond de 5.000 ton per uur. De arm heeft een lengte tussen de 25 en 60 meter (Sandvik).

Dumptruck en laadschoppen

Een opslag gecreëerd met dumptrucks en laadschoppen is ouderwets en werd veel toegepast voor de komst van de transportband. Deze manier van opslag wordt momenteel veel gebruikt als het opslaggebied dat binnen het bereik van de *stacker* en *reclaimer* ligt vol raakt. Bulk partijen die lang blijven liggen worden dan verreden naar een ander opslaggebied om ruimte te creëren voor bulkpartijen die een korte verblijftijd hebben in de opslag.

Een voordeel van deze opslagmethode is dat het erg flexibel is en de opslaghoogte niet beperkt wordt door het materieel. Nadelen zijn dat het relatief kostbaar is, ten opzichte van de windrij opslag met kombi, en dat het niet geautomatiseerd is.



Figuur 4.9: opslag gecreëerd met dumpers en shovels op het werkkterrein van EMO

4.2.5 Milieuaspecten

Droge bulkopslag kan zorgen voor milieuproblemen en overlast voor de omgeving. Er zijn drie verschillende milieuaspecten (Tsinker, 2004):

- Luchtvervuiling door stof;
- Grondvervuiling door verontreinigd water;
- Overlast door geluid.

Stof

Het grootste aandeel in milieuproblematiek is de luchtvervuiling door stof. Het gaat hierbij om de stof die in lucht komt vanuit de droge bulk. De luchtvervuiling komt alleen voor bij een open opslag of overdekte opslag.

De luchtvervuiling wordt voornamelijk veroorzaakt door (Willekes, 1999):

- beweging van de droge bulk door bijvoorbeeld transport, storten of afgraven;
- winderosie bij de opslag.

In Nederland is winderosie verreweg de belangrijkste veroorzaker van luchtvervuiling.

Door geschikte maatregelen te treffen kan de luchtverontreiniging tot minimum beperkt worden. Maatregelen om de stof tot een minimum te beperken zijn (Willekes, 1999):

- omwanden van de opslag;
- geschikte locatie kiezen, rekening houdend met de dominante windrichting;
- gelimiteerde valhoogte van de bulk;
- continue afgraven, dit geeft minder stof dan shovels en bulldozers;
- omsluiten van transferpunten;
- windbescherming bij transferpunten waar geen omsluiting kan plaatsvinden;
- opslag besproeien met water en andere stoffen die de stof onderdrukken en zorgen voor een coating, vooral tijdens droge en winderige omstandigheden;
- verdichten van de opslag.

Waterverontreiniging

Een ander milieuaspect waar rekening mee gehouden moet worden is grondvervuiling door waterverontreiniging. Bij het afvloeien van water uit de opslag worden fijne deeltjes mee gespoeld waardoor waterverontreiniging ontstaat.

Dit water wordt opgevangen doormiddel van goten aan beide zijdes van de opslag. Via leidingen komt het verontreinigde water in een bassin met overlaat terecht waar de fijne deeltjes kunnen bezinken. De leidingen mogen niet onder de opslag lopen in verband met schade en onderhoud aan de leidingen. Het water van de overlaat kan weer gebruikt worden als sproeiwater.

Geluid

Geluidsuitstoot is onvermijdelijk bij droge bulkopslag. Wel kunnen er maatregelen getroffen worden om de geluidsuitstoot tot een minimum te beperken.

De meest efficiënte manier om geluidshinder te beperken is het toepassen van een bufferzone. Deze zone zorgt voor voldoende afstand tussen terminal en leefomgeving, zodat het geluid van de terminal voldoende is afgezwakt zodra het de leefomgeving bereikt en het binnen de geluidsnormen valt.

Naast de bufferzone zijn er ook nog andere manieren om geluidsuitstoot tot een minimum te beperken. Bijvoorbeeld het toepassen van (Vellinga en Greense, 2004):

- geluidsschermen;
- restricties voor geluidsuitstoot;
- restricties voor werkuren.

5. Alternatieven ruimte-intensivering

Doordat men, in het vorige hoofdstuk, meer te weten is gekomen over de opslag van droge bulk is het nu tijd om te kijken naar alternatieven voor ruimte-intensivering. De focus ligt hierbij nog steeds bij de droge bulkopslag op de EMO-terminal en de op- en overslag van biomassa bij Electrabel.

Om innovatieve ideeën te verzamelen voor het onderzoek is er een brainstorm georganiseerd met als titel “Een zee aan ruimte op het EMO-schiereiland”. De brainstorm is gehouden op 22 september 2010 te Rotterdam. In de brainstorm zijn twee vraagstukken aan de orde gesteld:

- Hoe kunnen we zo veel mogelijk kolen op een minimaal oppervlak opslaan?
- Wat is de beste methode voor het op- en overslaan van biomassa?

De opbouw van de brainstorm was als volgt:

- 1) Elk vraagstuk is afzonderlijk behandeld.
- 2) Elk vraagstuk is opgebouwd uit drie rondes.
- 3) In de eerste ronde heeft iedereen individueel zoveel mogelijk alternatieven bedacht.
- 4) In ronde twee werden de alternatieven in kleine groepjes geordend en besproken.
- 5) De derde en laatste ronde was gemeenschappelijk. De alternatieven zijn gepresenteerd en geordend. Tijdens deze ronde heeft er ook discussie plaatsgevonden.

De lijst met deelnemers is te vinden in bijlage D1.

In de komende twee paragrafen worden de verschillende alternatieven gepresenteerd. Het vraagstuk over kolen zal eerst aan bod komen, gevolgd door op- en overslag van biomassa. In beide paragrafen wordt eerst een duidelijk overzicht gegeven van de alternatieven. Vervolgens vindt er selectie plaats, waarna de overgebleven alternatieven kort worden toegelicht.

5.1 Opslag EMO

Op de vraag “hoe kunnen we zo veel mogelijk kolen op een minimaal oppervlak opslaan?” zijn 26 alternatieven naar voren gekomen (zie bijlage D2a).

5.1.1 Alternatieven

Alle alternatieven zijn onderverdeeld in twee hoofdcategorieën:

- fysiek
- logistiek

Fysiek

Onder de categorie fysiek vallen alle alternatieven die zorgen voor meer opslagcapaciteit door het vergroten van opslagvolume. Voor een goed overzicht is dit opgesplitst in de volgende zes subcategorieën:

- verticaal
- horizontaal
- drijvend
- natte opslag
- materiaaleigenschappen

Onder *verticaal* wordt verstaan het vergroten van de opslagcapaciteit door uitbreiding van de verticale ruimte. Er kan hierbij zowel omlaag (de bodem in) als omhoog (de lucht in) naar extra opslagvolume worden gezocht.

Bij de subcategorie *horizontaal* wordt er gekeken naar ruimtewinst in het horizontale vlak. Er wordt hierbij gekeken naar het wegnemen van de storthoek en het verwijderen c.q. verplaatsten van onderdelen.

Drijvende opslag wordt voornamelijk toegepast om extra vierkante meters te creëren voor opslag buiten het EMO-schiereiland.

Bij de *natte opslag* wordt de bulk (deels) onderwater opgeslagen. De opslag bestaat uit een groot bassin waarin de bulk wordt opgeslagen.

Door *materiaaleigenschappen* aan te passen kan de opslagcapaciteit worden opgevoerd. Het vergroten van de storthoek en het verdichten van de bulk zijn twee mogelijkheden.

Logistiek

Naast fysieke alternatieven zijn er ook alternatieven op het gebied van logistiek. Er wordt hierbij gekeken naar het optimaliseren van processen en het bijsturen van de transportketen.

Vanwege het feit dat dit afstudeeronderzoek kijkt naar fysieke oplossingen voor ruimte-intensivering, worden de alternatieven op het gebied van logistiek niet meegenomen in de verdere selectie. Tijdens de brainstormsessie is wel naar voren gekomen dat er nog veel winst valt te behalen op dit gebied. Vooral het optimaliseren van de logistieke planning lijkt een zeer interessante mogelijkheid om de opslag efficiënter te organiseren.

Tijdens de brainstorm zijn de volgende alternatieven op het gebied van logistiek aan de orde gekomen:

- logistieke planning verbeteren
- opslag in de transportketen verschuiven
- verblijfsduur verkorten
- kolentransferium
- First-in-first-out

5.1.2 Selectie

Nu de fysieke alternatieven overzichtelijk zijn weergegeven kan er gestart worden met de selectie. Tijdens de brainstorm heeft er wegens tijdgebrek geen selectie van alternatieven plaatsgevonden. De selectie is daarom zelfstandig door mij uitgevoerd. De kennis van experts is hierbij gebruikt.

Alle fysieke alternatieven zijn met behulp van multicriteria-analyse (MCA) beoordeeld (zie bijlage D2b). Voor elk onderdeel is een score van 1 t/m 5 gegeven. Hierbij is 1 zeer slecht en 5 heel goed.

De alternatieven zijn getoetst op:

- ruimtegebruik (30%)
- investering (30%)
- milieu (10%)
- veiligheid (10%)
- logistiek binnen de terminal (15%)
- flexibiliteit van het ontwerp (5%)

Aspecten die niet in de multicriteria-analyse aan bod komen, maar wel zeer nadelig zijn voor een bepaald alternatief, worden bekeken in paragraaf 5.1.3. Hierbij zullen er mogelijk nog alternatieven afvallen die wel positief scoren in de multicriteria-analyse.

De aspecten waarop de alternatieven zijn getoetst wegen niet alle even zwaar. Het percentage geeft het belang van elk aspect aan. Het advies van experts is gebruikt bij het tot stand komen van de percentages en het invullen van de multicriteria-analyse.

5.1.3 Resultaten

De alternatieven worden als interessant beschouwd bij een eindscore van 3,5 of hoger. Uit de multicriteria-analyse komen de volgende alternatieven naar voren (eindscore $\geq 3,5$):

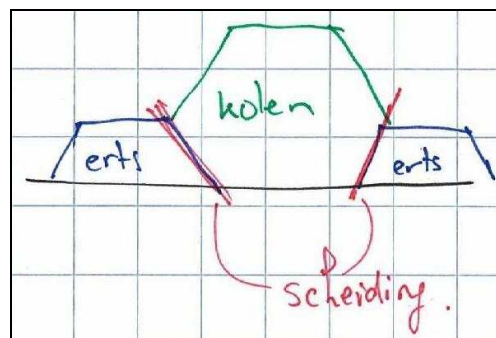
- grondwaterstand verlagen en de huidige opslag verder uitdiepen;
- taluds van de kombibaan verwijderen;
- kombibaan verhogen d.m.v. caissons of L-wanden;
- verplaatsen c.q. verwijderen van infrastructuur, kantoor, etc.;
- samenvoegen van partijen (bv.: 1 grote kolenhoop en 1 grote ertshoop);
- storten van kolen tussen twee ertshopen met daartussen een scheiding;
- storthoek vergroten;
- verdichten.

De volgende alternatieven worden als minder interessant beschouwd en vallen af:

- samenvoegen van partijen;
- storten van kolen tussen twee ertshopen met daartussen een scheiding;
- verdichten.

Elke klant wil dat de eigen bulkpartij apart wordt opgeslagen om kwaliteitsverlies van zijn bulkpartij tegen te gaan. Daarom is het *samenvoegen van partijen* niet realistisch en valt dan ook af vanwege de haalbaarheid.

Het *storten van kolen tussen twee ertshopen met daartussen een scheiding* zorgt voor het probleem dat de onderliggende ertshopen niet volledig valt af te graven. Dit maakt het voor de planning erg lastig en is daarom niet praktisch. Dit alternatief valt dan ook af.



Figuur 5.1: tegen elkaar aanstorten van kolen en erts

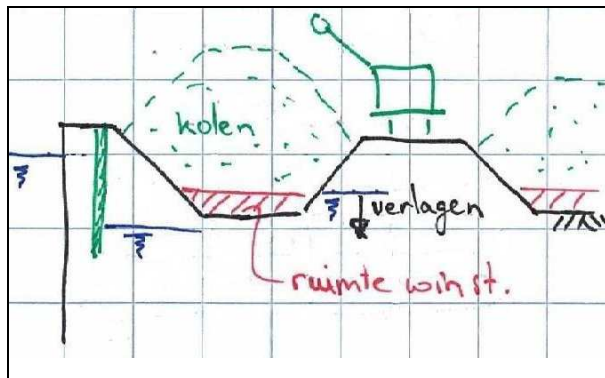
Verdichting van het materiaal zorgt voor een hoger soortelijk gewicht waardoor er meer gewicht per volume kan worden opgeslagen. Dit wordt in sommige gevallen al toegepast om groei tegen te gaan. Een bijkomstigheid is dat hierdoor ook de stofvorming verminderd wordt. Voor extra opslagcapaciteit binnen bereik van de kombi stuit het alternatief op een aantal problemen bij de uitvoering. Nadat de kombi tot de gewenste hoogte heeft gestort zal de bulkpartij verdicht worden. Het volstorten van de vrij gekomen ruimte op de bulkpartij zorgt voor extra handelingen. Daarnaast zal het volstorten van de vrij gekomen ruimte niet automatisch uitgevoerd kunnen worden. Een machinist zal de kombi dan moeten besturen. Door deze praktische bezwaren zal dit alternatief niet worden meegenomen in het vervolg van het onderzoek.

Wat verder opvalt, is dat alle greenfield alternatieven laag scoren. Dit komt vooral door de hoge investeringskosten. Voor het EMO-schiereiland vallen hierdoor veel alternatieven af. Bij nieuwbouw kunnen deze alternatieven echter zeer interessant zijn en moeten dan ook zeker opnieuw bekeken worden.

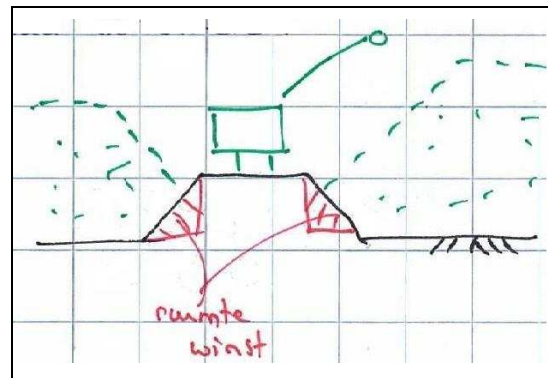
5.1.4 Toelichting alternatieven

In deze paragraaf worden de vijf overgebleven alternatieven toegelicht.

Bij het *verlagen van de grondwaterstand* kan aanzienlijk veel ruimte gewonnen worden. Een nadeel is wel dat vanwege de zanderige bodem de aanvoer van grondwater relatief hoog is. Bij het *verwijderen van de taluds* moet er iets verzonnen worden om de verhoogde kombibaan stabiel te houden. Het toepassen van wanden lijkt hiervoor het meest praktisch. De ruimtewinst die hierbij ontstaat lijkt beperkt.



Figuur 5.2: verlagen van de grondwaterstand

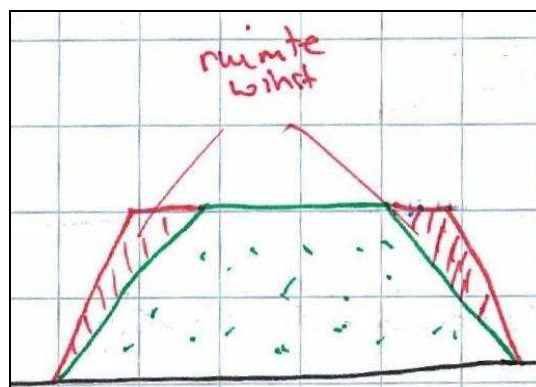


Figuur 5.3: verwijderen van de taluds

Het *verhogen van de kombibaan* lijkt een zeer effectieve manier om veel ruimte te winnen. Het verhogen van de kombibaan doormiddel van caissons lijkt wat aan de dure kant. Een goed alternatief wordt geboden door bijvoorbeeld het plaatsten van L-wand.

Het *verwijderen/verplaatsen van onderdelen* is een zeer effectieve manier om ruimte te winnen. Bij het verplaatsen zal het wel een uitdaging zijn om een nieuwe locatie te vinden voor de onderdelen.

Het *vergroten van de storthoek* is een zeer effectieve methode voor het vergroten van de opslagcapaciteit. Om de storthoek te vergroten zullen de materiaaleigenschappen moeten worden aangepast. Hiervoor zal een extra processtap nodig zijn. De processtap zal dan moeten plaatsvinden bij de winlocatie van de bulk om ruimte te besparen op het EMO-schiereiland. De vraag blijft wel hoe de materiaaleigenschappen kunnen worden aangepast zodat de storthoek groter wordt.



Figuur 5.4: vergroten van de storthoek

5.2 Op- en overslag biomassa Electrabel

Voor het behandelen van het onderdeel biomassa werd de volgende vraag gesteld: Wat is de beste methode voor het op- en overslaan van biomassa? Alle 17 alternatieven zijn weergegeven in bijlage D3a.

Gedurende de brainstorm kwam een aantal interessante zaken ter sprake op het gebied van op- en overslag van biomassa. Deze zijn:

- Houtpellets zijn het type biomassa dat wordt bijgestookt in de kolen/biomassacentrale.
- Houtpellets moeten afgesloten worden opgeslagen.
- De primaire brandstof voor de kolen/biomassacentrale is steenkool. Houtpellets worden alleen bijgestookt als het voorradig is. Een strategische voorraad aan houtpellets is dan ook niet nodig.
- Bij de overslag van houtpellets geniet mechanische overslag de voorkeur boven pneumatische overslag. Dit komt overal door het hoge energieverbruik bij pneumatische overslag.
- Bij de opslag van houtpellets moet er rekening worden gehouden met de maximale stapelhoogte van 25 meter. Bij grotere een opvoerhoogte wordt de bovenbelasting op de onderste pellets te groot waardoor het wordt samengeperst tot een houtblok.
- Houtpellets is een laagwaardig product waardoor de investering in opslagfaciliteiten ook laag zal zijn.
- De kwaliteit van de pellets kan erg tegenvallen met als gevolg dat de lading zeer stoffig wordt.

5.2.1 Alternatieven

Net als bij kolen is ook hier een splitsing gemaakt tussen fysieke en logistieke alternatieven.

Fysiek

De categorie fysiek is onderverdeeld in de volgende subcategorieën:

- opslag
- overslag

De *opslag* valt op zijn beurt onder te verdelen in:

- ondergronds
- bovengronds
- kademuur (multifunctioneel)
- drijvend
- mengen

Alle alternatieven voor opslag onder het maaiveldniveau vallen onder de subcategorie *ondergronds*. Ondergrondse opslag heeft alleen maar nut als de ruimte bovengronds goed wordt benut.

De vormen van opslag op maaiveldniveau worden ondergebracht onder de subcategorie *bovengronds*.

Bij de categorie *kademuur* wordt de opslag gecombineerd met de kademuur. De opslag kan zowel in als op de kade plaatsvinden.

De verschillende manieren van opslag op het water worden ondergebracht in subcategorie *drijvend*. Hierbij worden er extra vierkante meters gecreëerd buiten het EMO-schiereiland.

Het *mengen* van verscheidene brandstoffen met verschillende gradaties moet zorgen voor het opvullen van de holle ruimtes in de opslag.

Voor de *overslag* is een alternatief bedacht waarbij meervoudig ruimtegebruik wordt toegepast. Te denken valt aan een transportband in combinatie met een weg.

Logistiek

Bij de op- en overslag van biomassa is er op het gebied van logistiek een onderscheid te maken tussen standaardiseren en materiaaleigenschappen.

Bij het standaardiseren valt te denken aan “big bags” of containers voor het volledige transport. Hierbij kunnen containers uiteindelijk ook nog gebruikt worden bij het creëren van opslag.

Onder materiaaleigenschappen vallen alle alternatieven die te maken hebben met het verbeteren van de eigenschappen van de pellets.

Net als bij kolen worden alle alternatieven op het gebied van logistiek niet meegenomen.

Tijdens de brainstorm zijn de volgende alternatieven bedacht op het gebied van logistiek:

- “Big bags” - grote zakken vullen bij de producent en transporteren naar de centrale;
- Containertransport en -opslag;
- Houtpellets torreficeren (verkleint de kans op broei en verpulvering);

Verder onderzoek naar *standaardisering van het transport van houtpellets* wordt wel aangeraden.

5.2.2 Selectie

De multicriteria-analyse wordt toegepast om tot een selectie te komen (bijlage D3b). De verschillende alternatieven zijn getoetst op dezelfde aspecten en met dezelfde weegfactoren als bij kolenopslag. Ook hierbij is de kennis van experts gebruikt. De haalbaarheid van de alternatieven wordt bekeken in de volgende paragraaf.

5.2.3 Resultaat

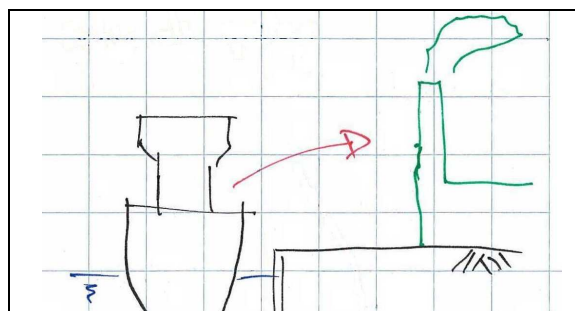
De alternatieven worden als interessant beschouwd bij een eindscore van 3,5 of hoger. Uit de multicriteria-analyse komen de volgende alternatieven naar voren (eindscore $\geq 3,5$):

- (verdiepte) silo's;
- opslag bestaande uit containers;
- opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan;
- vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale;
- houtpellets vermengen met kolen;
- meervoudig ruimtegebruik bij overslag.

De volgende onderdelen worden als minder interessant beschouwd en vallen af:

- vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale;
- houtpellets vermengen met kolen.

Het meest opmerkelijke alternatief met de hoogste score is het alternatief *vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale*. Hierbij is het bulkschip de opslag. Dit alternatief is echter niet haalbaar omdat het gebruik van een schip als opslag zeer kostbaar is vanwege het havengeld dat betaald moet worden. Dit alternatief wordt dan ook niet meegenomen in de verdere selectie.



Figuur 5.5: vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale

Het *vermengen van houtpellets met kolen* is een ander alternatief dat hoog scoort. Er zijn twee problemen die dit alternatief onmogelijk maken. Deze zijn:

- Het meemalen van houtpellets in de kolenmolens is slechts mogelijk voor een laag percentage.
- Er gelden andere opslageisen voor houtpellets dan voor kolen. Het vochtgehalte van houtpellets moet veel lager blijven dan dat van kolen.

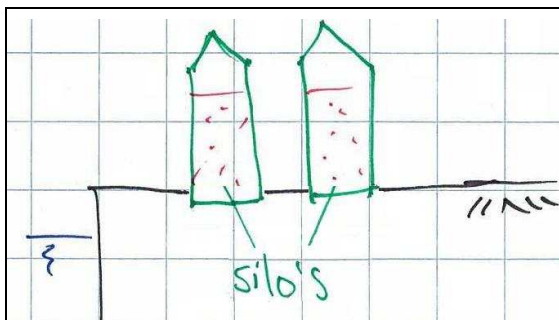
Wat opvalt is dat alle alternatieven op het gebied van ondergrondse opslag erg laag scoren. Dit komt voornamelijk door de relatief hoge investering.

5.2.4 Toelichting alternatieven

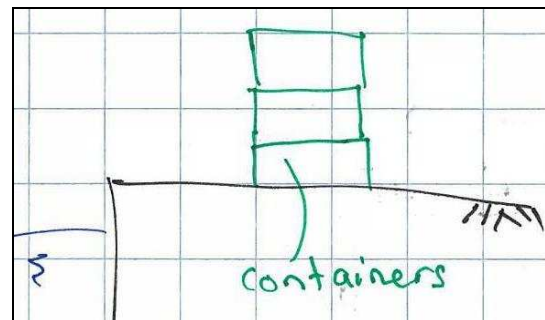
De vier overgebleven alternatieven worden in deze paragraaf toegelicht.

Een (*verdiepte*) *silopslag* is de meest conventionele opslag voor fijnkorrelig materiaal dat beschermd moet worden tegen weersinvloeden. De torens zijn zeer ruimte-efficiënt en betrouwbaar. Het verdiept aanleggen van de silo's zal niet worden toegepast omdat horizonvervuiling geen probleem is op het EMO-schiereiland en de investeringskosten, bij verdiept aanleggen, alleen maar hoger zullen uitvallen. Bij de huidige plannen voor biomassaopslag wordt er ook gekozen voor de silo.

Een *opslag bestaande uit containers* is erg flexibel en goedkoop. Wel moet er nog een goede methode worden gevonden voor het legen van de containers. Dit alternatief zal zeer geschikt zijn zodra de pellets in containers getransporteerd worden.



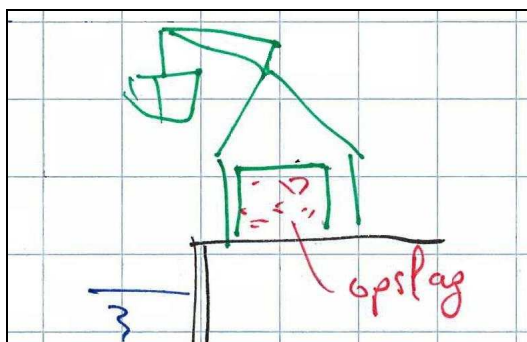
Figuur 5.6: silo-opslag



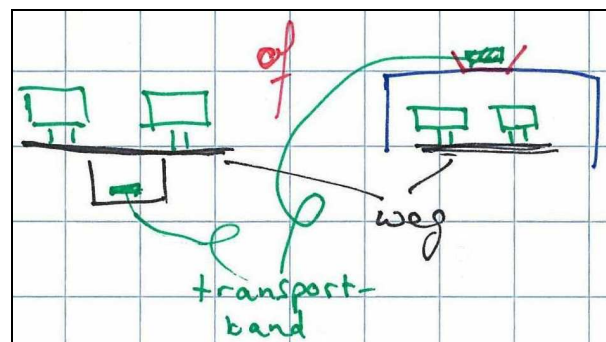
Figuur 5.7: opslag bestaande uit containers

Opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan is een alternatief waarbij de kademuur en opslag worden gecombineerd. Een aandachtspunt hierbij is de bovenbelasting op de kadeconstructie.

Naast ruimtewinst op het gebied van opslag valt er ook bij de *overslag* nog winst te behalen. Hierbij wordt gedacht aan het combineren van wegen en transportbanden (meervoudig ruimtegebruik).



Figuur 5.8: opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan



Figuur 5.9: meervoudig ruimtegebruik bij de overslag (combinatie van wegen en transportbanden)

6. Uitwerking alternatieve ruimte-intensivering

De overgebleven alternatieven uit hoofdstuk 5 worden in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. Dit moet leiden tot een verdere selectie waarbij uiteindelijk, voor zowel de droge bulk van EMO als de biomassa van Electrabel, het beste alternatief overblijft.

Allereerst zal de droge bulkopslag op het terrein van EMO aan bod komen gevolgd door de biomassa op- en overslag bij Electrabel.

6.1 Opslagterrein EMO

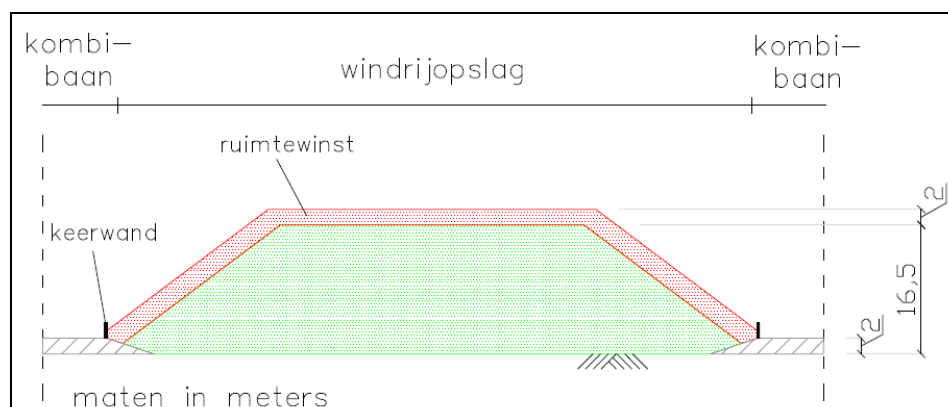
In het voorgaande hoofdstuk zijn vijf alternatieven op het gebied van droge bulkopslag overgebleven. Deze zijn:

- (Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag
- Taluds kombibaan verwijderen
- Kombibaan verhogen
- Verplaatsten (c.q. verwijderen) van onderdelen
- Storthoek vergroten

Bij het alternatief (*grondwaterverlaging en*) *uitdiepen opslag* is het nog maar de vraag of het grondwater daadwerkelijk verlaagd hoeft te worden. Het woord *grondwaterverlaging* is daarom tussen haakjes komen te staan.

Bij het alternatief *verplaatsen (c.q. verwijderen) van onderdelen* is het woord *verwijderen* tussen haakjes komen te staan. Op het terrein van EMO bevinden zich geen onderdelen die overbodig zijn, en dus verwijderd kunnen worden. Het gedeelte verwijderen is daarom tussen haakjes komen te staan.

Op het alternatief *kombibaan verhogen* is een extra variant bedacht. Hierbij zal niet de kombibaan verhoogd worden maar zal er een keerwand geplaatst worden tussen de opslag en de kombibaan om het opslagvolume te vergroten, zie figuur 6.1. Daarbij zal ook de kombi aangepast moeten worden zodat er hoger gestort en afgraven kan worden. De keerwand in combinatie met het aanpassen van de kombi zorgt voor de gewenste ruimtewinst, waarbij de kombibaan niet volledig op de schop hoeft. Het alternatief krijgt de naam *keerwand*.



Figuur 6.1: alternatief *keerwand*

Bij de verdere uitwerking zullen de alternatieven globaal uitgewerkt worden op de aspecten:

- ruimtewinst
- investeringskosten
- extra lopende kosten
- productieverlies tijdens de aanleg

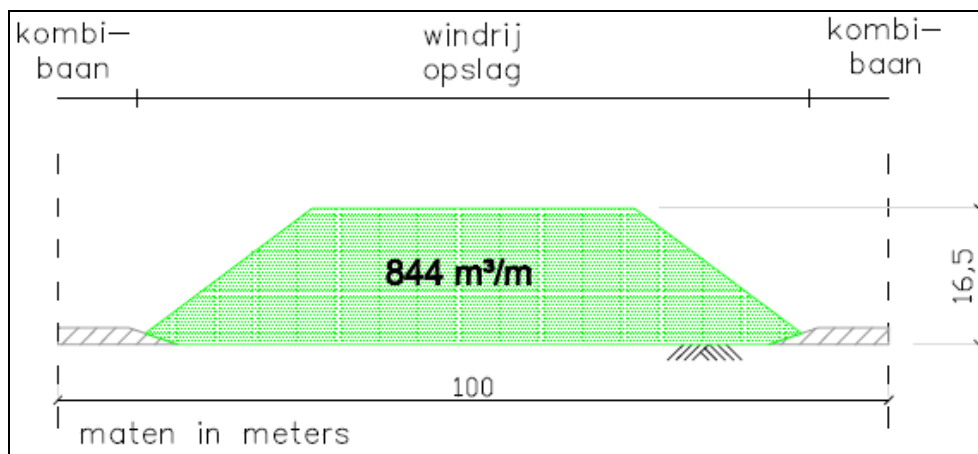
EMO heeft aangegeven flink te willen groeien. Het is daarom van belang dat een alternatief in grote mate kan voldoen aan de groeiende vraag naar opslagcapaciteit (*ruimtwinst*). Daarnaast spelen *investeringskosten* ook een belangrijke rol bij de selectie van de alternatieven. Als een extra gecreëerde kubieke meter opslag te duur wordt, dan is ruimte-intensivering geen optie meer. Het bedrijf zal er dan voor kiezen om op een andere locatie de opslag uit te breiden. De geplande uitbreiding van EMO op de Hartelstrook is daar een goed voorbeeld van.

Bij een alternatief voor ruimte-intensivering bestaat de kans dat de lopende kosten, voor het opslaan van droge bulk, omhoog gaan. De extra kosten die gemaakt worden, ten opzichte van de conventionele opslagmethode, zijn de *extra lopende kosten*. Deze kosten kunnen per alternatief sterk variëren. Een alternatief kan heel aantrekkelijk zijn op het gebied van investeringskosten maar door hogere lopende kosten kan het alternatief op den duur, op het gebied van kosten, worden ingehaald door een ander alternatief. De extra lopende kosten zijn dus ook belangrijk bij de selectie van de alternatieven.

In veel gevallen zal er tijdens de bouwfase van een alternatief *productieverlies tijdens de aanleg* worden geleden door EMO. Hierdoor zal de omzet van EMO dalen. Het is daarom wenselijk om het productieverlies zo beperkt mogelijk te houden tijdens de aanleg.

Al deze vier aspecten worden uitgewerkt. Hierbij wordt er gekeken vanaf het hart van een kombibaan naar het hart van de naastgelegen kombibaan, zie figuur 6.2. Er wordt uitgegaan van één strekkende meter windrij. Een storthoogte van 16,5 meter wordt aangenomen als de gemiddelde storthoogte van de droge bulk op het EMO terrein. De bulkpartijen worden tot op ongeveer de helft van het talud gestort. De afstand tussen de opslag en de kombibaan moet er voor zorgen dat de droge bulk niet op de kombibaan terecht komt. Dit zou kunnen gebeuren zodra het talud afschuift.

Het gemiddelde opslagvolume bedraagt circa 844 kubieke meter per meter windrij.



Figuur 6.2: doorsnede windrij

Alleen bij het alternatief *verplaatsen van onderdelen* kunnen de aspecten niet per strekkende meter uitgewerkt worden. Dit komt doordat niet het opslagvolume per strekkende meter van een bestaande windrij wordt vergroot maar er een extra stuk windrij bij komt.

Voor dit alternatief wordt een andere methode toegepast. Bij het desbetreffende alternatief zal de toegepaste methode worden toegelicht.

Eerst zullen de vier aspecten, waarop geselecteerd wordt, worden uitgewerkt. Vervolgens zal er een selectie plaatsvinden zodat het beste alternatief overblijft. Tot slot zal ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland vergeleken worden met uitbreiding van de terminal op een nieuwe locatie (buiten het EMO-schiereiland). Hieruit moet blijken of ruimte-intensivering

bij de opslag van kolen en ijzererts wel rendabel is ten opzichte van uitbreiding op een andere locatie.

6.1.1 Ruimtelijke winst

Ruimtelijke winst is de extra ruimte die vrij komt voor opslag ten opzichte van de huidige situatie (de uitgangssituatie). Doordat de windrij is opgebouwd uit meerdere bulkpartijen die niet naadloos op elkaar aansluiten wordt er net als bij de capaciteitsanalyse een verlies van 15% aangenomen voor extra ruimte. Bij de huidige capaciteit (844 m³/m) is dit verlies al meegenomen.

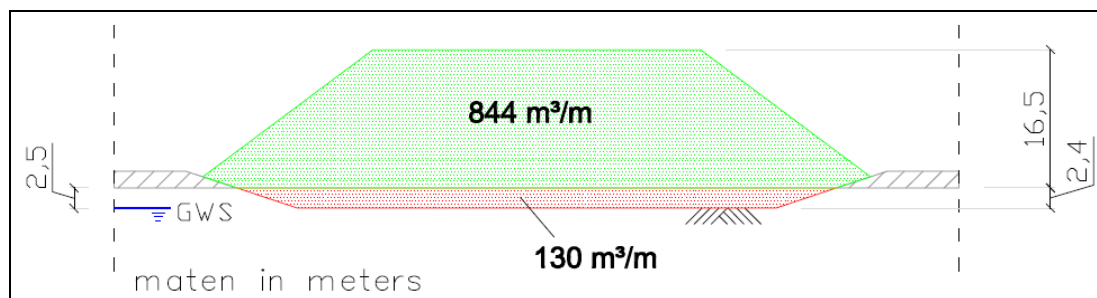
Per alternatief zal de te behalen ruimtelijke winst berekend worden. De ruimtelijke winst zal uitgedrukt worden als percentage van de huidige situatie.

(Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag

Klanten van EMO zien graag de bulkpartijen droog opgeslagen worden, dit in verband met behoud van kwaliteit van het product. Bij het uitdiepen van de opslag zal het dus mogelijk noodzakelijk zijn om bronbemaling toe te passen om zo de grondwaterstand te verlagen. Doordat de ondergrond is opgebouwd uit grof zand (grote doorlatendheid) zal de grondwaterstand niet veel hoger of lager komen te liggen dan het waterpeil rondom het schiereiland. Het hoog hoogwaterpeil (HHW) in de Mississippihaven ligt op NAP +2,55 meter (Havenbedrijf Rotterdam, 2004). De huidige bodem van de opslag ligt op circa NAP +5,0 meter. Dit betekent dat de opslag flink uitgediept kan worden zonder grondwaterstandverlaging te hoeven toepassen.

De verdiepte bodem van de opslag wordt aangenomen op NAP +2,60 meter. Bij extreem hoogwater bestaat de kans dat het grondwater voor enkele dagen net boven HHW komt te staan. Dit zal echter maar zeer zelden voorkomen.

Er vanuit gaande dat het maaiveld rond NAP +5,0 meter ligt kan de opslag eenvoudig 2,4 meter uitgediept worden zonder grondwaterbemaling te hoeven toepassen. De ruimtelijke winst die hiermee behaald wordt bedraagt 130 m³/m, zie figuur 6.3.



Figuur 6.3: ruimtelijke winst bij grondwaterstandverlaging

$$\text{Ruimtelijke winst} = \frac{130}{844} * 100\% = 15,4 \%$$

Voor het uitdiepen van de opslag moet wel rekening gehouden worden met het verticale bereik van de kombi's. De kombi's hebben in de huidige situatie nog wat speling en zouden dus nog lager kunnen reiken dan nu het geval is. De speling varieert per kombi van 1,2 tot 2,7 meter (bijlage E). Met enkele aanpassingen moet het mogelijk zijn om de diepgang van de kombi's te vergroten. Het vergroten van de *luffing angle* (verticale hoek van de arm) of het verlengen van de arm lijken zeer efficiënte methoden om de diepgang van kombi's te vergroten.

Het vergroten van de *luffing angle* geniet de voorkeur boven het verlengen van de arm. Dit vanwege het feit dat de arm met enkele meters verlengd moet worden om hetzelfde effect te

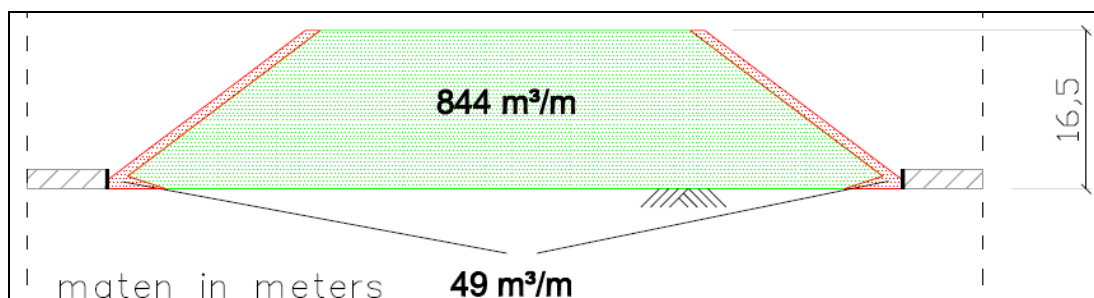
bereiken als bij het vergroten van de *luffing angle* met één graad. Verder zal het verlengen van de arm er voor zorgen dat twee kombi's in elkaars werkgebied terecht komen, wat kan leiden tot een botsing van twee kombi's.

EMO heeft aangegeven dat het vergroten van de *luffing angle* met maximaal één graad mogelijk is. De cilinder van de kombi zal dan vervangen moeten worden.

Taluds kombibaan verwijderen

Door de taluds te verwijderen komt er extra ruimte vrij aan beide zijdes van de windrij. Om er voor te zorgen dat de kombibaan vrij blijft van bulkmateriaal wordt het talud van de opslag een meter onder de bovenkant van de kombibaan aangenomen. Dit komt redelijk overeen met de buffer die is aangenomen in paragraaf 3.1.2. Hierdoor zal al het bulkmateriaal in de opslag terecht komen en wordt er nauwelijks gemorst. Dit alternatief levert 49 m³/m op, zie figuur 6.4.

Een grondkerende constructie zal de kombibaan stabiel moeten houden.



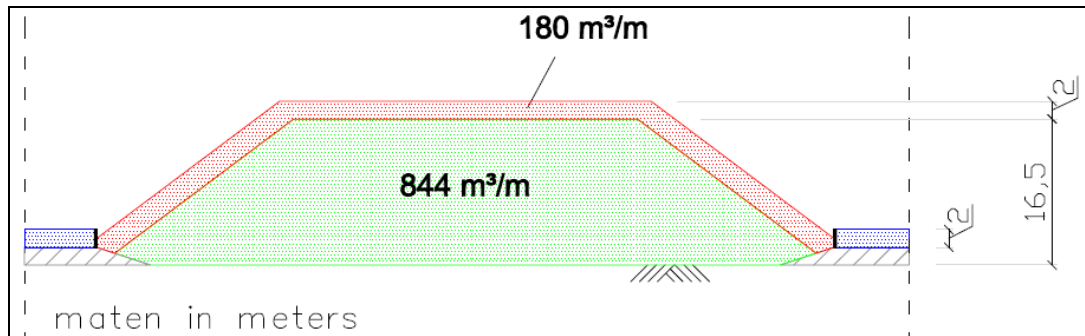
Figuur 6.4: ruimtewinst bij het verwijderen van de kombibaantaluds

$$\text{Ruimtewinst} = \frac{49}{844} * 100\% = 5,8 \%$$

Het nadeel van dit alternatief is dat niet de volledige opslag bereikt kan worden met een kombi. De kombi kan niet strak langs de grondkerende constructie afgraven vanwege de afstand tussen het emmerwiel en de zijkant van de arm, dit wordt nader toegelicht in paragraaf 7.1.1. Deze afstand bedraagt ongeveer 4 meter. Laadschoppen zullen de kombi's moeten assisteren bij het afgraven van de onbereikbare plekken. Het gedeelte van de ruimtewinst dat niet met de kombi bereikt kan worden is echter beperkt ten opzichte van de volledige ruimtewinst. Naar schatting 8 m³/m.

Kombibaan verhogen

Bij het verhogen van de kombibaan wordt de mogelijkheid gecreëerd om de storthoogte te vergroten. In eerste instantie wordt uitgegaan van een kombibaanverhoging van 2 meter. Bij een verhoging van 2 meter hoeven de kombi's niet extreem aangepast te worden om de bodem van de opslag te kunnen bereiken (bijlage E). Twee meter hoger storten zorgt voor 180 m³/m ruimtewinst, zie figuur 6.5. Er wordt één meter vrije ruimte aangehouden tussen de onderkant van het bulktaalud en de bovenkant van de verhoogde kombibaan om het morsen van droge bulk te voorkomen.



Figuur 6.5: ruimtewinst bij het verhogen van de kombibaan

$$\text{Ruimtewinst} = \frac{180}{844} * 100\% = 21,3 \%$$

Net als bij het alternatief *taluds kombibaan verwijderen*, zal niet de volledige opslag bereikt kunnen worden met de kombi. Het bulkvolume dat niet door de kombi afgegraven kan worden, wordt geschat op 8 m³/m. Laadschoppen zullen dit restant binnen het bereik van de kombi moeten brengen.

Keerwand

Door het plaatsen van keerwanden, die twee meter boven de kombibaan uitsteken, zal de ruimtewinst hetzelfde zijn als bij het alternatief *kombibaan verhogen* (180 m³/m). Ook hier wordt één meter vrije ruimte aangehouden tussen de onderkant van het talud en de bovenkant van de keerwand.

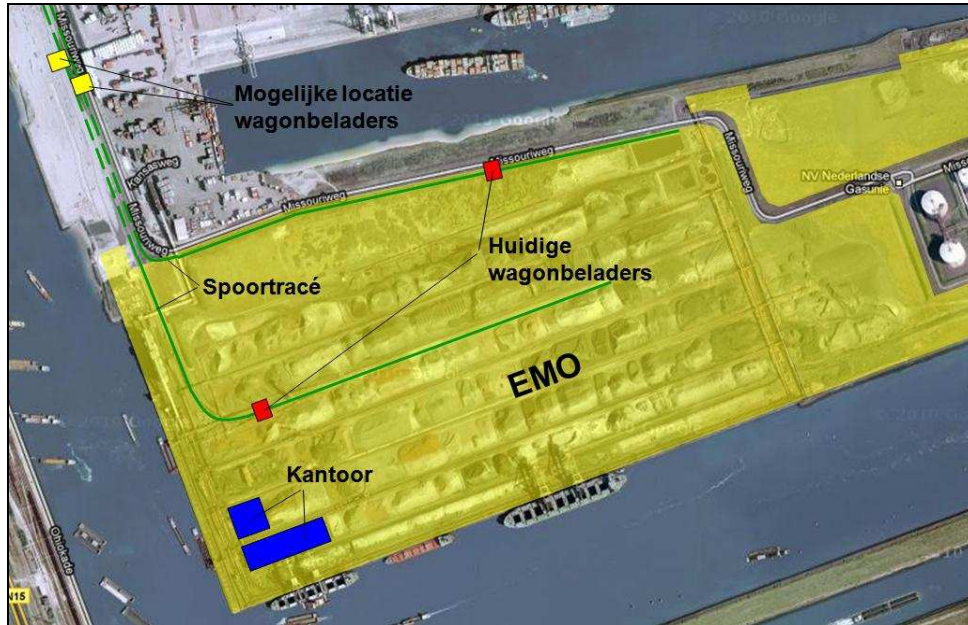
Bij dit alternatief zal de kombi aangepast moeten worden om hoger te kunnen storten. Het vergroten van de *luffing angle* met één graad is niet voldoende om de storthoogte met twee meter te vergroten. Om toch de gewenste storthoogte te bereiken kan de arm aangepast worden. Net als bij kombi 6 (bijlage E) zal er bij de andere kombi's ook een knik in de arm moeten komen waardoor de kombi hoger kan reiken.

Assistentie van laadschoppen zal nodig zijn om langs de keerwand de restanten (circa 8 m³/m) aan droge bulk af te graven.

Verplaatsen (c.q. verwijderen) van onderdelen

Bij het alternatief *verplaatsen (c.q. verwijderen) van onderdelen* wordt er gekeken naar onderdelen op het EMO-terrein die mogelijk buiten het terrein gevestigd kunnen worden. Het kantoor en spoortracé zijn de onderdelen die door EMO zijn aangedragen als verplaatsbaar.

Zoals eerder in dit hoofdstuk al is aangegeven, kan de ruimtewinst voor dit alternatief niet per strekkende meter opslag berekend worden. Om toch inzicht te krijgen in de ruimtewinst wordt het gebied dat vrij komt voor opslag bepaald. De ruimtewinst is het percentage van het vrij gekomen gebied ten opzichte van het totale opslagterrein.



Figuur 6.6: locatie van het kantoor en de wagonbeladers

Bij het verplaatsen van het kantoor zal er in de nabijheid een locatie moeten worden gevonden. De ruimte die vrij komt zal circa 2 hectare bedragen, zie figuur 6.6. Het verwijderen van het spoortracé zal ook circa 2 hectare opleveren. De wagonbeladers zullen dan op het spoortracé net buiten de EMO-terminal geplaatst worden. Met transportbanden worden de wagonbeladers gekoppeld aan het transportbandensysteem van EMO.

Het totale oppervlak dat met het alternatief *verplaatsen c.q. verwijderen van onderdelen* gewonnen wordt bedraagt circa 4 hectare. Het oppervlak van het bestaande opslagterrein is circa 111 hectare.

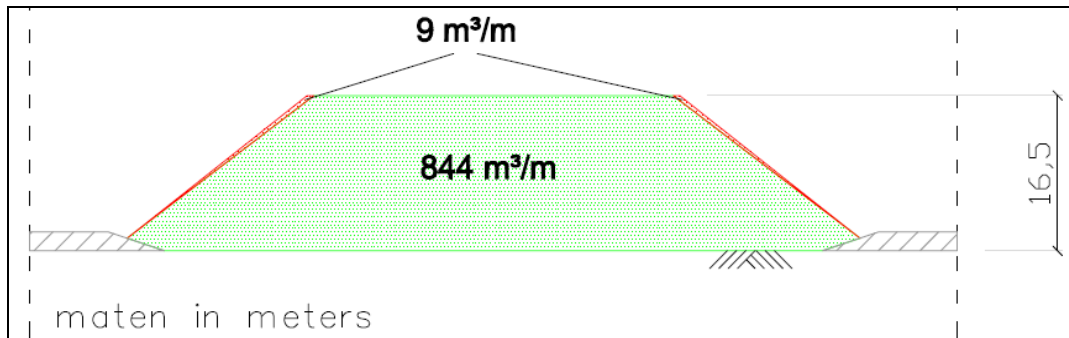
$$Ruimtwinst = \frac{4}{111} * 100\% = 3,6 \%$$

De haalbaarheid van het verplaatsen van de wagonbeladers net buiten de EMO-terminal lijkt zeer onzeker omdat het spoortracé dan buiten de EMO-terminal komt te liggen. Ook zal het transportbandensysteem aangepast moeten worden, wat weer leidt tot hogere investeringskosten.

Storhoek vergroten

Door de storhoek te vergroten zal er meer droge bulk aan beide zijdes van de windrij opgeslagen kunnen worden.

Om een gevoel te krijgen voor de ruimtewinst wordt er uitgegaan van een storhoekvergroting van één graad. Dit levert een ruimtewinst op 9 m³/m, zie figuur 6.7.



Figuur 6.7: ruimtewinst bij het vergroten van de storthoek

$$\text{Ruimtewinst} = \frac{9}{844} * 100\% = 1,1 \%$$

6.1.2 Investeringskosten

De investeringskosten zijn de kosten die gemaakt worden voor de realisatie van het alternatief. Per alternatief zal de investering berekend worden. De kosten worden uitgedrukt in prijs per strekkende meter windrij.

Per alternatief worden eerst de directe kosten geraamd. De directe kosten zijn de kosten, die direct kunnen worden toegerekend aan een product of dienst van een bedrijf op grond van een directe technische of organisatorische verhouding (Wikipedia, 2010). De investeringskosten zijn de directe en indirecte kosten bij elkaar opgeteld. De indirecte kosten zijn alle overige kosten die niet onder de directe kosten vallen. In deze fase van de studie worden de indirecte kosten aangenomen op 61% van de directe kosten (schatting van het HbR).

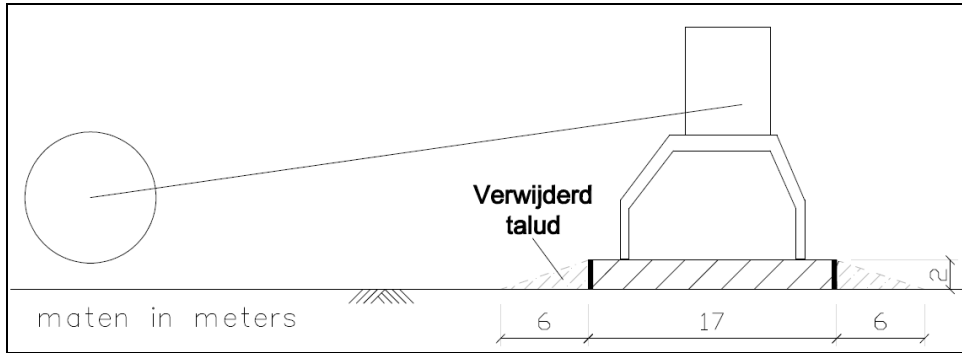
(Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag

Bij het alternatief (*grondwaterstandverlaging en*) *uitdiepen opslag* wordt de grond afgegraven en afgevoerd. De bovenste grondlaag zal verontreinigd zijn met kolengruis. Bij grondonderzoek, ten behoeve van de aanleg van de nieuwe kademuur aan de Mississippihaven, is dit aangetroffen in de eerste twee meter onder het maaiveld. De kosten voor het afvoeren van verontreinigde grond wordt door het Havenbedrijf Rotterdam geschat op circa € 60,- per kubieke meter. De verontreinigde grond wordt dan hergebruikt in de wegenbouw. Zodra de opslag op diepte is zal het opnieuw bestraat worden. Om de bodem van de opslag te bereiken zal ook de kombi aangepast moeten worden. Hiervoor zal de cilinder vervangen moeten worden. Het vervangen van een cilinder wordt door EMO geschat op circa € 100.000,-. Dit komt neer op circa € 80,-per strekkende meter. De prijs per strekkende meter opslag komt uit op circa € 16.325,- (bijlage F1). Zeer bepalend voor de prijs is de verontreinigde grond.

Taluds kombibaan verwijderen

De kosten voor het verwijderen van de taluds zullen bestaan uit het afvoeren van de taluds en het aanbrengen van de grondkerende constructie. Ook bij dit alternatief is de grond verontreinigd met kolengruis.

De kosten worden geraamd op € 2.219,- per strekkende meter windrij (bijlage F1). Het grootste deel van de kosten worden gevormd door de grondkerende constructie en het afvoeren van de verontreinigde grond.

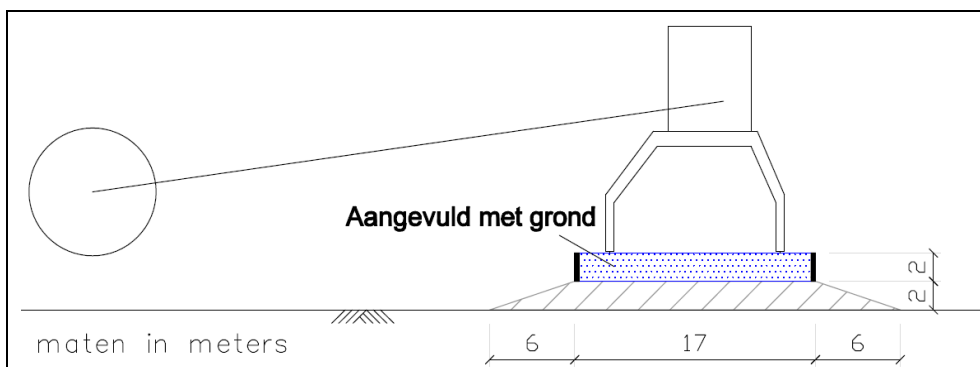


Figuur 6.8: kombibaan na het verwijderen van de taluds

Kombibaan verhogen

De investeringskosten voor het verhogen van de kombibaan zijn opgebouwd uit het plaatsen van de grondkerende constructie, het aanvulmateriaal en het verleggen van de rails waarover de kombi zich verplaatst. Daarnaast zal, net als bij het alternatief (*grondwaterstandverlaging en*) *uitdiepen opslag*, de *luffing angle* vergroot worden om de bodem van de opslag te kunnen bereiken.

De investering zal € 1.988,- per strekkende meter windrij bedragen (bijlage F1). Het aanvullen van de kombibaan met grond is de grootste kostenpost.



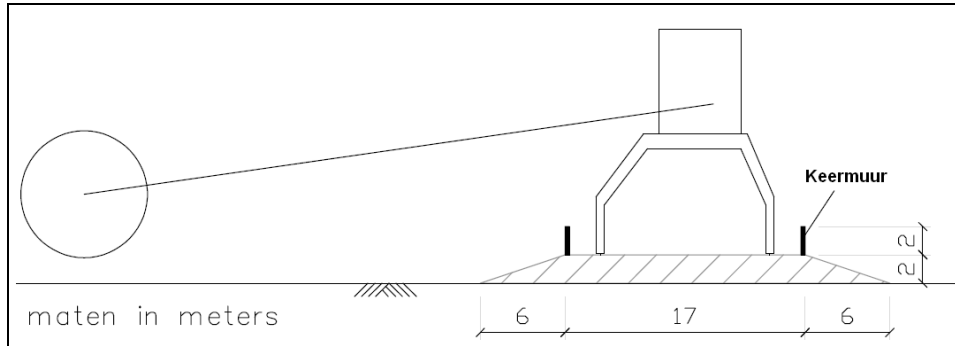
Figuur 6.9: kombibaan na verhoging

Keerwand

De kosten voor de keerwand worden bepaald door de grondkerende constructie en het aanpassen van de kombi.

Het aanpassen van de kombi is duurder dan bij de andere alternatieven, omdat niet alleen de *luffing angle* maar ook de arm aangepast moet worden. Het aanpassen van de arm wordt geschat op € 300.000,-. Dit komt neer op circa € 240,- per strekkende meter windrij.

De totale investering komt uit op circa € 1.312,- per stekkende meter windrij (bijlage F1). Vooral de grondkerende constructie en het aanpassen van de kombi zijn bepalend voor de investeringskosten.



Figuur 6.10: kombibaan na het plaatsen van keermuren

Verplaatsten (c.q. verwijderen) van onderdelen

Naar schatting zullen de kosten voor een nieuw kantoor en het verplaatsen van de wagonbeladers in de vele miljoenen euro's lopen. Doordat de ruimtewinst zeer beperkt is, betekent dit dat de prijs per extra kubieke meter opslag zeer hoog zal zijn. Een gedetailleerde uitwerking van de kosten is dan ook niet erg zinvol.

Storhoek vergroten

Er wordt vanuit gegaan dat de droge bulk al op de winlocatie wordt behandeld om de storhoek te vergroten en dat EMO niet investeert in dit proces. EMO zal hierdoor geen investeringskosten hoeven te maken.

6.1.3 Extra lopende kosten

Bij een alternatief voor ruimte-intensivering bestaat de kans dat de lopende kosten voor het opslaan van droge bulk omhoog of omlaag gaan. De extra kosten die gemaakt worden, ten opzichte van de conventionele opslagmethode, zijn de *extra lopende kosten*.

De extra lopende kosten zullen voor elke alternatief afzonderlijk besproken worden.

(Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag

Doordat het talud, aan beide zijdes van de opslag, met dezelfde hellingshoek doorloopt zal de kombi alle plekken in de opslag kunnen bereiken. De methode voor het storten en afgraven zal dan ook niet gewijzigd worden waardoor er geen extra lopende kosten zijn.

Taluds kombibaan verwijderen

Een kombi zal niet strak langs de grondkerende constructie kunnen afgraven. Er zal hierdoor een gedeelte van de bulkpartij blijven liggen. Dit gedeelte is in paragraaf 6.1.1 geschat op $8 \text{ m}^3/\text{m}$. Het verplaatsen van de grond richting het hart van de windrij gebeurt met een laadschop. Dit kost circa € 0.50 per kubieke meter (Archibat, 2010).

De extra lopende kosten zullen dan € 4,- per strekkende meter bedragen.

Kombibaan verhogen

Bij het verhogen van de kombibaan heeft men, net als bij het alternatief *talud kombibaan verwijderen*, te maken met een onbereikbaar gebied van circa $8 \text{ m}^3/\text{m}$.

De extra lopende kosten zullen hierdoor circa € 4,- per strekkende meter windrij bedragen.

Keerwand

Ook het vergroten van de opslag met behulp van keerwanden zorgt voor een zelfde hoeveelheid aan onbereikbaar volume in de opslag. De kombi zal circa $8 \text{ m}^3/\text{m}$ van de opslag niet kunnen bereiken.

De extra lopende kosten bedragen circa € 4,- per strekkende meter windrij.

Verplaatsten (c.q. verwijderen) van onderdelen

De ruimte die vrij komt door het verwijderen van onderdelen wordt gebruikt voor opslag. Deze opslag wijkt niet af van de huidige opslag. Er zullen dan ook geen extra lopende kosten zijn.

Storhoek vergroten

Bij het vergroten van de storhoek zal er niets veranderen wat betreft het storten en afgraven. Er zullen dus ook geen extra lopende kosten zijn bij dit alternatief.

6.1.4 Productieverlies tijdens de aanleg

Bij de aanleg van een alternatief zal er in de meeste gevallen productieverlies worden geleden door EMO. Delen van de opslag zullen dan niet beschikbaar zijn voor opslag of zijn onbereikbaar voor de kombi. Omdat dit per alternatief sterk kan variëren en de kosten voor het verlies van productie hard kunnen oplopen is het belangrijk om dit inzichtelijk te maken.

(Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag

Bij het alternatief (*grondwaterstandverlaging en*) *uitdiepen opslag* wordt bijna de volledige opslag uitgediept. Dit zorgt ervoor dat ter plaatse van de constructiewerkzaamheden de gehele breedte van de opslag niet gebruikt kan worden voor opslag van droge bulk. Het volledig uitdiepen van de opslag en het opnieuw bestraten van de opslag zal enige tijd duren. Daarnaast moet ook de cilinder van de kombi vervangen worden waardoor de kombi voor korte periode niet beschikbaar is.

Het productieverlies tijdens de aanleg bij dit alternatief is relatief hoog.

Taluds kombibaan verwijderen

Bij dit alternatief zal de ruimte op en rondom het talud vrij moeten blijven voor het afgraven van het talud en het installeren van de grondkerende constructie. Op het horizontale gedeelte van de opslag kan er wel droge bulk worden opgeslagen. Ter plaatse van de bouwlocatie kan de opgeslagen bulk dan tijdelijk niet worden afgegraven door de kombi vanwege de bouwwerkzaamheden.

Een ander probleem dat mogelijk speelt is de stabiliteit van de kombibaan tijdens de aanleg van de grondkerende constructie. Dit kan ervoor zorgen dat de kombi niet op elk moment de bouwlocatie kan passeren.

Het productieverlies tijdens de aanleg bij dit alternatief is relatief laag.

Kombibaan verhogen

Het voordeel van dit alternatief is dat, als er niet te hoog op het talud wordt gestort, de volledige breedte van de opslag gebruikt kan worden voor de opslag van droge bulk. Het grote nadeel is dat de kombi niet vanzelf naar de verhoogde kombibaan kan rijden. Hierdoor is een groot deel van de opslag onbereikbaar voor de kombi. De verhoging zorgt ook voor grote problemen bij de transportband die over de kombibaan loopt. De transportband is de leverancier van droge bulk voor de kombi. De transportband moet dus te allen tijde blijven functioneren.

Daarnaast moet ook de cilinder van de kombi vervangen worden waardoor de kombi voor een korte periode niet beschikbaar is.

Het productieverlies tijdens de aanleg is relatief hoog bij dit alternatief.

Keerwand

Net als bij het alternatief kombibaan verhogen, kan bijna de volledige breedte van de opslag gebruikt worden voor opslag. Op de plek van de bouwlocatie zal de kombi kunnen passeren zonder al te veel problemen. Wel zal de kombi op deze locatie niet kunnen storten en afgraven vanwege de bouwwerkzaamheden.

De kombi zal tijdelijk buiten bedrijf zijn voor het vervangen van de cilinder en de arm.

Het productieverlies tijdens de aanleg is relatief laag bij dit alternatief.

Verplaatsten (c.q. verwijderen) van onderdelen

Bij dit alternatief zorgt alleen het verplaatsen van de wagonbeladers voor productieverlies tijdens de constructiefase. Als de wagonbelader verplaatst wordt zal deze tijdelijk buiten bedrijf zijn.

De afvoer van droge bulk per spoor zal voor enige tijd zeer beperkt zijn. Hierdoor is het productieverlies relatief hoog omdat het transport per spoor een belangrijke modaliteit is.

Storchoek vergroten

Bij het alternatief *vergroten storchoek* wordt er niets verbouwd. Er zal dus ook geen productieverlies worden geleden.

Bij dit alternatief treedt geen productieverlies op tijdens de aanleg.

6.1.5 Selectie

Op basis van de beoordelingsaspecten, die zijn behandeld in de voorgaande paragrafen, zullen er alternatieven afvallen. In de onderstaande tabel zijn alle aspecten weergegeven per alternatief.

	Ruimtelijke winst		Investeringskosten		Extra lopende kosten [€/m]	Productieverlies tijdens de aanleg
	Ruimtelijke winst [m ³ /m]	Ruimtelijke winst t.o.v. de oorspronkelijke situatie	Investeringskosten [€/m]	Prijs/eenheid [€/m ³]		
(Grondwaterstandverlaging en) uitdiepen opslag	130	15,4 %	16.325,-	125,58	0,-	--
Taluds kombibaan verwijderen	49	5,8 %	2.219,-	45,29	4,00	+
Kombibaan verhogen	180	21,3 %	1.988,-	11,04	4,00	--
Keerwand	180	21,3 %	1.312,-	7,29	4,00	+
Verplaatsten (c.q. verwijderen) van onderdelen	-	3,6 %	hoog	hoog	0,-	-
Storchoek vergroten	9	1,1 %	0,-	0,-	0,-	++

Tabel 2: alternatieven ruimte-intensivering droge bulkopslag (++ = geen productieverlies / -- = veel productieverlies)

Het alternatief *storchoek vergroten* levert qua ruimtelijke winst niet het gewenste resultaat op. Mocht dit in de toekomst mogelijk zijn dan plukt EMO daar de vruchten van maar het ontwikkelen van een grotere storchoek door EMO is voor EMO niet rendabel. Dit alternatief zal dan ook niet meegenomen worden in het verdere onderzoek.

De vijf overgebleven alternatieven worden beoordeeld aan de hand van de prijs die een extra gecreëerde kubieke meter opslag aan investering kost.

Het alternatief (*grondwaterstandverlaging*) en *uitdiepen opslag* is erg duur omdat de prijs voor het reinigen van grond erg hoog is. Daarnaast is het opnieuw bekleden van de bodem van de opslag zeer kostbaar vanwege het grote oppervlak. De prijs voor een extra kubieke meter opslag komt uiteindelijk op circa € 125,58. Dit zorgt ervoor dat dit alternatief niet rendabel is en afvalt.

Bij het alternatief *taluds kombibaan verwijderen* zorgt vooral het reinigen van de grond voor relatief hoge kosten. De kosten voor een extra kubieke meter opslag komen uit op circa €45,29. Dit alternatief is qua investeringskosten, ten opzichte van andere alternatieven, aan de hoge kant. Dit alternatief wordt dan ook niet meegenomen in het vervolg van deze studie. Het *verplaatsen (c.q. verwijderen) van onderdelen* levert ten opzichte van de andere alternatieven maar weinig ruimte op. De ruimte die het oplevert, weegt niet op tegen de investeringskosten voor het verplaatsen van het kantoor en de wagonbeladers. Dit alternatief valt dan ook af.

De twee alternatieven die over zijn gebleven (*kombibaan verhogen* en *keerwand*) scoren allebei goed op het aspect *investeringskosten*. De keuze tussen de twee alternatieven wordt vooral bepaald door het beoordelingsaspect *productieverlies tijdens de aanleg*. Hierbij geniet het alternatief *keerwand* de voorkeur vanwege het geringe productieverlies tijdens de aanleg en blijft dit als enig alternatief over.

De extra lopende kosten voor alle alternatieven zijn relatief laag en spelen daarom geen bepalende rol bij de selectie van de alternatieven.

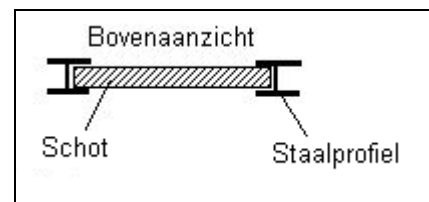
Het alternatief *keerwand* is door de grote hoeveelheid aan ruimtewinst, de relatief lage prijs voor een extra kubieke meter opslag en het geringe productieverlies tijdens de aanleg zeer interessant. De ruimtewinst die het oplevert zorgt voor de gewenste capaciteitstoename van de opslag van EMO.

Aan het alternatief *keerwand* kleeft wel een nadeel. Door het plaatsen van wanden aan beide zijdes van de kombibaan hebben laadschoppen en dumpers minder bewegingsvrijheid. De twee voornaamste problemen hierbij zijn:

- bereikbaarheid van opslag vanaf de kombibaan;
- blokkade voor het materieel ter plaatse van de kombi.

De keerwand zorgt voor een duidelijke scheiding tussen de opslag en de kombibaan. In de huidige situatie kan het materieel de opslag eenvoudig bereiken via de kombibaan. Zodra de keerwand is aangebracht zal dit niet meer mogelijk zijn.

Door op meerdere locaties in de keermuur de Berliner constructie (zie figuur 6.11) toe te passen kunnen er openingen in de wand gecreëerd worden. De Berliner constructie is een grondkerende constructie die bestaat uit verticaal in de grond geplaatste staalprofielen waar tussen schotten worden geplaatst. Als er geen droge bulk tegen de wand ligt kan een schot verwijderd worden, waardoor er een opening ontstaat voor het materieel.



Figuur 6.11: berliner constructie

De doorrijhoogte en -breedte onder de kombi is beperkt, zie figuur 6.12. Hierdoor passeren de grotere laadschoppen en dumpers de kombi door er omheen te rijden. Ze rijden dan voor een gedeelte over de op opslag. Zodra de keerwand geplaatst is, kan het materieel de kombi niet meer passeren op deze manier. Het grotere materieel moet dan een flinke omweg maken om de uiteindelijke bestemming te bereiken. Kleiner materieel zou het probleem kunnen oplossen. Dit draagt echter niet bij aan de effectiviteit van de productie. De extra lopende kosten zullen dan ook hoger uitvallen.



Figuur 6.12: beperkte doorrijhoogte en -breedte onder de kombi

6.1.6 Ruimte-intensivering of uitbreiden op een nieuwe locatie

Nu het meest ideale alternatief voor ruimte-intensivering bekend is, is het interessant om te kijken of ruimte-intensivering rendabel is ten opzichte van uitbreiding van de EMO-terminal op een andere locatie.

Als de kosten voor ruimte-intensivering lager zijn dan die voor uitbreiding op een nieuwe locatie, dan is het zeer aantrekkelijk om het alternatief *keerwand* verder te ontwikkelen. Bij veel alternatieven voor ruimte-intensivering in de haven is dit echter het grote probleem voor de haalbaarheid.

De ruimte-intensivering zorgt voor 21,3% meer opslagvolume. Dat komt neer op 1,72 miljoen kubieke meter extra opslagvolume. Met circa € 7,29 per kubieke meter komt de totale investering uit op circa € 12.550.000,-.

Als deze zelfde hoeveelheid aan opslag (1,72 miljoen kubieke meter) gecreëerd wordt op een nieuwe locatie dan zal er circa 25,6 hectare (21.3% van 111 hectare) nodig zijn voor de opslag. Het totale oppervlak voor de op- en overslag van droge bulk op de nieuwe locatie zal dan circa 38,4 hectare bedragen (de oppervlakteverhouding tussen de totale terminal en de opslag bedraagt circa 1,5 bij de huidige EMO-terminal). Dit terrein zal in zijn geheel moeten worden ingericht. Dit kost circa €120,- per vierkante meter (schatting HbR). Vooral de verharding en het materieel zijn bepalend voor de kosten. De investeringskosten voor uitbreiding zullen dan, met circa €46.000.000,-, bijna vier keer zo hoog zijn als die voor ruimte-intensivering.

Niet alleen de investeringskosten maar ook de lopende kosten zullen bij uitbreiding harder stijgen dan bij ruimte-intensivering. Alleen al de huur van 38,4 hectare grond kost al enkele miljoenen euro's per jaar. Daarnaast zorgt uitbreiding op een nieuwe locatie voor een scheiding van terminal. Dit draagt niet bij aan de flexibiliteit van de terminal als geheel. De totale schade hiervoor wordt door het Havenbedrijf Rotterdam geschat op enkele miljoenen euro's.

Het voordeel van uitbreiding op een nieuwe locatie is wel dat er geen productieverlies wordt geleden tijdens de nieuwbouw. De terminal op het EMO-schiereiland kan dan volledig operationeel blijven.

Zowel de investerings- als de operationele kosten voor ruimte-intensivering zijn lager dan bij uitbreiding op een nieuwe locatie.

Naast de winst op financieel gebied is het alternatief *keerwand* ook milieutechnisch zeer aantrekkelijk. Het grootste milieuprobleem bij droge bulkopslag is luchtvervuiling door stof.

Door het oppervlak, van de opslag, dat in contact komt met de openlucht zo klein mogelijk te houden wordt dit probleem beperkt.

Bij uitbreiding op een nieuwe locatie zal het oppervlak dat in aanraking komt met de openlucht vele malen groter zijn dan bij het alternatief *keerwand*. Dit leidt tot extra milieuvervuiling.

Vanuit financieel en milieutechnisch oogpunt is het zeer interessant om het alternatief *keerwand* verder uit te werken.

6.2 Op- en overslag biomassa Electrabel

In het voorgaande hoofdstuk zijn vier alternatieven op het gebied van biomassa op- en overslag overgebleven. Deze zijn:

- Silo's (opslag)
- Opslag bestaande uit containers (opslag)
- Opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan (opslag)
- Meervoudig ruimtegebruik bij de overslag (overslag)

Voor het uitwerken van de alternatieven worden de op- en overslag apart van elkaar bekeken. Dit wordt gedaan omdat dit twee aparte processen zijn, die niet met elkaar vergeleken kunnen worden.

In de huidige plannen wordt er gekozen voor een biomassaopslag bestaande uit silo's. Omdat de ruimte op het EMO-schiereiland schaars is, zal er vooral gekeken worden naar een opslag die nog minder ruimte in beslag neemt dan de silo's. Daarnaast worden er ook de plus- en minpunten van de alternatieven meegenomen bij de selectie

In de eerste paragraaf zal de biomassaopslag behandeld worden. Hierbij wordt er gezocht naar een alternatief dat beter scoort dan het alternatief *silo's*.

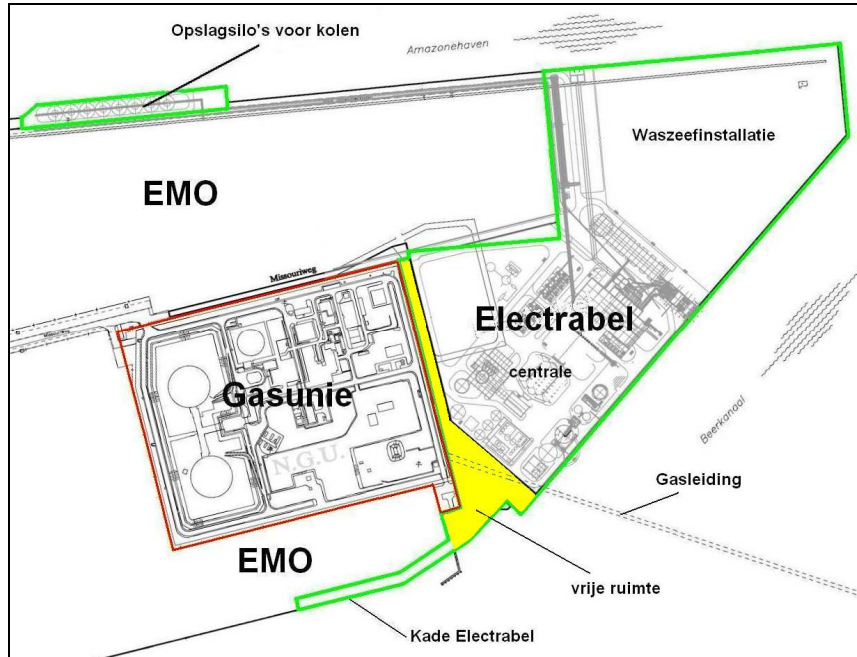
De overslag van biomassa wordt aan het eind van de paragraaf behandeld. Omdat er maar één alternatief is, zal hierbij geen selectie nodig zijn.

6.2.1 Biomassaopslag

Electrabel heeft nog 16.800 m² beschikbaar op het eigen terrein voor de opslag van biomassa. In figuur 6.13 is dit aangeduid met "vrije ruimte". Het nadeel van dit gebied is dat het veel hoeken bevat en dat er een lange strook is met beperkte breedte (circa 15 meter). Verder loopt er ook een gasleiding door het gebied.

Om tot een selectie te komen van de alternatieven wordt er gekeken naar de plus- en minpunten van de alternatieven.

Er wordt daarbij rekening gehouden met de maximale stapelhoogte van 25 meter die geldt voor biomassa. De benodigde opslagcapaciteit bedraagt circa 120.000 m³.



Figuur 6.13: beschikbare ruimte voor biomassaopslag

Opslag bestaande uit containers

Een 40 voets container heeft een inhoud van $67,5 \text{ m}^3$ en bodemoppervlak van $29,7 \text{ m}^2$. De *payload* (het maximaal toelaatbare gewicht in een container) bedraagt circa 28,8 ton. Dit betekent dat de container niet maximaal gevuld kan worden met biomassa. De containers zullen voor circa 70% gevuld kunnen worden met biomassa.

De 20 voets container kan wel maximaal gevuld worden. De reden dat er niet voor de 20 voets container wordt gekozen, is de verdubbeling van het aantal handelingen van containers dat dan verricht moet worden.

Voor de opslag van 120.000 m^3 houtpellets zijn 2500 containers van 40 voet nodig. Er wordt uitgegaan van de maximale stapelhoogte van 5 containers, dat het materieel (*gantry crane*) voor containeropslag aan kan (Ligteringen, 2007). Bij een stapelhoogte van 5 containers neemt de opslag een netto ruimte van 14.850 m^2 in beslag.

Het bruto oppervlak wordt met de formule die geldt voor de containeropslag berekend. Hierbij wordt bijvoorbeeld ook de ruimte die nodig is voor het materieel meegenomen. Het bruto oppervlak komt uit op circa 39.900 m^2 (bijlage G1).

De opslag bestaande uit containers neemt ongeveer 2,5 keer meer ruimte in beslag dan silo's (huidige plan). Hierdoor valt dit alternatief af.

Opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan

Dit alternatief lijkt in eerste instantie zeer interessant omdat er meervoudig ruimtegebruik wordt toegepast. Het kent echter drie grote minpunten omdat het opslagterrein op de kademuur te klein is (de berekening hiervoor is te vinden in bijlage G2). De drie minpunten zijn:

Doordat niet al het biomassa opgeslagen kan worden op de kademuur, komt er een groot deel van de opslag achter het kadeterrein terecht. Dit is niet het terrein van Electrabel maar dat van EMO. Het terrein zal overgenomen moeten worden van EMO, hetgeen geld kost. Het totale oppervlak van de opslag bedraagt 12.060 m^2 (bijlage G2). De biomassa moet afgesloten worden opgeslagen. Er zal dus een gigantische constructie nodig zijn om de biomassa op te slaan.

de drijvende kraan, die moet zorgen voor de overslag van biomassa, zal nooit de opslag achter de kade kunnen bereiken, omdat de afstand te groot is.

Het alternatief *opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan* kent te veel nadelen, waardoor deze af valt.

Silo's

Het alternatief *silo's* blijft uiteindelijk als enig alternatief over. Silo's zijn zeer efficiënt voor de opslag van fijnkorrelig materiaal en kunnen een stapelhoogte van 25 meter aan. Het netto benodigde oppervlak voor de silo's zal dan 4.800 m² bedragen.

Uit de huidige plannen blijkt dat het bruto oppervlak van de silo circa 2,5 keer het netto oppervlak bedraagt. Het netto oppervlak komt hiermee op circa 12.000 m². Theoretisch zou dit in de "vrije ruimte" op het Electrabel terrein moet passen (16.800 m²).

De zoektocht naar een innovatieve opslagmethode voor biomassa heeft niet geleid tot een innovatie en wordt dan ook niet verder onderzocht in deze studie. De twee voornaamste redenen waarom er geen geschikt alternatief is gevonden zijn:

- investeringskosten
- ruimtewinst

Er zijn maar weinig alternatieven die bij de multicriteria-analyse op het gebied van investeringskosten beter scoren dan de bestaande alternatieven. De alternatieven die positief scoren bij de investeringskosten laten het weer afweten bij de andere beoordelingsaspecten.

Silo-opslag is al zeer ruimte-effectief. Het behalen van winst op het gebied van ruimte is hierdoor erg lastig.

Vanwege het feit dat er geen ruimtewinst is behaald op het terrein van Electrabel blijft er een tekort aan ruimte voor de opslag van biomassa. Gasunie of EMO zal hierdoor nog ruimte moeten afstaan aan Electrabel voor de aanleg van de biomassaopslag.

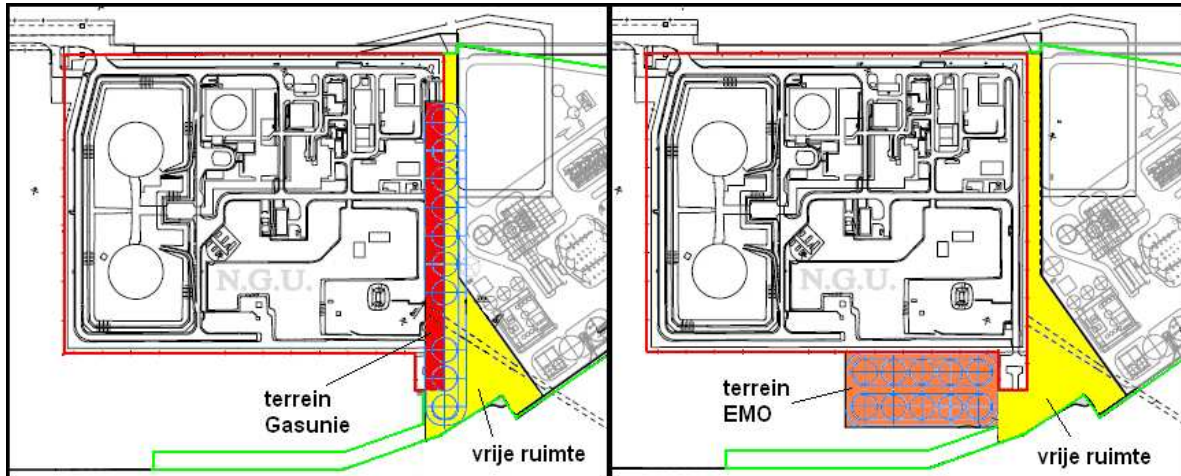
Voor de volledigheid worden nog wel de twee verschillende locaties voor de silo opslag besproken.

Voor de locatie van de silo's zijn twee verschillende varianten bedacht door het Havenbedrijf Rotterdam, zie figuur 6.14.

Bij variant A wordt geprobeerd om alle silo's in de "vrij ruimte" op het Electrabel terrein te plaatsen. Door de ongelukkige vorm van deze ruimte passen de silo's niet volledig binnen de grenzen van dit gebied. Om toch de silo's kwijt te kunnen op dit terrein wordt er een strook grond van het naast gelegen Gasunie terrein gebruikt. Het gaat hier om een stuk grond van iets meer dan een halve hectare (19 x 300 m). Een gasleiding die door dit gebied loopt zal dan wel verlegd moeten worden.

De silo's worden bij variant B volledig op het terrein van EMO geplaatst. Het gebied op het EMO terrein, dat nodig is voor de opslag van biomassa, bedraagt circa 1,3 hectare (80 x 160 m). De vrije ruimte wordt hierbij helemaal niet benut.

Variant A geniet de voorkeur boven variant B vanwege het benutten van de "vrije ruimte". In verband met vergunningen is er een tweede variant bedacht (variant B). Als er geen vergunning verkregen wordt voor variant A, dan kan er overgeschakeld worden op variant B.



Figuur 6.14: locatie voor de biomassasilos (links variant A en rechts variant B)

6.2.2 Overslag biomassa

Voor de overslag van biomassa is enkel het alternatief *meervoudig ruimtegebruik bij de overslag* uit de brainstorm naar voren gekomen.

Bij het alternatief *meervoudig ruimtegebruik bij de overslag* kan er gekeken worden bij EMO. Een transportband kan bijvoorbeeld lopen over:

- een kabel- en leidingstrook;
- een weg;
- een kadeconstructie.

Bij de overslag wordt biomassa, in de vorm van houtpellets, vanuit het schip gelost op een transportband die in de lengterichting over de kade loopt. Aan het einde van de kade zal de transportband verder lopen tot over de biomassasilos.

Door de transportband op de kade te plaatsen zal er meervoudig ruimtegebruik plaats vinden op de kade. Doordat de afstand tussen de kade en de silos kort is, zal meervoudig ruimtegebruik voor de rest van het transportbandentraject niet veel ruimte meer opleveren. Wel zal de transportband verhoogd worden aangelegd, zodat het materieel op het terrein eenvoudig de transportband kan kruisen.

Op deze manier kan het grootste deel van het transportbandentraject gecombineerd worden met andere constructies, waardoor meervoudig ruimtegebruik ontstaat.

Net als bij de opslag is ook bij de overslag van biomassa geen innovatief idee ontstaan. De overslag van biomassa wordt dan ook niet verder onderzocht in deze studie.

7. Constructieve uitwerking

De constructieve uitwerking van het alternatief *keerwand* wordt in dit hoofdstuk bekeken.

Hieruit moet blijken of het alternatief ook op constructief gebied haalbaar is.

Doordat de zoektocht naar alternatieven voor op- en overslag van biomassa niet heeft geleid tot innovatieve ideeën, worden deze alternatieven niet verder uitgewerkt in dit onderzoek. In dit hoofdstuk ligt de focus dan ook volledig op het alternatief *keerwand*.

7.1 Opslagterrein EMO

Voor de opslag van droge bulk op het EMO-terrein is het alternatief *keerwand* overgebleven.

De keerwand moet er voor zorgen dat er niet tot halverwege het talud van de kombibaan gestort kan worden, maar tot aan de keerwand. Dit zorgt voor een aanzienlijke vergroting van de opslagcapaciteit zonder dat er droge bulk gemorst wordt op de kombibaan.

Eerst zal het ontwerp van de keerwand worden gepresenteerd. Eventuele aanpassingen ten opzichten van alternatief *keerwand* uit hoofdstuk 6 zullen worden toegelicht. Vervolgens zal er met controle berekeningen worden aangetoond dat de ontworpen constructie stabiel is. Bij eventuele aanpassingen van het ontwerp wijzigen ook de resultaten van de aspecten, die behandeld zijn in hoofdstuk 6 (ruimtelijke winst, investeringskosten, extra lopende kosten en productieverlies tijdens de aanleg). De wijzigingen van de aspecten worden bekeken aan het eind van dit hoofdstuk.

7.1.1 Ontwerp

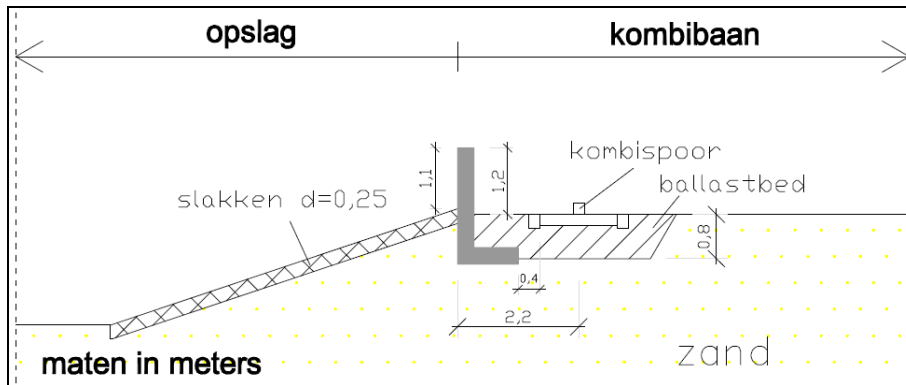
Voor de keerwand wordt er gezocht naar een goedkope grondkerende constructie, die een grote horizontale kracht op kan nemen en een lange levensduur heeft. Hiervoor komen twee constructies in aanmerking, die veel in de praktijk worden toegepast. Deze zijn:

- L-muur
- damwand

De investeringskosten voor een damwand worden in deze situatie, door het Havenbedrijf, 33% hoger geschat dan voor de L-muur. De kosten voor het plaatsen van de constructie zijn hierbij inbegrepen. De hogere investeringskosten voor een damwand worden vooral veroorzaakt door de hoge staalprijs en de hoge kosten voor het plaatsen. Een bijkomend voordeel van de L-muur is dat beton duurzamer is dan staal waardoor de investering over een langere periode kan worden uitgesmeerd.

Naast de voordelen op financieel gebied heeft de L-muur ook als praktisch voordeel, dat het een strakke rechte muur is in tegenstelling tot de damwandconstructie. Een laadschop kan hierdoor eenvoudiger de droge bulkresten langs de grondkerende constructie weg schuiven. Een voordeel van de damwand is dat het leidt tot minder productieverlies tijdens de aanleg. Dit komt doordat de kombi bijna continu kan blijven functioneren tijdens het plaatsen van de damwand.

Bij de keuze tussen de twee grondkerende constructies geven investeringskosten en duurzaamheid de doorslag, waardoor de L-muur wordt verkozen boven de damwand als grondkerende constructie.



Figuur 7.1: basis ontwerp kolenopslag

Het ontwerp van de keerwand is weergegeven in figuur 7.1. Een groot probleem van het alternatief *keerwand* is dat de zijkant van de kombi-arm tegen de dichtstbijzijnde keerwand aan komt als de kombi wil graven langs deze wand en de wand te hoog is. Dit is voornamelijk het geval als de kombi-arm met de transportbandzijde richting de keerwand graaft. Het emmerwiel komt hierdoor niet in de buurt van de keerwand. De breedte van de kop van de kombi-arm is te zien in figuur 7.2.

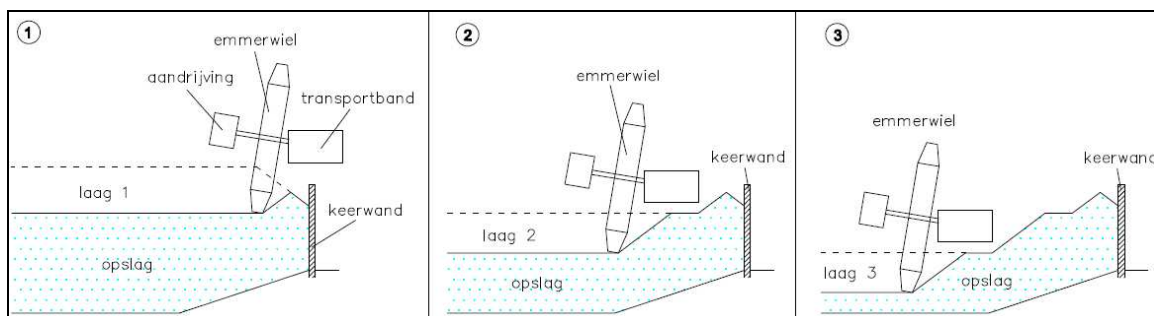


Figuur 7.2: kop van de kombi-arm



Figuur 7.3: de afstand (x) die het emmerwiel onder de arm uitsteekt

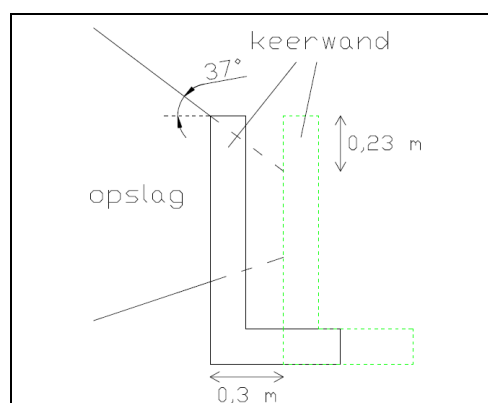
De kombi graaft, zoals in paragraaf 4.2.4 is aangegeven, met *slew reclaiming* laag voor laag af. De zijkant van de arm komt dan steeds tegen het talud van de vorige laag aan. Hierdoor ontstaat een trapvormige helling, zie figuur 7.4. De hoogte van een trede hangt af van de afstand die het emmerwiel onder de arm uitsteekt, zie figuur 7.3. Een grotere diameter van het emmerwiel draagt bij aan het vergroten van deze afstand. Als het emmerwiel ver onder de arm uitsteekt dan is de hoeveelheid aan droge bulk dat niet door de kombi kan worden afgegraven gering.



Figuur 7.4: trapvormige helling door de afgraafmethode van de kombi

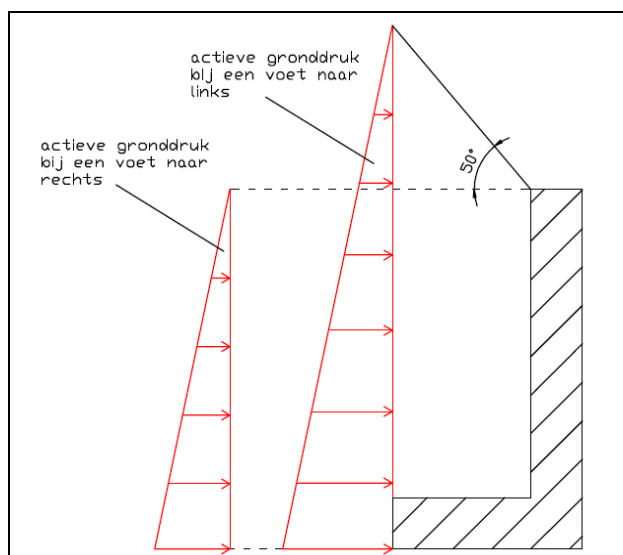
Een hoge keermuur zorgt ervoor dat de kombi veel droge bulk niet kan afgraven. Om dit te voorkomen wordt de L-muur verlaagd tot 1,1 meter boven het maaiveld. Bij deze hoogte kan het emmerwiel bijna tot aan de bodem afgraven. De hoeveelheid aan droge bulk dat niet door de kombi kan worden afgegraven blijft hierdoor beperkt en de kombi behoudt een veilige afstand tot de keermuur (ongeveer een meter). Bij een aantal kombi's zal de afstand die het emmerwiel onder de arm uitsteekt vergroot moeten worden tot ongeveer twee meter. Door het verlagen van de L-muur wordt er wel aan ruimtewinst ingeleverd.

Door de wand 0,30 meter richting het kombispoor te verplaatsten, komt de onderkant van het storttalud, als het met dezelfde hellingshoek wordt doorgetrokken, nog eens 0,23 meter lager uit dan in het oorspronkelijke ontwerp, zie figuur 7.5. Dit zorgt ervoor dat de ingeleverde ruimtewinst, door het verlagen van de keermuur, beperkt blijft. De afstand tussen het kombispoor en de muur komt hiermee op 1,9 meter. Deze tussenruimte is nodig om kleine verplaatsingen van de L-muur op te kunnen vangen, waardoor het kombispoor niet beschadigd raakt. Daarnaast zorgt deze ruimte er ook voor dat de kombibaan kan blijven liggen als de L-muur geplaatst wordt.

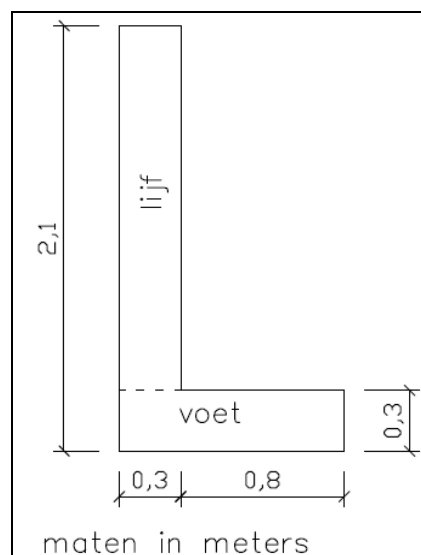


Figuur 7.5: verplaatsing L-muur richting kombispoor

De voet van de L-muur steekt niet uit in de richting van de opslag (hetgeen in eerste instantie logisch lijkt) omdat bij het maatgevende belastingsgeval de actieve gronddruk sterk toeneemt, doordat het storttalud een zeer grote hoek (50°) maakt, zie figuur 7.6. De actieve gronddruk gaat dan overheersen waardoor de L-muur zeer diep in de ondergrond geplaatst dient te worden om de muur stabiel te krijgen.



Figuur 7.6: actieve gronddruk bij de voet naar links en naar rechts



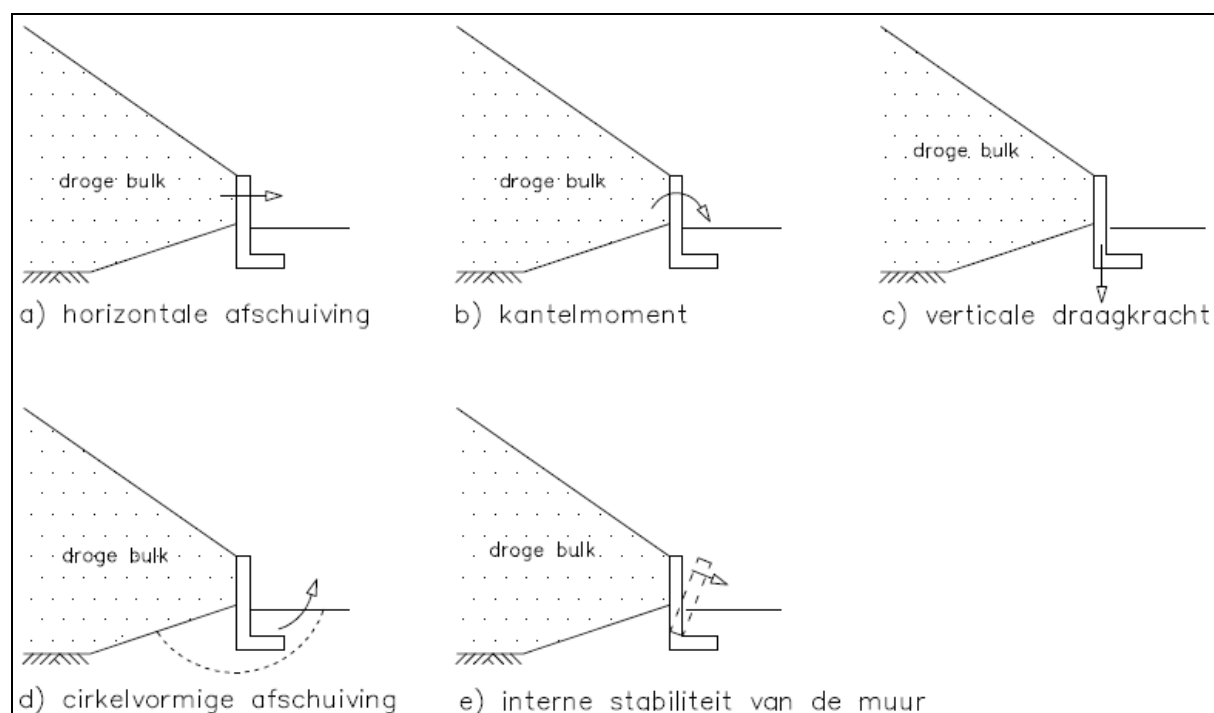
Figuur 7.7: afmetingen L-muur

De ondergrond bestaat uit een zandpakket. Het talud heeft een funderingslaag van slakken met daar overheen een asfaltbekleding. De rails voor de kombi is gefundeerd op bielsen met daaronder een ballastbed. Voor het ballastbed zijn de eigenschappen van betongranulaat aangenomen. De belasting van de kombi wordt hiermee onder een hoek van 45° afgedragen aan de ondergrond.

De L-muur bestaat uit gewapend beton. De afmetingen van de L-muur zijn gegeven in figuur 7.7. De bovenkant van de voet ligt op 0,6 meter onder het maaiveld van de kombibaan.

De belastingen op de keermuur zorgen ervoor dat de muur kan bezwijken. De volgende bezwijkmechanismen kunnen optreden bij een L-vormige keermuur (ook weergegeven in figuur 7.8):

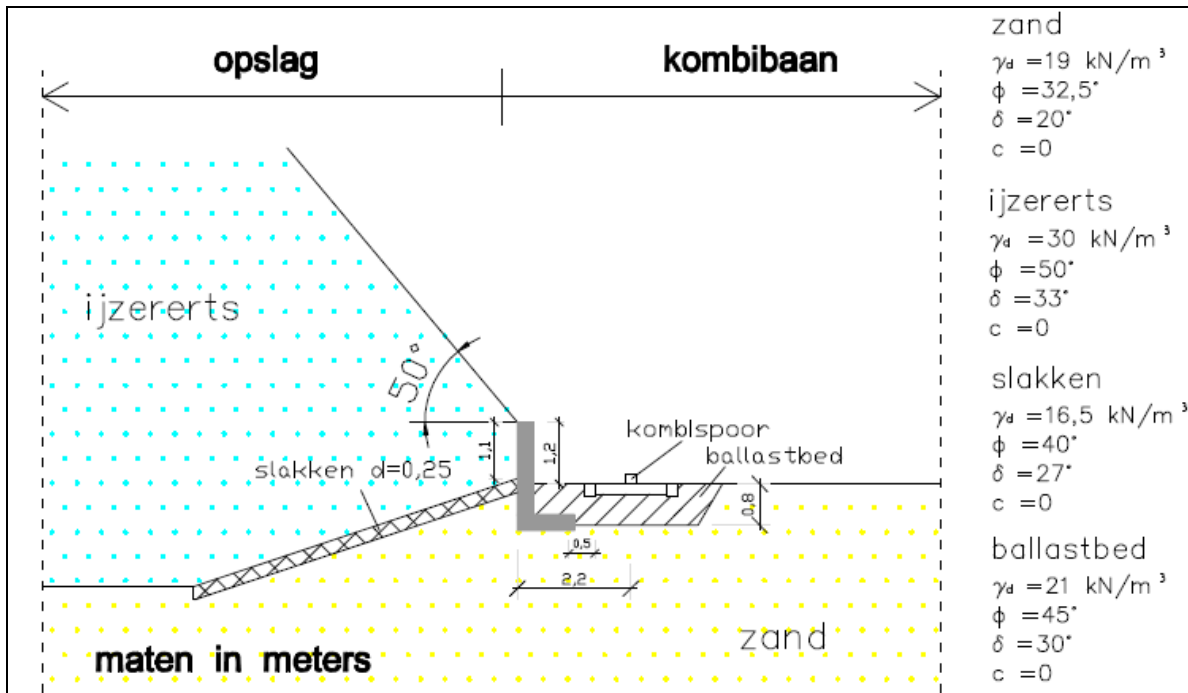
- horizontale afschuiving
- kantelmoment
- verticale draagkracht
- cirkelvormige afschuiving
- interne stabiliteit van de muur



Figuur 7.8: bezwijkmechanismen L-muur

Bij het ontwerp van een L-muur moeten alle vijf de bezwijkmechanismen bekeken worden. In de volgende paragraaf worden de controle berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen moeten aantonen of de keermuur stabiel is of niet.

De maatgevende situatie, waarbij de muur maximaal belast wordt, ontstaat als de opslag tot aan de rand gevuld is met ijzererts, zie figuur 7.9. Ijzererts zorgt voor de grootste horizontale en verticale gronddruk tegen de L-muur. De maximale storthoek van ijzererts bedraagt 50° . De overige eigenschappen van de grond zijn weergegeven in figuur 7.9.



Figuur 7.9: maatgevende situatie

De variabele belastingen op het horizontale gedeelte van de kombibaan worden niet meegenomen in de berekeningen omdat deze zorgen voor een tegenwerkende kracht. Verder zijn er ook dynamische krachten die de constructie belasten. De dynamische krachten kunnen bijvoorbeeld veroorzaakt worden door:

- het afschuiven van het talud;
- verdichting van het opslagmateriaal;
- het afgraven en storten van de kombi.

De dynamische krachten worden meegenomen in de veiligheidsfactoren die hoger worden aangenomen dan dat gebruikelijk is. Daarnaast worden de veiligheidsfactoren ook hoger aangenomen, omdat de keerwand op zeer korte afstand staat van het kombispoor. Het bezwijken van de wand zou betekenen dat het kombispoor tijdelijk onbruikbaar is voor de kombi. Deze situatie moet te allen tijde worden voorkomen.

De veiligheidsfactor wordt bij alle bezwijkmechanismen 15% hoger aangenomen.

7.1.2 Controle berekening

De bezwijkmechanismen worden stuk voor stuk gecontroleerd met een controle berekening. Alle berekeningen zijn terug te vinden in de bijlagen. Per bezwijkmechanisme is aangegeven welke bijlage van toepassing is.

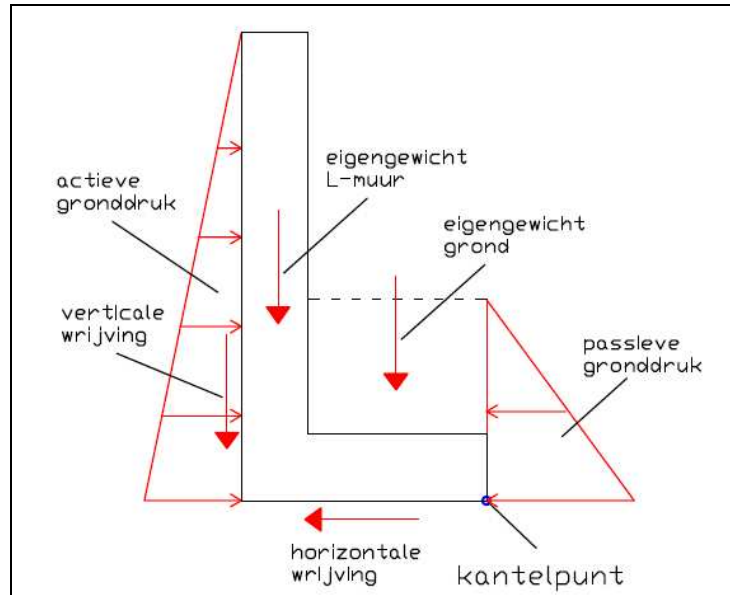
Horizontale afschuiving

Bij horizontale afschuiving moet de horizontaal tegenwerkende kracht groter zijn dan de horizontaal aandrijvende kracht. Deze controle wordt uitgevoerd met de methode van Rankine (Baars, 2009).

De actieve horizontale kracht, die zorgt voor afschuiving van de L-muur, wordt gevormd door de actieve gronddruk, zie figuur 7.10. De tegenwerkende kracht ontstaat door de passieve gronddruk en de horizontale wrijving tussen de voet van de L-muur en de ondergrond. De horizontale wrijving wordt veroorzaakt door de verticale belasting op de ondergrond en de

wrijvingshoek tussen de grond en het materiaal (δ). De verticale belasting wordt gevormd door:

- eigengewicht L-muur;
- eigengewicht grond;
- verticale wrijving van de gronddruk.



Figuur 7.10: krachten op de L-muur

Uit berekening blijkt dat de aandrijvende horizontale kracht 27,0 kN/m bedraagt (bijlage H1). De tegenwerkende horizontale kracht komt uit op 62,9 kN/m.

Om horizontale afschuiving tegen te gaan moet de aandrijvende kracht kleiner zijn dan de tegenwerkende kracht. Om er zeker van te zijn dat er geen horizontale afschuiving optreedt, bedraagt de veiligheidsfactor normaal gesproken 1,5. Omdat de dynamische krachten niet zijn meegenomen in de berekening en de L-muur naast het kombispoor ligt, wordt de veiligheidsfactor verhoogd met 15% naar 1,7.

$$\text{veiligheidsfactor} = \frac{\text{tegenwerkende kracht}}{\text{aandrijvende kracht}} = \frac{62,9}{27,0} = 2,3 \geq 1,7$$

De veiligheidsfactor voldoet waardoor de L-muur niet horizontaal zal afschuiven.

Kantelmoment

Het kantelen van de L-muur treedt op als het aandrijvende moment groter is dan het weerstandsmoment.

Het aandrijvende moment wordt veroorzaakt door de actieve gronddruk. Het weerstandsmoment wordt gegenereerd door:

- passieve gronddruk;
- eigengewicht L-muur;
- eigengewicht grond;
- verticale schuifspanning tussen het ijzererts en de L-muur.

Het kantelpunt wordt aangenomen op het uiteinde van de voet. Het kantelpunt zal in de praktijk meer richting de kant van de actieve gronddruk liggen, omdat de grond bij het uiteinde van de voet wordt ingedrukt door de hoge belasting. In de veiligheidsfactor, die standaard 2 bedraagt, wordt hier rekening mee gehouden. Omdat ook hier de dynamische krachten niet zijn meegenomen en de L-muur naast het kombispoor ligt, wordt de veiligheidsfactor verhoogd met 15% naar 2,3.

Uit berekening blijkt dat het aandrijvende moment 20,4 kNm/m bedraagt (bijlage H2). Een tegenwerkend moment van 48,7 kNm/m moet ervoor zorgen dat de L-muur niet kantelt.

$$\text{veiligheidsfactor} = \frac{\text{aandrijvende moment}}{\text{weerstandsmoment}} = \frac{48,7}{20,4} = 2,4 \geq 2,3$$

Met een veiligheidsfactor van 2,4 voldoet de constructie aan het criterium voor het kantelmoment. De L-muur zal dus niet kantelen zo lang er geen verzakking plaatsvindt onder de voet. Dit bezwijkmechanisme wordt behandeld bij de verticale draagkracht.

Verticale draagkracht

Om verticaal evenwicht te creëren moet het draagvermogen van de ondergrond groter zijn dan de maximale belasting op de ondergrond.

Het draagvermogen van de ondergrond wordt berekend met de methode van Brinch Hansen (Baars, 2009). Deze methode heeft geen coëfficiënt die rekening houdt met de helling van het talud. Er wordt daarom uitgegaan van een horizontale bodem. De methode van Brinch Hansen gaat ook uit van het feit dat de ondergrond bestaat uit een homogeen grondpakket. De bodem wordt daarom aangenomen als een homogeen zandpakket. De bovenbelasting, naast de belaste strook, wordt veroorzaakt door de verticale gronddruk. Deze belasting bedraagt circa 17 kN/m² (0,9 m zand).

Uit berekening blijkt dat de draagkracht 238,1 kN/m² bedraagt (bijlage H3). De maximale belasting op de ondergrond bedraagt 55,8 kN/m².

Vanwege het feit dat het verzakken van de L-muur grote gevolgen heeft voor de stabiliteit van de constructie wordt de veiligheidsfactor standaard aangenomen op 3,0. De veiligheidsfactor wordt verhoogd met 15% tot 3,4, zodat ook de dynamische belastingen worden meegenomen en er rekening wordt gehouden met de geringe afstand tussen de L-muur en het kombispoor.

$$\text{veiligheidsfactor} = \frac{\text{verticale draagkracht}}{\text{maximale stripbelasting}} = \frac{238,4}{55,8} = 4,3 \geq 3,4$$

De ondergrond is draagkrachtig genoeg voor de stripbelasting die wordt veroorzaakt door de L-muur.

Ook verzakking door zetting zal niet optreden omdat de ondergrond al jaren met een hoge bovenbelastingen te maken heeft en er geen dikke slappe laag (klei of veen) in de ondergrond zit.

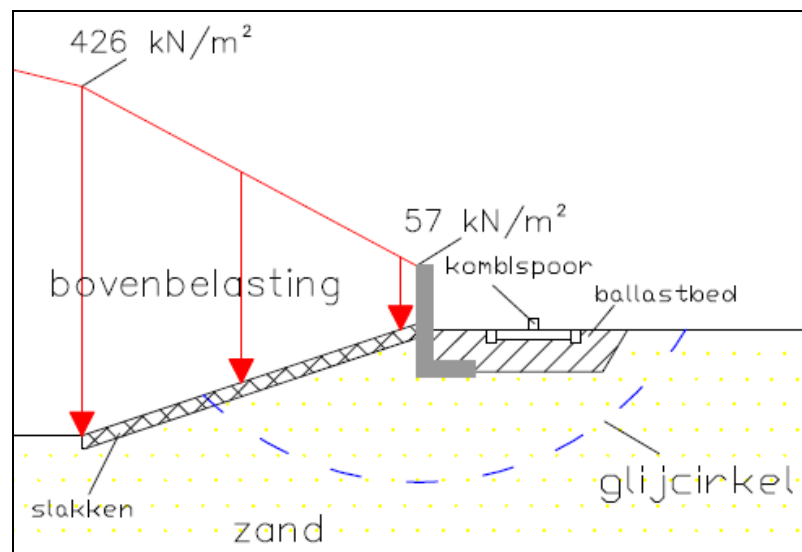
Cirkelvormige afschuiving

Doordat de ondergrond aan de opslagzijde van de keerwand zwaar belast wordt wil de grondmoot gaan afschuiven richting de kombibaan. De schuifspanning in de ondergrond moet dit tegen gaan.

Voor de stabiliteit van cirkelvormige afschuiving van de L-muur wordt de methode van Bishop gebruikt (Baars, 2009). Met deze methode wordt de stabiliteitsfactor berekend. Deze waarde geeft de verhouding weer tussen de belasting op- en de sterkte van de ondergrond.

De kleinste waarde voor de stabiliteitsfactor correspondeert met het kritieke glijvlak. Voor een permanente constructie moet de stabiliteitsfactor minimaal 1,3 bedragen. De stabiliteitsfactor wordt verhoogd met 15% tot 1,5 voor extra veiligheid.

De cirkelvormige afschuiving wordt bekeken als de opslag vol met ijzererts ligt en er geen variabele bovenbelasting op de kombibaan aanwezig is. In dat geval kan er een kritisch glijvlak ontstaan, dat loopt van de ertsbelasting naar de kombibaan, zie figuur 7.11.



Figuur 7.11: glijvlak dat ontstaat door de bovenbelasting van erts

Voor het vinden van het kritieke glijvlak wordt gebruik gemaakt van het softwareprogramma MStab, dat ontwikkeld is door Deltares (het vroegere GEODelft). Bij dit programma kan de belasting niet toenemen over afstand. De belasting, die wordt veroorzaakt door ijzererts, zal daarom trapsgewijs toenemen.

Het kritieke glijvlak ontstaat onder de ijzererts opslag (bijlage H4). De stabiliteitsfactor die bij dit glijvlak hoort is 1,87. Dit is meer dan de minimale waarde van 1,5 die nodig is voor stabiliteit.

Cirkelvormige afschuiving treedt dus niet op bij een maximale bovenbelasting van ijzererts.

Interne stabiliteit van de muur

Bij de interne stabiliteit van de L-muur wordt er gekeken naar het maximaal op te nemen moment en schuifspanning in de L-muur. Het kritieke punt in de constructie, waar het moment en de schuifspanning het grootst zijn, is in het lijf van de L-muur. Bij dit ontwerp bedraagt het maximale moment 10,7 kNm/m en de schuifspanning 27,0 kN/m.

De L-muur kan versterkt worden met steunberen. De steunbeer is een tussenschot die het lijf met de voet van de L-muur verbindt. Hierdoor hoeft de beperkte dikte van het lijf niet het volledige moment en schuifspanning op te vangen.

De wapening die moet worden toegepast voor de interne stabiliteit, zal in dit rapport niet berekend worden. De fabrikant van de L-muur zal eenvoudig de benodigde wapening kunnen bepalen zodra de dimensies en de krachten die aangrijpen op de L-muur bekend zijn.

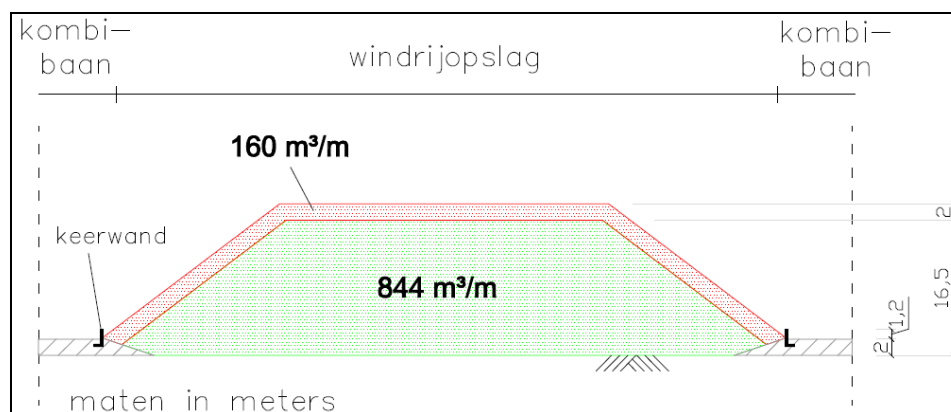
7.1.3 Gevolgen aanpassingen keerwand

De wijzigingen, die hebben plaats gevonden tijdens de constructieve uitwerking, hebben ook gevolgen voor de aspecten die in hoofdstuk 6 behandeld zijn (ruimtwinst, investeringskosten, extra lopende kosten en productieverlies tijdens de aanleg). Om een goed beeld te krijgen van het alternatief *keerwand* worden de gevolgen van de wijzigingen besproken in deze paragraaf. Ter volledigheid wordt ook de vergelijking tussen ruimte-intensivering en uitbreiding op een nieuwe locatie bekeken.

Ruimtwinst

De keerwand steekt in het ontwerp niet 2 (paragraaf 6.1.1.) maar 1,2 meter boven de kombibaan uit, zie figuur 7.12. Er wordt één meter vrije ruimte aangehouden tussen de onderkant van het bulkalud en de bovenkant van de keerwand.

Daarnaast is de keerwand ook 0,3 meter richting het kombispoor verplaatst om de ruimtwinst te vergroten. Door de wijzigingen is de ruimtwinst teruggelopen van 180 m³/m tot 160 m³/m.



Figuur 7.12: ruimtwinst bij het alternatief *keerwand*

$$\text{Ruimtwinst} = \frac{160}{844} * 100 \% = 19,0 \%$$

De theoretische ruimtwinst is door de wijzigingen van 21,3% naar 19,0% gedaald.

Investeringskosten

Doordat het ontwerp van de keerwand bekend is, kunnen de investeringskosten met meer zekerheid geraamd worden. Bij het ramen van de kosten is de kennis van een kostenexpert gebruikt. De kostenraming is te vinden in bijlage F2.

De prijs voor een kubieke meter L-muur ligt rond de € 350,-. Een strekkende meter L-muur komt hiermee op circa €300,-. Dit is twee keer zoveel als geraamd in hoofdstuk 6. Dit komt doordat de constructie relatief zwaar is uitgevoerd, hetgeen nodig is om de dynamische krachten op te vangen en er zeker van te zijn dat het kombispoor niet beschadigd raakt. De L-muur is echter nog steeds beduidend goedkoper dan een damwandconstructie, die geschat wordt op €500,- per strekkende meter.

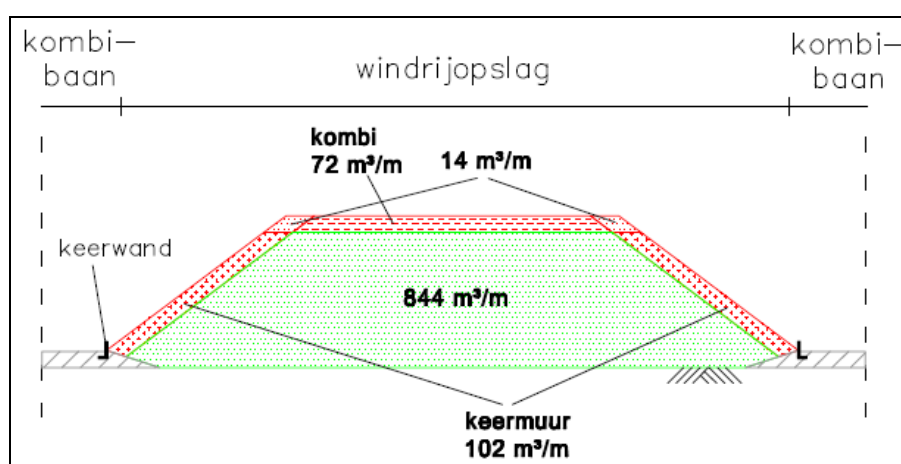
Het plaatsen van de L-muur wordt anderhalf keer zo duur geraamd als in hoofdstuk 6. Dit komt doordat de L-muur op 0,9 meter diepte geplaatst moet worden om stabiel te blijven.

De totale investeringskosten worden geraamd op €1.964,- per strekkende meter windrij. De prijs voor een extra kubieke meter windrij komt hiermee op €12,28.

Zoals is aangegeven in paragraaf 6.1 bestaat het alternatief *keerwand* uit twee onderdelen. Deze zijn:

- keerwand
- kombi

Beide onderdelen zorgen voor een bepaalde hoeveelheid aan ruimtewinst. Zo zorgt de keerwand voor een bredere en de kombi voor een hogere opslag, zie figuur 7.13. Als men de capaciteit van de opslag maar met een kleine hoeveelheid wil vergroten dan kan er voor gekozen worden om maar één van de twee onderdelen toe te passen. Het is dan ook interessant om te weten welk onderdeel het voordeligst is.



Figuur 7.13: ruimtewinst opgesplitst in keerwand en kombi

In de onderstaande tabel zijn de gegevens per onderdeel weergegeven. Uit de tabel blijkt dat het aanpassen van de kombi de voordeligste keus is. De ruimtewinst van $72 \text{ m}^3/\text{m}$ is echter wel beperkt. Het toepassen van beide onderdelen zorgt voor een extra $14 \text{ m}^3/\text{m}$.

	Ruimtewinst [m^3/m]	Investeringskosten [€/m]	Prijs per volume [€/m ³]
Keerwand	102	1449,-	14,21
Kombi	72	515,-	7,15

Tabel 3: alternatief voor ruimte-intensivering opgesplitst in keerwand en kombi

In dit onderzoek wordt gezocht naar een grote hoeveelheid aan ruimtewinst. Alleen het aanpassen van de kombi voldoet, met een ruimtewinst van 8,5%, dan ook niet. Het aanpassen van de kombi samen met het toepassen van keerwanden (alternatief *keerwand*) zorgt wel voor een aanzienlijke ruimtewinst.

Extra lopende kosten

Het verlagen van de keerwand zorgt ervoor dat nagenoeg de volledige opslag bereikbaar is voor de kombi. Wel zal er een veilige afstand aangehouden moeten worden tussen de arm van de kombi en de keerwand.

Doordat bijna de gehele opslag bereikbaar is voor de kombi zullen er nauwelijks extra lopende kosten zijn.

Productieverlies tijdens de aanleg

Bijna de volledige breedte van de opslag kan gebruikt worden voor de opslag van droge bulk. Bij het passeren van de kombi moet de stabiliteit van de kombibaan wel in de gaten worden gehouden. Een geul met een diepte van 0,9 meter naast het kombispoor is, op het moment dat de kombi passeert, tijdelijk niet mogelijk. De kombi kan dan ook niet graven of storten in de nabijheid van de bouwwerkzaamheden.

Het feit dat de kombi tijdelijk buiten bedrijf is vanwege het vervangen van de arm en de cilinder, blijft uiteraard van kracht.

Ruimte-intensivering of uitbreiding op een nieuwe locatie

Door een stijging van de kosten per strekkende meter windrij en een daling van het opslagvolume, stijgen de investeringskosten. Met dezelfde berekening die is toegepast in paragraaf 6.1.6, bedraagt het extra opslagvolume 1,54 miljoen kubieke meter. Door de gestegen prijs van een extra kubieke meter opslag (€12,28) komt de totale investering uit op circa €18.850.000,-. Dit is een stijging van €6.300.000,- ten opzichte van de oude L-muur. Doordat er nauwelijks wat verandert bij de lopende kosten blijft ruimte-intensivering op dit gebied in het voordeel.

Milieutechnisch blijft het alternatief *keerwand* aantrekkelijk.

Ondanks een aanzienlijke stijging van de investeringskosten blijft het alternatief voor ruimte-intensivering voordelig ten opzichte van uitbreiding op een nieuwe locatie.

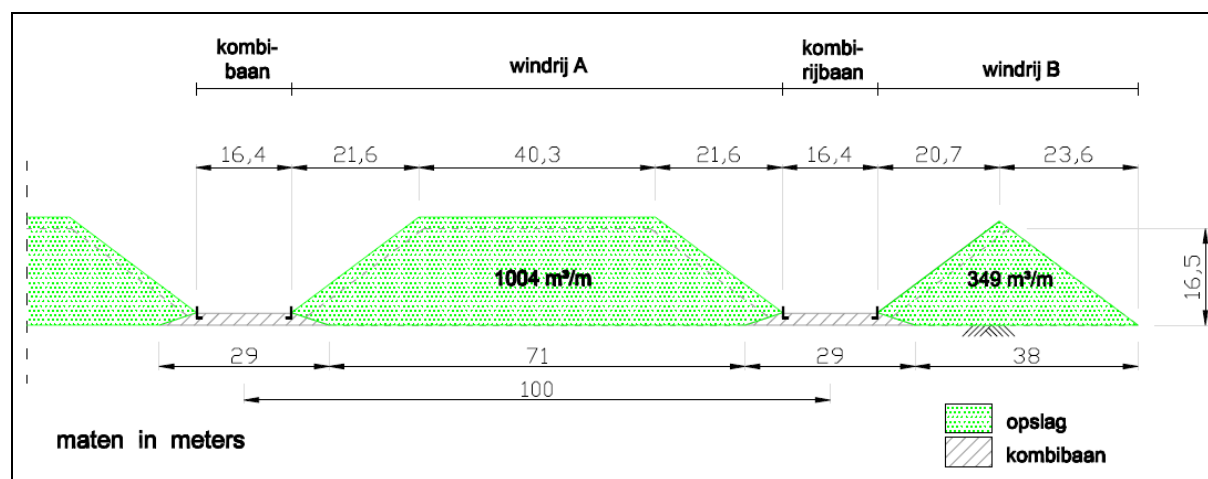
8. Resultaten ruimte-intensivering EMO-schiereiland

De resultaten van de studie naar ruimte-intensivering worden in dit hoofdstuk besproken. Als eerst wordt dit gedaan voor de EMO-terminal daarna voor de kolen/biomassacentrale van Electrabel. Afsluitend zullen de resultaten voor het EMO-schiereiland als geheel worden besproken.

8.1 Opslagterrein EMO

Uit de capaciteitanalyse in hoofdstuk 3 is gebleken dat de opslag van droge bulk het voornaamste knelpunt is voor de groei van de EMO-terminal.

Om dit knelpunt weg te nemen is het alternatief *keerwand* ontwikkeld. Dit alternatief zorgt ervoor dat het volume van de opslag aanzienlijk wordt vergroot. Voor de windrijen die tussen de kombibanen liggen gaat het volume van 844 m³/m naar 1004 m³/m, zie figuur 8.1. Bij de buitenste twee windrijen zal het volume toenemen van 303 m³/m naar 349 m³/m.



Figuur 8.1: ruimtewinst alternatief keerwand

De formule voor de totale opslag (toegepast in paragraaf 3.1.2) komt hiermee op:

$$V_{\text{totale opslag}} = (1004 \cdot n + 2 \cdot 349) \cdot x$$

waarin: x = lengte van één windrij [m]

n = aantal windrijen A

Er kan nu gekeken worden naar de volledige breedte van de opslag (605 m). De buitenste twee windrijen worden dan ook meegenomen waardoor de uitkomsten nauwkeuriger zijn. De beoordelingsaspecten van het alternatief *keerwand* zullen voor de volledige opslag besproken worden.

Capaciteit

Allereerst wordt er gekeken naar de capaciteitstoename als de oppervlakte (111 hectare) constant blijft. Dit is interessant als de ruimtewinst gebruikt wordt voor het vergroten van de opslag.

Het alternatief keerwand zorgt voor een opslagvolume van circa 10,5 miljoen kubieke meter. Dit is 19,3% meer dan de huidige 8,8 miljoen kubieke meter, die geldt voor het opslagterrein van 111 hectare.

Bij de verwachte groei van EMO groeit alleen de op- en overslag van kolen en niet die van ijzererts (voorspelling HbR). Bij het bepalen van de opslagcapaciteit wordt dan ook de

hoeveelheid aan ijzererts constant gehouden. De totale opslagcapaciteit komt hiermee op circa 10,7 miljoen ton, hetgeen 16,3% hoger is dan de huidige 9,2 miljoen ton.

Ruimtwinst

Niet alleen de toegenomen opslagcapaciteit maar ook de ruimtwinst die wordt geboekt is interessant. De ruimtwinst geeft aan hoeveel hectare de ruimte-intensivering heeft opgeleverd als de capaciteit van de opslag constant blijft.

Bij de huidige opslagcapaciteit van 8,08 miljoen kubieke meter wordt het totale opslagterrein 85,5 hectare (1413 x 605 m) groot. Dit is circa 15,5 hectare minder dan de huidige 101 hectare, wat een ruimtwinst oplevert van 15,3%. De winst van 15,5 hectare komt in de buurt van het opslagoppervlak dat gepland is voor uitbreiding van de terminal op de Hartelstrook.

		Huidige situatie	Alternatief <i>keerwand</i>	Winst	
				hoeveelheid	percentage
Capaciteit (oppervlakte constant)	Volume	$8,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$10,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$1,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	19,3%
	Gewicht	$9,2 \cdot 10^6 \text{ ton}$	$10,7 \cdot 10^6 \text{ ton}$	$1,5 \cdot 10^6 \text{ ton}$	16,3%
Ruimte (capaciteit constant)		101 ha	85,5 ha	15,5 ha	15,3%

Tabel 4: overzicht capaciteitsvergroting en ruimtwinst bij de droge bulkopslag van EMO

Investeringskosten

De opslag bestaat uit zes kombibanen. Voor het alternatief *keerwand* bedraagt de investering van €1.964,- per strekkende meter windrij. De totale investering voor de volledige breedte van de opslag wordt dan €11.784,- per strekkende meter opslag. Bij een opslagterrein met een lengte van 1835 meter (111 hectare) komt de totale investering voor het alternatief uit op circa €21.620.000,-. De prijs voor een extra kubieke meter zal dan €12,72 bedragen.

Extra lopende kosten

Door de beperkte hoogte van de *keerwand* is de volledige opslag bereikbaar voor de kombi en hoeven laadschoppen geen grote hoeveelheden aan droge bulk af te graven. Hiervoor zal het emmerwiel, bij sommige kombi's, verder onder de arm van de kombi moeten uitsteken.

De *keerwand* zorgt er wel voor dat grotere laadschoppen en dumpers in sommige gevallen moeten omrijden, omdat ze de kombi niet kunnen passeren. Het omrijden zorgt voor extra lopende kosten. Dit kan worden voorkomen door kleiner materieel te gebruiken.

De lopende kosten zullen licht stijgen.

Productieverlies tijdens de aanleg

Bij de realisatie van de *keerwanden* blijft het productieverlies beperkt doordat de kombi relatief weinig wordt gehinderd tijdens zijn werkzaamheden. Er zal, ter plaatse van de bouwlocatie, een sleuf parallel aan het kombispoor gegraven worden tot een diepte van 0,9 meter onder het maaiveld voor het plaatsen van de grondkerende constructie. Op het moment dat de kombi de bouwlocatie passeert zal er tijdelijk geen sleuf aanwezig kunnen zijn in verband met de stabiliteit van het spoor. Het aantal keer dat de kombi passeert is echter beperkt.

Het afgraven en storten van bulkpartijen in de buurt van de bouwlocatie is niet mogelijk in verband met de stabiliteit van het kombispoor.

Doordat de arm van de kombi aangepast moet worden en de cilinder vervangen wordt zal de kombi tijdelijk buiten bedrijf zijn.

Technische haalbaarheid

Bij de keuze voor een grondkerende constructie is de L-muur verkozen boven de damwand. Hierbij hebben de investeringskosten en duurzaamheid de doorslag gegeven.

Door de L-muur verdiept aan te leggen blijft de constructie stabiel bij het uiterste belastingsgeval. Hierbij is een verhoogde veiligheidsfactor aangenomen omdat de L-muur naast het kombispoor komt te liggen.

De arm en de cilinder van de kombi zullen aangepast moeten worden.

De arm zal voorzien worden van een knik. Daarnaast zal de kop van de arm en/of het emmerwiel aangepast moeten worden, zodat het emmerwiel verder onder de arm uitsteekt. Het vervangen van de cilinder moet zorgen voor het vergroten van het verticale bereik van de kombi.

Operationele hinder

De keerwand wordt gezien als een hindernis. De bewegingsvrijheid voor laadschoppen en dumpers wordt beperkt. Het materieel kan niet meer eenvoudig de opslag op- of afrijden.

Ook zorgt de keerwand ervoor dat een deel van het materieel de kombi niet meer kan passeren omdat de doorrijhoogte en -breedte onder de kombi beperkt is en het materieel niet meer, zoals bij de huidige opslag gebeurt, om de kombi heen kan rijden. Het materieel dat de kombi niet kan passeren komt in een doodlopende straat terecht, en zal hierdoor in sommige gevallen om moeten rijden om de bestemming te bereiken.

Het niet meer kunnen passeren van de kombi wordt door EMO gezien als het grootste nadeel van het alternatief *keerwand*.

Ruimte-intensivering of uitbreiding op een nieuwe locatie

Bij uitbreiding op een nieuwe locatie zullen er, naast de opslag, ook andere faciliteiten gecreëerd moeten worden om de terminal operationeel te krijgen. Het oppervlak dat hiervoor nodig is bedraagt ongeveer de helft van het oppervlak van de opslag (15,5 ha). Hierdoor is voor uitbreiding op een nieuw terrein een oppervlakte nodig van 23,3 hectare. Met €120,- per vierkante meter komt de totale investering uit op circa €27.900.000,-. Dit is circa €6.300.000 duurder dan ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland.

Naast de investeringskosten scoren ook de lopende kosten goed bij ruimte-intensivering. De terminal wordt niet opgesplitst en er hoeft geen extra terreinhuur betaald te worden bij ruimte-intensivering. Hierdoor zijn de lopende kosten laag.

Behalve de positieve resultaten op financieel gebied is het ook milieutechnisch zeer aantrekkelijk. Doordat de verhouding tussen oppervlak en opslagvolume kleiner wordt zal er minder milieuvervuiling zijn per volume droge bulk.

Naast alle voordelen kent het alternatief *keerwand* ook twee nadelen. Het grootste nadeel is de operationele hinder voor het materieel. Daarnaast zal er ook productieverlies zijn tijdens de aanleg.

	Ruimte-intensivering (keerwand)	Nieuwe locatie
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ruimtewinst ▪ financieel aantrekkelijk <ul style="list-style-type: none"> - investeringskosten laag (€21.620.000,-) - lopende kosten laag ▪ milieutechnisch aantrekkelijk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ruimtewinst ▪ geen hindernissen voor het materieel ▪ geen productie verlies tijdens de aanleg
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ de keerwand is een hindernis voor het materieel ▪ productieverlies tijdens de aanleg 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ financieel nadelig <ul style="list-style-type: none"> - investeringskosten hoog (€27.900.000,-) - lopende kosten hoog ▪ milieuvervuiling

Tabel 5: vergelijking tussen ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland en uitbreiding op een nieuwe locatie

8.2 Op- en overslag biomassa Electrabel

De zoektocht naar ruimte-intensivering bij de op- en overslag van biomassa heeft niet geleid tot betere alternatieven dan de al bestaande plannen. De silo komt, net als bij de huidige plannen, naar voren als de meest effectieve methode voor de opslag van biomassa. Bij de overslag moet meervoudig ruimtegebruik zorgen voor ruimtewinst, hetgeen ook bij de huidige plannen wordt toegepast.

De twee voornaamste redenen waarom er geen geschikt alternatief is gevonden zijn:

- investeringskosten
- ruimtewinst

Er zijn maar weinig alternatieven die bij de multicriteria-analyse op het gebied van investeringskosten beter scoren dan de bestaande alternatieven. De alternatieven die positief scoren bij de investeringskosten laten het vervolgens afweten bij de andere beoordelingsaspecten.

Silo-opslag en meervoudig ruimtegebruik bij de overslag zijn beide al zeer ruimte-effectief. Het behalen van winst op het gebied van ruimte is hierdoor lastig.

Doordat alle alternatieven niet hoger scoren dan de huidige plannen, is er geen diepgaand onderzoek verricht naar de alternatieven.

Vanwege het feit dat er geen ruimtewinst is behaald op het terrein van Electrabel blijft er een tekort aan ruimte voor de opslag van biomassa. Gasunie of EMO zal hierdoor nog ruimte moeten afstaan aan Electrabel voor de aanleg van de biomassaopslag.

8.3 EMO-schiereiland

De studie naar ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland heeft geleid tot ruimtewinst bij de droge bulkopslag van EMO.

De totale ruimtewinst op het EMO-schiereiland bedraagt circa 15,5 hectare. Het totale EMO-schiereiland heeft een oppervlak van ongeveer 210 hectare. De totale ruimtewinst op het schiereiland komt hiermee op circa 7,4%.

Geconstateerd is dat de opslagcapaciteit van EMO in de nabije toekomst te klein is voor het aanbod van kolen en ijzererts. De ruimtewinst kan dan ook goed gebruikt worden voor het vergroten van de droge bulkopslag van EMO. De opslagcapaciteit zal hiermee met 1,5 miljoen ton (16,3%) toenemen, waardoor er de komende jaren wordt voldaan aan de groeiende vraag naar opslagcapaciteit. Als de opslagcapaciteit wordt omgerekend naar

jaarlijkse overslag (zie paragraaf 3.1.1), dan kan deze stijgen naar 41,6 miljoen ton per jaar. Uitbreiding op de Hartelstrook is hierdoor voorlopig niet noodzakelijk.

Door ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland wordt de productie per vierkante meter verhoogd. Dit betekent voor het Havenbedrijf Rotterdam dat meer geld wordt verdiend per vierkante meter. Daar komt bij dat de ruimte in de Rotterdamse haven steeds schaarser wordt. Het besparen van ruimte door te intensiveren is dan ook zeer welkom.

9. Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn de mogelijkheden voor het intensiveren van de ruimte op het EMO-schiereiland bekeken. Omdat de opslag van droge bulk, bij zowel EMO als bij Electrabel, veel ruimte vraagt op het EMO-schiereiland, is de focus gelegd op de opslag van droge bulk. Bij Electrabel is ook gekeken naar een mogelijke innovatie op het gebied van overslag bij biomassa.

Ter afsluiting van deze studie worden de conclusies en aanbevelingen besproken.

9.1 Conclusies

De conclusies worden opgedeeld in drie delen. Eerst wordt de opslag van EMO behandeld, gevolgd door de op- en overslag van biomassa op het terrein van Electrabel. Tot slot zullen de conclusies worden beschreven die gelden voor ruimte-intensivering op het gehele EMO-schiereiland.

9.1.1 Opslagterrein EMO

Uit de capaciteitsanalyse blijkt dat er ruimtegebrek dreigt bij de droge bulkopslag van EMO. Door de verbreding van de Amazonehaven en de aanleg van kombibaan 7 zullen er al op de korte termijn capaciteitsproblemen ontstaan. Bij de verwachte groei van EMO zal er in de toekomst een structureel gebrek zijn aan capaciteit als de opslag niet vergroot wordt. Deze kan worden gerealiseerd door ruimte-intensivering.

Alternatief keerwand

In deze studie is het alternatief *keerwand* naar voren gekomen als het beste alternatief voor ruimte-intensivering bij de droge bulkopslag van EMO. Dit alternatief is op meerdere gebieden interessant en haalbaar. Deze zijn:

- ruimtewinst
- financieel positief
- technisch uitvoerbaar
- milieutechnisch aantrekkelijk

Het alternatief *keerwand* zorgt voor een aanzienlijke hoeveelheid aan ruimtewinst (15,3%). Hierbij blijft de volledige opslag bereikbaar voor de kombi en zal het productieverlies tijdens de realisatie beperkt blijven.

Door de relatief lage prijs (€12,72/m³) voor een extra kubieke meter opslag is het alternatief *keerwand* in financieel opzicht zeer voordelig. De lopende kosten zullen licht stijgen en er wordt productieverlies geleden tijdens de aanleg van de keerwand en het aanpassen van de kombi.

Voor het alternatief *keerwand* moet de kombi worden aangepast en zullen er L-muren geplaatst worden om de capaciteit van de opslag te laten toenemen. Beide onderdelen zijn technisch haalbaar. Om voldoende ruimtewinst te behalen zullen beide onderdelen toegepast moeten worden.

In milieutechnisch opzicht is het alternatief *keerwand* zeer positief. Dit komt doordat de verhouding tussen oppervlak en volume in de opslag kleiner wordt. De stofontwikkeling per volume wordt hierdoor kleiner.

Aan het alternatief *keerwand* kleeft wel een praktisch nadeel. Door de keerwand wordt de bewegingsvrijheid van de laadchoppen en dumpers beperkt. In het bijzonder het niet kunnen passeren van de kombi wordt gezien als serieus probleem. Hierdoor zullen deze in sommige gevallen moeten omrijden of er moet kleiner materieel worden aangeschaft. Door EMO wordt de operationele hinder gezien als het grootste nadeel van het alternatief *keerwand*.

Ruimte-intensivering of uitbreiding op een nieuwe locatie

Ruimte-intensivering zorgt ervoor dat, op basis van deze studie, voorbereiding van de EMO-terminal op een andere locatie de komende jaren niet nodig is. Vooral op financieel gebied is ruimte-intensivering aantrekkelijk. De investeringskosten en de lopende kosten zijn beduidend lager. De lopende kosten zijn lager doordat de terminal niet wordt opgesplitst en er geen extra grond gehuurd hoeft te worden. Het belangrijkste argument tegen ruimte-intensivering is dat het materieel minder bewegingsvrijheid heeft.

9.1.2 Op- en overslag biomassa Electrabel

Deze studie bevestigt dat de opslag van biomassa in silo's en de overslag door middel van meervoudig ruimtegebruik de meest geschikte methoden zijn. Bij de silo komt dit doordat deze al zeer effectief is op het gebied van ruimte en de investeringskosten van een silo relatief laag zijn. Bij de opslag van biomassa is meervoudig ruimtegebruik het enige alternatief dat tijdens de brainstorm is bedacht.

9.1.3 EMO-schiereiland

Gebleken is uit deze studie dat ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland succesvol zal zijn met een ruimtewinst van 7,4%. Dit in tegenstelling tot vele andere ideeën voor ruimte-intensivering in de haven, die in de meeste situaties geen optie zijn door hoge investeringskosten.

Door het toepassen van ruimte-intensivering is er geen directe noodzaak voor bedrijven om voor hun groei uit te wijken naar een andere locatie. Vanuit zowel financieel als milieutechnisch oogpunt is ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland een veel aantrekkelijkere optie voor om te groeien.

De studie ruimte-intensivering op het EMO-schiereiland draagt bij aan de ambitie van het Havenbedrijf Rotterdam om efficiënter met ruimte om te gaan.

9.2 Aanbevelingen

Aanvullend op de hiervoor genoemde conclusies kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd:

- Onderzoek naar het aanpassen van de kombi. Gekeken moet worden of de kombi zo gemaakt kan worden dat deze ook langs een hoge keerwand kan afgraven. Dit met het oog op verdere intensivering van de ruimte. Daarnaast zou het vergroten van de doorrijhoogte en -breedte onder de kombi de bewegingsvrijheid van het materieel doen toenemen.
- Uitwerken van het alternatief keerwand voor de droge bulkopslag van EMO. In dit onderzoek is het opslagerrein vereenvoudigd tot één groot rechthoek. In werkelijkheid is dat niet het geval en zijn bijna alle windrijen en kombi's verschillend. Om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de resultaten voor EMO zal voor elke windrij en kombi het resultaat afzonderlijk bekeken moeten worden.

- Verdere optimalisatie van het alternatief *keerwand*. Dit zal leiden tot een verdere daling van de prijs voor een extra kubieke meter opslag.
- Vergelijking tussen ruimte-intensivering en uitbreiding op een nieuwe locatie uitwerken in een *life cycle* analyse. Dit geeft meer inzicht in de kosten van beide scenario's
- Optimaliseren van de logistieke processen voor de opslag van droge bulk (bijvoorbeeld het optimaliseren van de logistieke planning) en het standaardiseren van het transport van biomassa. Tijdens de brainstorm is naar voren gekomen dat op deze gebieden nog veel winst valt te behalen. Verder onderzoek wordt dan ook aangeraden.
- Meenemen van de *greenfield* alternatieven bij een nieuw te realiseren terrein (bijvoorbeeld het alternatief: *raster van wanden waardoor stortvakken ontstaan*). Veel *greenfield* alternatieven voor het EMO-schiereiland zijn afgevallen bij de multicriteria-analyse vanwege de hoge investeringskosten. Voor het EMO-schiereiland vallen hierdoor veel alternatieven af. Bij nieuwbouw kunnen deze alternatieven echter zeer interessant zijn en moeten dan ook zeer zeker opnieuw bekeken worden.

Literatuurlijst

- Agerschou, H., I. Dand, e.a (2004); *"Planning and design of ports and marine terminals"*; ISBN: 0-7277-3224-2
- ARCADIS and Electrabel (2006); *"Kolen/biomassacentrale Maasvlakte Milieueffectrapport"*
- Baars, S van (2009); *"Grondmechanica"*; ISBN:978-90-71301-45-2
- Cargo Handling (March/April 2010); *"Blending in with the background"*; Cargo Handling
- Carpenter, Anne M., Darrell Porter, e.a (2003); *"Transport, storage and handling of coal "* (<http://www.coalonline.info/>)
- Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, e.a (2003); *"Handboek kademuren"*; ISBN: 90-3760-282-7
- de Wet, Noel (1995); *"Drum Reclaimers"* (<http://www.saimh.co.za/>)
- Dreyer, N. (1995); *"Stackers and Reclaimers add value to mineral processes"* (<http://www.saimh.co.za/>)
- Dry Cargo international (June 2009); *"Stacking a claim in the stockyard"*
- Dry Cargo international (June 2010); *"Stockyards"*
- Dry Cargo international (Sep. 2009); *"Covering all the bases (enclosed storage and related equipment)"*
- Ecofys (2005); *"Planning and installing bioenergy systems"*; ISBN: 1-84407-132-4
- EMO¹ (2010); *"Topprestaties in bulkoverslag"*
- Gate terminal bv (2005); *"Startnotitie milieueffectrapportage: Vloeibaar aardgas (LNG) terminal op de Maasvlakte in Rotterdam"*
- Havenbedrijf Rotterdam (2004); *"Hydro meteo informatiebundel nr.3"*;
- Huijstee, S.M. van (2004); *"Capaciteitsanalyse van een droge bulk terminal"*;
- Jong, V.J. de (1994); *"Coastal Coal Transport Study"*;
- Knappe, W. (1995); *"Bucket Wheel Reclaimers"* (<http://www.saimh.co.za/>)
- Koppen, van, en t' Zelfde, van (1999); *"Onderwater Stortgoed Terminal"*; de Weger, Croese
- Kulwiec, R.A. (1985); *"Materials handling handbook"*; ISBN: 0-471-09782-9
- Ligteringen, H. (2007); *"Ports and Terminals"*;
- McTurk (1995); *"Portal and Bridge Scraper Reclaimers"* (<http://www.saimh.co.za/>)
- Muilwijk, M. (2007); *"Onderzoek ondergrondse opslag"*; Havenbedrijf Rotterdam
- Tsinker, G. (2004); *"Port engineering"*; ISBN: 0-471-41274-0
- Vellinga, T. en M. Greense (2004); *"Environmental Issues in Port Development and Port Operation"*;
- Willekes, M.J. (1999); *"Cursus: Haven- en terminalplanning"*;
- Wolpers, F.M. (1995); *"Homogenization of bulk material in longitudinal and circular stockpile arrangements"* (<http://www.saimh.co.za/>)

Websites

ABB; <http://www.abb.com/>

Archibat; <http://www.bouwkosten-online.nl>

Bruks; <http://www.bruks.com/>
Electrabel; <http://www.electrabel.nl/>
EMO²; <http://www.emo.nl/>
FLSmidth; <http://www.flsmidth.com/>
Gasunie; <http://www.gasunie.nl/>
Process Barron; <http://www.processbarron.com/>
Sandvik; <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>
Stoves online; <http://www.stovesonline.co.uk/>
ThyssenKrupp Robins; <http://www.krupprobins.com/>
UBE; <http://www.ubemachinery.co.jp/>
Weaver Silos; <http://www.weaversilos.com/>
Wikipedia; <http://www.wikipedia.nl>

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelengte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bij het opwekken van elektriciteit met een kolen/biomassacentrale blijven er ook reststoffen over na het verbrandingsproces.

Er zijn drie verschillende soorten reststoffen. Dit zijn:

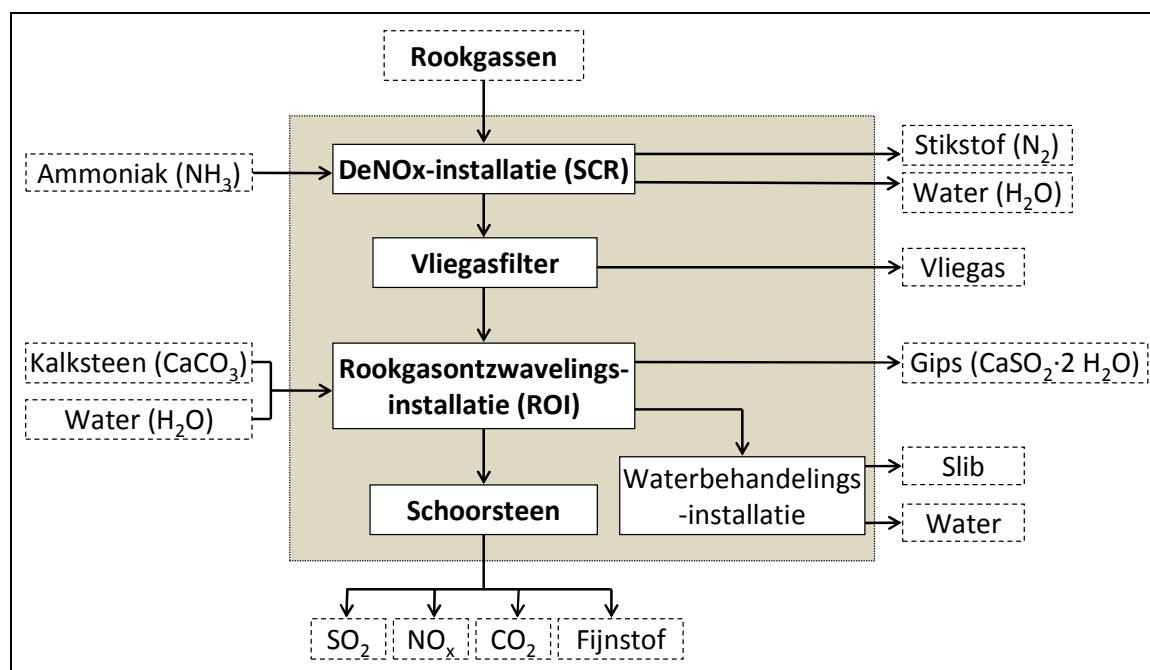
- rookgassen
- koelwater
- slakken

Rookgassen

De rookgassen bevatten volgens de wetgeving te veel vervuiling om uit gestoot te worden in de atmosfeer. Een behandeling van de rookgassen is daarom noodzakelijk. De volgende stoffen worden hierbij gefilterd (ARCADISenElectrabel, 2006):

- stikstofoxide (NO_x)
- vliegias
- zwavel (SO₂)

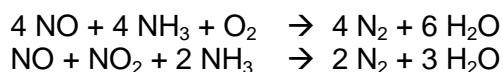
In figuur 1.1 is een schema van dit proces weergegeven.



Figuur 1.0.1: proces van rookgassen

DeNOx-installatie

De DeNOx-installatie heeft als doel de hoeveelheid NO_x-verbindingen te reduceren tot de vereiste grenswaarde. In de installatie komt ammoniak (NH₃) in aanraking met NO_x-verbindingen waardoor een reactie ontstaat waar water en stikstof uit ontstaat.



Stikstof maakt voor 75% deel uit van de lucht die we allemaal in ademen en kan dus uitgestoten worden zonder problemen.

Jaarlijks is 2240 ton ammonia nodig. Bij het opwarmen van de ammonia komt ammoniak vrij dat vervolgens gebruikt wordt in de DeNOx-installatie.

Vliegasfilter

Bij de verbranding van kolen komt vliegas vrij. Met behulp van een elektrostatisch filter zal bijna al het vliegas uit de rookgassen gefilterd worden (250.000 ton per jaar). De vliegas wordt gebruikt in de beton-, cement- en asfaltvulstofindustrie.

Rookgasontzwavelingsinstallatie

De rookgasontzwavelingsinstallatie (ROI) zorgt voor een sterke reductie van zwavel (SO_2). Dit gebeurt door het rookgas in aanraking te laten komen met een kalksteensuspensie. Na de reactie blijft er water, koolstofdioxide en gips over.

Een groot nadeel van dit proces is dat er koolstofdioxide (CO_2) ontstaat.

Jaarlijks wordt er 5.200 ton kalksteen gebruikt. De kalksteen wordt door middel van water in suspensie gebracht. Voor de kalksteensuspensie is $180 \text{ m}^3/\text{h}$ aan water nodig. Dit water wordt onttrokken aan het Brielse Meer.

Het afvalwater dat overblijft wordt in de afvalwaterbehandelingsinstallatie (ABI) gereinigd, zodanig dat het water geloosd mag worden op het oppervlaktewater. Het ABI-slib, dat achterblijft, wordt afgevoerd.

Koelwater

Het koelwater wordt gebruikt voor het condenseren van stoom. Hiervoor is een koelwaterdebiet van $28 \text{ m}^3/\text{s}$ nodig.

De inlaat van het koelwater zit aan de Mississippihaven op een diepte van NAP -6 m. Om te voorkomen dat vissen naar binnen worden gezogen geldt er een maximale stroomsnelheid van $0,5 \text{ m/s}$ en worden er roosters geplaatst.

De lozing van het opgewarmde koelwater zal plaatsvinden in de Amazonehaven op het oppervlaktewater met een maximale snelheid van $0,5 \text{ m/s}$. Dit voorkomt recirculatie van het koelwater en zorgt voor een snelle verspreiding van de warmte.

Slakken

Bij de verbranding in de ketel blijven er slakken (bodemas) over in de ketel. De slakken worden afgevoerd en opgeslagen. Het bedraagt ongeveer 25.000 ton per jaar. De slakken zijn zeer geschikt als puinlaag onder wegen, ook kan het verwerkt worden in bakstenen.

Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte

Bijlage B1: Kadelenkte en contractdiepte EMO

Bijlage B2: Kadelenkte en contractdiepte Electrabel

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage B1: Kadelenkte en contractdiepte EMO

De kadelenkte en contractdiepte zal eerst berekend worden voor de diepzeekade. De berekeningen voor de *shortsea* en binnenvaartkade daarna volgen.

1 Diepzeekade

1.1 Gegevens

	aantal	productie [ton/uur]		percentage	
		kolen	ijzererts	kolen	ijzererts
oude kraan	2	1600	2000	57%	43%
nieuwe kraan	2	2100	2500	57%	43%
drijvende kraan	1	435	533	57%	43%

aantal ligplaatsen	4
productie verlies	10%
operationeel [dagen/jaar]	347
kadebezettingsgraad	61%
productie [ton/jaar]	3,7E+07
gem. scheepslengte [m]	267
LLWS t.o.v. NAP [m]	-1,25
maximale diepgang [m]	20

1.2 Kadelenkte

De gemiddelde productie, uitgaande van 4 ligplaatsen, is (Ligtingen, 2007):

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{\text{productie oude kranen} + \text{productie nieuwe kranen} + \text{productie drijvende kraan}}{\text{aantal ligplaatsen}} * \text{productie verlies} \\
 &= \frac{2 \cdot (0,57 \cdot 1600 + 0,43 \cdot 2000) + 2 \cdot (0,57 \cdot 2100 + 0,43 \cdot 2500) + (0,57 \cdot 435 + 0,43 \cdot 533)}{4} * 0,9 \\
 &= 1.902 \text{ ton/uur}
 \end{aligned}$$

Aan de hand van de gemiddelde productie kan het benodigde aantal ligplaatsen bepaald worden. Het benodigde aantal ligplaatsen komt uit op (Ligtingen, 2007):

$$\begin{aligned}
 C_b &= p \cdot t_n \cdot m_b \\
 C_b &= 1.902 \cdot (347 \cdot 24) \cdot 0.61 = 9,7 \cdot 10^6 \text{ ton/jaar} \\
 n &= \frac{37 \cdot 10^6}{9,7 \cdot 10^6} = 3,8 \rightarrow \text{er zijn 4 ligplaatsen nodig}
 \end{aligned}$$

De kadelenkte wordt dan:

$$L_{q \text{ diepzeeschepen}} = 1,1 \cdot 4 \cdot (267 + 15) + 15 = 1.256 \text{ m}$$

1.3 Contractdiepte

De benodigde contractdiepte voor de ligplaatsen bedraagt (Ligtingen, 2007):

$$\begin{aligned}d_{contract} &= LLWS - 1,1 * D \\ &= -1,25 - 1,1 * 20,0 \\ &= NAP -23,25 \text{ m}\end{aligned}$$

2 Shortsea kade:

2.1 Gegevens

	aantal	productie [ton/uur]		percentage	
		kolen	ijzererts	kolen	ijzererts
zeebootbelader	1	3000	5000	18%	82%

aantal ligplaatsen	1
productie verlies	10%
operationeel [dagen/jaar]	347
kadebezettingsgraad	60%
productie [ton/jaar]	4,4E+06
max. scheepslengte [m]	290
LLWS t.o.v. NAP [m]	-1,25
maximale diepgang [m]	12

2.2 Kadelenkte

Het aantal ligplaatsen komt uit op:

$$\begin{aligned}C_b &= p \cdot t_n \cdot m_b \\ C_b &= 0,9 \cdot (0,18 \cdot 3.000 + 0,82 \cdot 5.000) \cdot (347 \cdot 24) \cdot 0,60 = 20,9 \cdot 10^6 \text{ ton / jaar}\end{aligned}$$

$$n = \frac{4,4 \cdot 10^6}{20,9 \cdot 10^6} = 0,21 \rightarrow \text{er is 1 ligplaats nodig}$$

De kadelenkte wordt dan:

$$\begin{aligned}L_{q \text{ shorsea schepen}} &= 1 \cdot (L_s + 15) + 15 \\ &= 1 \cdot (290 + 15) + 15 \\ &= 320 \text{ m}\end{aligned}$$

2.3 Contractdiepte

De benodigde contractdiepte voor de ligplaats bedraagt:

$$\begin{aligned}d_{contract} &= LLWS - 1,1 * D \\ &= -1,25 - 1,1 * 12 \\ &= NAP -14,45 \text{ m}\end{aligned}$$

3 Binnenvaartkade:

3.1 Gegevens

	aantal	productie [ton/uur]		percentage	
		kolen	ijzererts	kolen	ijzererts
lichtbelader	3	2000	2000	59%	32%

aantal ligplaatsen	3
productieverlies	10%
operationeel [dagen/jaar]	347
kadebezettingsgraad	70%
productie [ton/jaar]	1,74E+07
gem. scheepslengte [m]	180
LLWS t.o.v. NAP [m]	-1,25
maximale diepgang [m]	4,5

3.2 Kadelenkte

Het aantal ligplaatsen komt uit op:

$$C_b = p \cdot t_n \cdot m_b$$

$$C_b = 0,9 \cdot 2.000 \cdot 347 \cdot 24 \cdot 0,70 = 10,5 \cdot 10^6 \text{ ton / jaar}$$

$$n = \frac{17,4 \cdot 10^6}{10,5 \cdot 10^6} = 1,65 \rightarrow \text{er zijn 2 ligplaatsen nodig}$$

De totale kadelenkte komt uit op:

$$\begin{aligned} L_{q \text{ shorsea schepen}} &= 1,1 \cdot n \cdot (L_s + 15) + 15 \\ &= 1,1 \cdot 3 \cdot (180 + 15) + 15 \\ &= 658,5 \text{ m} \end{aligned}$$

3.3 Contractdiepte

De benodigde contractdiepte voor de ligplaatsen bedraagt:

$$\begin{aligned} d_{contract} &= LLWS - 1,1 \cdot D \\ &= -1,25 - 1,1 \cdot 4,5 \\ &= \text{NAP -6,2 m} \end{aligned}$$

Bijlage B2: Kadelenkte en contractdiepte Electrabel

1 Kade voor biomassa:

1.1 Gegevens

aantal ligplaatsen	1
gem. scheepslengte [m]	225
LLWS t.o.v. NAP [m]	-1,25
maximale diepgang [m]	11

1.2 Kadelenkte

De kadelenkte komt uit op:

$$\begin{aligned}L_q \text{ shorsea schepen} &= 1 \cdot (L_s + 15) + 15 \\ &= 1 \cdot (225 + 15) + 15 \\ &= 255 \text{ m}\end{aligned}$$

1.3 Contractdiepte

De benodigde contractdiepte voor de ligplaats bedraagt:

$$\begin{aligned}d_{\text{contract}} &= LLWS - 1,1 \cdot D \\ &= -1,25 - 1,1 \cdot 11 \\ &= \text{NAP} - 13,65 \text{ m}\end{aligned}$$

Bijlage C: Droge bulkopslag

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage C1: Homogene opslag

Bijlage C2: Opslag optimalisatie

Bijlage C3: Stortmethoden

Bijlage C4: Overzicht materieel droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

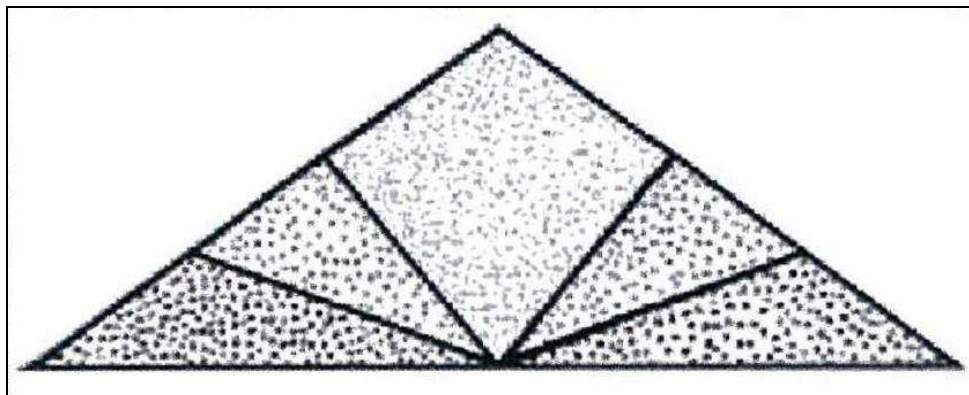
Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage C1: Homogene opslag

Een homogene opslag voorkomt variatie in de chemische en fysische eigenschappen van het materiaal. Door het toepassen van de geschikte stortmethode kan een bulkpartij, van slechte kwaliteit, worden omgezet in een uniforme mix van betere kwaliteit. Dit is bijvoorbeeld vereist in de cement- en staalindustrie, en bij kolencentrales.

Een veel voorkomend probleem is korrelsegregatie. Bij korrelsegregatie worden de verschillende fracties van het materiaal automatisch gescheiden tijdens het storten. Dit komt doordat grotere deeltjes via de zijkant van de opslag naar beneden rollen terwijl de fijne deeltjes in het hart van de opslag verdwijnen. Door korrelsegregatie vermindert de homogeniteit van het materiaal. Daarnaast draagt korrelsegregatie ook bij aan afschuiving, verhoging van het vochtgehalte en broei in het geval van kolen. In figuur 1.1 is de korrelsegregatie te zien bij het storten van een kegel.



Figuur 1.1: korrelsegregatie bij het storten (Dry Cargo international, June 2009)

Om korrelsegregatie te voorkomen en menging te stimuleren moet er zoveel mogelijk in dunne lagen met elk hetzelfde volume worden gestort. Dit resulteert in een grote hoeveelheid aan lagen. Het aantal lagen hangt af van de doorsnede van de opslag, de stortcapaciteit en de bewegingssnelheid van de *stacker*.

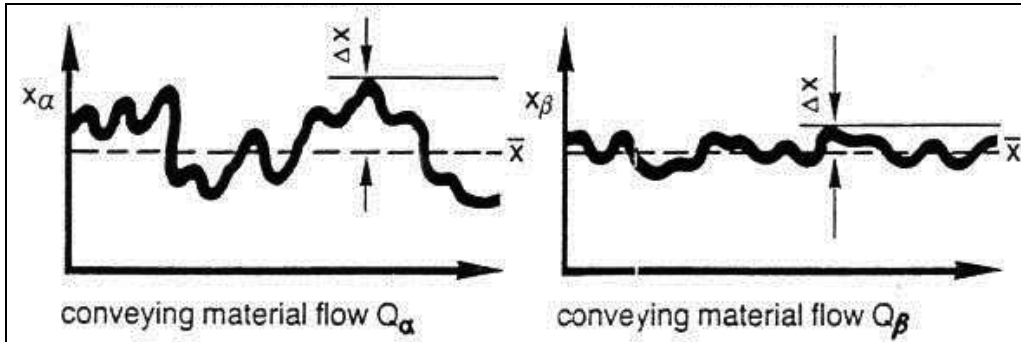
Ook een beperkte storthoogte vermindert het probleem van korrelsegregatie. Een beperkte storthoogte heeft nog als bijkomend voordeel dat er minder stofvorming optreedt.

De mate waarin de homogeniteit verandert tijdens het storten en afgraven wordt ook wel het homogeniteits-effect genoemd. Het homogeniteits-effect kan worden weergegeven met de functie (Wolpers, 1995):

$$E = \frac{S_{in}}{S_{out}}$$

met: E = homogeniteits-effect
 S_{in} = standaarddeviatie stort
 S_{out} = standaarddeviatie afgraven

In figuur 1.2 is een voorbeeld gegeven van wat er gebeurt met de standaarddeviatie bij een homogene opslag.



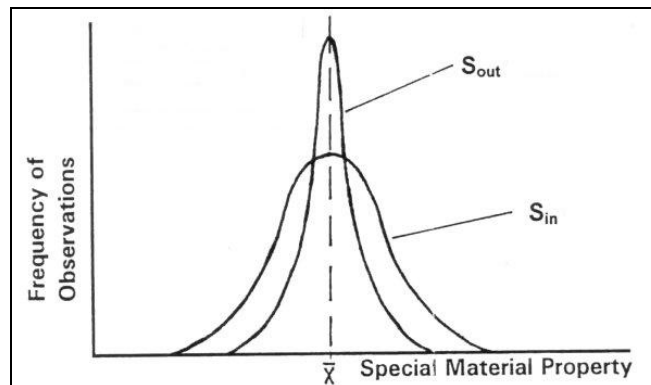
Figuur 1.2: linker figuur is het inkomende materiaal (S_{in}) rechter figuur is het materiaal dat uit de opslag gaat (S_{out}) (Wolpers, 1995)

In het bovenstaande figuur is links de standaarddeviatie van het materiaal dat gestort is (S_{in}) en rechts de standaarddeviatie van het materiaal dat afgegraven is (S_{out}) weergegeven.

Hierbij is \bar{X} de gemiddelde grootte van de fractie en ΔX de afwijking.

De maximale waarden van ΔX zijn aanzienlijk afgenomen bij S_{out} ten opzichte van S_{in} . Dit duidt erop dat het materiaal goed gemixt is tijdens het storten en afgraven.

De standaarddeviatie van S_{in} en S_{out} zijn samen weergegeven in figuur 1.3. Hier is duidelijk te zien dat de afwijking bij S_{out} een stuk minder is dan bij S_{in} . Hieruit kan geconcludeerd worden dat de homogeniteit is toegenomen.



Figuur 1.3: standaarddeviatie (Wolpers, 1995)

Praktische toepassing van de functie voor het homogeniteits-effect is gelimiteerd. Dit komt door het gebrek aan informatie over: het opslagvolume, de correlatie tussen lagen, verschillende laagdiktes, afgraafmethode, fouten tijdens het nemen van monsters en het analyseren.

Om dit probleem op te vangen is er de empirische factor "k" ontwikkeld. Met de factor "k" en het aantal stortlagen (n) kan het homogeniteits-effect bepaald worden. Deze functie laat zien dat het homogeniteits-effect afhangt van het aantal stortlagen. Een toename van het aantal stortlagen zorgt voor een hogere waarde van het homogeniteits-effect (Dry Cargo international, June 2009).

Voor de relatie tussen het homogeniteits-effect en het aantal stortlagen geldt de onderstaande functie (Wolpers, 1995):

$$E = k \cdot \sqrt{n}$$

met: k = empirische factor (varieert tussen 0,5 en 0,7) [-]
n = aantal stortlagen [-]

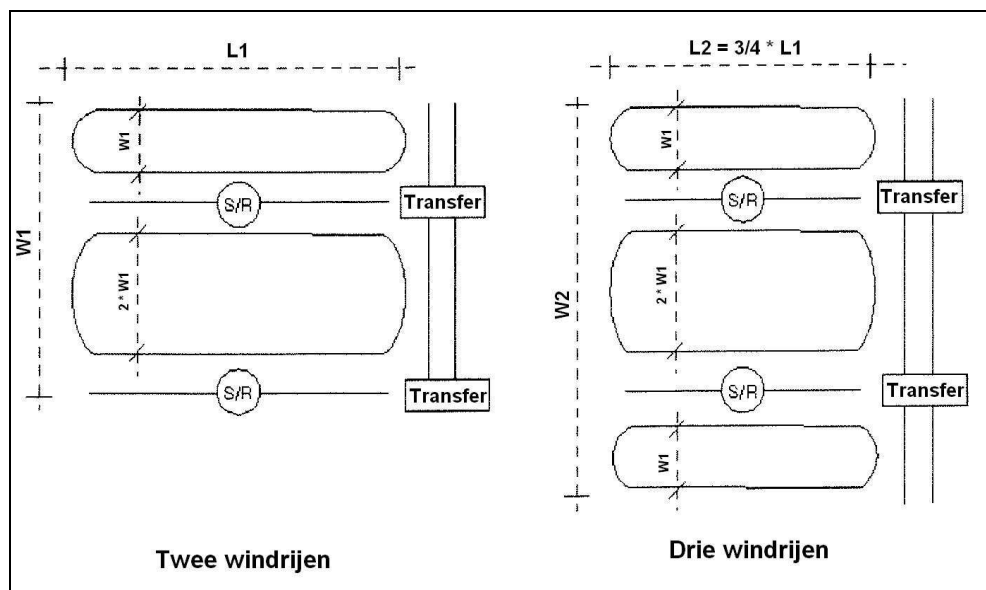
Bijlage C2: Opslag optimalisatie

Het ontwerpen van een optimale opslag, vanuit een operationeel en financieel oogpunt, is een complex probleem (Jong, 1994). Dit komt door de grote wisselwerking tussen de verschillende opslagvariabelen. Het wijzigen van één willekeurige variabele heeft positieve en negatieve gevolgen voor de andere ontwerpvariabelen. In deze bijlage worden hiervan twee voorbeelden gegeven.

Voorbeeld 1:

In het eerste voorbeeld wordt het aantal windrijen vergroot, waarbij de breedte van elke rij en de opslagcapaciteit constant blijft. Dit leidt tot de volgende veranderingen bij de andere opslagvariabelen:

- 1) Door een toename van het aantal rijen, zal de lengte van elke afzonderlijke rij afnemen. Hierdoor zal de totale lengte van de opslag ook afnemen, zie figuur 1.1.
- 2) Door de komst van een extra rij zal de totale breedte van de opslag toenemen.
- 3) Bij de komst van een extra rij is er geen extra *stacker-reclaimer* nodig.
- 4) De baan van de *stacker-reclaimer* voor twee windrijen bedraagt $2 * L1$. Voor drie windrijen wordt dit $2 * \frac{3}{4} * L1 = 1,5 * L1$. Hieruit blijkt dat de stackerbaan korter wordt.
- 5) Ook de lengte van de transportband voor de *stacker-reclaimer* wordt korter.
- 6) Door de toename van het aantal rijen neemt de lengte van de transfertransportband toe.
- 7) Het aantal transferpunten blijft gelijk.

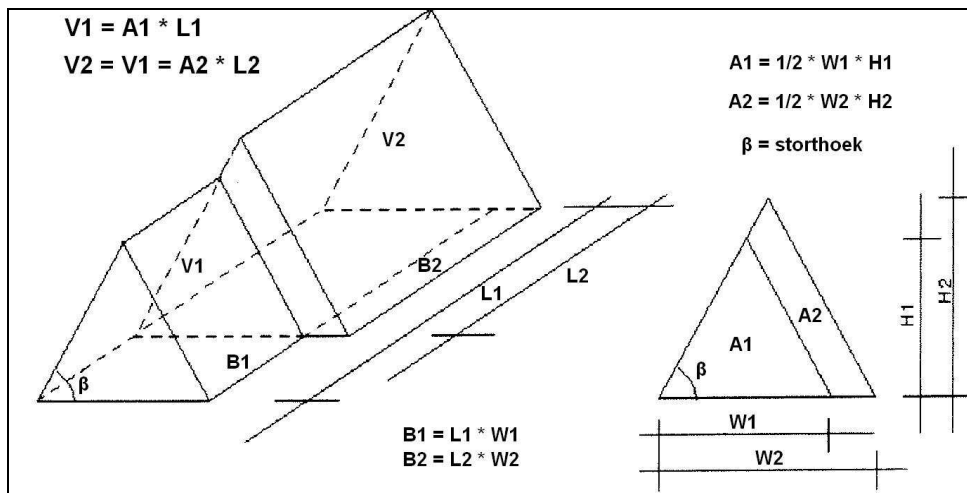


Figuur 1.1: effect van het wijzigen van het aantal windrijen (Jong, 1994)

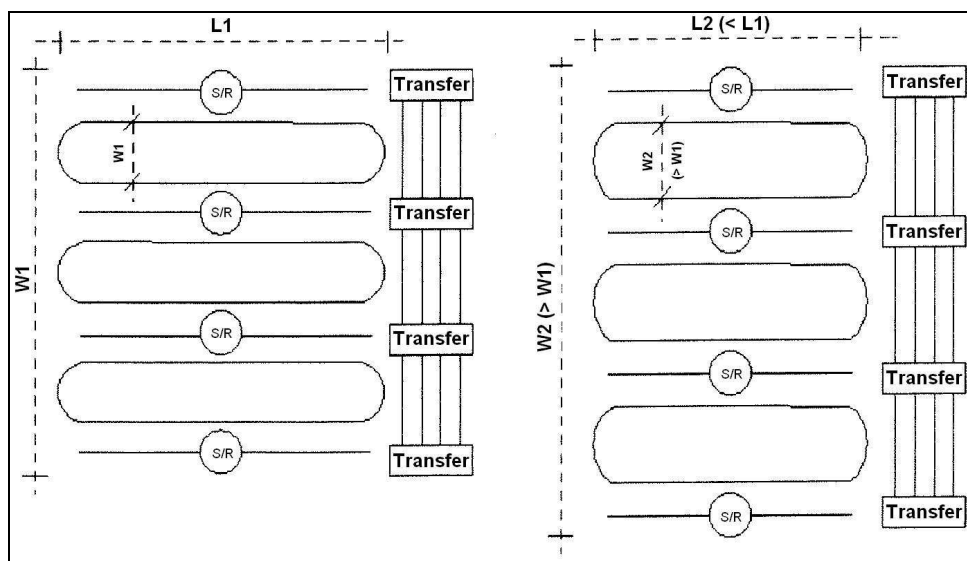
Voorbeeld 2:

In het tweede voorbeeld wordt de breedte van de windrij vergroot. Het aantal windrijen blijft constant en ook de totale opslagcapaciteit verandert niet. Dit leidt tot de volgende veranderingen bij de andere opslagvariabelen:

- 1) Door de toename van de breedte zal ook de opslaghoogte toenemen, zie figuur 1.2.
- 2) Door de toename van opslaghoogte, zal er een toename zijn van het doorsnedenoppervlak.
- 3) Door het grotere doorsnedenoppervlak, zal de lengte van de windrijen afnemen.
- 4) Door afname van de lengte van de windrij, zal ook baan voor de stacker-reclaimer afnemen, zie figuur 1.3.
- 5) Door afname van de lengte van de windrij, zal ook de lengte van de transportband korter worden.
- 6) Door de toename van elke rij, zal ook de totale breedte van de opslag toenemen.
- 7) Door de toename van de totale breedte, zal ook de lengte van de transfertransportband toenemen.
- 8) Door de toename van het doorsnedenoppervlak, zal het totale oppervlak van de opslag kleiner worden.
- 9) Door te toegenomen breedte van de windrij, zal ook de lengte van de arm van de stacker-reclaimer moeten toenemen.



Figuur 1.2: geometrische relatie bij een verbreding van de windrij (Jong, 1994)



Figuur 1.3: effect van het verbreden van de windrijen (Jong, 1994)

Bijlage C3: Stortmethoden

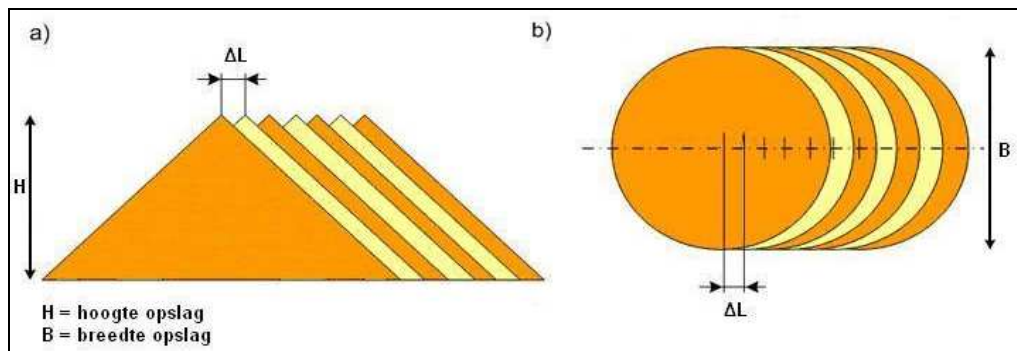
De vijf verschillende stortmethoden voor het creëren van een homogene opslag zijn (ABB, 2010):

- cone-shell (windrijvorm)
- chevron (windrijvorm)
- strata (windrijvorm)
- windrow (windrijvorm)
- chevcon (radiaalvorm)

Cone-shell

Bij de *cone-shell* methode wordt er verticaal gestort over de hartlijn. Eerst wordt er een kegel tot de uiteindelijke hoogte van de opslag gestort. Hierbij begint de arm van de *stacker* laag en stijgt de arm mee met de kegel. Vervolgens blijft de hoogte van de arm constant en beweegt de *stacker* zich stap voor stap verder met stapgrootte ΔL . Op deze manier worden er allemaal kegels tegen elkaar aan gestort, zie figuur 1.1.

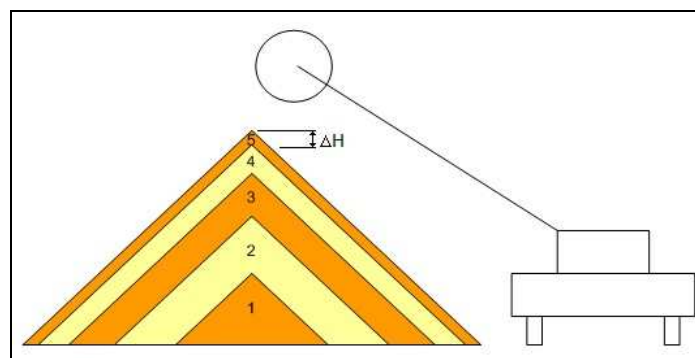
Deze methode is niet effectief voor het mengen van materiaal en stimuleert korrelsegregatie. Het voordeel van deze methode is dat na het creëren van de eerste kegel de arm niet meer bewogen hoeft te worden en alleen de *stacker*, met stapgrootte ΔL , zich over de rails verplaatst.



Figuur 1.1: cone-shell methode (a) doorsnede op de hartlijn (b) bodemdoorsnede (ABB, 2010)

Chevron

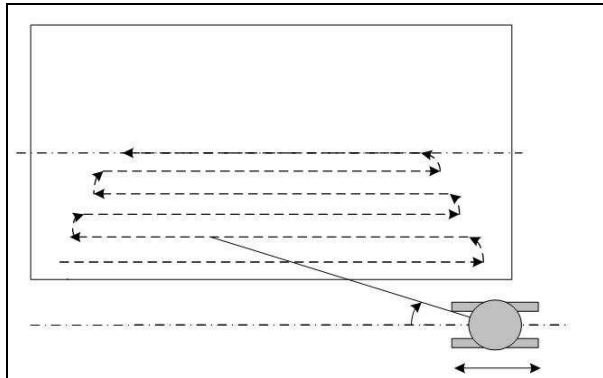
Bij de *chevron* methode worden er horizontale lagen gestort over de hartlijn van de opslag. De *stacker* rijdt constant heen en terug langs de opslag. De arm van de *stacker* is laag als het storten begint en wordt na elke laag steeds iets hoger gehouden zodat de afstand tussen de opslag en arm constant klein blijft, hiermee wordt stofontwikkeling tot een minimum beperkt. Doordat het stortvolume per laag hetzelfde is wordt de laagdikte (ΔH) steeds kleiner naarmate de opslag hoger wordt, zie figuur 1.2.



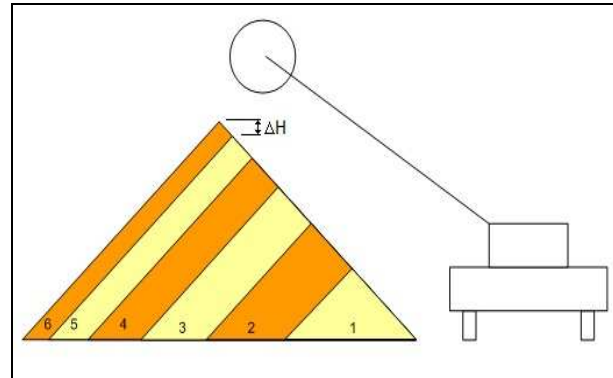
Figuur 1.2: dwarsdoorsnede chevron methode (ABB, 2010)

Strata

Met de strata methode wordt het materiaal in horizontale lagen gestort. De eerste laag wordt gestort aan de stackerzijde van de opslag, zie figuur 1.3a. Hierbij is de arm van de *stacker* in lage positie. Bij de tweede laag wordt het uiteinde van de arm een stuk naar de hartlijn van de opslag gepositioneerd en neemt ook de hoogte van de arm iets toe. Hierdoor ontstaat er een tweede laag die de eerste laag aan de binnenzijde van de opslag overlapt. Dit proces wordt herhaald totdat het uiteinde van de arm de hartlijn heeft bereikt en daar een laatste laag heeft gestort, zie figuur 1.3b. Net als bij de chevron methode wordt ook hier de laagdikte (ΔH) steeds dunner naarmate de hoogte van de opslag toeneemt.



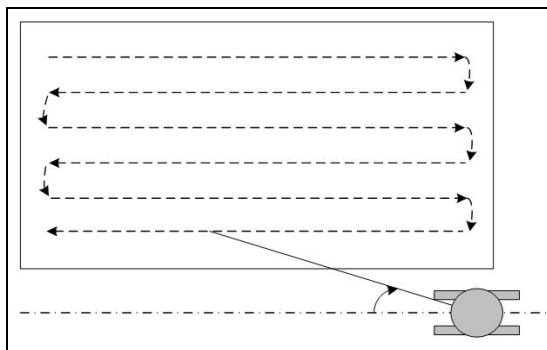
Figuur 1.3a: bovenaanzicht stortroute strata methode (ABB, 2010)



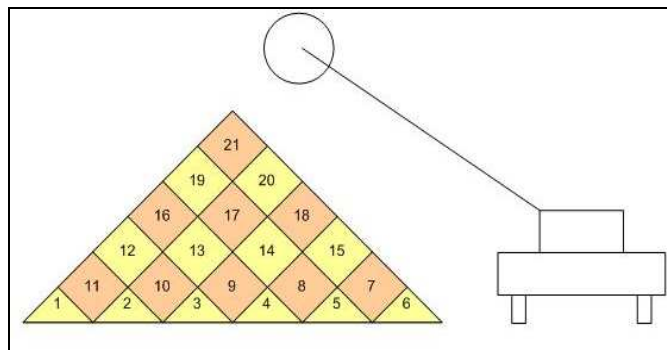
Figuur 1.3b: dwarsdoorsnede strata methode (ABB, 2010)

Windrow

Het storten van het materiaal bij een *windrow* methode gebeurt in lange horizontale banen die parallel lopen aan de rijrichting van de *stacker*. Een aantal banen naast elkaar zorgen voor de eerste (basis)laag, zie figuur 1.4a. De doorsnede van deze laag bestaat uit naast elkaar gelegen driehoekjes (nummers 1 t/m 6), zie figuur 1.4b. Vervolgens wordt de twee laag gestort tussen de banen van de eerste laag (nummers 7 t/m 11). In de doorsnede worden de ruimtes tussen de driehoeken opgevuld met vierkanten. Op deze manier ontstaat er een driehoekige doorsnede. In sommige gevallen is er een beperkte opslaghoogte, door de beperkte grondbelasting of de begrensde hoogte van de *stacker*, waardoor er een trapeziumvormige doorsnede ontstaat. Door de vele banen en lagen, waaruit de *windrow* is opgebouwd, ontstaat er een homogene opslag.



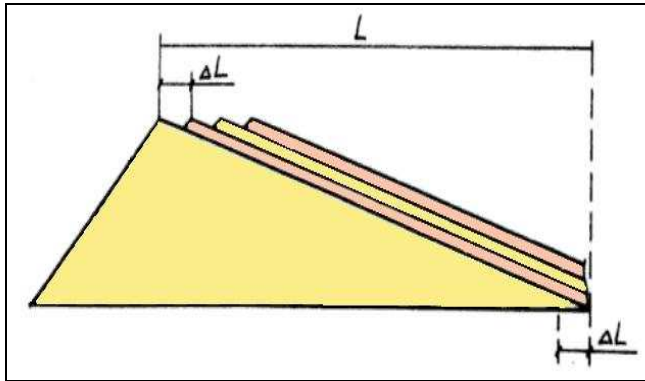
Figuur 1.4a: bovenaanzicht eerste (basis)laag windrow methode (ABB, 2010)



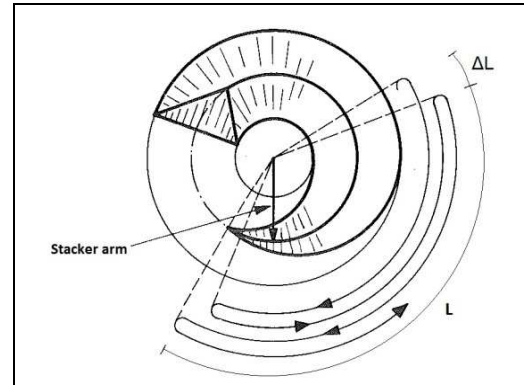
Figuur 1.4b: dwarsdoorsnede windrow methode (ABB, 2010)

Chevcon

Chevcon is de methode die in de meeste gevallen wordt gebruikt voor radiaalvormige opslag en lijkt sterk op de chevron methode. De *stacker* creëert eerst een kegel die uitgerekt is in de richting van de hartlijn, zie figuur 1.5. Vervolgens beweegt de stackerarm voor- en achterwaarts over de radiaalvormige opslag met een constante lengte (L). Bij elke voorwaartse beweging is de arm een afstand ΔL opgeschoven. Op deze manier worden er vele lagen over elkaar heen gelegd wat zorgt voor een homogene opslag (Kulwiec, 1985).



Figuur 1.5a: doorsnede hartlijn chevcon methode (ABB, 2010)

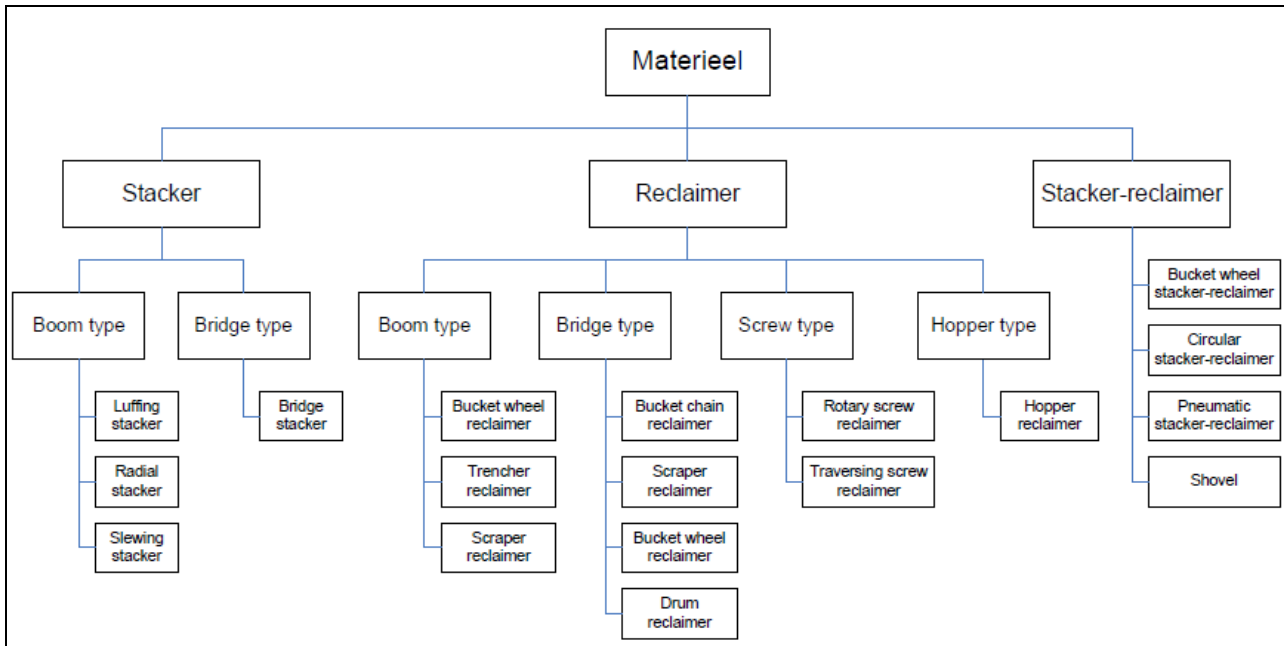


Figuur 1.5b: bovenaanzicht chevcon opslag (Kulwiec, 1985)

Bijlage C4: Overzicht materieel droge bulkopslag

In deze bijlage zal eerst aandacht worden besteed aan de *stacker*, daarna aan de *reclaimer*. Uiteindelijk zal de combinatie van *stacker* en *reclaimer*, ook wel combi genaamd, worden besproken. De capaciteit voor stackers en reclaimers geldt voor kolen tenzij anders staat vermeld.

Een overzicht van al het materieel is te vinden in het onderstaande figuur.



Overzicht van het materieel

1 Stacker

Voor het creëren van een opslag wordt een *stacker* gebruikt. Het storten gebeurt met behulp van zwaartekracht. Elke type droge bulk kan op deze manier gestort worden.

De verschillende *stackers* variëren sterk in uitvoering. Er kan scheiding gemaakt worden tussen *boom type stackers* en *bridge type stackers*.

De capaciteit van stacker wordt voornamelijk bepaald door de transportbandsnelheid en -breedte (Jong, 1994).

In deze paragraaf worden de verschillende *stackers* besproken. Hierbij wordt speciaal aandacht besteed aan de werkwijze van de *stacker*. Daarnaast wordt aangegeven voor welke opslagvorm en opslagmethode de *stacker* geschikt is.

1.1 Boom type stacker

Met de *boom type stacker* kan er in het hart van de opslag gestort worden door de arm die over de opslag heen hangt. In dit hoofdstuk worden de volgende drie *boom type stackers* behandeld:

- *Luffing stacker*;
- *Radial stacker*;
- *Slewing stacker*.

1.1.1 Luffing stacker

De *luffing stacker* rijdt over de volledige lengte parallel aan de opslag en kan aan één zijde van de stackerbaan het materiaal storten. De transportband, die tussen de rails door loopt,

staat met de *luffing stacker* in verbinding en via de arm van de *stacker* wordt het materiaal gestort (ThyssenKrupp Robins). De arm kan verticaal om de as bewegen. Door de arm zo laag mogelijk boven de opslag te positioneren (minimale storthoogte) wordt het ontstaan van stof, geluid en korrelsegregatie tot een minimum beperkt (Dry Cargo international, June 2009).

De *luffing stacker* is de meest kosteneffectieve *stacker* voor het storten aan één zijde langs de *stackerbaan*. De *luffing stacker* is geschikt voor een windrijvormige opslag met de *cone-shell* of *chevron* methode.

De capaciteit varieert tussen de 300 en 12.000 ton per uur.



Figuur 1.1a luffing stacker bij het storten van houtsnippers



Figuur 1.1b: luffing stacker bij het storten van zand

1.1.2 Radial stacker

De *radial stacker* heeft een arm die horizontaal om een centraalpunt draait. De draaihoek varieert per *stacker* tussen de 90° en 360° . Vanuit het centrale punt wordt de arm voorzien van bulk, dat via de arm gestort wordt in de radiaalvormige opslag (ThyssenKrupp Robins, 2010).

Bij de *radial stacker* met een draaihoek van 360° wordt voornamelijk de *chevron* methode toegepast voor het storten (bijlage 4.3).

Een capaciteit van 3.600 ton per uur is haalbaar.



Figuur 1.2: radial stacker

1.1.3 Slewing stacker

De *slewing stacker* kan storten aan beide zijdes van de *stackerbaan*. Doordat de arm kan draaien om de horizontale as, kan de *stacker* het volledige horizontale vlak van de opslag

bestrijken. Daarnaast kan de arm, net als de *luffing stacker*, verticaal in hoogte variëren. De *stacker* verplaatst zich in de lengte richting van de opslag over rails, waar tussen de transportband loopt (ThyssenKrupp Robins, 2010).

De *stacker* is geschikt voor windrijvormige opslag en beheerst alle verschillende opslagmethoden voor het creëren van de windrijvormige opslag.

De productie van grote *slewing stackers* kan oplopen tot wel 15.000 ton per uur met een armlengte van 60 meter (FLSmidth).



Figuur 1.3: slewing stacker voor het storten van kolen

1.2 Bridge type stacker

Een *bridge type stacker* overspant de opslag en rijdt er in de lengte richting overheen. Parallel aan de rijrichting van de brug loopt een transportband die *stacker bridge* voedt met materiaal. De *stacker* kan één grote of meerdere kleine opslagbergen maken. Doordat de brug de volledige opslag overspant, kan elke plek in de opslag bereikt worden.

Met een hoge capaciteit tot wel 7.700 ton per uur en een hoge efficiëntie op het gebied van grondgebruik, is de *stacker bridge* geschikt voor een blokvormige opslag. De *stacker* kan bij open en overdekte/afgesloten opslag worden toegepast. De overspanning van de brug, tussen twee steunpunt, kan oplopen tot een lengte van 150 meter (ThyssenKrupp Robins, 2010).

Een nadeel van deze manier van storten is dat het moeilijk valt te combineren met een (flexibele) *reclaimer*. De grote valhoogte van het materiaal en de hoge constructiekosten zijn andere nadelen, die de *stacker* minder populair maken.



Figuur 1.4a: bridge stacker voor afgesloten opslag



Figuur 1.4b: bridge stacker in San Pedro (Californië)

De *apex stacker* is een variant op de *bridge stacker* waarbij de dakconstructie, die de opslag overspant, wordt gebruikt als brug. In de nok van het dak loopt een transportband in de lengte van de opslagloods. Over de transportband beweegt een *tripper* (afwerpwagen) die het materiaal op de geschikte locatie stort (Ligteringen, 2007).

Logischerwijs wordt deze *stacker* alleen maar toegepast bij overdekte of afgesloten opslag. Een grote valhoogte van het materiaal, die de homogeniteit niet ten goede komt, is bij deze *stacker* onvermijdelijk.

Deze manier van storten is geschikt voor windrijvormige opslag met de *cone-shell* of *chevron* methode.



Figuur 1.5: apex stacker bij een afgesloten kolenopslag

1.3 Overzicht stackers

		Gem. capaciteit [ton/uur]	Max. capaciteit [m ³ /uur]	Stortmethode	Opslagvariant	Vorm
Boom	Luffing	3.000	15.000	Cone-shell Chevron	Open	Windrij
	Radial	2.000	4.500	Chevcon	Open Overdekt/afgesloten	Radiaal
	Slewing	3.000	18.500	Cone-shell Chevron Strata Windrow	Open	Windrij
Bridge		1.000	9.500	Cone-shell Chevron Strata Windrow	Open Overdekt/afgesloten	Blok Windrij

Tabel 6.1: overzicht stackers

2 Reclaimer

Het afgraven van de opslag gebeurt met *reclaimers*. Net als bij de *stackers* is er een geruime keus. Er zijn vier hoofd types (Jong, 1994):

1. *boom type reclaimer*
2. *bridge type reclaimer*
3. *hopper type reclaimer*
4. *screw type reclaimer*

De capaciteit per type *reclaimer* varieert sterk. Factoren die bepalend zijn voor de capaciteit zijn:

- vorm en grootte van de opslag;
- draai- en voortplantingssnelheid van de *reclaimer*;
- acceleratie van de *reclaimer*;
- afgraafmethode.

2.1 Boom type reclaimer

Alle boom type *reclaimers* zijn uitgerust met een arm die zich over de opslag beweegt en het hart van de opslag kan bereiken. In deze paragraaf worden de volgende drie *reclaimers* behandeld:

- *Bucket wheel reclaimer*
- *Trencher reclaimer*
- *Cantilever scraper reclaimer*

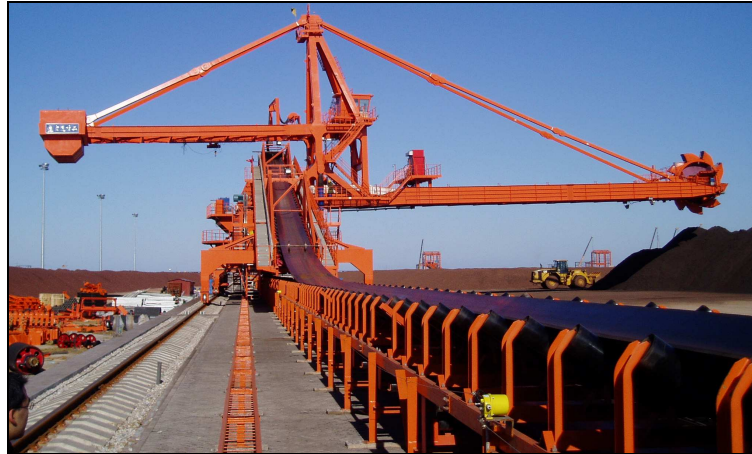
2.1.1 Bucket wheel reclaimer

De *bucket wheel reclaimer* verplaatst zich parallel aan de opslag. Op de *reclaimer* zit een arm bevestigd, die zowel horizontaal als verticaal om de as kan bewegen. Met behulp van een roterend emmerwiel, aan het uiteinde van de arm, graaft de machine het materiaal uit de opslag. Hierbij wordt door rotatie de emmer vol met materiaal geschept. Als het wiel verder roteert, valt het materiaal uit de emmer op de transportband, die over de arm loopt. Via de arm komt het materiaal op de transportband, die tussen de rails loopt, terecht.

Doordat de arm zowel horizontaal als verticaal om de as kan bewegen, wordt elke plek in de opslag bereikt (Knappe, 1995).

De *reclaimer* kan ingezet worden aan beide zijdes van de transportband. Door het contragewicht en de lange arm is de *reclaimer* alleen geschikt voor open opslag. De *reclaimer* heeft door zijn flexibiliteit het grote voordeel dat het erg selectief kan zijn. Bij kolenopslag kan bijvoorbeeld een *hot spot* verwijderd worden. Vanwege het kleine afgraafvlak van het emmerwiel draagt de *reclaimer* niet bij aan de homogeniteit van het materiaal.

De *bucket wheel reclaimer* is de meest kosteneffectieve *reclaimer* voor het afgraven van een open opslag met hoge capaciteit. De graafcapaciteit van de *reclaimer* varieert sterk per type en ligt tussen gemiddeld ronde de 3.500 ton per uur, maar enkel uitschieters naar de 20.000 ton per uur zijn er ook. De armlengte varieert van 25 tot 80 meter.



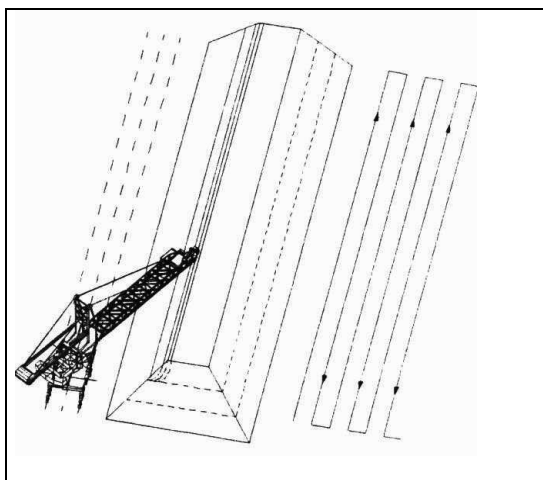
Figuur 2.1: bucket wheel reclaimer

De *bucket wheel reclaimer* is vooral geschikt voor windrijvormige opslag. De *reclaimer* graaft steeds de bovenste laag van de opslag eraf. De dikte van deze laag is 0,65 keer de diameter van het emmerwiel. Bij het afgraven van een dikkere laag bestaat de kans op ondergraving en ingraving (Knappe, 1995).

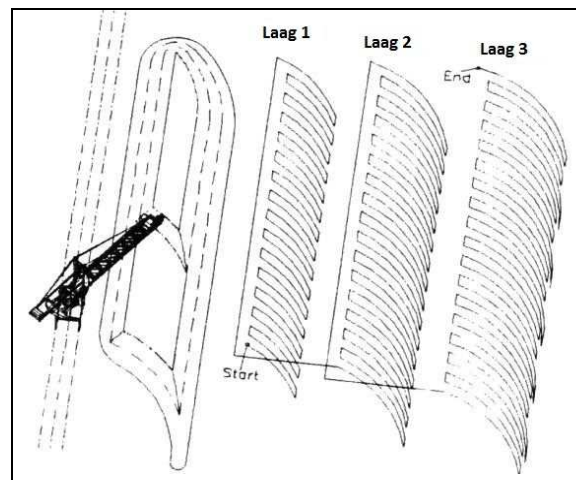
Het afgraven van de opslag kan op twee manieren (Knappe, 1995):

- *Long travel reclaiming*
- *Slew reclaiming*

Bij *long travel reclaiming* wordt het afgraven uitgevoerd in de lengterichting van de windrij, zie figuur 2.2a. Na het afgegraven van de bovenste laag kan er begonnen worden met de tweede laag. Deze cyclus wordt herhaald totdat de *reclaimer* het einde van de opslag heeft bereikt in de laagste laag. In praktijk wordt deze methode weinig toegepast. Dit komt voornamelijk doordat het niet de meest praktische methode is voor het afgraven van een bulkpartij. Als een bulkpartij gedeeltelijk wordt afgegraven blijft het benodigde grondoppervlak in de opslag gelijk en komt er geen ruimte vrij voor een nieuwe bulkpartij. Bij *slew reclaiming* maakt de arm zwaaibewegingen waardoor de bulk in de breedte wordt afgegraven, zie figuur 2.2b. Door in stapjes vooruit te rijden wordt de bovenste laag afgegraven tot een willekeurig punt. Vervolgens rijdt de *reclaimer* terug naar het startpunt en begint met de tweede laag. Als dit proces zich tot op bodem voortzet wordt de kop van de opslag naar achter verplaatst. Hierdoor komt ruimte vrij voor een nieuwe bulkpartij.



Figuur 2.2a: long travel reclaiming (Knappe, 1995)



Figuur 2.2b: slew reclaiming (Knappe, 1995)

2.1.2 Trencher reclaimer

De *trencher reclaimer* lijkt sterk op de *bucket wheel reclaimer*. Het belangrijkste verschil is dat de *reclaimer* alleen maar verticaal om de as kan draaien. Hierdoor wordt de opslag smaller en dus ook de arm korter (ThyssenKrupp Robins, 2010).

De horizontale verplaatsing gaat over rails. De werking van het emmerwiel, aan het einde van de arm, is vergelijkbaar met die van de *bucket wheel reclaimer*. De diameter van het emmerwiel moet in verhouding staan met de opslagbreedte.

De *trencher reclaimer* is geschikt voor relatief kleine volumes waarbij veel handelingen nodig zijn. De capaciteit ligt tussen de 2.000 en 4.000 ton per uur.



Figuur 2.3: trencher reclaimer

2.1.3 Boom scraper reclaimer

Het belangrijkste onderdeel van de *boom scraper reclaimer* is de arm, die loodrecht op de opslag staat. Aan de onderkant van de arm zitten twee kettingen. Aan deze kettingen zitten schoepen, die het materiaal naar de naastgelegen transportband schrapen. De *reclaimer* verplaatst zich in de lengterichting van de opslag over rails (McTurk, 1995).

De *boom scraper reclaimer* is geschikt voor bijna elke grondstof en is zeer kosteneffectief. Daarnaast zorgt de *reclaimer* voor homogeniteit van het materiaal. Hiervoor moet wel de juiste stortmethode worden toegepast, zodat er uit meerdere stortlagen tegelijk wordt geschrapt. De strata stortmethode geniet daarom de voorkeur. De *reclaimer* is geschikt voor windrij- en cirkelvormige opslag.

Er zijn twee type *boom scraper reclaimers*:

- *Portal scraper*
- *Cantilever scraper*

De *portal scraper reclaimer* bestaat uit een portaal, die de breedte van de opslag overbrugt en hoog genoeg is om over de opslag heen te bewegen. In de meeste gevallen is de *reclaimer* met één arm uitgevoerd, maar de uitvoering met dubbele parallel arm of opklapbare arm bestaat ook. De overspanning gaat tot 65 meter en de capaciteit tot 4.000 ton per uur.

De *cantilever scraper* werkt met een contragewicht voor de balans. Het is een flexibele machine die een opslagbreedte van 35 meter aankan en een capaciteit van ongeveer 2.000 ton per uur heeft.

Zodra de arm van de *cantilever scraper reclaimer* langer wordt dan 25-30 meter, is het economischer om een *portal scraper* te gebruiken voor het afgraven van de opslag. Dit komt doordat de cantilever scraper in dat geval zeer zwaar moet worden uitgevoerd. Als er tussenwanden zijn toegepast in de opslag, zal er altijd gekozen worden voor de *portal scraper* (Dry Cargo international, Sep. 2009).



Figuur 2.4a: portal scraper



Figuur 2.4b: cantilever scraper

2.2 Bridge type reclaimer

Bij de *bridge type reclaimer* wordt de opslag overspannen met een brug. Aan de brug zit de *reclaimer* bevestigd, die ervoor zorgt dat het materiaal uit de opslag wordt gegraven. Deze methode van afgraven wordt toegepast bij zowel open als afgesloten/overdekte opslag.

De vier meest voorkomende varianten van de *bridge type reclaimer* zijn:

- *Bridge type bucket chain reclaimer*
- *Bridge type scraper reclaimer*
- *Bridge type bucket wheel reclaimer*
- *Bridge type drum reclaimer*

2.2.1 Bridge type bucket chain reclaimer

De *bucket chain reclaimer* is vooral geschikt voor cohesief en vochtig materiaal. Het vochtgehalte ligt in dat geval hoger dan 10% (Dry Cargo international, Sep. 2009). De *bucket chain* die aan de brug is bevestigd schept het materiaal uit de opslag. Op de brug valt het materiaal uit de emmer op de transportband. Met deze methode kan een productie van 2.000 ton per uur worden behaald. De arm van de *reclaimer* heeft een maximale lengte van 25 meter (FLSmidth).

2.2.2 Bridge type scraper reclaimer

De *bridge type scraper reclaimer* lijkt sterk op de boom *scraper reclaimer*. De brug hangt net boven de bodem van de opslag. De kettingen met de schoepen zitten aan de onderkant van de brug bevestigd. Het materiaal wordt hiermee onderaan de opslag weg geschraapt richting de zijkant van de opslag. Voorop de brug zit een eg (raamwerk met pennen, afkomstig uit de landbouw) gemonteerd, die heen-en-weer beweegt. Dit zorgt ervoor dat materiaal naar beneden valt en de hellingshoekhoek aan de kop van de opslag constant blijft, zodat de *reclaimer* gelijkmatig gevoed wordt. Aan de zijkant van de opslag wordt het materiaal opgevangen op de transportband en verder getransporteerd (McTurk, 1995).

De *reclaimer* is geschikt voor windrij- en radiaalopslag. Hij kan een overspanning van 65 meter en een capaciteit van 3.000 ton per uur aan.

Het grote nadeel van dit type *reclaimer* is dat het niet over een opslagberg heen kan bewegen. Een voordeel is dat het zorgt voor homogeniteit van het materiaal.



Figuur 2.5a: bridge type bucket wheel reclaimer



Figuur 2.5b: bridge type scraper reclaimer

2.2.3 Bridge type bucket wheel reclaimer

De *bucket wheel reclaimer* bestaat uit een brug, die laag boven de bodem van de opslag hangt. Aan de brug zit een emmerwiel, die het materiaal afgraaft uit de opslag. Het materiaal valt uit het emmerwiel op de transportband, die over de brug loopt. Net als bij de *bridge type scraper reclaimer* zit er een eg voorop de brug (ThyssenKrupp Robins, 2010).

Deze methode van afgraven wordt toegepast bij windrijvormige opslag.

De brug kan ook worden uitgevoerd met twee emmerwielen om de capaciteit te verhogen.

Hierbij kan een capaciteit van 2.000 ton per uur behaald worden.

Net als bij de *bridge type scraper reclaimer* kan ook deze *reclaimer* niet over de opslag heen bewegen.



Figuur 2.6a: bridge type bucket wheel reclaimer



Figuur 2.6b: bucket wheel

2.2.4 Bridge type drum reclaimer

De *drum reclaimer* worden gebruikt voor het homogeniseren van grote hoeveelheden droge bulk. De reclaimer wordt toegepast bij de winlocatie of eindgebruiker van de bulk, bijvoorbeeld: kolenmijn of staalfabriek (Cargo Handling, March/April 2010). De trommel die de opslag overspant hangt laag boven de bodem van de opslag. Door rotatie van de trommel wordt het materiaal naar binnen geschept en komt het terecht op de transportband, die door het hart van de trommel loopt, zie figuur 2.7b. De *reclaimer* verplaatst zich in de lengterichting van de opslag. Op de brug zit een eg gemonteerd.

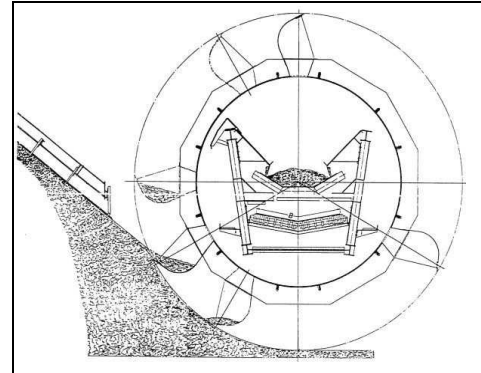
In circa 90% van de gevallen wordt de *drum reclaimer* ingezet bij het afgraven van ijzererts (60%) of kolen (30%) (de Wet, 1995). De homogeniteit van het materiaal is het best als de *reclaimer* gecombineerd wordt met de chevron stortmethode. Een overspanning tot 50 meter is mogelijk. De capaciteit varieert van 300 tot 6.000 ton per uur.

De voordelen van deze *reclaimer* zijn: de hoge mate van menging, weinig slijtage en onderhoud. Een groot nadeel is dat de *reclaimer* niet over een opslagberg heen kan bewegen. Ook zijn sommige specialisten van mening dat de hogere kosten voor het *drum*

reclaimen niet opwegen tegen de voordelen van het homogeniseren (Cargo Handling, March/April 2010).



Figuur 2.7a: drum reclaimer



Figuur 2.7b: trommel van de drum reclaimer (de Wet, 1995)

Als kosten en flexibiliteit de belangrijkste selectie criteria zijn dan geniet de *bucket wheel reclaimer* de voorkeur boven de *drum reclaimer* (Cargo Handling, March/April 2010).

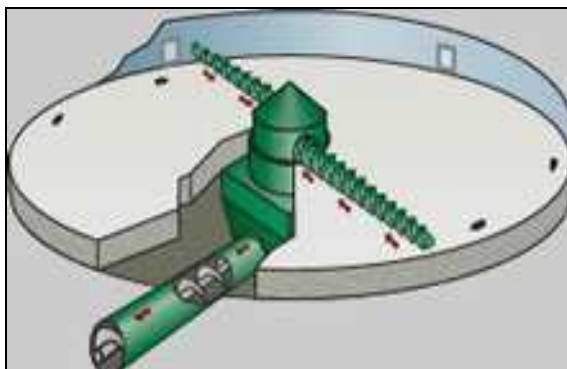
2.3 Screw type reclaimer

Met de *screw type reclaimer* wordt het materiaal met behulp van een schroefdraad van onderuit de opslag naar de transportband getransporteerd. Hij is geschikt voor bijna alle soorten droge bulk. Er zijn twee typen *screw reclaimers*:

- *Rotary screw reclaimer*;
- *Traversing screw reclaimer*.

2.3.1 Rotary screw reclaimer

De *rotary screw reclaimer* is geschikt voor een opslag met cirkelvormige basis (Weaver Silos). De schroef draait om een centraal punt waar het materiaal wordt verzameld en van waaruit het materiaal per transportband verder wordt getransporteerd. Het is een goedkope en onderhoudsarme manier van *reclaimen*. De *rotary screw reclaimer* is geschikt voor een opslag met een diameter tot 30 meter en een capaciteit van 800 ton per uur.



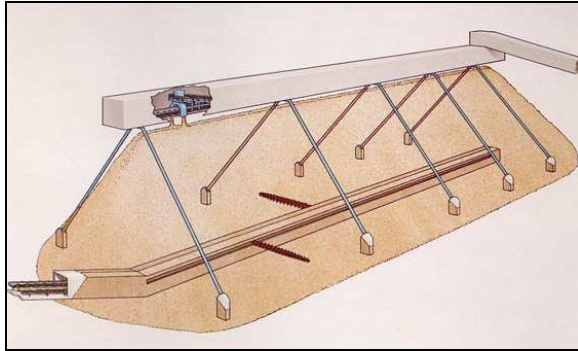
Figuur 2.8a: silo met rotary screw reclaimer



Figuur 2.8b: rotary screw reclaimer

2.3.2 Traversing screw reclaimer

De *traversing screw reclaimer* wordt toegepast bij een windrijvormige opslag. De schroef kan in de lengterichting van de opslag bewegen waardoor de schroef bijna alle plaatsen in de opslag kan bereiken. De schroeven kunnen een maximale lengte aan van circa 20 meter en de capaciteit kan oplopen tot 1.100 ton per uur (Process Barron).



Figuur 2.9a: windrij opslag met traversing screw reclaimer

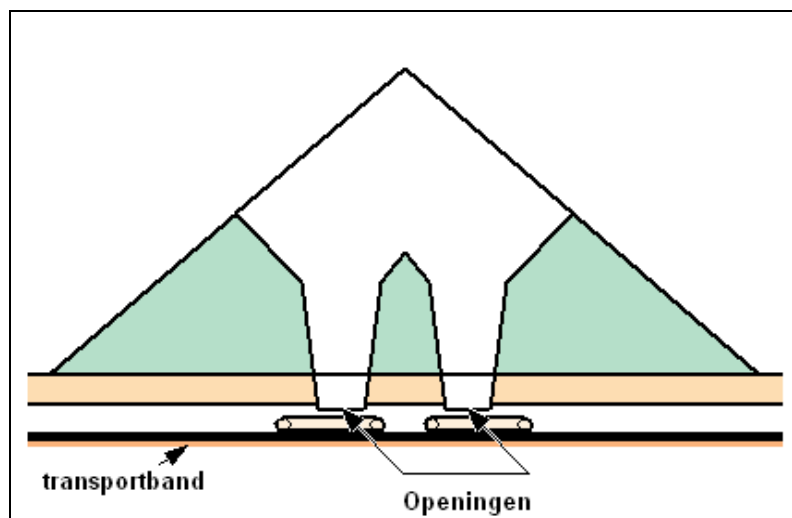


Figuur 2.9b: de schroef van de traversing screw reclaimer

2.4 Hopper type reclaimer

Het afgraven van een opslag kan ook doormiddel van zwaartekracht. Dit gebeurt met een opening die in de bodem van de opslag zit. Met een schuif in de opening wordt de loscapaciteit gestuurd. Het materiaal dat door de opening naar beneden valt, wordt opgevangen door een transportband, die onder de opslag loopt.

Het afgraven van de opslag gaat niet uniform; er ontstaat een kegelvormige trechter boven de opening, zie figuur 15 (Carpenter, Porter, e.a., 2003). Bij een horizontale vloer zal een bepaald percentage van het opslagmateriaal blijven liggen; dit percentage hangt af van het type bulk. Mobile voertuigen zijn nodig om het overgebleven materiaal naar de openingen te duwen. In verband met de veiligheid mogen voertuigen en personen nooit op de opslag aanwezig zijn als er afgegraven wordt. Een aflopende vloer richting de opening kan het gebruik van mobiele voertuigen overbodig maken.



Figuur 2.10: hopper type reclaimer

Deze methode van afgraven draagt niet veel bij aan de homogeniteit van het materiaal. Door meerdere openingen aan te brengen kan de capaciteit verhoogd worden. Als meerdere openingen op één transportband storten, stimuleert dit ook de homogeniteit. De bekendste manier van opslag, waarbij zwaartekracht wordt gebruikt, is de silo.

2.5 Overzicht reclaimers

		Gem. capaciteit [ton/uur]	Max. capaciteit [ton/uur]	Homogeniteit	Opslagvariant	Vorm
Boom	Bucket wheel	3.000	20.000	--	Open	windrij
	Trencher	2.000	4.000	--	Open	windrij
	Scraper	2.000	3.000	+	Open Afgesloten/overdekt	windrij radiaal
Bridge	Bucket chain	1.000	3.000	-	Open Afgesloten/overdekt	windrij
	Scraper	2.000	3.000	+	Open Afgesloten/overdekt	windrij radiaal
	Bucket wheel	1.500	2.000	-	Open Afgesloten/overdekt	windrij
	Drum	2.000	6.000	++	Open Afgesloten/overdekt	windrij radiaal
Screw	Rotary	400	800	-	Open Afgesloten/overdekt	kegel
	Traversing	500	1.100	-	Open Afgesloten/overdekt	windrij radiaal
Hopper		-	-	-	Open Afgesloten/overdekt	windrij radiaal

Tabel 2.1: overzicht reclaimers (++ = zeer goed, -- = zeer slecht)

3 Stacker-reclaimer (kombi)

Bij een stacker-reclaimer zijn de stacker en reclaimer samengevoegd tot één machine. Deze machine moet de kunst van het storten en afgraven beheersen. Het grote voordeel van de combi is dat de kosten voor materieel lager zijn.

In dit hoofdstuk zullen de volgende machines beschreven worden, die zowel kunnen storten als afgraven:

- *bucket wheel stacker-reclaimer*
- *circular stacker-reclaimer*
- *pneumatic stacker-reclaimer*
- *shovel*

3.1 Bucket wheel stacker-reclaimer

De *bucket wheel stacker-reclaimer* is een samenvoeging van de *slewing stacker* en de *bucket wheel reclaimer*. Het grote voordeel is dat het aantal machines en de lengte van transportband en rails afneemt. De maximale stort- en graafcapaciteit ligt voor beide rond de 12.000 ton per uur. De arm heeft een lengt tussen de 25 en 60 meter (Sandvik).



Figuur 3.1: bucket wheel stacker reclaimer

3.2 Circular stacker-reclaimer

De *circular stacker-reclaimer* is ontworpen voor een 360° opslag. Het bestaat uit een *luffing stacker*, die van bovenaf in het centrale punt gevoed wordt met materiaal. Via de arm wordt een *chevcon* model gestort. Een *cantilever scraper reclaimer* of *bridge type scraper reclaimer* zorgt in de meeste gevallen voor het afgraven van de opslag. Het materiaal wordt naar het hart van de opslag geschraapt en komt terecht in een put. Onder de put zit een transportband die het materiaal verder transporteert onder de opslag door. De *stacker* en *reclaimer* werken afzonderlijk van elkaar (Bruks).

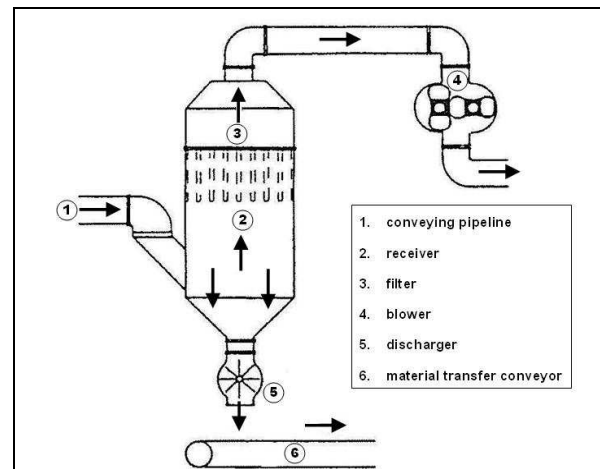
Er kan een stortcapaciteit van 4.000 en graafcapaciteit van 2.000 ton per uur bereikt worden. De radiaalvormige opslag is zeer geschikt voor overdekte opslag en zorgt voor homogeen materiaal.



Figuur 3.2: circular stacker-reclaimer

3.3 Pneumatic stacker-reclaimer

De *pneumatic stacker-reclaimer* is geschikt voor poeder en korrelvormige materialen, zoals: graan, cement, poederkool, etc. Het heeft de werking van een stofzuiger waarbij het materiaal door vacuüm of luchtdruk wordt opgezogen. Deze geautomatiseerde manier van storten en afgraven is eenvoudig en heeft geen last van het morsen van materiaal. Nadelen zijn dat het energieverbruik hoog is en dat bij het storten veel stof vrij komt. De capaciteit is gemiddeld 400 ton per uur, maar een capaciteit van 1.000 ton per uur bestaat ook. De capaciteit geldt voor korrelvormig materiaal (Ligteringen, 2007).



Figuur 3.3: pneumatic stacker-reclaimer
(Ligteringen, 2007)

3.4 Shovel

Een opslag met shovels is ouderwets en werd veel toegepast vóór de komst van de transportband. Deze manier van opslag wordt momenteel veel toegepast als het opslaggebied, dat binnen het bereik van de *stacker* en *reclaimer* ligt, vol raakt. Bulk partijen die lang blijven liggen, worden dan verreden naar een ander opslaggebied om ruimte te creëren voor bulkpartijen, die een korte verblijftijd hebben in de opslag.

Een voordeel van deze opslagmethode is dat het erg flexibel is en de opslaghoogte niet beperkt wordt door het materieel. Een nadeel is dat het relatief kostbaar is.



Fig 3.4: opslag gecreëerd met dumpers en shovels op het werkterrein van EMO

3.5 Overzicht stacker-reclaimers

	Gem. capaciteit [ton/uur] storten / afgraven	Max. capaciteit [ton/uur] storten / afgraven	Stort- methode	Opslagvariant	vorm
Bucket wheel	5.000 / 5.000	12.000 / 12.000	Cone-shell Chevron Strata Windrow	Open	Windrij
Circular	3.000 / 1.000	4.000 / 2.000	Chevcon	Open Overdekt/afgesloten	radiaal
Pneumatic	400 / 400*	1.000 / 1.000*	-	Overdekt/afgesloten	-
Shovel	-	-	-	Open Overdekt/afgesloten	-

Tabel 3.1: overzicht stacker-reclaimers (* capaciteit voor korrelvormig materiaal i.p.v. kolen)

Bijlage D: Brainstorm

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage D1: Deelnemers brainstorm

Bijlage D2a: Alternatieven kolenopslag

Bijlage D2b: MCA kolenopslag

Bijlage D3a: Alternatieven op- en overslag biomassa

Bijlage D3b: MCA op- en overslag biomassa

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage D1: Deelnemers brainstorm

<p><u>Voorzitter:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prof. Ir. H. Ligteringen <p><u>Deelnemers:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Y. Pang ▪ M. Quaak¹ ▪ P. Taneja ▪ M. de Jong² ▪ J. de Wit ▪ W. van Holt ▪ H. Paes³ ▪ K. Peters ▪ W. Zwakhals ▪ T. Henneveld ▪ G. Ponstein⁴ 	<p>(TU Delft, Ports and Waterways)</p> <p>(TU Delft, Transport Eng. & Logistics) (VHB, Geo-engineering) (TU Delft, Promovendus “Flexible Port Infrastructure”) (TU Delft/DHV, Ports and Waterways)</p> <p>(EMO, Operations Manager) (EMO, Opslag Planning)</p> <p>(Electrabel)</p> <p>(HbR, Business Manager) (HbR, Cluster Innovatie & Duurzaamheid) (TU Delft/HbR, Afstudeerder Ports & Waterways) (HbR, Adviseur Terreinuitgifte)</p>
<p>¹ vervanger voor S. van der Woude (TU Delft/VHB, Geo-engineering) ² aanwezig bij het 1^e vraagstuk (kolen) ³ aanwezig bij het 2^e vraagstuk (biomassa) ⁴ vervanger voor O. Roelofs (HbR, Projectontwikkeling & Terreinen)</p>	

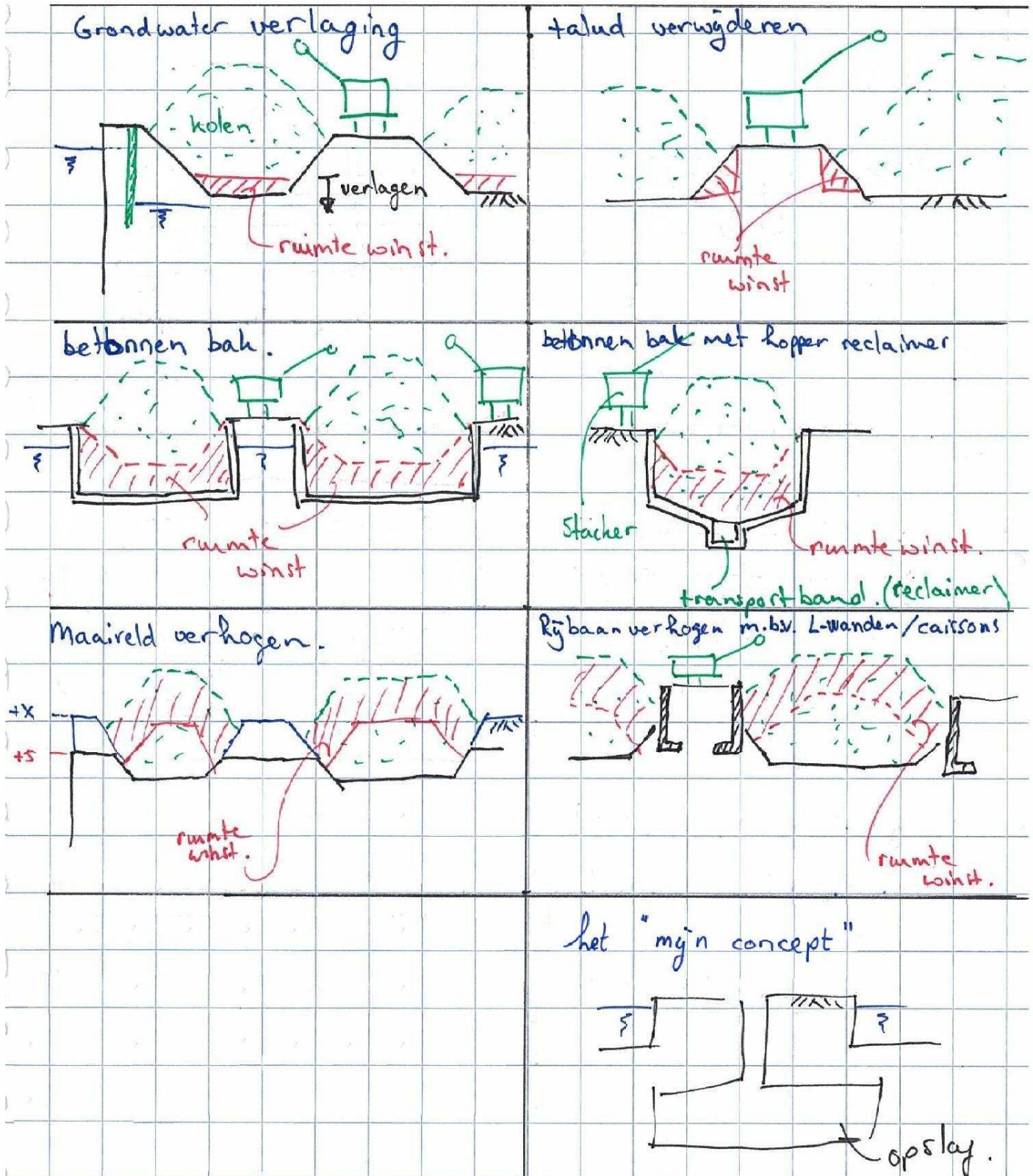
Bijlage D2a: Alternatieven kolenopslag

		brown/green field	
Fysiek	Verticaal	Grondwaterstand verlagen en de huidige opslag verder uitdiepen	brown
		Taluds van de kombibaan verwijderen	brown
		Betonnen bak die het grondwater verdringt	green
		Betonnen bak met hopper reclaimers	green
		Maaiveld verhogen	green
		Kombibaan verhogen d.m.v. caissons of L-wanden	brown
		Het "mijnconcept" diep in de ondergrond een gangenstelsel aanleggen voor de opslag	green
	Horizontaal	Serie geschakelde silo's waarbij meerdere series parallel geschakeld worden	green
		Vaste tussenwanden bij de windrow opslag	brown
		Raster van wanden waardoor stortvakken ontstaan	green
		Portaalkranen i.p.v. kombi's - verwijderen van de kombibanen	brown
		Verplaatsen c.q. verwijderen van infrastructuur, kantoor, etc.	brown
		Gaspijp verleggen	brown
		Samenvoegen van partijen (bv: 1 grote kolenhoop en 1 grote ertshoop)	brown
		Storten van kolen tussen twee erts hopen met daartussen een scheiding	brown
		Twee erts hopen met daartussen een verhoogde kolenopslag	green
	Drijvend	Pontons met droge bulk vullen en vervolgens verslepen naar een rustige plek	brown
		Insteekhaven	green
	Natte opslag	Onderwater Stortgoed Terminal	green
	Materiaaleigenschappen	Stortheek vergroten	brown
Verdichten		brown	
Logistiek	Logistieke planning verbeteren	brown	
	Opslag in de transportketen verschuiven	brown	
	Verblijfsduur verkorten	brown	
	Kolentransferium landinwaarts	brown	
	First-in-first-out	brown	

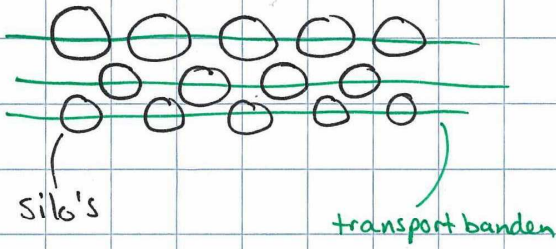
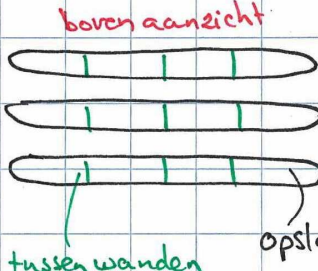
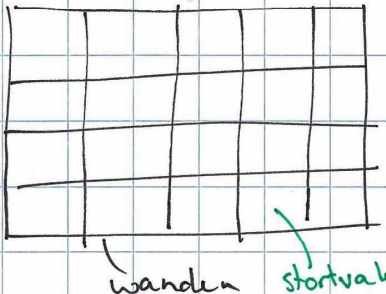
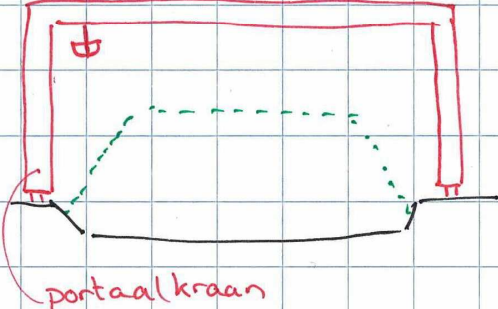
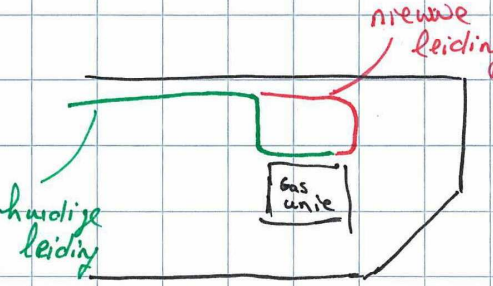
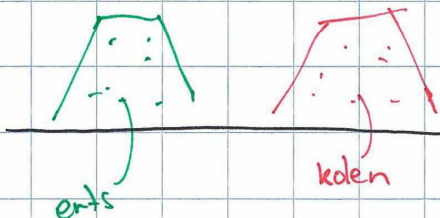
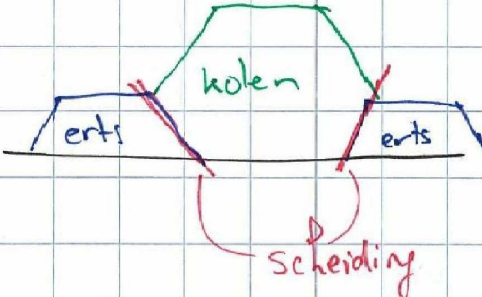
Green field = gebied dat volledig opnieuw ontwikkeld wordt.

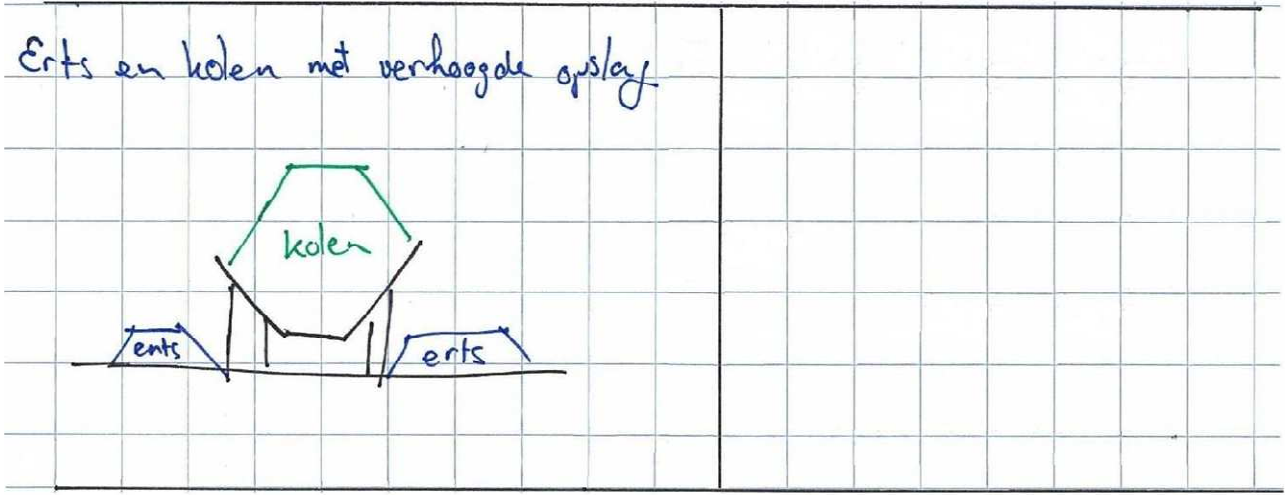
Brown field = gebied waarbij de huidige situatie geldt.

Kolen (verticaal)

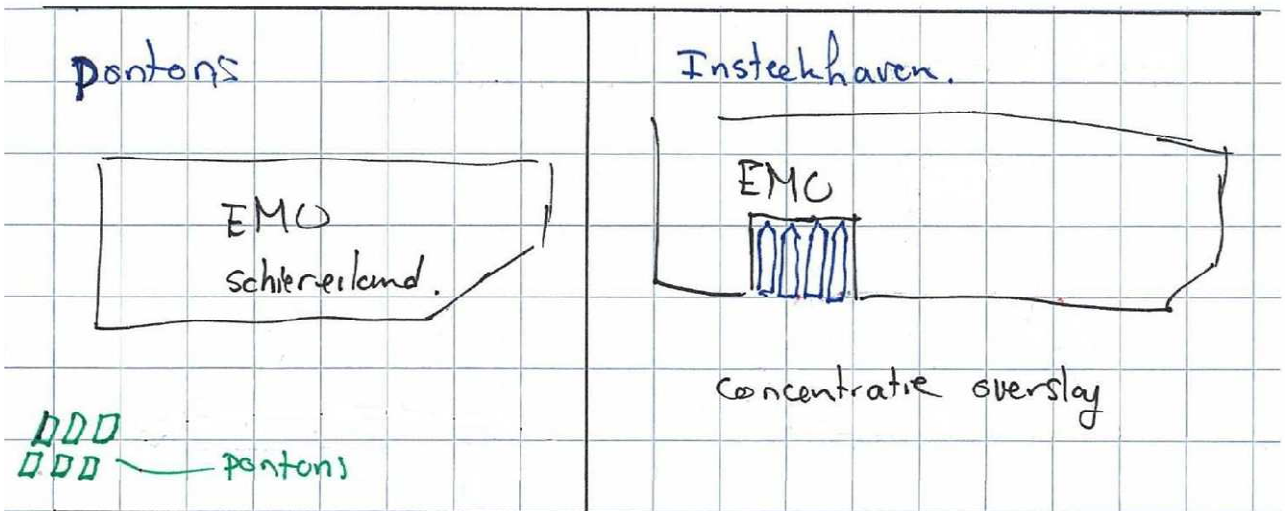


Kolen (horizontaal)

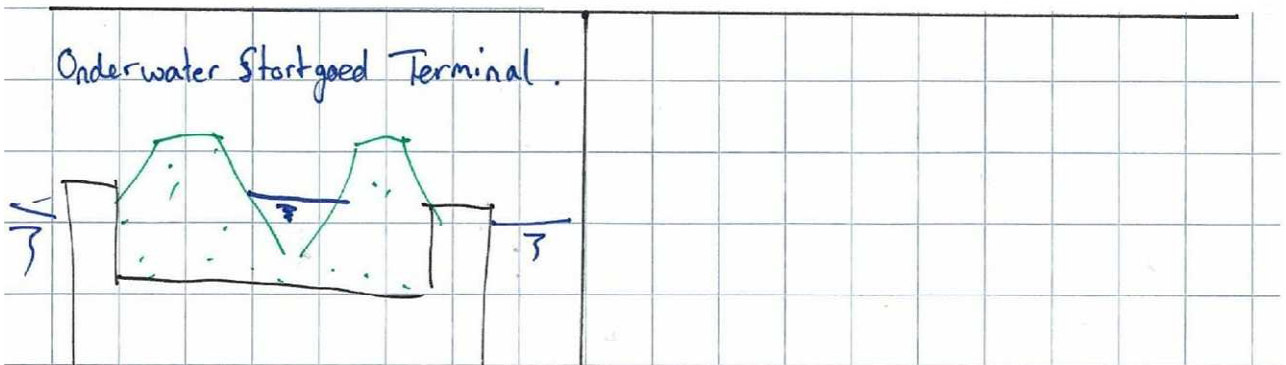
<p>Silo's</p> 	<p>Vaste tussenwanden</p> <p>boven aanzicht</p> 
<p>Raster van wanden</p> 	<p>Portaal kraan i.p.v. Kombi's</p> 
<p>Verplaatsen/verwijderen van:</p> <ul style="list-style-type: none"> - infrastructuur - kantoor - etc. 	<p>Gaspijp verleggen</p> 
<p>Twee Ropen: 1x erts en 1x kolen</p> 	<p>erts & kolen</p> 



Kolen (drijvend)

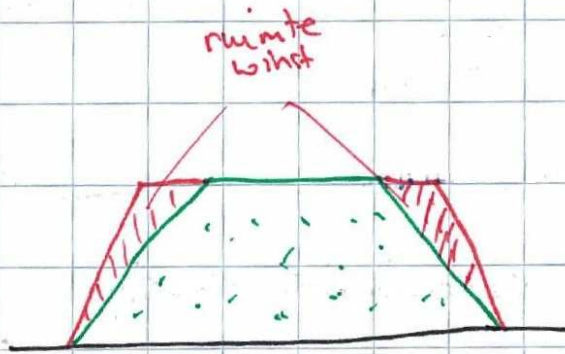


Kolen (natte opslag)



Kolen (materiaal behandeling)

Storthoek vergroten.



Verdichten



Bijlage D2b: MCA kolenopslag

		Ruimtegebruik (30%)	Investing (30%)	Milieuaanslag op omgeving (10%)	Veiligheid (10%)	Logistiek op de terminal (15%)	Flexibiliteit ontwerp (5%)	Score	
Fysiek	Verticaal	Grondwaterstand verlagen en de huidige opslag verder uitdiepen	4	4	3	3	3	3,6	
		Taluds van de kombibaan verwijderen	4	4	3	3	4	3,7	
		Betonnen bak die het grondwater verdringt	4	1	3	3	2	2,7	
		Betonnen bak met hopper reclaimers	4	1	4	3	4	2,9	
		Maaiveld verhogen	4	1	4	3	3	2,8	
		Kombibaan verhogen d.m.v. caissons of L-wanden	4	3	4	3	4	3,6	
		Het "mijnconcept" diep in de ondergrond een gangenstelsel aanleggen voor de opslag	5	1	5	1	1	2,6	
	Horizontaal	Serie geschakelde silo's waarbij meerdere series parallel geschakeld worden	5	1	5	4	4	1	3,4
		Vaste tussenwanden bij de <i>windrow</i> opslag	4	3	3	3	2	4	3,2
		Raster van wanden waardoor stortvakken ontstaan	5	1	4	3	4	1	3,2
		Portaalkranen i.p.v. kombi's - verwijderen van de kombibanen	4	3	3	3	2	3	3,2
		Verplaatsen c.q. verwijderen van infrastructuur, kantoor, etc.	4	3	3	4	3	4	3,5
		Gaspijp verleggen	1	5	3	4	3	4	3,2
		Samenvoegen van partijen (bv: 1 grote kolenhoop en 1 grote ertshoop)	4	4	3	3	4	4	3,8
		Storten van kolen tussen twee ertshopen met daartussen een scheiding	4	5	3	3	1	4	3,7
		Twee erts hopen met daartussen een verhoogde kolenopslag	3	2	3	2	3	2	2,6
	Drijvend	Pontons met droge bulk vullen en vervolgens verslepen naar een rustige plek	4	2	3	3	3	4	3,1
		Insteekhaven	1	1	3	3	5	2	2,1
	Natte opslag	Onderwater Stortgoed Terminal	5	2	4	4	2	2	3,3
	Materiaal-eigenschappen	Storhoek vergroten	4	5	3	3	3	3	3,9
	Verdichten	4	4	4	4	2	3	3,7	

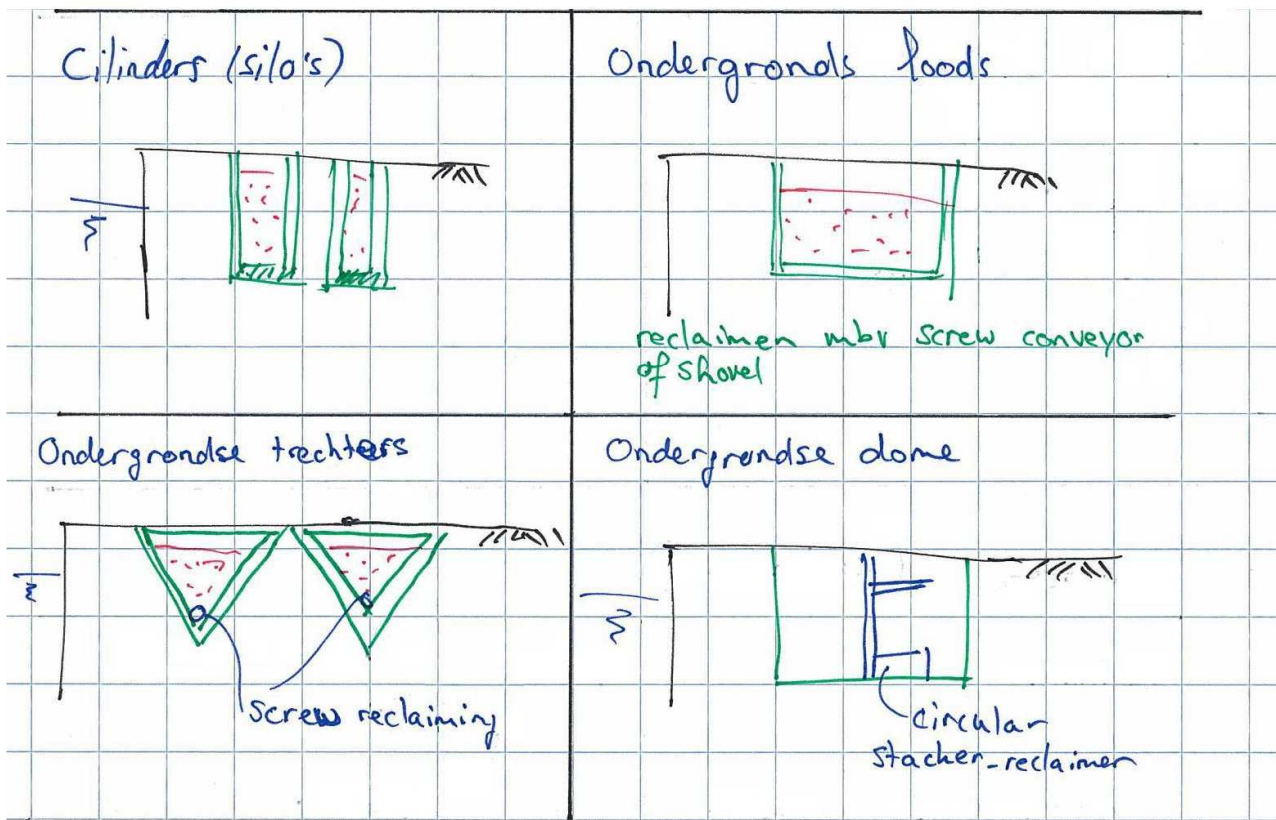
5 = zeer goed 1 = zeer slecht

De aspecten waarop de alternatieven zijn getoetst wegen niet alle even zwaar. Het percentage geeft het belang van elk aspect aan. Het advies van experts is gebruikt bij het tot stand komen van de percentages en het invullen van de multicriteria-analyse.

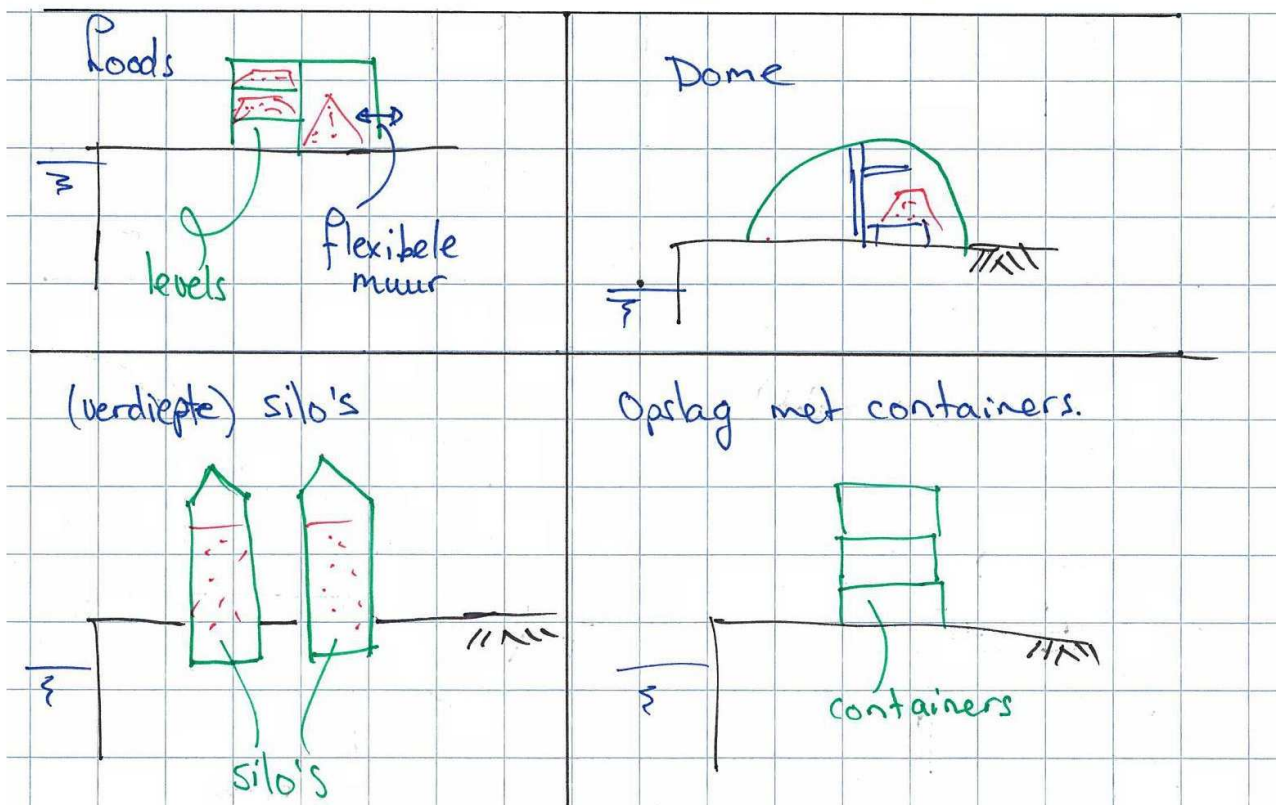
Bijlage D3a: Alternatieven op- en overslag biomassa

Fysiek	Opslag	Ondergronds	Cilinders (silo's)
			Ondergrondse loods - reclaimen m.b.v. screw conveyor of laadschop
			Ondergrondse trechters - reclaimen mbv screw conveyor
			Ondergrondse dome
		Bovengronds	Loods (met eventueel verdiepingen of flexibele muur)
			"Bio-dome"
			(Verdiepte) silo's
			Opslag bestaande uit containers
			Opslag in wagons
		Kademuur	Caisson in kademuur
Opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan			
Drijvend	(Afgesloten) pontons langs de kade		
	Vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale		
Mengen	Houtpellets vermengen met kolen		
Overslag		Meervoudig ruimtegebruik	
Logistiek	Standaardiseren	"Big bags" - grote zakken vullen bij de producent en transporteren naar de centrale	
		Container transport en opslag	
	Materiaaleigenschappen	Houtpellets torreficeren - om broei en verpulvering tegen te gaan	

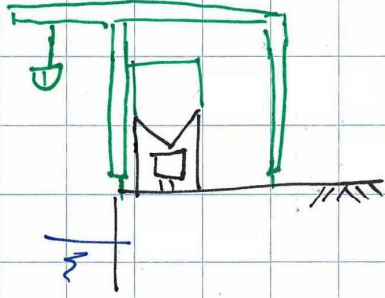
Biomassa (ondergronds)



Biomassa (bovengronds)

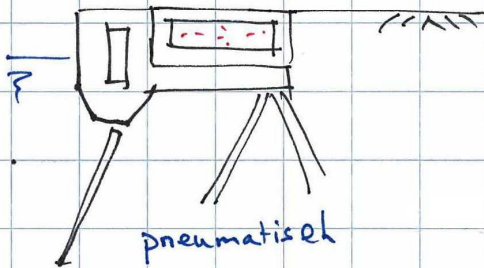


Opslag in wagons

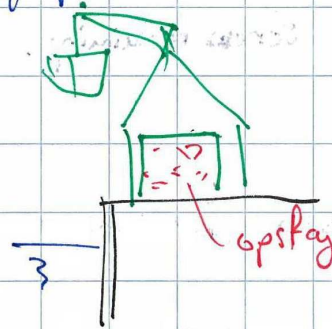


Biomassa (kademuur)

caisson

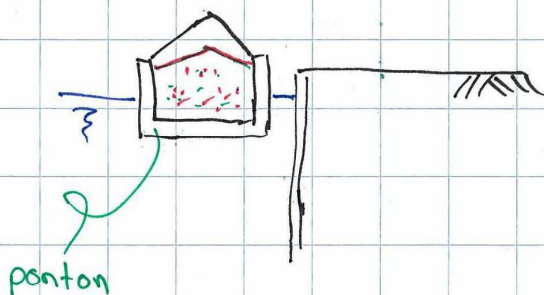


opslag op de kade muur

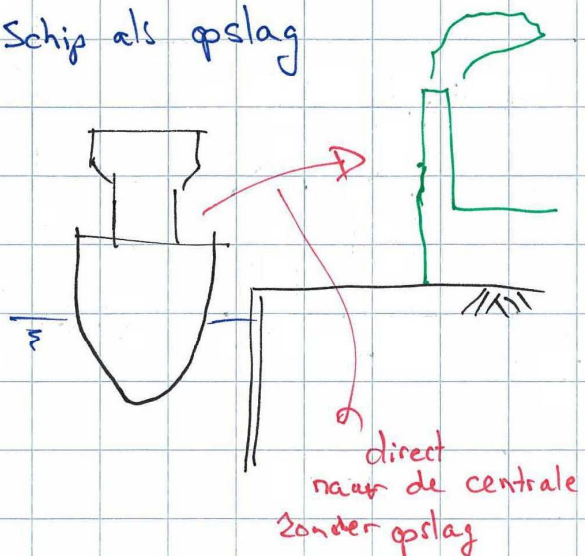


Biomassa (drijvend)

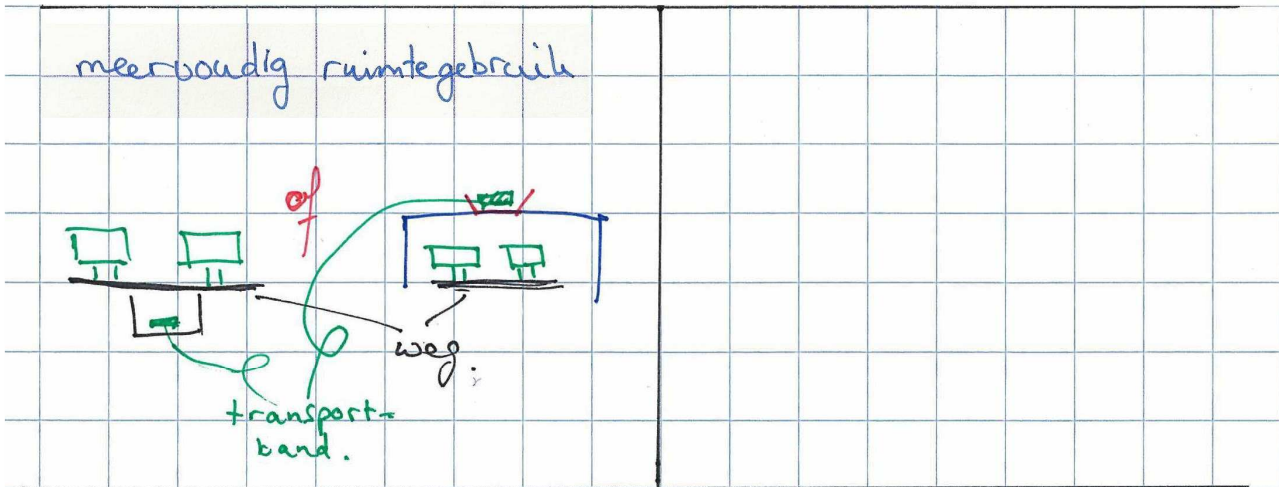
pontons. (overdekt)



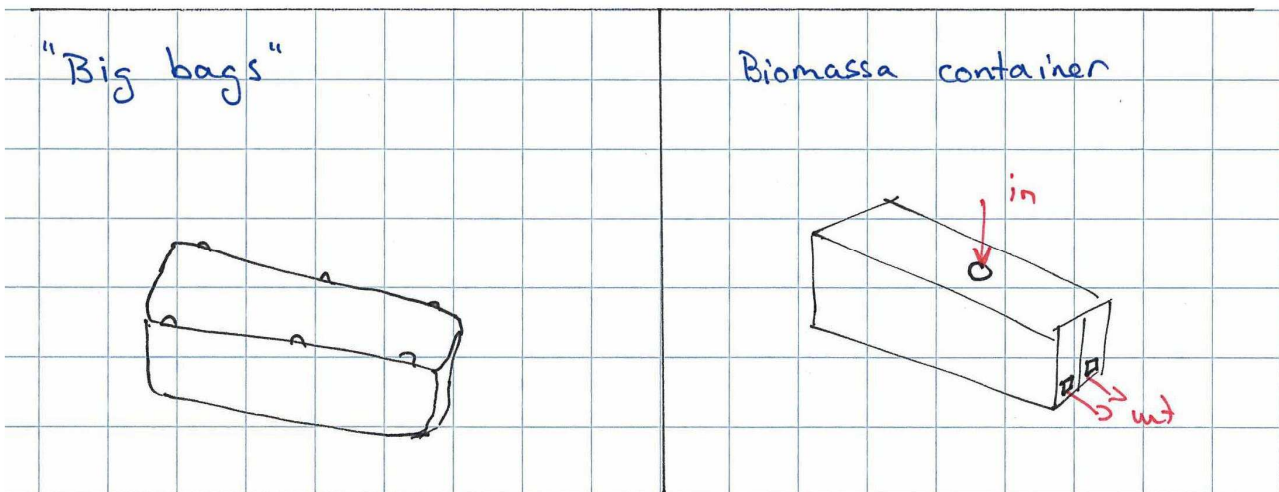
Schip als opslag



Biomassa (overslag)



Biomassa (standaardiseren)



Bijlage D3b: MCA op- en overslag biomassa

			Ruimtegebruik (30%)	Investering (30%)	Milieu (10%)	Veiligheid (10%)	Logistiek op de terminal (15%)	Flexibiliteit ontwerp (5%)	Score		
Fysiek	Opslag	Ondergronds	Cilinders (silo's)	4	2	4	3	4	2	3,2	
			Ondergrondse loods - reclaimen m.b.v. screw conveyor of laadschop	4	2	4	3	3	2	3,1	
			Ondergrondse trechters - reclaimen m.b.v. screw conveyor	4	2	4	3	4	2	3,2	
			Ondergrondse dome	4	1	4	3	4	2	2,9	
		Bovengronds	Loods (met eventueel verdiepingen of flexibele muur)	2	4	4	3	3	3	3,1	
			"Bio-dome"	3	2	4	3	4	2	2,9	
			(Verdiepte) silo's	4	3	4	4	4	3	3,7	
			Opslag bestaande uit containers	3	4	4	4	3	4	3,6	
			Opslag in wagons	2	3	4	3	4	4	3,0	
		Kademuur	Caisson in kademuur	4	2	4	3	3	2	3,1	
			Opslag op de kademuur binnen bereik van de kraan	4	3	4	3	4	3	3,6	
		Drijvend	(Afgesloten) pontons langs de kade	4	2	3	3	1	4	2,8	
			Vanaf het schip rechtstreeks naar de centrale	5	5	4	3	5	5	4,7	
		Mengen	Houtpellets vermengen met kolen	5	5	3	3	4	5	4,5	
		Overslag		Meervoudig ruimtegebruik	5	3	3	3	3	3	3,6

5 = zeer goed 1 = zeer slecht

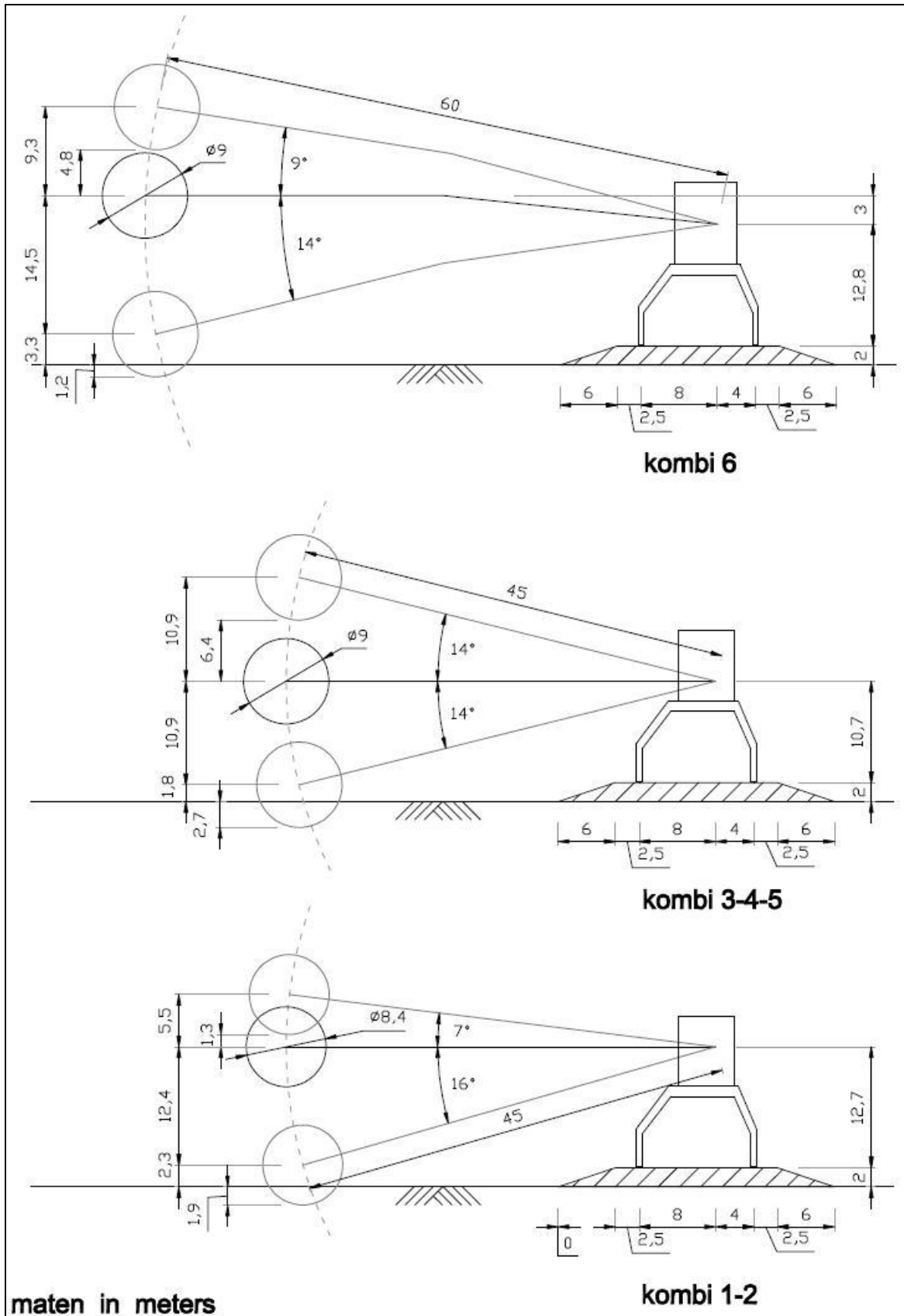
De aspecten waarop de alternatieven zijn getoetst wegen niet alle even zwaar. Het percentage geeft het belang van elk aspect aan. Het advies van experts is gebruikt bij het tot stand komen van de percentages en het invullen van de multicriteria-analyse.

Bijlage E: Bereik kombi's

Overzicht bijlagen:

- Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale
- Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte
- Bijlage C: Droge bulkopslag
- Bijlage D: Brainstorm
- Bijlage E: Bereik kombi's**
- Bijlage F: Kostenraming kolenopslag
- Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag
- Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage E: Bereik kombi's



Bijlage F: Kosten kolenopslag

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

Bijlage F1: Kostenraming van de alternatieven

Bijlage F2: Kostenraming alternatief *keerwand*

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage F1: Kostenraming van de alternatieven

	Omschrijving	prijs/eenheid	eenheid	hoeveelheid	totaal per meter	bron:
(Grondwaterstandverlaging en uitdiepen opslag)	Afvoeren verontreinigde grond	€ 60,00	m3	153	€ 9.180,00	schatting HbR http://www.bouwkosten-online.nl/ + schatting EMO
	Herstraten straatklinkers	€ 12,26	m2	72	€ 880,02	
	Kombi aanpassen (luffing angle)	€ 80,00	m	1	€ 80,00	
	directe kosten					
					1,61 *	
					€ 16.325,43	
Taluds kombibaan verwijderen	Grondkerende constructie	€ 147,50	m	2	€ 295,00	http://www.vanderwalbeton.nl schatting schatting HbR http://www.bouwkosten-online.nl/
	Plaatsen grondkerende constructie	€ 100,00	m	2	€ 200,00	
	Afvoeren verontreinigde grond	€ 60,00	m3	12	€ 720,00	
	Herstraten straatklinkers	€ 13,58	m2	12	€ 162,96	
					€ 1.377,96	
					1,61 *	
					€ 2.218,52	
Kombibaan verhogen	Grondkerende constructie	€ 147,50	m	2	€ 295,00	http://www.vanderwalbeton.nl schatting HbR http://monster.nl schatting + schatting EMO
	Plaatsen grondkerende constructie	€ 100,00	m	2	€ 200,00	
	Leveren en aanbrengen grond (zand)	€ 15,00	m3	34	€ 510,00	
	Kombispoor verleggen	€ 150,00	m	1	€ 150,00	
	Kombi aanpassen (luffing angle)	€ 80,00	m	1	€ 80,00	
					€ 1.235,00	
					1,61 *	
					€ 1.988,35	
Keerwand	Grondkerende constructie	€ 147,50	m	2	€ 295,00	http://www.vanderwalbeton.nl schatting + schatting
	Plaatsen grondkerende constructie	€ 100,00	m	2	€ 200,00	
	Kombi aanpassen (luffing angle en arm)	€ 320,00	m	1	€ 320,00	
					€ 815,00	
					1,61 *	
					€ 1.312,15	

Bijlage F2: Kostenraming alternatief keerwand

Keerwand

L-muur	€ 300,00	m	2	€ 600,00
Plaatsen L-muur	€ 150,00	m	2	€ 300,00
Kombi aanpassen (luffing angle en arm)	€ 320,00	m	1	€ 320,00
				+
			directe kosten	€ 1.220,00
				1,61 *
			Totale investering	€ 1.964,20

Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag

Overzicht bijlagen:

Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale

Bijlage B: Kadelengte en contractdiepte

Bijlage C: Droge bulkopslag

Bijlage D: Brainstorm

Bijlage E: Bereik kombi's

Bijlage F: Kostenraming kolenopslag

Bijlage G: Oppervlakteberekening biomassaopslag

 Bijlage G1: Oppervlakte containeropslag

 Bijlage G2: Oppervlakte silo-opslag

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Bijlage G1: Oppervlakte containeropslag

Gegevens:

Als er maximaal biomassa wordt bijgestookt (60%) dan zal er om de 16 dagen een schip met 2.500 containers (40 voets) aankomen. Bij een nieuwe lading volle container worden de lege containers weer meegenomen. Er zal hierbij ruimte beschikbaar zijn op de kade zodat ze hier voor korte periode gestald kunnen worden. Hierdoor ontstaat er ruimte in de opslag voor de volle containers. De gemiddelde stapelhoogte en de gemiddelde bezettingsgraad kunnen hierdoor hoog worden aangenomen.

De opslag van biomassa is een speciaal geval, omdat het een dienst betreft. Hierbij is de gemiddelde verblijftijd (\bar{t}_d) gelijk aan de maximale verblijftijd ($T = 16$ dagen).

Aantal ladingen per jaar	16
Aantal 40 voets containers per lading	2.500
Gemiddelde verblijftijd (\bar{t}_d)	16 dagen
Benodigd oppervlak per TEU incl. ruimte voor materieel (F)	7 m ² /TEU
Gemiddelde stapelhoogte (r)	1
Gemiddelde bezettingsgraad (m_i)	0,9

Berekening:

Het totale aantal TEU's bedraagt:

$$C_i = \frac{365}{16} \cdot 2.500 \cdot 2 = 114.062,5 \text{ TEU/jaar}$$

De formule voor het bruto oppervlak van een containeropslag luidt (Ligteringen, 2007):

$$O = \frac{C_i \cdot \bar{t}_d \cdot F}{r \cdot 365 \cdot m_i}$$

- waarbij:
- O = bruto oppervlak [m²]
 - C_i = aantal containerhandelingen per jaar [TEU/jaar]
 - \bar{t}_d = gemiddelde verblijftijd [dagen]
 - F = benodigd oppervlak per TEU inclusief ruimte voor materieel [m²]
 - r = gemiddelde stapelhoogte
 - m_i = gemiddelde bezettingsgraad

Het bruto oppervlak komt uit op 38.889 m².

Bijlage G2: Oppervlakte silo-opslag

Gegevens:

Maximale bovenbelasting kade	40 kN/m ²
Dichtheid houtpellets	6 kN/m ³
Oppervlakte kade	9.920 m ²
Maximale storthoogte houtpellets	25 m

Berekening:

De kade heeft een maximale bovenbelasting. Hierdoor kunnen de houtpellets niet tot de maximale hoogte van 25 meter opgeslagen worden.

Als het gewicht van de opslagconstructie verwaarloosd wordt dan kan de onderstaande vergelijking opgesteld worden voor de maximale storthoogte van houtpellets op de kade:

$$q_{\max \text{ bovenbelasting}} = \rho_{\text{houtpellets}} * h_{\text{opslag}}$$

waarbij: $q_{\max \text{ bovenbelasting}}$ = maximale bovenbelasting op de kademuur [kN/m²]

$\rho_{\text{houtpellets}}$ = dichtheid houtpellets [kN/m³]

h_{opslag} = storthoogte houtpellets [m]

Hieruit blijkt dat de storthoogte beperkt is tot maximaal 6,7 meter. De kade heeft een oppervlakte van circa 9.920 m². De maximale hoeveelheid biomassa die op de kade kan worden opgeslagen, bedraagt circa 66.500 m³.

De resterende 53.500 m³ wordt achter de kade opgeslagen. Achter de kade kan wel een storthoogte van 25 meter worden toegepast. De resterende biomassa kan op circa 2.140 m² worden opgeslagen.

Het totale oppervlak voor de opslag bedraagt dan 12.060 m².

Bijlage H: Berekening grondkerende constructie

Overzicht bijlagen:

- Bijlage A: Restproducten kolen/biomassacentrale
- Bijlage B: Kadelenkte en contractdiepte
- Bijlage C: Droge bulkopslag
- Bijlage D: Brainstorm
- Bijlage E: Bereik kombi's
- Bijlage F: Kostenraming kolenopslag
- Bijlage G: Oppervlakte berekening biomassaopslag
- Bijlage H: Berekening grondkerende constructie**
 - Bijlage H1: Horizontale afschuiving**
 - Bijlage H2: Kantelmoment**
 - Bijlage H3: Verticale draagkracht**
 - Bijlage H4: Kritieke glijvlak**

Bijlage H1: Horizontale afschuiving

L-muur		Grond zand		erts		slakken		betongranulaat	
h	2,1 m	γ, d	19 kN/m ³	γ, d	33,3 kN/m ³	γ, d	16,5 kN/m ³	γ, d	21 kN/m ³
b	1,1 m	ϕ	32,5 °	ϕ	50 °	ϕ	40 °	ϕ	30 °
d,l	0,3 m	δ	20 °	δ	33 °	δ	27 °	δ	20 °
d,v	0,3 m	α	90 °	α	90 °	α	90 °	α	90 °
voet	0,8 m	β	0 °	β	50 °	β	0 °	β	0 °
γ	24 kN/m ³	Ka	0,271	Ka	0,492	Ka	0,200 (bij $\phi=40^\circ$)	Ka	-
		Kp	7,215	Kp	-	Kp	6,105 (bij $\phi=30^\circ$)	Kp	6,105

Actieve gronddruk

diepte [m]	grondsoort	actieve gronddruk [kN/m ²]	kracht [kN/m]	horizontale kracht [kN/m]	verticale kracht [kN/m]
0 - 1,1	erts	0 - 18,0	9,9	8,3	5,4
1,1 - 1,35	slakken	18,0 - 18,9	4,6	4,1	2,1
1,35 - 2,1	zand 1	18,9 - 22,7	15,6	14,6	5,3
			30,1	27,0	12,8

Passieve gronddruk

diepte [m]	grondsoort	passieve gronddruk [kN/m ²]	kracht [kN/m]	horizontale kracht [kN/m]	verticale kracht [kN/m]
0 - 0,8	granulaat	0 - 102,6	41,0	36,7	18,4
0,8 - 0,9	zand 2	102,6 - 116,3	10,9	10,3	3,7
			52,0	46,9	22,2

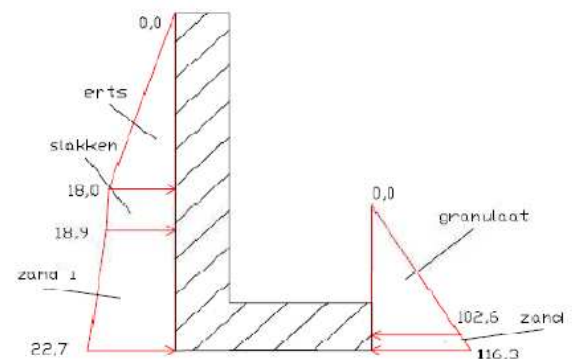
Gewicht L-muur en grond op de voet

onderdeel	oppervlak [m ²]	zwaartekracht [kN/m]
muur 1	0,5	13,0
muur 2	0,3	7,9
betongranulaat	0,5	10,1
		31,0

Horizontale afschuiving:

aandrijvende kracht = 27,0 kN/m
tegenwerkende kracht = 62,9 kN/m

veiligheidsfactor = 2,3 > 1,8 **akkoord**



Gronddruk in kN/m²

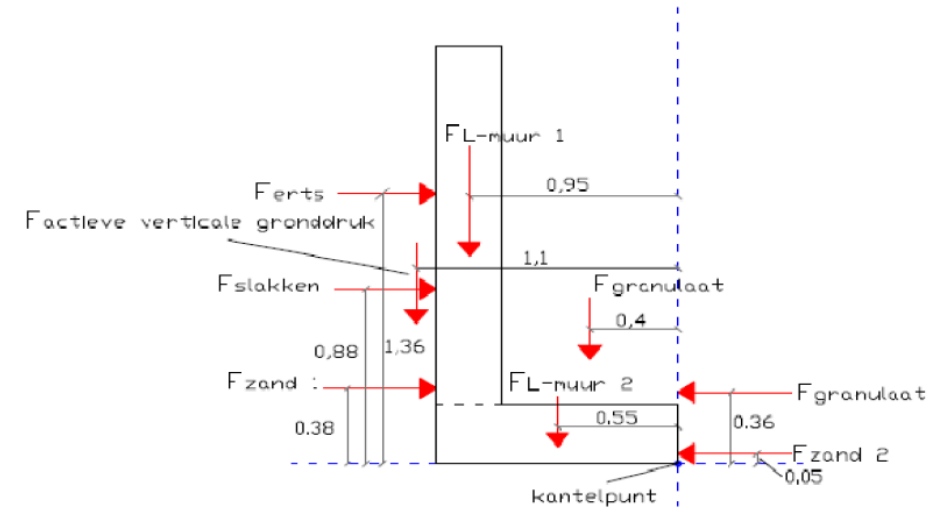
Bijlage H2: Kantelmoment

aandrijvend moment

	F [kN/m]	a [m]	M [kNm/m]
erts	8,3	1,36	11,3
slakken	4,1	0,88	3,6
zand 1	14,6	0,38	5,5
			20,4

tegenwerkend moment

	F [kN/m]	a [m]	M [kNm/m]
Granulaat	36,7	0,36	13,3
zand 2	10,3	0,05	0,5
L-muur 1	13,0	0,95	12,3
L-muur 2	7,9	0,55	4,4
gewicht granulaat	10,1	0,40	4,0
verticale actieve gronddruk	12,8	1,10	14,1
			48,7



Kantelmoment:

aandrijvend moment = 20,4 kNm/m

tegenwerkend moment = 48,7 kNm/m

veiligheidsfactor = 2,4 > 2,3 **akkoord**

Bijlage H3: Verticale draagkracht

1. Gegevens:

M_t	48,0 kNm/m
M_a	20,4 kNm/m
F_v	43,8 kN/m
F_h	19,9 kN/m
B	1,10 m
Φ'	32,5°
q	17 kN/m ²
γ	19 kN/m ³

2. Berekening (Baars, 2009):

2.1. Maximale belasting

Resultierend moment:

$$M_{res} = M_t - M_a = 48,0 - 20,4 = 27,6 \text{ kNm/m}$$

Excentriciteit:

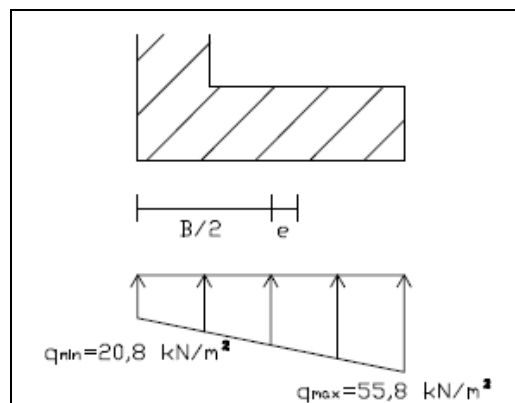
$$x = \frac{M_{res}}{F_v} = \frac{27,6}{43,8} = 0,63 \text{ m}$$

$$e = x - \frac{B}{2} = 0,63 - \frac{1,1}{2} = 0,08 \text{ m}$$

Maximale verticale belasting op de ondergrond:

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \cdot 1,1^3}{12} = 0,11 \text{ m}^4$$

$$q_{max} = \frac{F_v}{B} - \frac{F_v \cdot e \cdot \frac{B}{2}}{I_{xx}} = \frac{42,1}{1,1} \pm \frac{43,8 \cdot 0,08 \cdot \frac{1,1}{2}}{0,11} = 55,8 \text{ kN/m}^2$$



2.2. Draagvermogen

Helling van de resulterende kracht:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{F_h}{F_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{19,9}{43,8}\right) = 24,4^\circ$$

Draagvermogen van de ondergrond (Brinch Hansen):

$$p = i_c s_c c N_c + i_q s_q q N_q + i_\gamma s_\gamma \gamma \frac{B^*}{2} N_\gamma$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot(\phi)$$

$$N_q = \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \exp(\pi \tan(\phi))$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan(\phi)$$

- met: q_u = draagkracht ondergrond
 i = correctiefactor voor niet-verticale belasting
 s = correctiefactor voor de vorm van het belaste oppervlak
 c = cohesie
 q = bovenbelasting naast belaste strook
 γ = eigengewicht van de grond
 B = effectieve breedte funderingsstrook
 ϕ = wrijvingshoek
 e = excentriciteit

Er is geen cohesie waardoor de cohesieterm weg valt uit de vergelijking.

$$i_q = \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right)^2 = \left(1 - \frac{24,4}{90}\right)^2 = 0,53$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha}{\Phi}\right)^2 = \left(1 - \frac{24,4}{32,5}\right)^2 = 0,06$$

Voor de wrijvingshoek van $32,5^\circ$ geldt: $N_q = 24,635$ en $N_\gamma = 30,153$.

De effectieve breedte bedraagt:

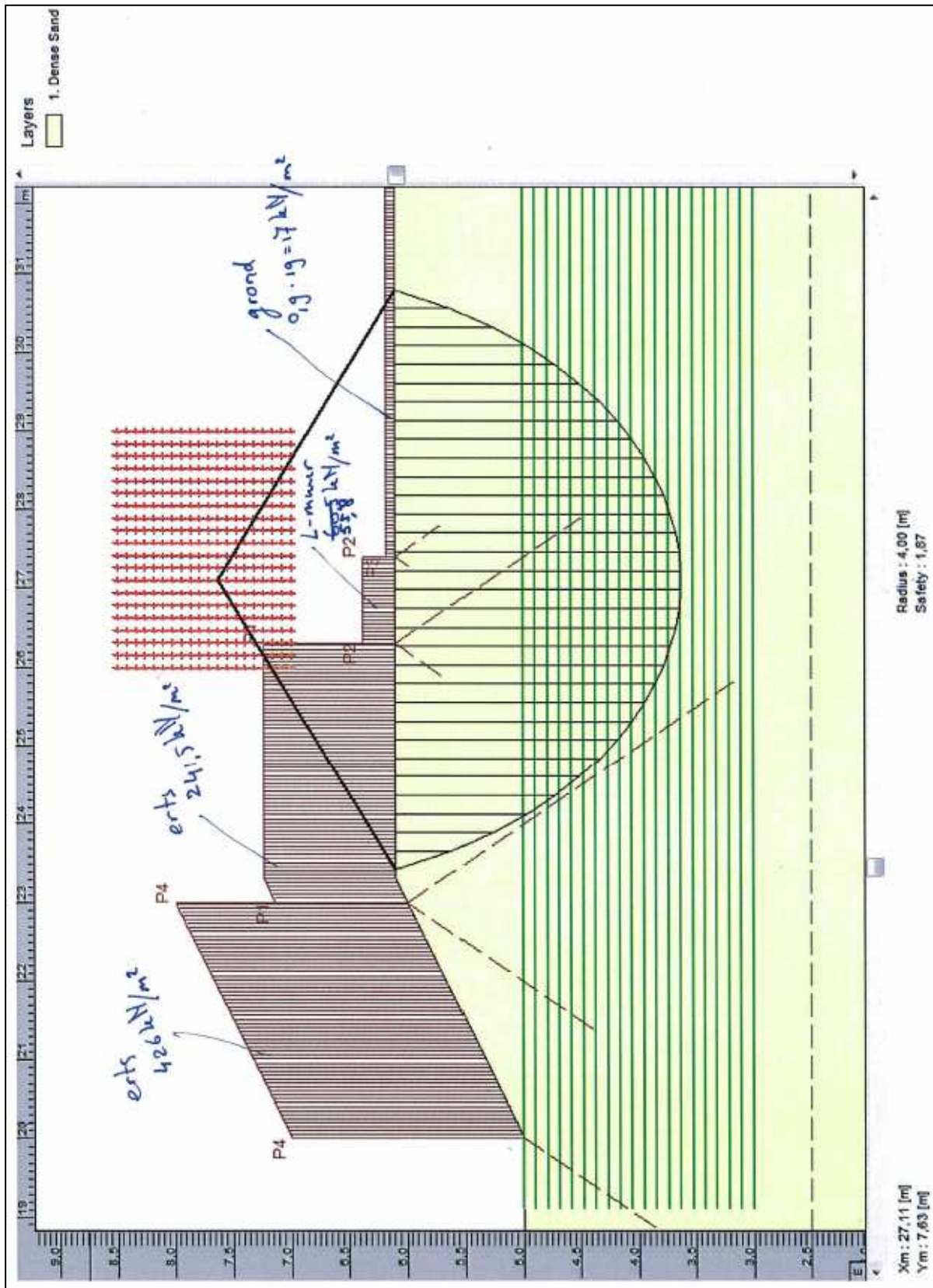
$$B^* = B - 2e = 1,1 - 2 \cdot 0,08 = 0,94 \text{ m}$$

$$p = 0,53 \cdot 17 \cdot 24,635 + 0,06 \cdot 19 \cdot \frac{0,94}{2} \cdot 30,153 = 238,1 \text{ kN / m}^2$$

2.3. Veiligheidsfactor

$$\text{veiligheidsfactor} = \frac{\text{draagvermogen}}{\text{maximale belasting}} = \frac{238,1}{55,8} = 4,3 \geq 3,3$$

Bijlage H4: Kritieke glijvlak



In deze bijlage is het kritieke glijvlak te zien. Deze wordt veroorzaakt door de bovenbelasting van erts. Safety geeft de stabiliteitsfactor aan. Deze bedraagt 1,87, waardoor er geen cirkelvormige afschuiving zal optreden ($> 1,5$).