

2011

Herinrichting van het locatietransport bij Akzo Nobel Hengelo

Overzicht en verbeteringen in het transport
op de locatie van Akzo Nobel Hengelo



UNIVERSITEIT TWENTE.





Overzicht en verbeteringen in het transport op de locatie van Akzo Nobel Hengelo

Openbare Versie

Auteur

V. D. G. Bakker (Vincent)
Student Technische Bedrijfskunde
v.d.g.bakker@student.utwente.nl

Begeleiders

Universiteit Twente

1e begeleider

Dr. ir. L.L.M. van der Wegen (Leo)
School of Management and Governance
University of Twente
L.L.M.vanderwegen@utwente.nl

2e begeleider

Dr. P.C. Schuur (Peter)
School of Management and Governance
University of Twente
P.C.Schuur@utwente.nl

Adres

Faculteit Management en Bestuur
Ravelijn
7521 PL Enschede

Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.

Begeleider extern:

Ing. H.F. M. van Brakel (Herman)
Production assistant/ training coordinator
Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.
Herman.vanBrakel@akzonobel.com

Boortorenweg 27
P.O. Box 25
7550 GC Hengelo

Samenvatting

Aanleiding

De aanleiding voor het starten van dit onderzoek is de problematiek die is ontstaan door de inkrimping van de locatie van Akzo Nobel Hengelo. Door de inkrimping van de locatie is het noodzakelijk geweest om toegangspoort 1 te sluiten voor binnengaand en uitstromend transportverkeer. Daardoor zijn voor een aantal transportstromen de locatieroutes in negatieve zin veranderd. Er zijn onveilige verkeerssituaties ontstaan, er treden langere wachttijden op bij verschillende punten op de locatie en er is geen duidelijk overzicht in de te volgen routes. Dit onderzoek bevat een analyse van de huidige situatie en aanbevelingen om de veiligheid te verbeteren, de knelpunten in het transport op te sporen en overzicht te creëren in het transport.

Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is *het doen van aanbevelingen voor het verbeteren van de doorstroming van het transport op de locatie, waardoor minder wachttijden ontstaan en een veiligere situatie wordt gecreëerd in het transport.*

Om dit doel te bereiken is de volgende hoofdvraag opgesteld om het onderzoek vorm te geven: *Welke verbeteringen kan Akzo Nobel Hengelo doorvoeren in de inrichting van het transport op de locatie, om betere doorstroming en meer veiligheid te creëren in het transport?*

Knelpunten & Aanbevelingen

Voor een betere doorstroming van het transport op de locatie met minder wachttijden en veiligere situaties zijn de volgende primaire aanbevelingen opgesteld:

- **Aanpassen van het pekel verlaadpunt:** De aanbeveling is om de pekelverlading zo in te richten dat er een snellere ladingspomp wordt geïnstalleerd, die vrachtwagens binnen 30 minuten kan beladen. Dit verlaagt de wachttijd voor het beladen van pekel tot 15 minuten op drukke dagen (*van 245 minuten*) Daarnaast wordt er aanbevolen om een weegbrug bij het pekel verlaadpunt te plaatsen, zodat het vrachtgewicht direct kan worden bepaald zonder dat de wagens richting poort 2 moeten, waardoor wachttijden bij de weegbrug en poort 2 aanzienlijk worden verlaagd tot 13,5 minuten (*van 61 minuten*) en 17 minuten (*van 57 minuten*) op drukke dagen.
Slecht gesitueerde poort 1 verplaatsen naar poort KWL: Om te zorgen dat de pekelverlading niet richting poort 2 moet voor het aftekenen van vrachtbrieven, is er behoefte nodig aan een portier bij poort KWL die de afmelding regelt van pekel.
- **Weg bij poort KWL geschikt maken voor zwaar transport:** Om te zorgen dat poort KWL gebruikt kan worden dient de weg bij poort KWL geschikt te worden gemaakt voor zwaar transport. De gehele linkerzijde van het terrein kan op die manier bestaan uit 100% eenrichtingswegen waardoor veiligere situaties worden gecreëerd.

iii

De kosten voor de primaire aanbevelingen zijn geschat op een investering van ruim 192.000 euro, die in het slechtste geval binnen 7 jaar kan worden terugverdiend door besparingen op wachttijdkosten en

extra opbrengsten uit pekerverkoop. Om het gewenste succes te bereiken wordt aanbevolen alle 3 aanbevelingen op te volgen.

Secundaire aanbevelingen:

- **Een maximale voorraad aanhouden voor de palletopslag** bij de overdekte Zoutverwerkingsweg. Daardoor is het mogelijk om *zonder kosten* logische en veiligere routes te creëren voor een deel van de transportstromen op de locatie die gelegen zijn onder de overdekte doorrijroute.
- **De Libroxsteeg geschikt maken voor zwaar transport**, waardoor voor speciaal zout een veiligere route kan worden gecreëerd. De kosten voor deze aanpassing bedragen 3142 euro.

Door deze secundaire aanbevelingen uit te voeren zullen de routes van pekkel, emballage, droogzout, speciaalzout, salinco, Amagazijn, kalk en soda worden verbeterd tot een snellere, veiligere en minder risicovolle route. Voor het geheel is het verstandig om beide aanbevelingen te implementeren. Door het uitvoeren van de aanbevelingen is het mogelijk om een duidelijk overzicht te verkrijgen in de routes voor het transport over de locatie. Daarmee wordt het transport op de locatie veiliger en is de doorstroming van het transport sneller.



Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van het onderzoek naar de transportsituatie op de locatie van Akzo Nobel Hengelo. Dit onderzoek heb ik uitgevoerd voor de afronding van mijn Bachelor opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente.

In 2009 ben ik voor een 'snuffel' project in aanraking gekomen met Akzo Nobel Hengelo. In het 2^e en 3^e jaar mochten we als studenten voor het eerst kijken naar een probleem dat binnen een bedrijf speelde. Het was opmerkelijk hoe open de medewerkers van het bedrijf waren in de omgang met studenten. Daarom heb ik besloten om Akzo Nobel Hengelo opnieuw te benaderen voor het uitvoeren van een afstudeeronderzoek.

Ik kreeg de beschikking over een eigen kantoorruimte met alles erop en eraan. Daardoor was het mogelijk om dit onderzoek zelfstandig uit te voeren. Deze ruimte deelde ik met collega student Peter Reiche, die eveneens een logistieke afstudeeropdracht uitvoerde. Naast de gezelligheid hebben we elkaar gedurende de 3 maanden bij Akzo Nobel goed kunnen aanvullen en ondersteunen.

Na een periode van ruim 3 maanden heb ik dit eindrapport succesvol kunnen afsluiten. Het onderzoek nam wat meer tijd in beslag dan vooraf was ingepland. Naast mijn studie ben ik actief als sporter (mountainbike) op nationaal top niveau. Tijdens het onderzoek vergde het trainen en de wedstrijden ook de nodige tijd. Toch ben ik zeer gedreven te werk gegaan om het onderzoek binnen een normaal tijdbestek af te ronden.

Ik wil graag de medewerkers van Akzo Nobel bedanken voor hun openheid en medewerking bij de uitvoering van dit onderzoek. In het bijzonder bedank ik mijn bedrijfsbegeleider Herman van Brakel. In de periode van 3 maanden heb ik een zeer prettige begeleiding gekend vanuit het bedrijf. Er was op elk moment van de dag wel tijd om even binnen te lopen bij Herman of één van de andere medewerkers voor vragen. Overleg over gekozen richtingen en feedback op gevonden resultaten waren zeer behulpzaam.

Ook wil ik Leo van der Wegen bedanken als ondersteunende begeleider vanuit de Universiteit Twente. Zijn periodieke feedback gedurende het onderzoek heeft me de juiste richting ingeduid om het onderzoek naar behoren uit te voeren.

De periode bij Akzo Nobel was een zeer leerzame periode. Ik had nog niet eerder stage gelopen of een afstudeeronderzoek uitgevoerd. Bij Akzo Nobel kreeg ik voldoende vrijheid om de bachelor opdracht naar behoren uit te voeren. Het eindresultaat is dit rapport met daarin aanbevelingen voor de situatie van Akzo Nobel.

Ik wens u veel leesplezier!

V

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue and grey rectangular blocks arranged in a row.

Vincent Bakker, november 2011

Contents

Samenvatting	iii
Voorwoord	v
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
1.1 Akzo Nobel Hengelo	1
1.1.1 De Organisatie	1
1.1.2 Strategie.....	3
1.1.3 Veiligheid	3
1.2 Zout productieproces	4
1.3 Problematiek	5
1.4 Identificatie van het kernprobleem.....	6
1.4.1 Probleemkluwen.....	6
1.4.2 Motivatie probleemkluwen	7
1.4.3 Afbakening	8
1.5 Doelstelling van het onderzoek.....	9
1.6 Hoofdvraag	10
1.7 Onderzoeksvragen.....	10
1.8 Hoofdstukindeling	11
Hoofdstuk 2 Theoretisch Kader	13
2.1 Verkeersveiligheid & Bedrijfslay-out.....	13
2.1.1 Verkeersmanagement	13
2.1.2 Criteria	14
2.2 Wachtijdtheorie	14
2.2.1 De basis.....	14
2.2.2 Little's Theorie	16
2.2.3 Criteria	20
2.3 Kostenanalyse.....	20
2.4 Conclusie	21
Hoofdstuk 3 Huidige transportsituatie	22
3.1 Overzicht en veiligheid	22
3.1.1 Afdeling Zoutproductiebedrijf	24
3.1.2 Afdeling Specialties.....	24

3.1.3 Overig verkeer	24
3.2 Verdeling van transport.....	26
3.2.1 Salt Specialties	26
3.2.2 Zoutproductiebedrijf	27
3.2.3 Overig transport	28
3.3 Wachttijden	28
3.3.1 De werkstations	28
3.4 Analyse	30
3.4.1 Pekelverlading	30
3.4.2 Aan/ afmelden bij poort 2	31
3.4.3 De weegbrug.....	33
3.5 Conclusies	34
Hoofdstuk 4 Gewenste situatie.....	36
4.1 Wachtijdverkorting	36
4.2 Verkeersveiligheid	36
Hoofdstuk 5 Mogelijke aanpassingen	40
5.1 Aanpassingen	40
5.2 Verbeteringen in verkeersveiligheid en routenetwerk van het terrein	41
5.2.1 Optie 1: Toegangsweg poort KWL	41
5.2.2 Optie 2: Overdekte route.....	43
5.2.3 Optie 3: Specialzout route	44
5.3 Minder belasting op poort 2	45
5.3.1 Optie 1: Verhogen van de bedieningscapaciteit.....	46
5.4 Snellere pekerverlading	47
5.5 Opslag wegzout buiten het terrein	49
5.6 Combinatie van oplossingen	49
5.7 Afweging van de opties	51
Hoofdstuk 6 Conclusies & Aanbevelingen	53
6.1 Conclusie	53
6.2 Aanbevelingen.....	54
6.3 Consequenties	55
Referentielijst.....	57

Appendices.....	58
Appendix 1: Het zoutproductieproces	58
Appendix 2: Lijst van betrokken medewerkers bij het onderzoek.....	58
Appendix 3: Overige opmerkingen:.....	59
Appendix 4: Aantal verpakt zout wagens per dag.....	59
Appendix 5: Vraag naar Pekel en Wegenzout, Jaaroverzicht.....	59
Appendix 6: Aankomsten per transportsoort	59
Appendix 7: Banjo systeem	60
Appendix 8: Verkoop prijzen	60
Appendix 9: Prijsopgaven	60
Appendix 10: Bouwtekeningen	61
Appendix 11: Wachtijdskosten	62
Appendix 12: # Achteruitrijden	62
Appendix 13: Afbakening van het wachtrijmodel	63
Appendix 14: Berekeningen wachttijden	63
Appendix 15: Overzicht van een boring	66
Appendix 16: Wachtijdskosten verdeling pekelsverlading	67
Appendix 17: Stijgende piek vraag naar pekels en NPV calculatie	67
Appendix 18: Berekeningen: aanpassingen in wachttijdmodel	68
 Figuur 1: Organogram Akzo Nobel Nederland B.V	2
Figuur 2: Organisatie Akzo Nobel Hengelo	3
Figuur 3: Probleemkluwen transportsituatie.....	7
Figuur 4: Opbouw onderzoek	12
Figuur 5: Wachtrijstelsel	15
Figuur 6: Operationalisatie	21
Figuur 7: Overzicht van de locatie Hengelo	25
Figuur 8: Gem. # Geregistreerde verpakt zout wagens per dag.....	26
Figuur 9: Wachtrij netwerk	29
Figuur 10: Overzicht in wachtrijlengte en wachttijd.....	34
Figuur 11: Gewenste situatie Rechterzijde	37
Figuur 12: Gewenste situatie Linkerzijde.....	38
Figuur 13: inrichting overdekte doorrijweg	44
Figuur 14: Nieuwe situatie	56

Tabel 1: Formule van Little M/M/1.....	18
Tabel 2: Formule van Little M/G/1.....	19
Tabel 3: Overzicht routes	23
Tabel 4: Overzicht en veiligheid ZPB.....	24
Tabel 5: Overzicht en veiligheid Specialties.....	24
Tabel 6: Overzicht en veiligheid overig.....	24
Tabel 7: Aantal wagens afdeling Specialties	27
Tabel 8: Aantal wagens afdeling Zoutproductiebedrijf.....	28
Tabel 9: Aantal wagens overige afdelingen	28
Tabel 11: Opties veiligheid.....	51



Hoofdstuk 1 Inleiding

Dit wetenschappelijk rapport is geschreven voor het behalen van mijn Bachelor diploma in de richting Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Het betreft een onderzoek voor de verbetering van de transportsituatie op de locatie van Akzo Nobel Hengelo. In dit eerste hoofdstuk zal een algemeen beeld van Akzo Nobel Hengelo worden geschetst, met extra aandachtspunten voor het transport op de locatie. In paragraaf 1.1 zal eerst een bedrijfsbeschrijving worden gegeven met aansluitend een korte beschrijving van het zoutproductieproces. Vervolgens is op basis van gesprekken en indrukken de problematiek geschetst in paragraaf 1.3. De paragrafen 1.4 tot en met 1.7 besteden aandacht aan de probleemstelling en de doelstelling van het onderzoek. Afsluitend in dit hoofdstuk wordt de opbouw van dit verslag besproken.

1.1 Akzo Nobel Hengelo

Akzo Nobel Hengelo is onderdeel van Akzo Nobel Nederland BV. Op de locatie in Hengelo wordt zout gewonnen via circa 180 zoutboringen in en rondom Hengelo. Het gewonnen zout wordt gezuiverd en verder verwerkt van producten als tafelzout tot zout bevattende chemicaliën. Daarnaast is Akzo Nobel Hengelo een belangrijke leverancier van wegzout in ons land. Bij de zuivering en bewerking van het zout is veel energie nodig. Om die reden beschikt Akzo Nobel Hengelo over een eigen energiebedrijf op het terrein.

1.1.1 De Organisatie

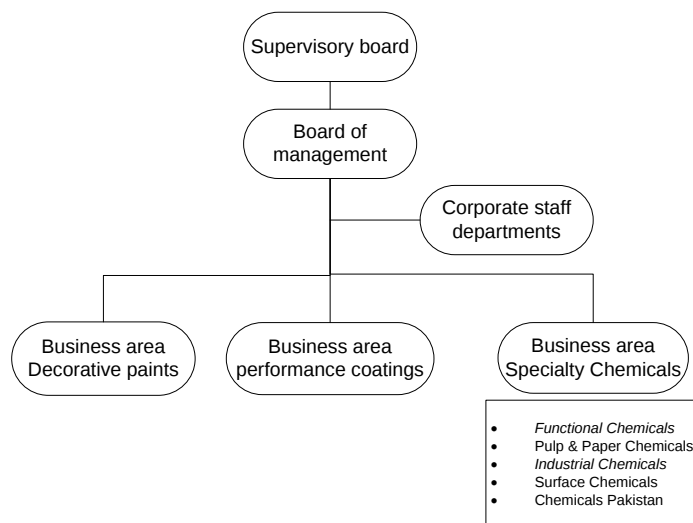
Akzo Nobel produceert innovatieve producten voor zowel de B2B markt als de B2C markt¹. Er zijn wereldwijd ongeveer 55.000 werknemers werkzaam bij Akzo Nobel in meer dan 80 landen. De Nederlandse tak Akzo Nobel Nederland B.V. is voor 100% een dochteronderneming van Akzo Nobel N.V. en verantwoordelijk voor de in Nederland gevestigde ondernemingen. De totale omzet van Akzo Nobel N.V. bedroeg 14,6 miljard euro in 2010².

De organisatie van Akzo Nobel is opgebouwd volgens een *divisionele structuur*. Een divisionele organisatie structuur houdt in dat verschillende divisies georganiseerd kunnen worden als individuele producten, productgroepen of service centra³. Binnen de divisionele organisatie structuur is Akzo Nobel opgebouwd uit verschillende *Business Units (BU)* en *sub Business Units (sBU)*. De belangrijkste producten van Akzo Nobel zijn decoratieve verven en coatings. Deze vallen onder de BU Decorative Paints en Performance Coatings. Daarnaast is Akzo Nobel een producent van specialistische chemicaliën (Afdeling Specialty Chemicals), deze BU houdt zich bezig met het produceren van bijvoorbeeld polymeren en bleekmiddelen. Naast Specialty Chemicals, Performance Coatings en Decorative Paints, heeft Akzo Nobel nog een vierde afdeling, Technology & Engineering, die zich bezig houdt met de ondersteuning van klanten op het gebied van gezondheid & veiligheid, milieu, duurzaamheid, regelgeving en toxicologie.

¹ B2B en B2C zijn bedrijfskundige benamingen voor de Business to Business en Business to Consumer markt waarin de stroom van producten loopt tussen bedrijven(B2B) of van bedrijven naar eindgebruiker(B2C)

² Referentie: Jaarverslag Akzo Nobel 2010

³ Referentie: Daft 2006

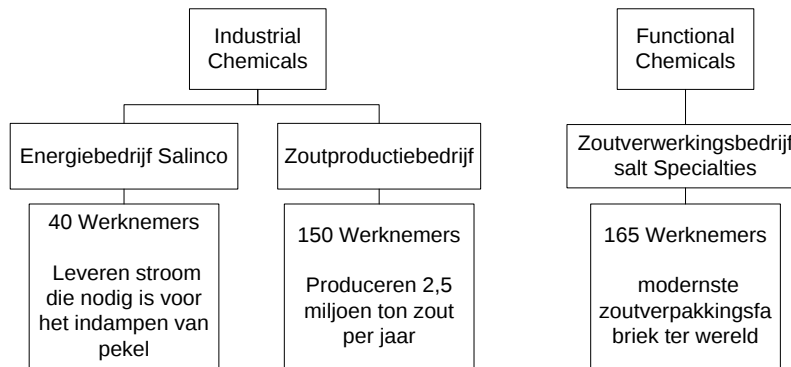


Figuur 1: Organogram Akzo Nobel Nederland B.V.⁴

De vestiging in Hengelo is onderdeel van de BU Specialty Chemicals. Naast de locatie in Hengelo zijn er nog 8 locaties in Nederland die zich bezig houden met Specialty Chemicals. Specialty Chemicals heeft een aanbod van meer dan 2000 producten, waardoor deze afdeling wederom is onderverdeeld in 5 sub Business Units, zoals zichtbaar in figuur 1. De twee sBU's waar Akzo Nobel Hengelo zich op richt zijn *Industrial Chemicals* en *Functional Chemicals*. Industrial Chemicals is de sBU waar zout, alkalichloride producten en derivaten worden geproduceerd. Functional Chemicals richt zich op het maken van chemische tussenproducten en performance chemicals. Deze worden bijvoorbeeld gebruikt in tandpasta en ijs, maar ook in camerafilms en lippenstift. De andere drie onderdelen zijn; Surface Chemistry, Chemicals Pakistan en Pulp & Paper Chemicals. Surface Chemistry is de unit waar oppervlakreactieve stoffen worden geproduceerd. Chemicals Pakistan maken exclusieve specialistische chemicaliën en Pulp & Paper Chemicals richt zich op de productie van bleekmiddelen.

De locatie Hengelo is onderverdeeld in 3 afdelingen (Figuur 2). Het *energiebedrijf Salinco* en het *zoutproductiebedrijf* vallen onder sBU Industrial Chemicals. Het *zoutverwerkingsbedrijf Salt Specialties* valt onder de sBU Functional Chemicals. Het zoutproductiebedrijf produceert per jaar ongeveer 2,5 miljoen ton zout. Dit zout is afkomstig uit de regio in en rondom Hengelo. In totaal werken er ongeveer 150 werknemers binnen het zoutproductiebedrijf. Bij de afdeling Salinco werken ongeveer 40 werknemers. Salinco is verantwoordelijk voor het leveren van de stroom die nodig is voor het indampproces van het zout. Het eindproduct zout gaat via het zoutproductiebedrijf naar het zoutverwerkingsbedrijf. Hier wordt het zout verpakt in kleine verpakkingen als tafelsalt tot zoutzakken en likblokken voor dieren. In totaal zijn er 165 werknemers werkzaam bij Salt Specialties.

⁴ Referentie: Presentatie Introductie Nieuwe medewerker 110328



Figuur 2: Organisatie Akzo Nobel Hengelo

1.1.2 Strategie

Akzo Nobels strategie keuze ligt op *Cost Leadership* en *Operational Excellence*. Operational Excellence is het realiseren van een onderscheidende marktpositie door het leveren van standaardproducten en/of diensten⁵. De totstandkoming vindt plaats in zaken als snelle en betrouwbare levering, goede service en het voorkomen van fouten. Transport op de locatie speelt een belangrijke rol in het snel en betrouwbaar leveren. De producten moeten op het goede tijdstip op de juiste plek staan opgesteld. Daarnaast wil een klant niet onnodig wachten op het beladen van zijn vrachtwagen.

De competitieve strategie keuze van Akzo Nobel Hengelo is gericht op het cost leadership. Deze strategie gaat er vanuit dat een concurrentievoordeel kan worden behaald door het vragen van lagere prijzen voor hetzelfde product ten opzichte van concurrenten⁶. Om dit concurrentievoordeel te behalen is het van belang dat er wordt ingespeeld op kostenbesparingen. In het transport op de locatie is het daarom wenselijk dat de kosten die gepaard gaan met transport worden geminimaliseerd. Door een optimale transportsituatie na te streven is er de mogelijkheid om kosten te besparen, met als gevolg het doorvoeren van een prijsverlaging aan de klant en het nastreven van cost leadership.

1.1.3 Veiligheid

Akzo Nobel Hengelo hanteert een *safety management* op de locatie, waarin het volgende veiligheid statement is opgenomen: *Alle veiligheids- en milieu incidenten kunnen worden voorkomen*⁷. Om dat te bereiken zal op elk gebied de kans op incidenten moeten worden geminimaliseerd. Het is van belang dat alle aanwezigen op de locatie kennis hebben van de potentiële gevaren. Bovendien moet voor ieder duidelijk zijn op welke manier gehandeld dient te worden in bepaalde situaties. Met betrekking tot het transport op de locatie houdt dat het volgende in:

- de routes dienen helder te zijn voor elke werknemer of bezoeker
- de kans op incidenten moet zo klein mogelijk zijn
- er moet duidelijke regelgeving zijn in de verkeerssituatie op het terrein van Akzo Nobel Hengelo

⁵ Referentie: Presentatie: Introductie Nieuwe medewerker 110328

⁶ Referentie: Daft 2006

⁷ Referentie: Presentatie: Introductie Nieuwe medewerker 110328

1.2 Zout productieproces

Het zoutproductieproces kan doormiddel van een aantal stappen helder worden omschreven⁸.

1. De eerste stap in het productieproces is de pekewinning. Ruwe pekewordt via een boorput omhoog gepompt. Deze boorputten gaan tot ongeveer 400 a 500 meter de diepte in, waar zich een 50 meter dikke zoutlaag bevindt. Een boorput bestaat uit een dikke buis met daarin een kleinere tweede kleinere buis. In de tussenruimte tussen beide buizen wordt verwarmd water via een aangelegd leidingnetwerk naar beneden gevoerd, waardoor het zout oplost. Hierdoor ontstaat ruwe pekewordt, die vervolgens door de binnenste buis richting de verwerkingsafdeling gaat. De ruwe pekewordt ten tijde van winterweer verkocht als pekewoor wegzout⁹.
2. Wanneer de ruwe pekewordt het terrein van Akzo Nobel bereikt, stroomt het verder naar de pekewzuivering. Hierin worden verontreinigingen als calciumzouten en magnesiumzouten verwijderd uit de vloeistof.
3. De derde stap is het indampen van de pekewordt. De zuivere pekewordt ingedampt in de indampinstallatie, waardoor de pekewordt gaat koken en het zout eruit kan kristalliseren. Door het indampproces ontstaat een zoutbrij die verder wordt getransporteerd naar de centrifuges.
4. In de centrifuges wordt de zoutbrij ontdaan van het laatste vocht wat zich nog in het zout bevindt. Het zout wat overblijft, bevat nog ongeveer 2 % vocht en is klaar voor industrieel gebruik. Stap 4 betekent voor de B2B markt de laatste stap in het productie proces. Vanuit hier wordt een bepaald percentage zout opgeslagen in de silo of direct vervoerd via schepen. Het andere deel wordt door het zoutproductiebedrijf verkocht en direct getransporteerd naar het zoutverwerkingsbedrijf, Salt Specialties.
5. Stap 5 is de laatste stap in het proces. De afdeling Specialties zorgt voor het drogen van zout waarna het geschikt is om verpakt te worden in speciale producten voor consument en industrie.

Het zout in de silo bevat 2 soorten zout, namelijk het zo geheten *Off-spec zout en LAC-zout*. LAC zout bevat een low anti-caking middel wat het klonteren van zout tegen gaat. Dit is het zout dat rechtstreeks uit de productie afkomstig is en wordt opgeslagen in de silo. Het merendeel van het zout in de zoutsilo bestaat uit LAC-zout dat geschikt is voor verdere verwerking en voldoet aan bepaalde specificaties.

Het kan voorkomen dat een bepaalde hoeveelheid zout niet voldoet aan de productie en milieu eisen. Bij productieschakelingen en het vastlopen van machines bij Specialties voldoet het zout niet meer aan de gestelde kwaliteitseisen, in dat geval wordt dit zout als ongeschikt gezien voor verdere verwerking en wordt het teruggekocht door het zoutproductiebedrijf. Het zoutproductiebedrijf slaat het zout vervolgens op als Off-spec zout. Om de kwaliteit van het zout te waarborgen wordt dit zout niet hergebruikt. Dit zout voldoet nog wel aan de milieueisen voor wegzout en kan op winterse dagen worden ingezet als wegzout.

⁸ Appendix 1: bevat een schematisch overzicht van het productieproces

⁹ Appendix 15: bevat een overzicht van het boorproces

Zoals beschreven in stap 5 is de afdeling Specialties verantwoordelijk voor de verdere verwerking van het LAC-zout. Bulk droogzout wordt afgevoerd via speciale silo's waarmee bulkvrachtauto's kunnen worden beladen via een geijkt laadsysteem. Daarnaast worden er ook speciale bulk zouten geproduceerd met bijzondere specificaties. Overige consumenten producten, zoals tafelzout, worden binnen de afdeling Specialties verpakt. Deze producten zijn dan gereed voor transport en staan opgesteld in de voorraadmagazijnen op het terrein. Naast het LAC- zout kan het zout nog extra anti-klontermiddel bevatten, waardoor het langer in de silo kan blijven liggen. Dan wordt het *EO-zout genoemd(elektrolyse ongedroogd)*.

1.3 Problematiek

In deze paragraaf is de problematiek van de voorgeschreven opdracht door Akzo Nobel omgeschreven. De problematiek is opgesteld aan de hand van gesprekken met betrokken medewerkers binnen het bedrijf¹⁰ en observatie op het terrein van Akzo Nobel Hengelo.

Een aantal jaar geleden was het terrein van Akzo Nobel Hengelo bereikbaar vanaf de Boortorenweg via vijf toegangspoorten. De afgelopen jaren is *de toegang tot de locatie beperkter geworden*. Er zijn op dit moment slechts drie poorten beschikbaar om op de locatie te komen. Eén van de poorten is momenteel niet bruikbaar voor zwaar transport, omdat er een koelwaterleiding onder het wegdek ligt. Er wordt gevreesd dat er schade aan deze leiding wordt toegebracht wanneer men deze poort in gebruik zal nemen voor zwaar verkeer. De tweede poort(poort 1) is helemaal gesloten, omdat naast het terrein van Akzo Nobel waar de oude poort gevestigd was enkele nieuwe bedrijven worden gebouwd. Tevens is er door de inkrimping slechts 1, van oorspronkelijk 2, weegbruggen beschikbaar voor het wegen van bulk beladingen. Het portiershuis bij poort 1 is nog wel in gebruik, maar is ongelukkig gesitueerd in de huidige situatie.

Door deze inkrimping is het *aantal interne transport routes verminderd*. Met de huidige routes moeten vrachtwagens vaker keren/draaien/ achteruit rijden op ongelukkige punten op het terrein. Daarnaast zijn er veel plaatsen waar het verkeer elkaar kruist. Bovendien brengt het continue verkeer van heftrucks een extra risico met zich mee. Door de inkrimping is het *risico op onveilige situatie* toegenomen en de kans op incidenten vergroot.

In periodes met hoge vraag naar zout, voornamelijk wanneer er grote vraag is naar wegenzout en pek, ontstaan er op de locatie verschillende knelpunten. Daardoor wordt de doorstroming van het verkeer belemmerd en ontstaan er *grote wachttijden*. Bovendien is er op deze tijdstippen extra verwarring in de te volgen routes, doordat lange rijen vrachtwagens bij de uitgang van poort 2 delen van *routes blokkeren*. Er is op die momenten dus *geen goede doorstroom* in het transport op de locatie.

Op dit moment is er alleen voor het beladen van verpakt zoutproducten en wegenzout een logische route. Toch ondervinden ook deze transportstromen hinder van de overige routes, omdat gebruik wordt gemaakt van dezelfde wegen en poorten door andere transportstromen.

¹⁰ Appendix 2: bevat een overzicht van de betrokken werknemers bij dit onderzoek

Zoals eerder beschreven werkt Akzo Nobel Hengelo volgens een divisionele bedrijfsstructuur. De planning van Specialties staat los van de planning van het zoutproductiebedrijf, omdat het 2 opzichzelfstaande BU's (divisies) zijn. Alleen de BU Specialties heeft zijn eigen (online) planningssysteem. Er wordt in de planning dus geen rekening gehouden met de verschillende afdelingen, terwijl er wel gebruik wordt gemaakt van dezelfde poorten en wegen op het terrein. Er is *geen geïntegreerd planningssysteem*.

Door de aanwezigheid van *slechts 1 weegbrug op het terrein* onder het laadpunt van wegenzout moeten bulkwagens vaak langdurig wachten voordat ze hun vrachtgewicht kunnen meten. Na belading dienen de meeste vrachtwagens zich af te melden (en tevens aan te melden) bij poort 2 met het aftekenen van de vrachtbrief. Deze handeling neemt relatief weinig tijd in beslag, maar door een hoge aankomstintensiteit bij de uitgang van poort 2 kan het voorkomen dat het aantal vrachtwagens in de rij flink kan oplopen. Deze rij kan een blokkade vormen voor het overige transport op de locatie. Naast de blokkade zorgen de *wachttijden* ervoor dat er *onnodig kosten* worden gemaakt en er *irritaties* ontstaan bij de importeurs/ exporteurs. Daarnaast zijn er contractuele afspraken gemaakt over de wachttijden met transporteurs, waardoor na bepaalde tijd de wachttijd door Akzo Nobel zelf betaald dient te worden¹¹. Dit jaagt de transportkosten onnodig omhoog en drukt daarmee op de winstgevendheid van het bedrijf.

1.4 Identificatie van het kernprobleem

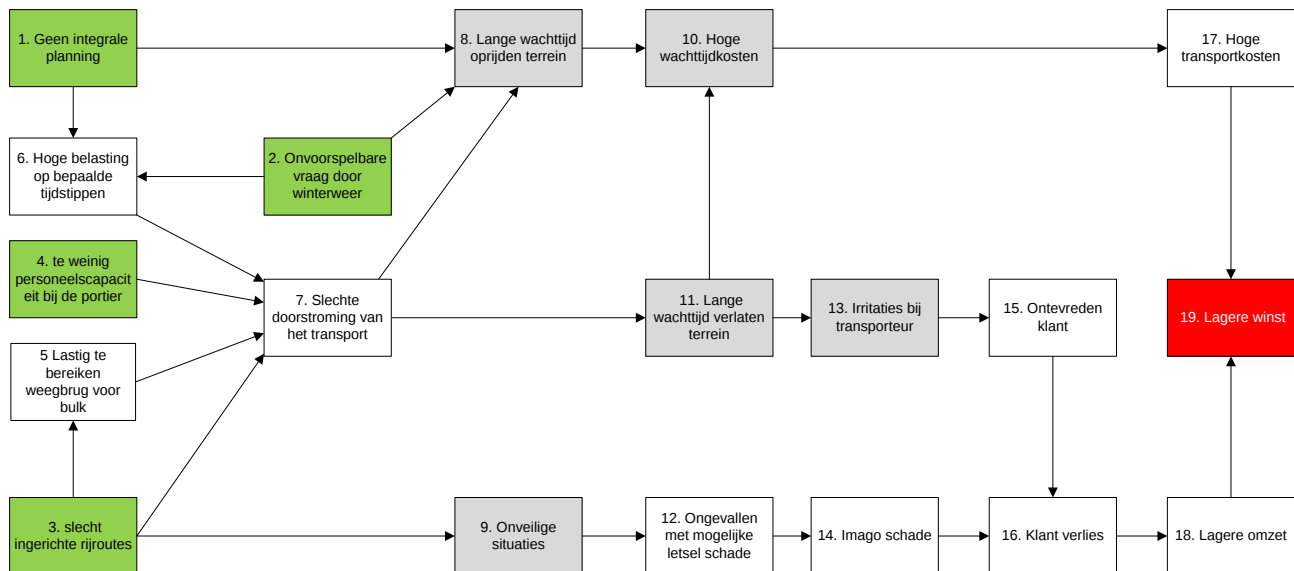
In de problematiek beschrijving in paragraaf 1.3 blijkt dat er tussen bepaalde problemen veel samenhang is. Door het opstellen van een probleemkluwen kunnen de ten grondslag liggende oorzaken en onderlinge samenhang tussen de problemen worden achterhaald¹². Het probleemkluwen is een bedrijfskundige toepassing om oorzaak-gevolg relaties van problemen helder weer te geven en de onderlinge samenhang duidelijk te maken.

1.4.1 Probleemkluwen

Aan de hand van de eerder genoemde problematiek van Akzo Nobel is al af te leiden dat er niet 1 enkel probleem ten grondslag ligt aan de gestelde problemen. Bovendien is er enige samenhang tussen de verschillende oorzaken. Het onderstaande probleemkluwen geeft de onderlinge relaties tussen de problemen weer. Hierin is met een bedrijfskundige redenering gekeken naar de oorzaak-gevolg relaties van de verschillende problemen die er spelen. De grijs gekleurde problemen zijn de problemen die beschreven zijn door Akzo Nobel zelf. Aan de hand daarvan is gekeken hoe deze problemen zich verhouden met andere oorzaak-gevolg relaties die een rol spelen in het onderzoek. Deze relaties zijn nader toegelicht onder motivatie probleemkluwen.

¹¹ Appendix 11: bevat een overzicht van de kosten per uur per soort

¹² Referentie: Heerkens 1998



Figuur 3: Probleemkluwen transportsituatie

1.4.2 Motivatie probleemkluwen

Het probleemkluwen dient gelezen te worden van links(oorzaak) naar rechts(gevolg). De groen gekleurde blokken zijn in dit geval de uiteindelijke oorzaken voor de gestelde problemen(de grijs gekleurde blokken) zoals opgesteld in de problematiek. De wit gekleurde problemen maken het probleemkluwen compleet doormiddel van bedrijfskundige redenering. Hieronder volgt een uitleg van de problemen zoals deze zijn opgesteld in het probleemkluwen:

- 1. Geen integrale planning.** Dit probleem is een van de vier mogelijke kernproblemen. Op dit moment verloopt de planning van het zoutverwerkingsbedrijf en Specialties los van elkaar en heeft alleen de afdeling Specialties een eigen online planningsysteem. Het overige transport maakt daar geen gebruik van. Doordat er geen integrale planning is ontstaan er soms lange wachttijden voordat vrachtwagens het terrein op kunnen rijden(vak8) en kan er hoge belasting zijn op bepaalde tijden(vak6)
- 2. Onvoorspelbare vraag door Winterweer.** Dit is een mogelijk kernprobleem waarop weinig invloed is uit te oefenen, maar wel mee genomen dient te worden in het probleemkluwen. Door het winterweer kan er hoge belasting zijn op bepaalde tijden(vak6) en kan dit zorgen voor lange wachttijden voor het oprijden van het terrein.
- 3. Slecht ingerichte rijroutes.** Op dit moment zijn er slechts 2 logische routes, voor het ophalen van verpakte producten van specialties en wegenzout. De andere routes zijn onlogisch, onduidelijk en kruisend. Vrachtwagens moeten keren en draaien op ongelukkige situaties op het terrein. Hierdoor remmen ze de doorstroming van het transport af(vak7) en brengt dit onveilige situaties met zich mee omdat vrachtwagens veelal achteruit moeten keren(vak8). Daarnaast moeten wagens omslachtige routes rijden om bij de weegbrug te komen.
- 4. Te weinig personeelscapaciteit.** Er is op dit moment slechts 1 portier die bijna al het transport moet intekenen en aftekenen(vrachtbrieven). Op drukke momenten belemmert dit de doorstroom van het transport(vak7).

5. **Lastig te bereiken weegbrug voor bulk.** Doordat er slechts 1 weegbrug beschikbaar is voor het wegen van bulk ladingen moeten alle bulkvrachtwagens op dezelfde brug wegen. Daardoor nekt dit de doorstroming van het transport op het terrein.(vak 7)
6. **Hoge belasting op bepaalde tijdstippen.** Door de hoge belasting op bepaalde tijdstippen, komt het voor dat er geen goede doorstroming is op het terrein(vak7)
7. **Slechte doorstroom van het transport.** Door de slechte doorstroom in het transport ontstaan lange wachttijden voor zowel buiten het terrein(vak8) als binnen het terrein(vak11).
8. **Lange wachttijden bij oprijden terrein.** Wachttijden voordat vrachtwagen het terrein op gaan worden vaak vanaf een bepaald tijdstip vergoed door Akzo Nobel zelf. Dit jaagt de kosten voor wachttijd omhoog(vak10).
9. **Onveilige situaties.** Brengen de kans op ongevallen met zich mee.(vak12)
10. **Hoge wachttijdskosten.** Zullen de transportkosten doen stijgen.(17)
11. **Lange wachttijden bij verlaten terrein.** Door het lang moeten wachten op andere vrachtwagens die beladen moeten worden of wachten op het aftekenen van de vrachtbrief ontstaan er irritaties bij de chauffeurs(vak13).
12. **Ongevallen.** Kunnen leiden tot imago schade.(vak14)
13. **Irritaties bij transporteurs.** Irritaties kunnen leiden ontevreden klanten(vak15)
14. **Imago schade.** kan leiden tot klant verlies(vak16)
15. **Ontevreden klanten.** Wanneer niet wordt ingegrepen zou dit kunnen leiden tot klant verlies(vak16)
16. **Klant verlies.** Kan leiden tot omzet verlies(vak18)
17. **Hoge transportkosten.** Kosten zullen de uiteindelijke opbrengst van het hele verhaal drukken. Door het maken van deze hoge kosten zal dit uiteindelijk resulteren in een lagere winst.(vak19)
18. **Omzet verlies.** Omzet verlies kan zorgen voor een lagere winst.(vak19)
19. **Lagere winst.** Akzo Nobel is een bedrijf gericht op winstgevendheid. Door de aanpak van 1 van de 4 kernproblemen moet Akzo Nobel in staat zijn de winst te verhogen.

1.4.3 Afbakening

In deze paragraaf is een gemotiveerde keuze voor het kernprobleem van dit onderzoek gemaakt. Deze afbakening is nodig omdat dit onderzoek slechts een periode van 10 weken bedraagt en daar niet de tijd beschikbaar is voor een uitvoerig onderzoek naar elk van de gestelde problemen in 1.4. Uit het probleemkluwen is af te leiden dat er binnen het kader van de geformuleerde onderzoeksoopdracht 4 mogelijke oorzaken ten grondslag liggen aan het probleem zoals deze is geschetst in de problematiek. Deze 4 oorzaken zijn genummerd van 1 tot en met 4.

De *onvoorspelbare vraag door slecht winterweer* is een externe factor die niet te beïnvloeden is. We zijn niet in staat om het weer te regelen. Om deze reden valt de *onvoorspelbare vraag door slecht winterweer* dan ook af als kernprobleem van dit onderzoek.

Er zijn op dit moment 3 poorten beschikbaar, waarvan er slechts 1 bemand is met een portier. Daardoor heeft deze portier het op bepaalde momenten erg druk en is er sprake van *te weinig personeelscapaciteit*. Er is nog wel een meldpunt bij poort 1, maar deze is alleen bruikbaar voor een zeer

beperkt deel van het transport. Dit probleem zou verholpen kunnen worden door een extra portier(en) in te zetten. Echter los je daarmee slechts een beperkt deel van de slechte doorstroom op, namelijk het verlaten van het terrein.

Geen integrale planning heeft betrekking op het gehele proces, maar het aanpakken van het planningsprobleem lijkt echter te lastig op te lossen gezien het feit dat de drukte zeer seizoensgebonden is. Daardoor is het erg lastig om planningstechnisch daarop in te spelen. Het is niet mogelijk om vooraf een aantal slechte winterse dagen in te plannen. Dit probleem zal automatisch verminderen indien de andere gerelateerde problemen worden verminderd.

De keuze voor het kernprobleem valt dus op de *slecht ingerichte rijtroutes*. Dit probleem heeft betrekking op alle transportsoorten op het terrein. Een herinrichting van het transport op de locatie kan zorgen voor een verbetering in de doorstroming in het transport en het creëren van een veiligere situatie. Op dit moment zijn er 3 soorten transport die gebruik maken van de weegbrug, namelijk wegenzout, pekkel en speciaal zout. Wanneer de vraag naar wegenzout en pekkel toeneemt, ontstaan er wachttijden voor het wegvan de wagens. Daar komt nog bij dat de belading van wegenzout ook nog plaatsvindt op de weegbrug zelf waardoor het wegvan soms extra lang kan duren. Samenvattend zou het weegbrug capaciteitsprobleem onder *slecht ingerichte rijroute* kunnen worden geschaald door de omslachtigheid van de routes van pekkel en speciaal zout. Daarmee wordt het onderdeel worden van het probleem *slecht ingerichte rijtroutes*. Op deze manier worden beide problemen meegenomen in het onderzoek met als kernprobleem de *slecht ingerichte rijroute*.

Het kernprobleem dat wordt behandeld in dit onderzoek zijn dus de '*slecht ingerichte rijtroutes*': **slecht ingerichte rijtroutes op de locatie remmen de doorstroom van het transportverkeer en zorgen voor onveilige situaties**. Met het oplossen van dit kernprobleem zal naar eigen inzicht het meeste resultaat kunnen worden geboekt ten behoeve van de doorstroom op het terrein en het verhogen van de veiligheid, tot uiteindelijk het verhogen van de winst(zie probleemkluwen).

1.5 Doelstelling van het onderzoek

De aanleiding voor uitvoeren van dit onderzoek is een opdracht die is voorgelegd door Akzo Nobel Hengelo. In deze opdracht staat een korte beschrijving van de (problematische) transportsituatie en wat daarvan de gevolgen zijn volgens Akzo Nobel. De belangrijkste vraag van Akzo Nobel is: '*het in kaart brengen van de knelpunten op de locatie en het doen van aanbevelingen voor de verbetering inclusief een onderbouwing van de kosten die worden veroorzaakt door de huidige situatie en die moeten worden gemaakt om de situatie aan te passen.*' Daarnaast is aangegeven de situatie rondom het gebruik van de poort met de koelwaterleiding ook mee te nemen in het onderzoek mits daarvoor tijd beschikbaar is.

1.5.1 Het onderzoeksdoel

Na de eerste inventarisatie is het uiteindelijke doel van dit onderzoek is vastgelegd als het volgende:

Het doen van aanbevelingen voor het verbeteren van de *doorstroming* van het *transport* op de locatie, waardoor minder *wachttijden* ontstaan en een veiligere situatie wordt gecreëerd in het *transport*.

1.6 Hoofdvraag

De volgende hoofdvraag is opgesteld voor het zoeken naar oplossingen voor het kernprobleem zoals beschreven in paragraaf 1.4.

” Welke verbeteringen kan Akzo Nobel Hengelo doorvoeren in de *inrichting* van het *transport* op de locatie, om betere *doorstroming* en meer *veiligheid* te creëren in het transport? ”

Via de beantwoording van deze vraag is het mogelijk een advies op te stellen voor Akzo Nobel, waarmee het doel van dit onderzoek kan worden behartigd.

Definities bij de hoofdvraag:

- *Inrichting van het transport: De manier waarop de locatie is ingericht met betrekking tot het gebruik van wegen, toegangspoorten en laadpunten op het terrein en de af te leggen routes door bepaalde soorten transport.*
- *Doorstroming van het transport: De tijd die vrachtwagens nodig hebben om zich over het terrein bewegen vanaf eerste melding bij het loket tot het verlaten van het terrein inclusief de aftekening van de vrachtbrief.*
- *Veiligheid: De mate van verkeersveiligheid op het terrein.*

1.7 Onderzoeksvragen.

Om een heldere oplossing te formuleren voor de probleemstelling is het noodzakelijk om de hoofdvraag in stukjes op te delen. Daarvoor zijn in deze paragraaf een aantal deelvragen opgesteld aan de hand van de kennis die nodig is om tot een heldere oplossing te komen. Per deelvraag zal een korte motivatie worden gegeven waarom het van belang is deze vraag te beantwoorden.

1: Hoe ziet de huidige transportsituatie eruit op de locatie?

De eerste stap in het onderzoek is het een kaart brengen van de huidige transportsituatie. In dit deel zal een overzicht worden gegeven van de manier waarop wegen, poorten en routes nu worden gebruikt door de verschillende afdelingen. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de piekdagen in het jaar. Daarnaast worden in dit deel de huidige knelpunten opgespoord en in kaart gebracht. Zodoende kunnen de huidige problemen duidelijk worden geformuleerd.

Aanpak: Door van het vergaren van informatie via interviews, observatie en documentatie zal worden getracht een helder beeld te vormen van de huidige situatie. Met behulp van literatuur over wachttijdmodellen zal een model worden opgesteld om de huidige situatie wachttijden te analyseren voor het opsporen van de bottleneck in het transportproces.

2: Hoe ziet de ideale transportsituatie eruit op de locatie?

In deze deelvraag zal de gewenste situatie worden beschreven. Hier zal worden ingegaan op de ideale situatie met de mogelijkheden die er zijn. Er zal rekening gehouden worden met de gestelde randvoorwaarden en aan welke eisen de inrichting moet voldoen.

Aanpak: In deze deelvraag wordt gekeken op welke manier de veiligheid gemaximaliseerd kan worden en de doorstroming zo min mogelijk wordt geremd. Hierbij wordt dus niet gelet op eventuele kosten die gemaakt dienen te worden of praktische haalbaarheid.

3: Welke veranderingen dragen positief bij aan het bereiken van de ideale transportsituatie?

Om de ideale situatie uit deelvraag 2 te bereiken zullen veranderingen moeten worden gemaakt met daarbij behorende kosten. In deze deelvraag zal worden gekeken welke veranderingen nodig zijn om de gewenste situatie te bereiken. Het is een streven om zo dicht mogelijk de ideale situatie te benaderen, door te kijken welke veranderingen daadwerkelijk haalbaar zijn en een toegevoegde waarde hebben voor het transport op de locatie.

Aanpak: Uitzoeken met welke veranderingen de huidige situatie kan worden aangepast, zodat deze het meest lijkt op de gewenste situatie uit deelvraag 2. Daarbij zal prioriteit van de mogelijke veranderingen in kaart worden gebracht door de verschillende alternatieven tegen elkaar af te wegen.

Met beantwoording van de deelvragen is het mogelijk om aanbevelingen te doen over de inrichting van het transport op de locatie om veiligheid en doorstroming te verbeteren.

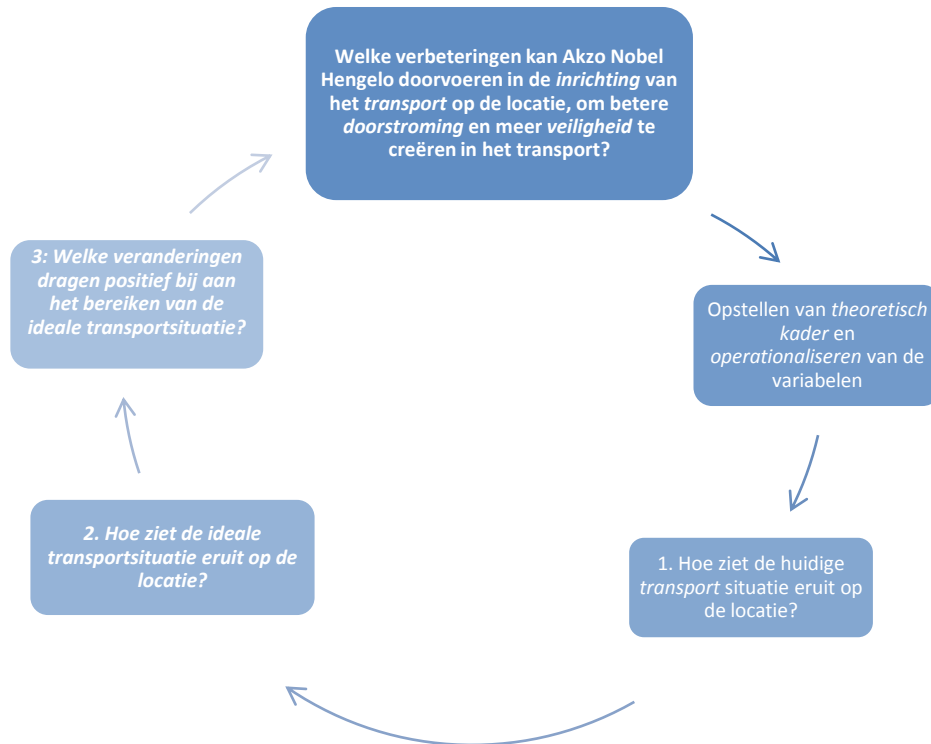
1.8 Hoofdstukindeling

In hoofdstuk 2 zal eerst een theoretisch kader worden opgesteld, voor het in kaart brengen en analyseren van de huidige situatie. Het zal gaan over literatuur m.b.t. wachttijden, bedrijfsinrichting en verkeersveiligheid binnen bedrijfsterreinen. Daarmee is het mogelijk om de huidige situatie te analyseren en na te gaan op welke manier verbeteringen door kunnen worden gevoerd aan de huidige situatie. Na het opstellen van het theoretisch kader is het mogelijk om de variabelen uit de hoofdvraag te operationaliseren en te omschrijven in meetbare termen.

In hoofdstuk 3 zal de huidige situatie worden behandeld. In dit hoofdstuk zal antwoord worden gegeven op de eerste deelvraag van dit onderzoek. Met behulp van het theoretische kader kunnen de knelpunten in het transport worden opgespoord.

Vervolgens zal in hoofdstuk 4 worden gekeken naar ideale locatieinrichting. Hoe zou het terrein gebruikt kunnen worden om het beste te scoren op veiligheid en doorstroming? In hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden bekeken voor het nastreven van de ideale situatie zoals opgesteld in hoofdstuk 4. Welke aanpassingen zijn nodig voor het bereiken van de gewenste situatie? In hoofdstuk 6 zal een algemene conclusie worden gegeven, gevolgd door de aanbevelingen voor verbetering van de transportsituatie op de locatie van Akzo Nobel Hengelo.





Figuur 4: Opbouw onderzoek

Hierboven (figuur 4) is het onderzoeksmodel schematisch weergegeven om een duidelijk beeld te vormen over de gevolgde methodologie.



Hoofdstuk 2 Theoretisch Kader

In dit onderzoek spelen drie variabelen een belangrijke rol, namelijk de verkeersveiligheid, de doorstroming van het transport en de kosten. Het is lastig om een oordeel of waarde te geven over de eerste twee genoemde variabelen, daarom worden in dit hoofdstuk met behulp de literatuur een aantal criteria opgesteld voor de variabelen in dit onderzoek. Daarmee is het mogelijk om met het theoretisch kader de huidige situatie te analyseren. Er wordt uitgebreid stil gestaan bij de wachttijdtheorie, verkeersveiligheid op bedrijfslocaties en bedrijfsinrichting.

2.1 Verkeersveiligheid & Bedrijfslay-out

Veiligheid is een lastig te meten variabele. Daarom wordt in deze paragraaf verder ingegaan op de mogelijkheid om veiligheid meetbaar te maken. Een bedrijf dat zich bezighoudt met het onderzoek naar verkeersveiligheid op bedrijventerreinen is HSE (Health & Safety Executive)¹³. Dit is een onafhankelijk onderzoeksbureau dat onderzoek doet naar werkgerelateerde veiligheidssituaties. Met behulp van verschillende onderzoeken van HSE en literatuur over verkeersveiligheid is deze paragraaf geschreven.

2.1.1 Verkeersmanagement

Een bedrijventerrein kan op meerdere manieren worden ingedeeld. In de literatuur wordt veel aandacht besteed aan de manier waarop men op een veilige manier een bedrijfslocatie kan inrichten.

Sleutel factoren van *verkeersmanagement* voor veilige bedrijfslocaties zijn¹⁴:

- Minimaliseren van het *achteruitrijden* door vrachtverkeer. Dit kan worden bereikt door:
 - Het gebruik van *doorrijlaad plaatsen*. De laadplaatsen liggen direct op de route van de wagen, zonder dat ze ergens moeten insteken
 - Het invoeren van een *banjo*¹⁵. Dit is een soort rotonde om te voorkomen dat een wagen achteruit moet keren
- Zoveel mogelijk gebruik maken van *eenrichtingswegen* om kruisend verkeer te mijden.
- Routes moeten voldoende ruimte hebben om de grootste wagens veilig te laten passeren. Dat betekent dat er rekening gehouden moet worden met:
 - Breedte van wagen. Het breedste voertuig moet nog minimaal 20cm aan beide zijden over hebben bij het passeren van een smal weggedeelte.
 - Hoogte van obstakels. Het hoogste voertuig moet nog minimaal 20cm ruimte hebben aan de bovenkant bij het passeren van een obstakel.
- Er moet genoeg ruimte beschikbaar zijn rondom de plaats van laad/lospunten (i.e. 60cm breder dan het breedste passerende voertuig)
- Minimaliseren van het gemiddeld aantal af te leggen meters, om de vrachtwagens zo kort mogelijk te laten rijden over het terrein.

¹³ Referentie: www.hse.gov.uk

¹⁴ Referenties: <http://www.hse.gov.uk/pubns/indg199.pdf> 9-5-2011, <http://www.hse.gov.uk/pubns/wpt20.pdf> 9-5-2011, <http://www.hse.gov.uk/pubns/wpt24.pdf> 9-5-2011, <http://www.hse.gov.uk/pubns/wpt15.pdf>, 9-5-2011

¹⁵ Appendix 7: bevat een voorbeeld van een Banjo

2.1.2 Criteria

Aan de hand van wat beschreven is in de literatuur zijn de volgende criteria voor *verkeersveiligheid* op bedrijfslocaties opgesteld:

- **Gemiddeld aantal maal achteruit draaien/keren per wagen:** hoe meer vrachtwagens achteruit dienen te keren ergens op het terrein, des te groter de kans op incidenten. Uit onderzoek blijkt dat bijna 1/4 van de incidenten op bedrijfsterreinen komt door het achteruitrijden van vrachtwagens/heftrucks¹⁶.
- **Percentage eenrichtingswegen op het terrein:** Een ideaal scenario is 1 eenrichtingsweg, zonder tegemoetkomend verkeer. Hoe hoger het percentage van de wegen dat eenrichtingsverkeer is, des te veiliger zal het verkeer zich kunnen voortbewegen over het terrein.

In alle gevallen moet worden voldaan aan de benodigde ruimte die voertuigen nodig hebben. Voor de ruimte om het laadpunt en de breedte van de wegen zijn geen criteria opgesteld, maar dienen deze als voorwaarden voor nieuwe oplossingen. Daarvoor zijn 2 randvoorwaarden opgesteld:

- **Ruimte om het laadpunt.** Meer ruimte om het geparkeerde voertuig bij een laadpunt betekent dat overig verkeer veiliger kan passeren. Minimale ruimte tussen voertuigen bij een laadpunt is 60cm¹⁷.
- **Wegen breed genoeg:** Voor het breedste voertuig moet gelden dat er minimaal 20cm ruimte aan beide zijden over is.

2.2 Wachtijdtheorie

In deze paragraaf wordt een theoretisch kader geschetst voor wachtijdtheorie. Daarmee is het mogelijk de verschillende laadpunten en wachtpunten te analyseren op doorlooptijden, wachttijden en wachtrijlengte. Met toepassingen van de wachtijdtheorie worden de bottlenecks in het netwerk in kaart gebracht¹⁸.

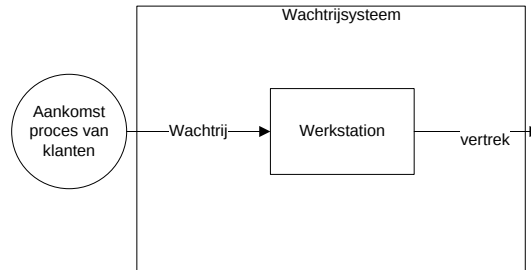
2.2.1 De basis

Bij de analyse van wachttijden worden bepaalde handelingen vaak omschreven in termen van een wachtrijsysteem. Een wachtrijsysteem bestaat uit een aantal onderdelen. Het begint met de *aankomst van een klant* die richting een *werkstation* beweegt. De aankomst van klanten wordt het *aankomstproces* genoemd. Het werkstation is de plek in het systeem waar de *bediening/handeling* van de klant daadwerkelijk plaatsvindt. Indien er plek is in het werkstation kan de klant direct bediend worden door de *server*. Indien er geen plek is in het werkstation, zal de klant plaatsnemen in de *wachtrij* van het wachtrijsysteem. Na bediening verlaat de klant het wachtrijsysteem. Het model ziet er schematisch gezien als volgt uit:

¹⁶ Referentie: <http://www.hse.gov.uk/workplacetransport/information/reversing.htm>, 9-5-2011

¹⁷ Blijkt uit onderzoek van HSE een veilige marge te zijn voor het veilig laten passeren van voertuigen.

¹⁸ Referentie: Winston 2004, Dictaat Operationele Research II



Figuur 5: Wachtrijsysteem

Definities:

De volgende definities zijn van belang voor het ontwerpen van wachtrijsystemen voor de transportsituatie:

- *Klanten*: De vrachtwagens die het terrein moeten betreden of bezoekers bij het portierhuis
- *Aankomst proces*: Het aantal aankomsten van vrachtwagens
- *Werkstation*: De plaats waar de belading van een vrachtwagen plaats vindt
- *Server(s)*: Het aantal beladingsmogelijkheden (bijvoorbeeld $s=2$ betekent 2 laadpunten)
- *Laadtijd*: De tijd die nodig is om een vrachtwagen te bedienen
- *Bezettingsgraad*: Percentage van de tijd dat het werkstation bezet is
- *Tussentijdsaankomst*: De tijd tussen de aankomsten van 2 vrachtwagens
- *Wachtdiscipline*: De volgorde waarin klanten worden bediend

Aankomst proces

Het aankomst proces wordt beschreven door het aantal klanten dat per tijdseenheid arriveert. In dit geval zijn de klanten gedefinieerd als vrachtwagens. De verschillende aankomsten van vrachtwagens vindt onafhankelijk plaats en de tussenaankomsttijden van de vrachtwagens zijn exponentieel verdeeld. Daarom wordt verondersteld dat het aankomstproces bij poort 2 van vrachtwagens bij benadering volgens een *Poisson proces* verloopt. Het Poisson proces is een discrete kansverdeling die gekenmerkt wordt door één parameter λ , die het gemiddeld aantal aankomsten per uur weergeeft. λ wordt ook wel de aankomst intensiteit genoemd.

Tussenaankomsttijden

In het onderzoek wordt verondersteld dat de tijd tussen het arriveren van de vrachtwagens onafhankelijk plaats vindt. De *exponentiële verdeling* modelleert de tijd tussen twee opeenvolgende onafhankelijke gebeurtenissen die met dezelfde gemiddelde snelheid plaatsvinden.

Bedieningsduur

De tijd die nodig is om een klant te bedienen is gedefinieerd als de bedieningsduur van het wachstelsysteem. De meeste handelingen bij elke vorm van transport lijken veel op elkaar, maar kunnen desondanks toch geuit worden in verschillende bedieningstijden. Voor het bepalen van de bedieningsduur is gekozen voor de (negatieve) exponentiële verdeling om de bedieningsduur verdeling

na te bootsen, waarin de bedieningen onafhankelijk en continue verdeeld zijn, met een gemiddelde bedieningstijd (per uur) aangegeven met $\frac{1}{\mu}$ ¹⁹.

Notatie voor wachtsysteem

Een wachtsysteem kan worden omschreven in termen van A/B/C/D/E/F²⁰. Elke letter bepaalt een karakteristiek van het wachtsysteem:

A. Tussenaankomsttijd verdeling	Symbolen voor A en B:
B. Bedieningsduur verdeling	• M: Exponentiële verdeling
C. Aantal werkstations s	• D: Deterministische verdeling
D. Wacht discipline	• E: Erlang
E. Aantal plaatsen in het systeem	• G: Niet nader gespecificeerde verdeling
F. Populatie	

De letters A, B en C zijn hierboven al beschreven. De letter D bepaalt hierin de discipline van de wachtrij. In het onderzoek gaan we uit van een FCFS wachtdiscipline, tenzij anders vermeld. De letter E staat voor het totaal aantal klanten in het systeem(capaciteit). In het onderzoek zal deze altijd oneindig zijn, tenzij anders vermeld. De letter F is de grootte van de populatie waaruit de klanten afkomstig kunnen zijn. In het onderzoek zal deze een oneindige waarde aannemen, tenzij anders vermeld.

Bezettingsgraad

Een belangrijke parameter bij berekeningen van wachtrijsystemen is de gemiddelde *bezettingsgraad*. De bezettingsgraad geeft de ratio tussen de gemiddelde aankomstintensiteit en de gemiddelde bedieningstijd weer. Indien de ratio beneden 1 ligt, betekent dit dat het systeem stabiel is. Een ratio van meer dan 1 zal op de lange termijn betekenen dat er meer aankomsten van klanten zijn dan kunnen worden bediend waardoor de wachtrij zal toenemen. Voor een M/M/s/././.. model wordt de bezettingsgraad gegeven door:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

Voor een M/G/1 model wordt de bezettingsgraad gegeven door:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Stationariteitsvoorwaarde

Het systeem is in een stationair evenwicht indien wordt voldaan aan de voorwaarde dat:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

2.2.2 Little's Theorie

Voor het berekenen van wachttijden, doorlooptijden en het aantal wagens in het systeem is gebruik

¹⁹ Indien $\mu = 5$, dan betekent dit, dat r per uur 5 klanten kunnen worden bediend. De gemiddelde tijd die nodig is om een klant te bedienen is dan 1/5 uur.

²⁰ Referenties: Winston 2004, Dictaat OR II

gemaakt van Little's theorie. Deze theorie is gebaseerd op de volgende stelling: *Het verwachte aantal klanten in een stationair wachtrijsysteem is gelijk aan het product van hun verwachte aankomstintensiteit en hun verwachte verblijftijd in het systeem*²¹.

Uit deze stelling is de formule van Little ontstaan:

$$L = \lambda W$$

Met

λ : Gemiddelde aantal aankomsten in het systeem per tijdseenheid

L : Gemiddelde aantal klanten in systeem

W : De gemiddelde doorlooptijd, gemiddelde tijd die een klant door brengt in het systeem

De formule zoals deze hierboven beschreven is, voert berekeningen door aan de verblijftijd van klanten in een wachtrij systeem. De verblijftijd = wachttijd + bedieningstijd. De formule van Little is ook geschikt om te berekenen hoeveel klanten zich in de wachtrij en de server bevinden. Daarvoor gelden de volgende formules:

$$L_q = \lambda W_q$$

Met

L_q : Gemiddelde aantal klanten in wachtrij

W_q : Gemiddelde tijd die een klant doorbrengt in de wachtrij

$$L_s = \lambda W_s$$

Met

L_s : Gemiddelde aantal klanten in bediening

W_s : Gemiddelde tijd die een klant doorbrengt in bediening.

Het M/M/1 Model

In dit onderzoek zijn drie type modellen belangrijk. De eenvoudigste van de drie is het M/M/1/GD/ ∞ / ∞ model. Dit model gaat uit van een van de volgende basiskenmerken:

- Poisson aankomsten, met als aankomstintensiteit λ .
- 1 werkstation
- Exponentieel verdeelde bedieningsduur, met gemiddelde bedieningsduur μ^{-1} .
- De bezettingsgraad wordt gegeven door $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
- De stationariteitsvoorwaarde wordt gegeven door $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$

²¹ Referenties: Winston 2004, Dictaat OR II

In het geval van een M/M/1/GD/∞/∞ model, gelden voor L , L_q en L_s de volgende formules (indien $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$):

M/M/1/GD/∞/∞	
$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L = \lambda W$
$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	$L_q = \lambda W_q$
$L_s = L - L_q$	$L_s = \lambda W_s$

Tabel 1: Formule van Little M/M/1

Het M/M/s Model

Het tweede type model dat van belang is voor dit onderzoek is het M/M/s model. Dit model lijkt veel op het M/M/1 model zoals hierboven besproken. Bij het M/M/1 model ging het om $s=1$, ofwel 1 server die de klanten kan bedienen. Echter gaat het bij een M/M/s model om s servers die klanten kunnen bedienen. De bezettingsgraad wordt nu gegeven door: $\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$

Voor dit model geldt wederom dat $\rho < 1$ om aan de stabiliteitsvoorwaarde te voldoen. Indien $\rho < 1$, dan kan met behulp van de volgende formules berekeningen worden doorgevoerd in het model:

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{s-1} \frac{(s\rho)^i}{i!} + \frac{(s\rho)^s}{s!(1-\rho)}}$$

Waarin π_0 de kans is dat er 0 klanten in het systeem aanwezig zijn (indien wordt voldaan aan de stabiliteitsvoorwaarde). s geeft het aantal servers weer en ρ is wederom de bezettingsgraad.

$$P(j \geq s) = \frac{(s\rho)^s \pi_0}{s!(1-\rho)}$$

$P(j \geq s)$ geeft de kans weer dat alle servers in gebruik zijn. Met behulp van $P(j \geq s)$ is het mogelijk om de lengte van de wachtrij en de wachttijd te berekenen van een M/M/s model met de volgende formules:

$$L_q = \frac{P(j \geq s)\rho}{1-\rho} \text{ en } W_q = \frac{P(j \geq s)}{s\mu - \lambda}$$

Het M/G/1 Model

Het derde type model is het M/G/1/FCFS/∞/∞ model. Dit model gaat uit van:

- Poisson aankomsten, met als aankomstintensiteit λ
- Eén server met een willekeurige bedieningsduur

- Verondersteld wordt dat: $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ (stationariteitsvoorwaarde)
- FCFS

Pollaczek – Khintchine formule²²

Door het gemiddelde en de variantie van de bedieningsduur van de wachtrij te bepalen is het mogelijk om via formule $W_q = \frac{\rho}{2(1-\rho)\mu} (1 + (\mu\sigma)^2)$ de gemiddelde wachttijd te berekenen. Deze formule staat bekend als de Pollaczek-khintchine formule. De parameter $(\mu\sigma)$ is de *variatioëfficiënt* (spreidingsmaat van het gemiddelde) van de bedieningsduurverdeling. Met behulp van deze formule is het mogelijk de wachtrij te analyseren en verdere berekenen door te voeren aan de wachtrijen.

In het geval van een M/G/1/FCFS/∞/∞ model, gelden voor L , L_q en L_s de volgende formules (indien $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$):

M/G/1/FCFS/∞/∞	
$W_q = \frac{\rho}{2(1-\rho)\mu} (1 + (\mu\sigma)^2)$	$L_q = \lambda W_q$
$L = L_q + \rho$	$L = \lambda W$
$L_s = L - L_q$	$L_s = \lambda W_s$

Tabel 2: Formule van Little M/G/1

Theorie Wachtrijnetwerk

In de situatie van Akzo Nobel zijn er meerdere wachtrijssystemen met elkaar verbonden. De output van systeem x is de input van systeem y. Het is van belang om het *netwerk van wachtsystemen* op de juiste manier te definiëren. Voor het opstellen van een netwerk is gebruik gemaakt van Jackson-netwerk wachttijdtheorie²³. Uit de stelling van Jackson blijkt dat de verschillende wachtrijssystemen, ook wel knopen genoemd, onder normale omstandigheden los van elkaar kunnen worden geanalyseerd. Daarvoor dienen de wachtrijssystemen te voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Er zijn N stations op een willekeurige manier verbonden met elkaar. (N wachtrijssystemen)
- Elk station heeft een onbeperkte wachtruimte
- Knoop j bezit s_j onafhankelijke identieke servers, met een exponentiële bedieningstijd $1/\mu_j$
- In elke knoop j is het mogelijk dat klanten via een Poissonproces van buiten aankomen met intensiteit r_j
- Routing gebeurt op basis van kanstoeval. De kans dat een klant bediend in i naar j gaat, ongeacht het verleden, wordt beschreven door p_{ij} , dan wel het netwerk verlaat met kans $1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

Indien de p_{ij} bekend zijn is het mogelijk de routeringsmatrix op te stellen met de routeringskansen.

²² Referenties: Winston 2004, Dictaat OR II

²³ Referenties: Winston 2004, Dictaat OR II

Voldoet het netwerk aan deze definitie, dan is het mogelijk de totale gemiddelde aankomstintensiteit λ_i te berekenen voor knoop i met behulp van $\lambda_j = r_j + \sum_{i=1}^N p_{ij} \lambda_i$ met $1 \leq j \leq N$. Met behulp van deze vergelijking is het mogelijk de verkeersvergelijkingen op te stellen en het netwerk eenvoudiger te analyseren.

Er dient te worden voldaan aan de stabiliteitsvoorwaarde dat $\lambda_j < s_j \mu_j$ om te voorkomen dat op de lange duur het aantal klanten in het netwerk niet overspoeld. Indien daar aan wordt voldaan is het mogelijk om elk station j te behandelen als een $M/M/s_j /GD/\infty/\infty$ systeem met aankomstintensiteit λ_j en bedieningstijd μ_j .

Het gemiddeld aantal klanten in het systeem (L) kan uiteindelijk gevonden worden door van alle losse systemen het gemiddeld aantal klanten te berekenen en bij elkaar op te tellen. Voor het toepassen van de formule van Little is het mogelijk om de formule $L = \lambda W$ toe te passen voor het gehele systeem met $\lambda = r_1 + r_2 + \dots + r_N$

2.2.3 Criteria

Met behulp van de wachttijdtheorie is het mogelijk om berekeningen door te voeren aan de lengtes van wachtrijen en wachttijden. Daarnaast is het mogelijk om de wachttijdkosten in kaart te brengen. De volgende criteria zijn opgesteld voor de *doorstroming* van het verkeer op de locatie:

- **Wachttijden:** Het verkorten van de wachttijden speelt een belangrijke rol in dit onderzoek. Wachttijd is een duidelijke variabele(indicator) van doorstroming op het terrein. Hoe langer de wachttijden, des te slechter de doorstroming.
- **Wachtrijlengte:** de lengte van bepaalde wachtrijen kan overig verkeer blokkeren, waardoor het de doorstroming kan dwars zitten. Daarom is het van belang de lengtes mee te nemen in het onderzoek.

2.3 Kostenanalyse

Bij de analyse van verschillende mogelijke oplossingen is het van belang dat er een kostenraming voor bepaalde aanpassingen wordt opgesteld. Zo kan de afweging tussen kosten en baten van alternatieven helder worden gemaakt. Op het gebied van kosten zullen investeringen gemaakt moeten worden in de huidige inrichting. Daarnaast is het mogelijk dat er besparingen optreden als gevolg van kortere wachttijden. Verder moet er gekeken worden of de gebruikskosten hetzelfde blijven, dan wel stijgen of dalen. De volgende criteria zijn opgesteld voor de kosten:

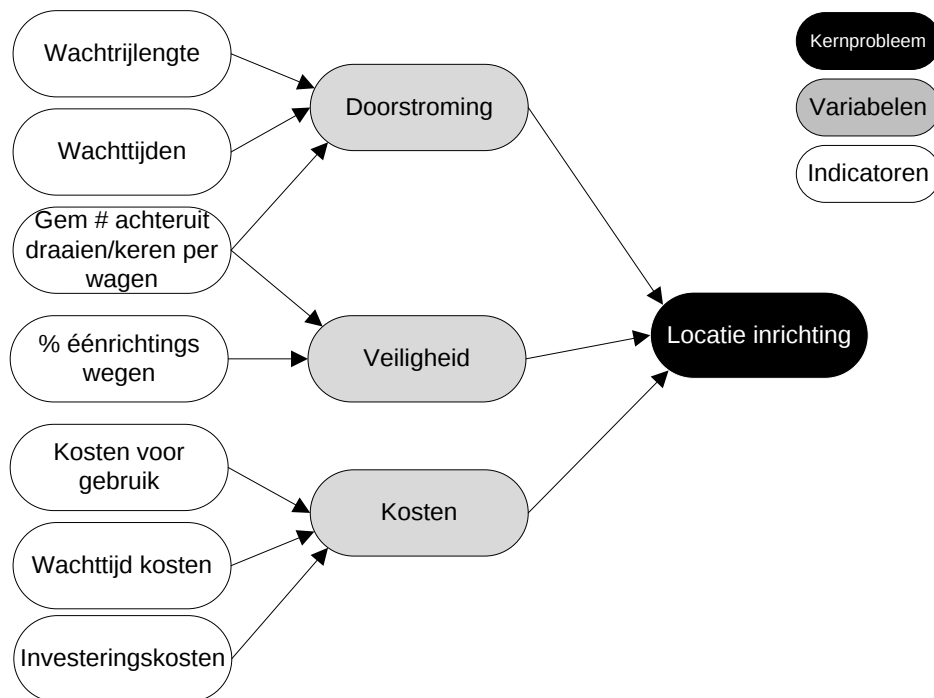
- **Wachttijdkosten:** Door het verlagen van wachttijden is het mogelijk om kosten te reduceren. Deze kostenbesparing kan worden meegenomen in de kostenraming voor alternatieven.
- **Investeringskosten:** Het invoeren van aanpassingen brengt kosten met zich mee. Aan de hand van verwacht opbrengst van nieuwe investeringen is het mogelijk te bepalen of het een winstgevend investering is. Daarnaast kunnen verschillende investeringen met elkaar worden vergeleken op kosten van de investering.



- **Kosten voor gebruik:** De kosten die gemaakt worden voor het gebruik van de huidige situatie of een nieuw alternatief.

2.4 Conclusie

Op grond van de voorgaande paragrafen is het mogelijk de locatie inrichting te omschrijven in meetbare termen. Om een oordeel te geven over de locatie inrichting moeten de doorstroming, veiligheid en kosten worden geanalyseerd volgens de criteria zoals opgesteld in dit hoofdstuk. Met behulp van het onderstaande model is het mogelijk om te kijken waar de problemen op het gebied van veiligheid en doorstroming van het transport zich op dit moment bevinden, om zodoende een oordeel te geven over de huidige situatie. Vervolgens kunnen de criteria worden vergeleken met de gewenste situatie om te zien waarin winst kan worden behaald ten opzichte van de huidige situatie. Daarnaast is het mogelijk de verschillende alternatieven onderling af te wegen, door te kijken naar de toegevoegde waarde op de verschillende criteria. In figuur 6 is te zien hoe de locatie inrichting kan worden opgesplitst in meetbare onderdelen.



Figuur 6: Operationalisatie

Naast deze criteria moet er rekening worden gehouden met de opgestelde randvoorwaarden:

- Genoeg ruimte bij laadpunten, 60cm ruimte voor passerend voertuig.
- De wegen moeten breed genoeg zijn om de breedste voertuigen veilig te laten passeren, 20cm ruimte over aan beide zijden van het voertuig.

Hoofdstuk 3 Huidige transportsituatie

In dit hoofdstuk wordt de huidige transportsituatie geanalyseerd om een duidelijk beeld te vormen over de verschillende transportstromen zoals deze in de huidige situatie lopen. Er wordt daarmee antwoord gegeven op de eerste deelvraag: *Hoe ziet de huidige transportsituatie eruit op de locatie?* Er wordt onder meer gekeken naar het gemiddeld aantal wagens over een jaar en naar het aantal wagens op piek dagen. Op piekmomenten zijn de problemen namelijk het grootst. In het geval er op de piekdagen goed kan worden gehandeld, zal het op minder drukke dagen ook zonder problemen verlopen. Paragraaf 3.1 geeft een overzicht van de manier waarop de wegen en poorten worden gebruikt en hoe er met veiligheid wordt omgegaan. In 3.2 zal de verdeling van de verschillende transportsoorten worden beschreven. In paragraaf 3.3 en 3.4 wordt vervolgens de analyse van de wachttijdtheorie toegepast.

3.1 Overzicht en veiligheid

Om tot aanbevelingen te komen voor de verbetering van het transport op de locatie, worden in deze paragraaf het huidige gebruik van de wegen, poorten, laadpunten en weegbruggen op de locatie in kaart gebracht. Figuur 7 bevat een plattegrond met daarop de belangrijkste punten in het transportproces. In het overzicht zijn met rode cirkels de verschillende los en laadpunten weergegeven. Evenals de 4 poorten en wegen die momenteel worden gebruikt.

Voor het lezen van deze kaart is een overzicht gemaakt in tabel 3 van de routes die de verschillende soorten transport afleggen over de locatie. Daarbij zijn tevens aangegeven het aantal handelingen dat moet worden uitgevoerd, evenals het gemiddelde aantal meters dat moet worden afgelegd van beginpunt(poort) tot eindpunt op de locatie (tabellen 4,5 en 6). Deze meting is gedaan via bouwtekening A0.1.106.486²⁴.

Afdeling Zoutproductiebedrijf

Soort	Melden bij	Route op de locatie	Afmelden bij
Wegenzout	Poort 2	Opstelplaats → Naar binnen via poort 3 → via Oostelijke rondweg naar weegbrug/laadpunt → beladen met zout → Via Hoofdweg Zoutbedrijf naar poort 2	poort 2
Pekel	Poort 2	Opstelplaats → Naar binnen via poort 3 → via Oostelijke rondweg naar weegbrug → Via Hoofdweg Zoutbedrijf naar poort 2 → afmelden poort 2 → via Boortorenweg naar poort 3 → Pekel laden → Keren → Via poort 3 naar Boorterenweg → Naar binnen via poort 3 → via Oostelijke rondweg naar weegbrug → Via Hoofdweg Zoutbedrijf naar poort 2 →	Poort 2
Soda	Poort 1	Naar binnen via poort 1.5 → Keren op de Zoutindustrieweg → Soda lossen → verlaat terrein via poort 1.5	n.v.t.
Kalk	Poort 1.5	Naar binnen via poort 1.5 → Keren op de Zoutindustrieweg → Kalk lossen → verlaat terrein via	n.v.t.

²⁴ Beschikbaar binnen Akzo Nobel Hengelo. Kaart van de locatie met schaal 1 op 1000

		poort 1.5	
Natronloog/ zoutzuur	Poort 2	Poort 2 naar binnen→ Direct insteken om te lossen→ via poort 2 terrein verlaten	n.v.t.

Afdeling Specialties

Soort	Melden bij	Handelingen op de locatie	Afmelden bij
Droogzout	Poort 2	Opstelplaats→ via poort 2 naar binnen→ achteruit insteken onder het laadpunt vanuit de Hoofdzoutweg→ beladen→ afmelden bij poort 2	poort 2
Verpakt zout	Poort 2	Opstelplaats → Naar binnen via poort 3→via Oostelijke rondweg naar laadpunt→ beladen met zout→ Via Hoofdweg Zoutbedrijf naar poort Heeft 3 laadpunten met verschillende afstanden. Gemiddeld gezien komt de afstand uit op ongeveer 300 meter.	Poort 2
Speciaal zout	Poort 2	Opstelplaats→ via poort 2 naar binnen→ achteruit steken om op weegbrug te komen→ via de Hoofdzoutweg richting laadpunt→ achteruitsteken om te beladen→ via Hoofdzoutweg achteruit steken om vol te wegen→afmelden bij poort 2. <i>Heeft 2 laadpunten, wederom gemiddelde afstand gemeten</i>	Poort 2
Emballage	Poort2	Via poort 2 naar binnen→ via Hoofdzoutweg naar Zoutverwerkingsweg→ aan het einde van Zoutverkerkingsweg keren→ lossen van emballage→ terrein verlaten bij poort 2.	n.v.t.

Overig verkeer

Soort	Melden bij	Handelingen op de locatie	Afmelden bij
AMagazijn	Poort 1	Via poort 1.5 naar binnen→ via Kolenweg en Zoutindustrieweg naar het Amagazijn→ Lossen van producten→keren en via dezelfde route het terrein verlaten	n.v.t.
Denim water	Poort 1	Via poort 1.5 naar binnen→ via kolenweg en Zoutindustrieweg naar het Amagazijn→ Lossen van denimwater→keren en via dezelfde route het terrein verlaten	n.v.t.

Tabel 3: Overzicht routes

De analyse van het huidige routenetwerk geeft het volgende overzicht:

3.1.1 Afdeling Zoutproductiebedrijf

Soort	Melden bij	Afmelden bij	# keren/draaien	Gem. # meters af te leggen	Doorrij laadpunt
Wegenzout	Poort 2	poort 2	0	220	ja
Pekel	Poort 2	Poort 2	1	220+140+200+140+220= 920	ja
Soda	Poort 1	n.v.t.	1	150	ja
Kalk	Poort 1.5	n.v.t.	1	150	nee
Natronloog/zoutzuur	Poort 2	n.v.t.	1	50	nee

Tabel 4: Overzicht en veiligheid ZPB

3.1.2 Afdeling Specialties

Soort	Melden bij	Afmelden bij	Keren?	Gem. # meters af te leggen	Doorrij laadpunt
Droogzout	Poort 2	poort 2	1	200	nee
Verpakt zout	Poort 2	Poort 2	0	300	ja
Speciaal zout	Poort 2	Poort 2	3	275	ja
Emballage	Poort2	n.v.t.	1	420	ja

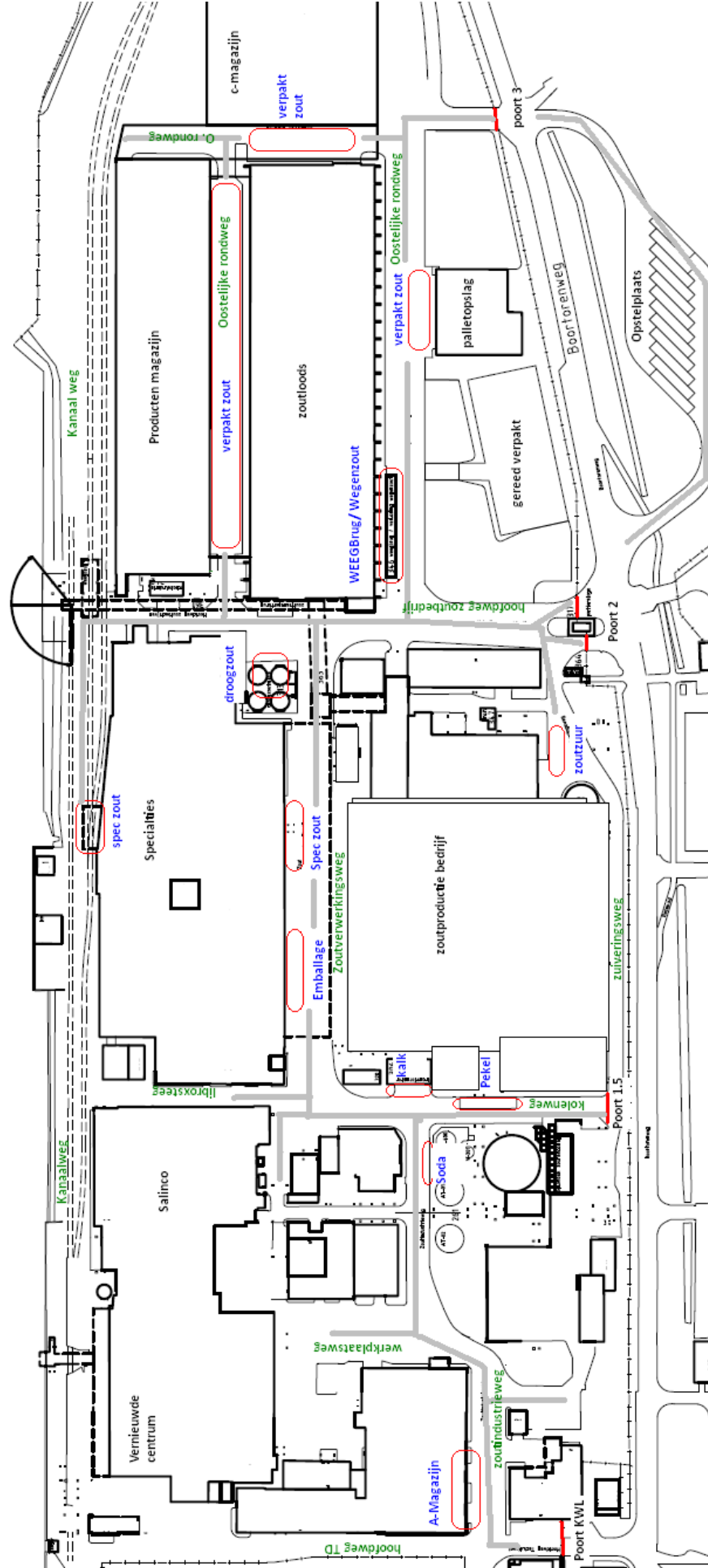
Tabel 5: Overzicht en veiligheid Specialties

3.1.3 Overig verkeer

Soort	Melden bij	Afmelden bij	Keren?	Gem. # meters af te leggen	Doorrij laadpunt
AMagazijn	Poort 1	n.v.t.	1	350	ja
Denim water	Poort 1	n.v.t.	1	200	nee

Tabel 6: Overzicht en veiligheid overig

Naast het vrachtwagentransport over de locatie, is er nog het continue verkeer van heftrucks. Op de Oostelijke rondweg, Hoofdweg zoutbedrijf en Zoutverwerkingsweg rijden heftrucks in beide richtingen over het terrein op de daarvoor gemarkeerde stukken. Uit onderzoek van HSE blijkt dat er met heftrucks vaak veel incidenten plaatsvinden. Echter om dit onderzoek niet te ruim te maken is ervoor gekozen het heftruck verkeer links te laten liggen. Dat betekent dat er niet wordt gekeken naar oplossingen voor rijroutes van het heftruckverkeer. Er zal wel rekening worden gehouden met de aanwezigheid en rijrichtingen van het heftruck verkeer om het overige transport daarop af te stemmen. In appendix 3 staan een aantal overige opmerkingen over de situatie op het terrein.



- Poorten
- Laad/lospunt
- gebruikte routes
- routes
- ABC Wegennaam
- ABC Transportsoort

| Bacheloropdracht V. D. G. Bak **Figuur 7: Overzicht van de locatie Hengelo**

3.2 Verdeling van transport

De transportproblemen op de locatie hebben betrekking op alle afdelingen binnen Akzo Nobel Hengelo. Voornamelijk de afdelingen zoutproductiebedrijf en Salt Specialties hebben te maken met dit logistieke probleem, omdat voor deze twee afdelingen de meeste beladingen per dag plaats vinden. In deze paragraaf worden de aantallen wagens per jaar, dag en uur beschreven per transportsoort.

Drukke dagen

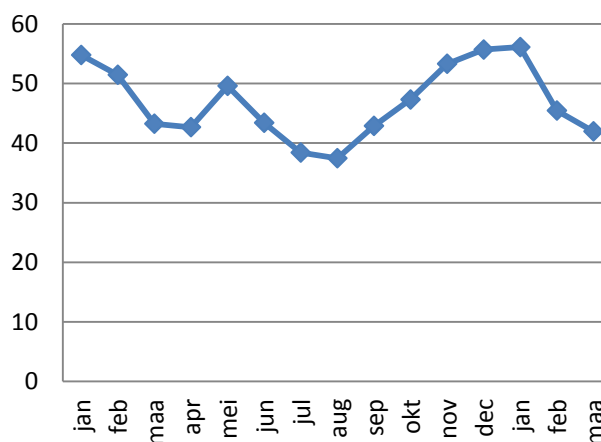
Het is van belang dat er op een druk moment wordt gemeten. Het doorstromingsprobleem van het transport speelt vooral in de winterperiode. Om die reden wordt er in het onderzoek dus voornamelijk gekeken naar de belasting van het terrein op drukke dagen. In de analyse van wachttijden wordt uitgegaan van het gemiddelde van 2 achtereenvolgende drukke dagen, omdat de vraag van 1 piekdag vaak over 2 dagen wordt verspreid. Verder is het voor het toepassen van wachttijdtheorie belangrijk om een stabiel systeem te hebben, waardoor de analyse beter is over 2 dagen genomen.

3.2.1 Salt Specialties

Naar aanleiding van een gesprek met de planner en beschikbare documentatie van Specialties zijn de volgende bevindingen gedaan in de transportstromen van de afdeling.

De afdeling Specialties heeft te maken met 4 soorten transport: Verpakt zout, Droogzout, Emballage en Speciaal zout. Het beladen van verpakt zout wordt bij Specialties bijgehouden in een Excel bestand²⁵, waarop van dag tot dag de hoeveelheid wagens is te zien. Op jaarbasis komt het gemiddelde aantal wagens per dag uit op 46,67 wagens. Uit een gesprek met de planner van Specialties blijkt dat er gemiddeld per dag 22 wagens niet geregistreerd worden in de lijst die ik ter beschikking heb gekregen, maar wel onder dezelfde afdeling vallen. Uit het gesprek blijkt dat de niet geregistreerde hoeveelheden weinig variëren per dag. Uit de cijfers vanaf januari 2010 zijn er op de drukste dag 72 wagens geregistreerd en 22 niet geregistreerd in het document. Totaal dus 94 wagens op een drukke dag. In figuur 8 is een jaaroverzicht waarin per maand het gemiddelde aantal geregistreerde wagens per dag wordt gepresenteerd.

Aantal Wagens, Verpakt Zout 2010-2011



— Aantal transportwagens zoutverpakkingen

Figuur 8: Gem. # Geregistreerde verpakt zout wagens per dag

Het tijdstip van transport ligt tussen 6.00 en 21.30 uur, wat uitkomt op 15,5 uur per dag. De wagens worden verdeeld in timeslots over de gehele dag via een online planning systeem, zodat er per uur

²⁵ Appendix 4: voorbeeld van Excel bestand afdeling specialties

weinig variatie zit in het aantal wagens. Er zijn in totaal 4 laadpunten voor verpakt zout beschikbaar. Op hele drukke dagen wordt er soms een extra heftruck ingezet bij het beladen van de verpaktzout wagens. Daarnaast komt het voor dat er een uur langer doorgewerkt wordt. Bij het afnemen van een interview met logistieke medewerker zijn de volgende bedieningstijden vastgesteld voor de afdeling Specialties:

Soort:	Gem. # wagens per dag	Gem. # wagens per uur	Gem. # wagens drukke dag	Gem. # wagens per uur, drukke dag	Laadtijd(min)
Verpakt zout	68,67(46,67+22)	4,43	94 (72+22)	6,06	45
Droog zout	20	1,29	20	1,29	25
Speciaal zout	5	0,32	5	0,32	25
Emballage	5	0,32	5	0,32	20
Totaal:	98,67	6,37	123	8	n.v.t.

Tabel 7: Aantal wagens afdeling Specialties

3.2.2 Zoutproductiebedrijf

Naar aanleiding van een gesprek met de logistieke planner binnen het zoutproductiebedrijf zijn de volgende bevindingen gedaan in de transportstromen van de afdeling.

Voor het zoutproductie bedrijf is het aantal wagens sterk afhankelijk van de variërende vraag door slecht winterweer. Doorgaans wordt het normale LAC -zout via schepen vervoerd gedurende het jaar. Wegenzout en pekkel worden voornamelijk beladen in de winter. Van april tot september is de vraag naar wegzout en pekkel zeer laag²⁶. In een Excel bestand²⁷ worden de beladingen van wegzout en pekkel van dag tot dag bijgehouden. Er zijn helaas geen tijdstippen aanwezig waarop de wagens arriveren. Uit gesprekken blijkt dat er soms in korte tijd meerdere auto's naar het terrein komen, waardoor er soms zeer veel wagens staan te wachten om het terrein te betreden.

Voor de productie van zout zijn elke dag ladingen benodigd van Soda en Kalk. Eenmaal per maand worden er nog chemicaliën gelost als zoutzuur/natronloog. Deze hoeveelheid is echter zo beperkt, dat het niet van invloed zal zijn op dit onderzoek en zal daarom weinig invloed hebben op het probleem, dat deze transportsoort achterwege is gelaten in het onderzoek.

De belading van pekkel en wegzout kan 24 uur per dag plaatsvinden, echter zijn de aankomsten niet helemaal gelijk verdeeld van uur tot uur. Er kunnen per uur ongeveer 5 wegzout wagens worden beladen indien er geen gebruik wordt gemaakt van de weegbrug door overig transport. Normaal gesproken maken pekkel en speciaal zout ook gebruik van de weegbrug, waardoor het niet altijd mogelijk deze 5 wegzoutwagens te beladen binnen een uur. Hieronder volgt een overzicht van de verschillende soorten transport van het zoutproductie bedrijf zoals deze zijn vastgelegd tijdens het interview met de logistieke medewerker.

Soort:	Gem. # wagens per dag	Gem. # wagens per uur	Gem. # wagens drukke dag	Gem. # wagens per uur, drukke dag	Laadtijd (min)
--------	--------------------------	--------------------------	-----------------------------	---	-------------------

²⁶ Appendix 5: jaaroverzicht wegzoutvraag

²⁷ Appendix 5: aantal wagens per dag

Pekel	1,07	0,04	16	0.67	70
Wegenzout	2,57	0,11	80	3,33	12
Soda	1	0,1	1	0,1	90
Kalk	2	0,2	2	0,2	90
Totaal	6,64	0,45	102	4,88	n.v.t.

Tabel 8: Aantal wagens afdeling Zoutproductiebedrijf

Het wegen van de wagens gebeurt op het laadpunt van de wegzout wagens. Omdat wegzout wagens al staan opgesteld op de weegbrug kost dit slechts 2 minuten (leeg+vol) voor wegzout. Voor pekkel en speciaal zout geldt dat een weging ongeveer 3 minuten in beslag neemt.

3.2.3 Overig transport

Uit korte gesprekken met de magazijnchef en de verantwoordelijke van Salinco zijn de volgende bevindingen gedaan in de transportstromen voor deze afdelingen.

Het A-Magazijn ontvangt per dag ongeveer 7 a 8 ladingen, waarvan er 3 tot 4 met een vrachtwagen worden geleverd. Hierin zijn allerlei producten opgeslagen zoals veiligheidshelmen, jassen, schoenen, maar ook spullen voor de afdeling Salinco. Uit een kort gesprek blijkt dat Salinco ongeveer 4 vrachtwagens per week nodig heeft voor het afhalen van denimwater uit het productieproces van Salinco.

	Bediening tijd(min)	Wagens per dag	Wagens per uur
A magazijn	12	4	0,5
Salinco	60	1	0,06
Chemicaliën	90	1	0,06

Tabel 9: Aantal wagens overige afdelingen

Naast het vrachtwagenverkeer zijn er ook andere weggebruikers op het terrein van Akzo Nobel. Met het oog op veiligheid moet er rekening gehouden worden met mensen die te voet zijn, mensen op een fiets, personenauto's en bestelbussen. Daarnaast rijden er continue heftruckwagens over het terrein. Deze dienen te allen tijde hun werk naar behoren te kunnen uitvoeren zonder gehinderd te worden door stilstaand vrachtverkeer. Zij zorgen voor toevoer van producten/ goederen naar de juiste plaats en zorgen voor het beladen van verpakt zout wagens.

3.3 Wachttijden

In deze paragraaf wordt verder ingegaan op de verschillende wachttijden die ontstaan tijdens drukke winterdagen. Door gebruik te maken van het theoretisch kader is het mogelijk om knelpunten in het transportnetwerk op te sporen.

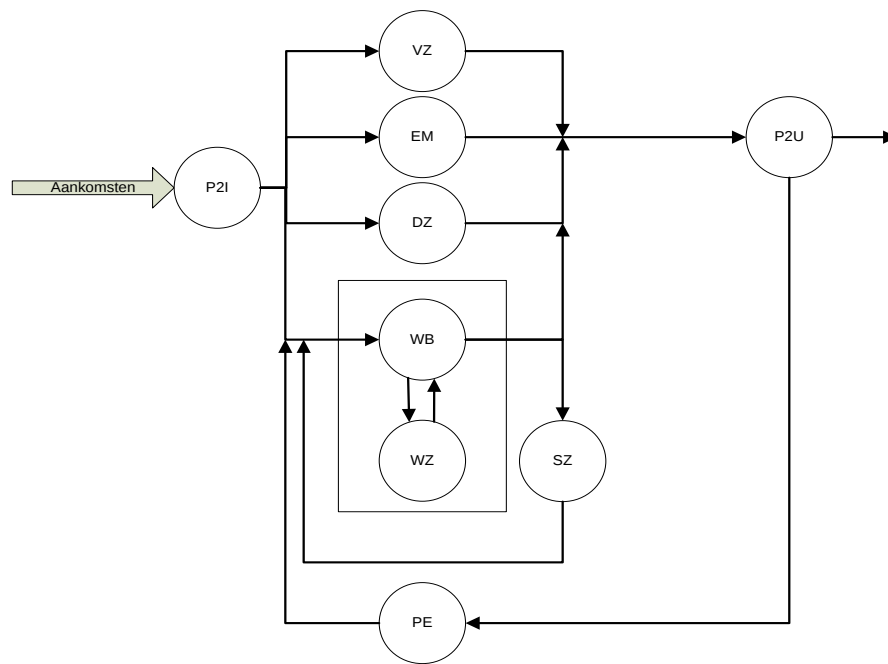
3.3.1 De werkstations

Het terrein bevat op dit moment een aantal werkstations waar vrachtwagens kunnen worden bediend. Om het geheel van wachtrijen niet te complex te maken is er een afbakening gemaakt voor het analyseren van de wachttijden. Transport van Kalk, Soda, denimwater en Amagazijn kunnen zich altijd melden bij poort 1 om vervolgens vrijwel direct het terrein te betreden. Deze transportstromen blijven altijd aan de *linkerkant* van het terrein. Daarnaast bestaat het aantal wagens per dag uit zeer geringe

aantallen variërend van 1-4 wagens per dag per stroom. Doordat ze gesitueerd zijn aan de linkerzijde van het terrein hebben ze geen invloed op poort 2 of de weegbrug. Daarom worden deze transportsoorten in het netwerk weggelaten vanwege de zeer geringe invloed op de wachttijden. De overige transportstromen die wel invloed hebben op de wachttijden bestaan uit de volgende wachtrijsystemen:

- **Poort 2 ingang (P2I):** Werkstation voor aanmelden bij poort 2
- **Verpakt Zout (VZ):** Werkstation voor Verpakt Zout belading
- **Weegbrug (WB):** Werkstation voor het wegen van vrachtwagens
- **Droogzout (DZ):** Werkstation voor het beladen van droogzout
- **Pekel (PE):** Werkstation voor het beladen van Pekel
- **Speciaal zout(SZ):** Werkstation voor het beladen van speciaalzout
- **Wegenzout(WZ):** Werkstation voor het beladen van wegzout
- **Emballage(EM):** Werkstation voor het uitladen van emballage
- **Poort 2 Uitgang(P2U):** Werkstation voor afmelden/ondertekenen vrachtbrieven(Zelfde server als P2I)

De wachtplaats voor P2I, VZ, WB, PE SZ en EM is normaal gesproken altijd buiten het terrein op de opstelplaats of in geval van grote drukte op de Boortorenweg. Er is op het terrein namelijk weinig ruimte om een wachtrij te organiseren. Alleen bij de weegbrug staan er vaak een klein aantal wagens op het terrein, omdat verschillende transportstromen daar gebruik van maken en op gelijke tijden richting de weegbrug gaan. De wachtrij van P2U is wel op het terrein en kan daarmee het overige verkeer blokkeren. Deze 8 handelingen worden via een open netwerk systeem afgehandeld op de volgende manier:



Figuur 9: Wachtrij netwerk



Omdat het netwerk verschillende soorten wachtrijsystemen bevat, namelijk M/M/1, M/M/2 en M/G/1 modellen, is het zeer lastig om het netwerk theoretisch te analyseren. De situatie bij de weegbrug is een M/G/1 systeem, waar het wegen van wagens en het beladen van wegzoutwagens gebeurt op dezelfde plek met verschillende bedieningsduren. Een M/G/1 Model bevat een willekeurige bedieningsduur verdeling en voldoen daarom niet aan de eisen van een Jackson netwerk zoals beschreven in hoofdstuk 2. Daarom wordt hieronder een afbakening gemaakt van het netwerk zoals deze is afgebeeld in figuur 9.

Analyse van de losse wachtrijsystemen laat zien dat EM, SZ en DZ weinig problemen vertonen²⁸. De wachttijden zijn dusdanig klein dat ze verwaarloosbaar zijn in het netwerk. Echter ondervinden ze wel hinder van de overige transportstromen die zorgen voor blokkade van de toegangswegen naar de laadpunten. De aantallen spelen wel een rol bij het aan/afmelden bij P2I/P2U. Omdat de invloed van EM, SZ en DM knopen dusdanig klein is, worden deze afgebakend voor een vervolg analyse en slechts meegenomen als aantallen in de overige wachtsystemen.

Voor VZ is al een online timeslot planning systeem, waardoor wachttijden al worden gereduceerd in het wachtsysteem voor VZ. Omdat er al een geschikt online timeslot planning systeem is, wordt de analyse van dit losse systeem buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. Echter de grote aantallen wagens van VZ drukt wel op het aantal aankomsten bij P2I/P2U.

Door het afbakenen van de minimaal invloedhebbende systemen en het al geoptimaliseerde VZ systeem zijn er uiteindelijk 3 zorgwekkende wachtrijsystemen over die verder worden geanalyseerd in dit onderzoek.

De 3 situaties bestaan uit het systeem van de weegbrug(WB) en wegzout, het systeem van het aan/afmelden bij P2I/P2U en het systeem van de pekelverlading(PE) met een lange bedieningstijd en omslachtige route op het terrein.

3.4 Analyse

In deze paragraaf vindt de analyse plaats door berekeningen door te voeren met behulp van de theorie over wachttijden. De parameters in deze paragraaf zijn het aantal aankomsten per uur λ en het aantal services per uur μ .

3.4.1 Pekelverlading

²⁸ Appendix 13: Geeft inzicht in de wachttijden van EM, SZ en DZ.

²⁹ Gebaseerd op basis van 2 achtereenvolgende drukke dagen.

3.4.2 Aan/ afmelden bij poort 2

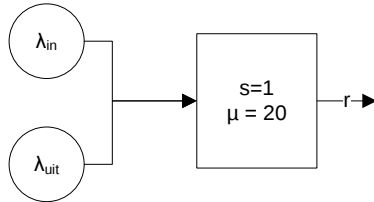
Het wachtrijsysteem kan als volgt worden beschreven:

- Het aankomst proces wordt beschreven als een Poisson proces met intensiteit $\lambda = \lambda_{\text{in}} + \lambda_{\text{uit}}$
- De klanten komen het werkstation binnen via 2 wachtlijnen, namelijk voor het betreden van het terrein en voor het verlaten van het terrein.
- Verondersteld wordt dat de bedieningstijden per klant exponentieel verdeeld zijn met parameter μ ongeacht of het gaat om de ingaande of uitgaande transportstroom.
- Er is 1 bediende die de klanten bediend. $s=1$
- De stabiliteitsvoorwaarde luidt als volgt: $\rho = \lambda/\mu < 1$

Het systeem is dus een M/M/1/GD/ ∞/∞ model met een gemiddelde bedieningsduur van 0,05 uur per wagen. Voor het bepalen van de aankomstintensiteit wordt gekeken naar de som van het aantal aankomsten op een drukke dag³³.

$$\lambda_{in} = \sum \text{alle aankomsten bij ingang poort 2} = 12$$

$$\lambda_{uit} = \sum \text{alle aankomsten bij uitgang poort 2} = 12,67 \text{ (12 + 0,67 vanwege 2 maal afmelden pekel)}$$



De totale som van aankomsten is dus $\lambda_{tot} = 24,67$

De gemiddelde bedieningsduur ligt op 3 minuten per klant. Daarmee komt het aantal services uit op $\mu = 20$. Dat zou betekenen dat niet aan de stabiliteitsvoorwaarde wordt voldaan, wat inhoudt dat de rij op de lange duur oneindig zal oplopen. Dit wordt momenteel opgelost door overuren te draaien. De drukte houdt in principe niet dagen lang aan, waardoor het aantal aankomsten weer kan zakken onder de 20 en het systeem weer stabiel is.

Deze aankomsten zijn gemeten door het aantal aankomsten van alle stromen bij elkaar op te tellen. Echter worden sommige transportsoorten slechts van 6:30 tot 22:00 bediend. Ze zijn daarmee niet uitgesmeerd over 24 uur maar over 15,5 uur. Om toch inzicht te verkrijgen in de wachtrij wordt er verondersteld dat alle transportsoorten 24 uur lang het terrein kunnen betreden en verlaten. Indien alle servers 24 uur beschikbaar zijn, verkrijgen we de volgende aankomstintensiteit:

$$\lambda_{in} = 9,17$$

$$\lambda_{uit} = 9,83$$

$$\lambda_{tot} = 19$$

Hiermee is het wel mogelijk een beeld te geven van de gemiddelde aantallen op een drukke dag bij poort 2. Door gebruik te maken van de formules van Little zijn de volgende wachttijden en aantallen wagens per uur berekend³⁴:

- Gemiddeld aantal wagens in het systeem: 19 wagens
- Gemiddeld aantal wagens in de wachtrij: **18,05 wagens**
 - **Waarvan 9,34 voor de uitgang van het terrein**
- Gemiddelde wachttijd per vrachtwagen: **0,95 uur ofwel 57 minuten.**

³³ Referentie: Cijfers 2010, aankomsten afkomstig uit de tabellen 7 en 8.

³⁴ Appendix 14: Berekeningen wachttijdmodel

Conclusie

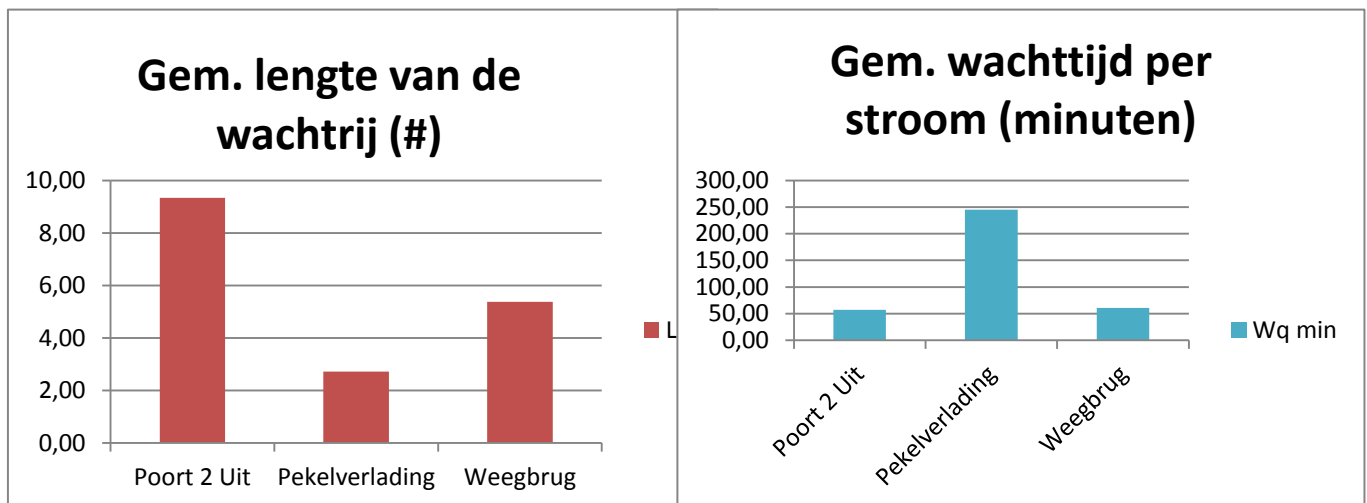
Poort 2 komt op drukke dagen in de problemen doordat het aantal aankomsten te groot is om te kunnen verwerken. Uitgaande van een 24 uren berekening staan er gemiddeld bijna 10 wagens te wachten voor de uitgang van poort 2. Dat is gezien de kruisende routes op dat punt zeer onwenselijk. Hiermee worden de routes van Emballage, Droogzout en speciaalzout volledig geblokkeerd. Bovendien is de wachttijd voor alleen het verlaten van het terrein erg hoog, wat voor een simpele handeling als het ondertekenen van een vrachtbrief voor veel irritatie kan zorgen bij de transporteur. Dit kan worden opgelost door ofwel het aantal aankomsten te verlagen of de bedieningscapaciteit te verhogen.

3.4.3 De weegbrug

³⁵ Referentie: Winston(2004)³⁶ Appendix 14: bevat berekeningen in het model³⁷ Appendix 14: bevat berekeningen in het model

3.5 Conclusies

De 3 systemen zijn los van elkaar geanalyseerd, waarmee een goed beeld is geschetst over de wachttijden en aantallen wagens die betrokken zijn bij de verschillende systemen. Er moet echter wel rekening worden gehouden met de berekeningen die doorgevoerd zijn. Deze gaan er namelijk vanuit dat het een stabiel systeem dat al actief is met de aankomsten en bedieningsduur zoals deze zijn vermeld. Echter zal in werkelijkheid het systeem leeg beginnen, en vervolgens langzaam naar de stabiele toestand toe bewegen. In andere woorden: de wachtrij zal naar mate de dag vordert steeds langer worden en zich richting de berekende lengte van de wachtrij begeven.



Figuur 10: Overzicht in wachtrijlengte en wachttijd

De conclusie die kan worden opgemaakt na de analyse van de wachtrijen is dat alle 3 systemen verre van optimaal functioneren, waardoor wachttijdskosten onnodig hoog oplopen. De volgende behoeftes zijn nodig om de situatie te verbeteren:

- Er is behoefte aan verandering bij poort 2. Dit kan op 2 manieren, door minder transport via deze poort te laten verlopen waardoor de intensiteit omlaag gaat of door meer capaciteit te verkrijgen in het werkstation, waardoor wagens sneller van het terrein kunnen.

- Er is behoefte aan verandering bij de weegbrug. Door de huidige situatie zitten 3 transportsoorten elkaar in de wegweg door met verschillende bedieningsduur gebruik te maken van de weegbrug.
- De laadtijd van pekel zorgt op piekmomenten voor een enorme toename in de gemiddelde wachttijd. Daarmee lopen de kosten onnodig hoog op. De bottleneck in dit proces is de lange servicetijd van het pekel verladingsstation.

Hoofdstuk 4 zal ingaan op het ontwerp van de ideale situatie voor het transportgebruik van het terrein voor het aanpakken van de bottlenecks en het creëren van een veiligere verkeerssituatie.



Hoofdstuk 4 Gewenste situatie

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de gewenste situatie met betrekking tot de inrichting van de locatie. In de gewenste situatie wordt er gestreefd naar een werkomgeving waar er vanuit wordt gegaan dat alle verkeersincidenten kunnen worden voorkomen. Daarmee sluit dit aan op de werkwijze van Akzo Nobel Hengelo. Door het toepassen van de juiste risico inventarisatie op de locatie van Akzo Nobel is het mogelijk de kans op incidenten te minimaliseren. Daarnaast worden de eisen opgesteld aan de wachttijden voor het locatietransport. In dit hoofdstuk vindt de beantwoording van deelvraag 2 plaats: *Hoe ziet de ideale transportsituatie eruit op de locatie?* In paragraaf 4.1 worden de eisen voor de wachttijden besproken. In paragraaf 4.2 zal de veiligheidssituatie worden besproken.

4.1 Wachttijdverkorting

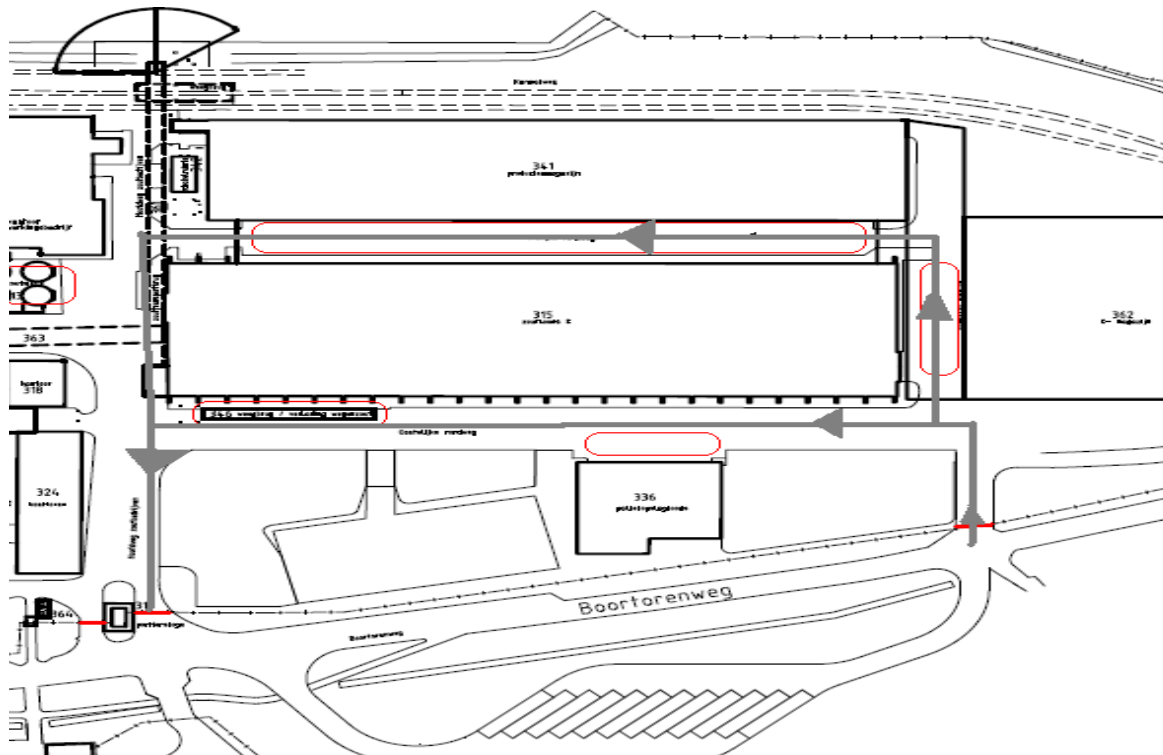
Door aanpassingen in het routenetwerk op de locatie is het goed mogelijk dat een aantal wachttijdsystemen worden ontlast. In de gewenste situatie zijn de volgende eisen gesteld aan de doorstroming in het transport:

- Het aantal opstelplaatsen voor de uitgang van poort 2 bedraagt maximaal een gemiddeld aantal van 3 wagens op drukke piekdagen. Dan zitten de wagens die wachten op bediening bij poort 2 het overige verkeer niet meer in de weg. Het aantal opstelplaatsen is dus het aantal wachtende klanten plus de klant in bediening (2 wachtende + 1 in bediening).
- De doorlooptijd (na het aanmelden bij de portier) voor pekkel bedraagt maximaal 2 uur. Na 2 uur dient Akzo Nobel de wachttijdkosten zelf te betalen.
- De doorlooptijd (na het aanmelden bij de portier) voor wegenzout bedraagt maximaal 1 uur. Na 1 uur dient Akzo Nobel de wachttijdkosten zelf te betalen.
- De belasting op de weegbrug wordt verminderd, maximaal 30 minuten wachttijd.
- Om het openbaarverkeer te ontlasten moeten er genoeg opstelplaatsen beschikbaar zijn voor vrachtwagens om niet op de openbare weg (de Boortorenweg) plaats te nemen alvorens ze het terrein op kunnen.

4.2 Verkeersveiligheid

Het eerste afzonderlijke deel bestaat uit het routenetwerk van verpakt zout en wegenzout. Dit is de hoofdstroom van het terrein omdat hier de meeste wagens per dag komen. Met behoud van de hierboven gestelde voorwaarden is zijn de volgende optimale routes opgesteld: **Rechterzijde**





Figuur 11: Gewenste situatie Rechterzijde

Ideale situatie:

- De weegbrug is gekoppeld aan het SAP systeem in poort 2. De kortste route voor wegzout is dan via poort 3 naar binnen.
- Uit veiligheidsoverweging is het noodzakelijk om zoveel mogelijk gebruik te maken van eenrichtingswegen. Daarom verlopen de routes van verpakt zout via dezelfde routes als wegzout.
- Via de aangegeven eenrichtingswegen gaat het transport naar het desbetreffende laadpunt.
- Afmelden via uitgang 1 van poort 2.
- De route zou ook in omgekeerde volgorde kunnen worden uitgevoerd, voor de veiligheid maakt dit weinig uit. De weegbrug is echter gekoppeld aan het SAP systeem van poort 2.

Daarnaast moet er in de gewenste situatie rekening worden gehouden met de opgestelde randvoorwaarden in paragraaf 2.

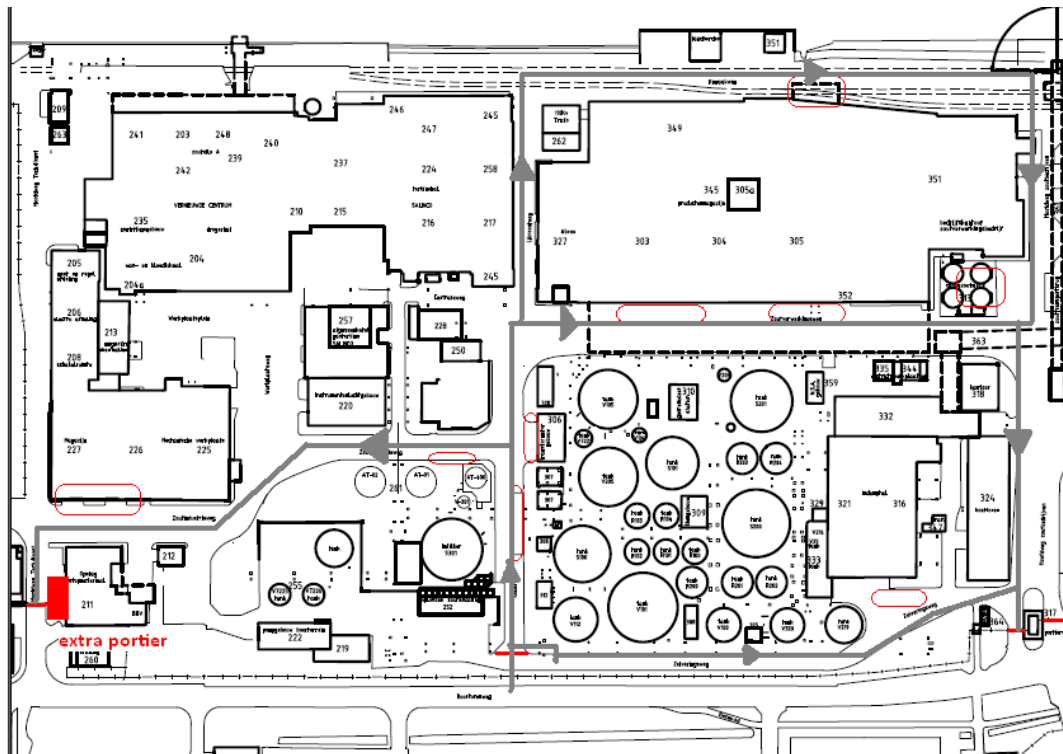
- **Ruimte om het laadpunt.** Meer ruimte om het geparkeerde voertuig bij een laadpunt betekent dat overig verkeer veiliger kan passeren. Minimale ruimte tussen voertuigen bij een laadpunt is 60cm³⁸.
- **Wegen breed genoeg:** Voor het breedste voertuig moet gelden dat er minimaal 20cm ruimte aan beide zijden over is.

³⁸ Blijkt uit onderzoek van HSE een veilige marge te zijn voor het veilig laten passeren van voertuigen.

Linkerzijde

Het overige verkeer is op de volgende manier ingedeeld:

- Omdat poort 2 al een uitgang is en er uit veiligheidsoverweging alleen eenrichtingswegen zijn, gaan we er wederom vanuit dat poort 2 een uitgang is voor het transport aan deze kant van het terrein.
- Binnenkomst verloopt via poort 1,5
- Via de aangegeven eenrichtingswegen gaat het transport naar het desbetreffende laadpunt
- Emballage, Droogzout bulk en Speciaalzout melden zich af via uitgang 2 van poort 2.
- Pekel, Kalk, Soda en Amagazijn verlaten het terrein via poort KWL (deze dient daarvoor geschikt te worden gemaakt voor zwaar transport). Dat zou betekenen dat er een extra portier nodig is bij poort KWL. Het voordeel van het openstellen van de poort KWL is, dat de routes van Soda, Kalk, Amagazijn en pekkel verlopen via eenrichtingswegen met geminimaliseerde afstanden, zonder achteruit te hoeven rijden.



Figuur 12: Gewenste situatie Linkerzijde

Door op deze manier het terrein in te delen is een winst te behalen van:

- Aantal maal achteruit rijden van een vrachtwagen is gereduceerd tot 0
- Alle wegen zijn eenrichtingswegen, geen kruisend verkeer van vrachtwagens
- Er wordt gebruik gemaakt van zogenaamde doorrij laadpunten.
- Er is genoeg ruimte om de geparkeerde wagens op de laadpunten.
- (Alle routes zijn zo ontworpen dat het gemiddeld aantal af te leggen meters is geminimaliseerd.)

Om de geschetste situatie te bereiken zijn een aantal aanpassingen nodig in de huidige inrichting. Het is nog maar de vraag of het daadwerkelijk haalbaar is, zowel praktisch, als kostentechnisch. Er moet ook nog rekening gehouden worden met de ondergrondse koelwaterleiding. Deze dient beschermt te worden tegen zwaar transport. In appendix 10 staat een bouwtekening afgebeeld met daarin de koelwaterleiding afgetekend. In het volgende hoofdstuk wordt gekeken naar de mogelijkheden om de gewenste situatie te bereiken.



Hoofdstuk 5 Mogelijke aanpassingen

Hoofdstuk 4 beschrijft de ideale transportinrichting voor Akzo Nobel. In hoofdstuk 4 is echter geen rekening gehouden met bijvoorbeeld de haalbaarheid van eventuele aanpassingen en de daarbij behorende kosten. In dit hoofdstuk zal worden gekeken naar mogelijke alternatieven voor het verbeteren van de doorstroming & veiligheid van het transport op de locatie om de gewenste situatie zo goed mogelijk te benaderen. Met behulp van berekeningen aan het model en een kostenoverzicht zullen een aantal mogelijke alternatieven op een rij worden gezet, die bijdragen aan het benaderen van de ideale situatie. In dit hoofdstuk wordt dus een antwoord gevormd op deelvraag 3: *Welke veranderingen dragen positief bij aan het bereiken van de ideale transportsituatie?*

5.1 Aanpassingen

Voor de benadering van de gewenste situatie in hoofdstuk 4 is het noodzakelijk een aantal aanpassingen door te voeren in de huidige inrichting van de locatie. In deze paragraaf zullen de mogelijke opties op een rij worden gezet. Een aantal aanpassingen zijn ook afhankelijk van elkaar en zullen gezamenlijk moeten worden toegepast om het daadwerkelijke effect te behalen.

Uit de analyse in hoofdstuk 3 blijkt dat de volgende problemen de meeste invloed hebben op de slechte transportsituatie. Bij de problemen zijn een aantal aanpassingen bedacht die ervoor moeten zorgen dat de situatie wordt verbeterd.

- **Wachttijd voor pekel bedraagt maximaal 2 uur**
- Verbetering aan de pompinstallatie van pekel moet zorgen voor een verkorting van de wachttijd.
- **Belasting op de weegbrug (wachttijd dient maximaal 30 minuten te bedragen)**
 - Nieuwe weegbrug moet zorgen dat de er meer weegcapaciteit beschikbaar is voor het wegen van wagens waardoor de belasting op de huidige weegbrug en de belading van wegezout kan worden verlaagd
 - Installeren van een geijkt laadsysteem bij pekel kan zorgen voor een afname van vrachtwagens bij de weegbrug.
- **Belasting op poort 2 (het aantal opstelplaatsen voor het verlaten van het terrein bij poort 2)**
- Verlagen van de aankomstintensiteit bij poort 2 moet zorgen voor een lagere belasting op poort 2
- Verplaatsen van poort 1 om het aantal aankomsten bij poort 2 te verlagen en het verkeer elders het terrein te laten betreden.
 - Verandering in de routes om de belasting op poort 2 te verlagen, door poort 1 in te verplaatsen naar poort KWL
 - Verhogen van de capaciteit van poort 2, door medewerker van poort 1 naar poort 2 te verplaatsen
- **Verkeersveilige inrichting van het terrein**
 - Openstellen van overdekte doorrijweg.
 - Openstellen van KWL voor zwaar transport.
 - Openstellen van Libroxsteeg voor vrachtverkeer.



- Kanaalweg geschikt maken voor zwaar transport.

Welke van deze veranderingen daadwerkelijk positieve invloed zullen hebben, moet blijken uit de analyse in dit hoofdstuk. Daarnaast zorgen de aanpassingen voor investeringskosten die afgewogen moeten worden tegen de daadwerkelijke opbrengst. Echter heeft elke aanpassing een positieve invloed op het bereiken van de gewenste situatie. Per aanpassing zal de meerwaarde worden afgezet tegen de geraamde kosten. De terugverdientijd is afhankelijk van het soort investering. In paragraaf 5.2 worden eerst de mogelijkheden bekeken om het wegennetwerk aan te passen en de veiligheid te verbeteren. Daarna kunnen de andere mogelijke verbeteringen worden toegelicht.

5.2 Verbeteringen in verkeersveiligheid en routenetwerk van het terrein

Er zijn in dit onderzoek 4 mogelijkheden behandeld om een aantal routes veiliger te maken. Deze opties zijn:

- Het openstellen van de toegangsweg bij poort KWL
- Het openstellen van de overdekte route
- Het openstellen van de Libroxsteeg voor zwaar transport
- Het openstellen van de hoofdweg Technische dienst + kanaalweg voor zwaar transport

5.2.1 Optie 1: Toegangsweg poort KWL

De routes van AMagazijn Soda en Kalk dienen in de huidige situatie allen achteruit te rijden op het terrein, waardoor onveilige situatie kunnen ontstaan. Daarnaast zijn de routes niet logisch en wordt er geen gebruik gemaakt van eenrichtingswegen. Om deze routes wel veilig en logisch te laten verlopen is de optie bedacht om de toegangsweg van poort KWL geschikt te maken voor zwaar transport.

Als poort KWL geschikt wordt gemaakt voor zwaar transport is het mogelijk om Pekel, Soda, Kalk, Denimwater en magazijn wagens het terrein te verlaten of binnen te komen via poort KWL.

Er zijn 2 alternatieven voor het openstellen van poort KWL. Deze kan dan gebruikt worden als ingang of als uitgang afhankelijk van de overige opties zoals deze worden besproken in dit hoofdstuk.

Alternatief 1

Het openstellen van poort KWL als *uitgang* heeft gevolgen voor de situatie op het terrein:

- Route van pekkel, Amagazijn, Soda, Kalk en Denimwater zal via poort 1,5 binnen komen en via poort KWL het terrein verlaten.
- (Route van Emballage kan nu eveneens via poort 1.5 het terrein verlaten.)

Dit heeft voornamelijk gevolgen voor de verkeersveiligheid aan de linkerkzijde van het terrein.

- Het aantal maal dat een vrachtwagen achteruit moet rijden neemt af met 45,3% van 64 keer naar 35 keer³⁹.
- De gehele linkerzijde van het terrein kan van 0% eenrichtingsweg naar 100% eenrichtingsweg gaan, waardoor de hele linkerzijde bestaat uit 1 richtingsverkeer waarmee een duidelijk overzicht wordt gecreëerd in de te rijden route.

Doorstroming:

- Doordat poort KWL als uitgang kan worden gezien, hoeft Emballagetransport niet meer in de rij van poort 2 en kan het via poort KWL het terrein verlaten. Dat betekent een afname van 5 wagens bij de input van wachtsysteem bij poort 2 (verlaten van het terrein). Dit zorgt voor een gemiddelde verkorting van de wachttijd tot 46,7 minuten op een drukke dag. (in de berekening van 3.3.2 neemt het aantal aankomsten bij de ingang neemt af met 5 wagens). De hoeveelheid wagens in de wachtrij op het terrein neemt af met 1,9 wagens tot een kleine 8 wagens (in huidige situatie bijna 10).⁴⁰
- Bij elk laadpunt aan de linkerzijde is genoeg ruimte om langs geparkeerde wagens te rijden en dienen wagens niet meer te keren. Daardoor zal er nooit meer gewacht moeten worden op andere wagens van een andere transportstroom waarvoor de aanpassing geldt.

Kosten

Omdat de weg niet geschikt is voor zwaar transport dient het geschikt te worden gemaakt voor zwaar transport. Door verharding van het bedrijfsterrein met industriële betonblokken is het mogelijk de weg wel geschikt te maken voor zwaar transport. Na overleg met een extern bedrijf dat gespecialiseerd is in bedrijfsterreinvloeren, is er de mogelijkheid om op deze manier de weg bij poort KWL geschikt te maken voor zwaar transport. Op de rest van het terrein is al gebruik gemaakt van dezelfde methode om de koelwaterleiding te beschermen. Volgens een prijsopgaaf is de volgende kostenraming geschat:

Uitgaand van een benodigde lengte oppervlakte van 200m^2 (50 bij 4 meter) en een prijsopgaaf van 66,05 per 4m^2 (inclusief transport, plaatsing kosten). Hiermee komt de investering uit op $50 \times 66,05 = 3302,75$ ⁴¹.

Omdat de koelwaterleiding onder het wegdek ligt is het naar alle waarschijnlijkheid enig grondwerk nodig om te zorgen dat de leiding niet beschadigd wordt. In overleg met het externe bedrijf worden de kosten daarvoor geschat op 2500 euro, waardoor de totale investering uit komt op **5802,75 EUR**.

Alternatief 2

Het openstellen van poort 2 als *ingang* heeft vooral gevolgen voor de situatie op het terrein:

³⁹ Appendix 12: bevat het aantal maal achteruitrijden.

⁴⁰ Appendix 18: bevat een berekening van de doorstroming bij poort 2

⁴¹

- Route van Pekel, A-magazijn, Soda, Kalk en Denimwater kunnen via poort KWL naar binnen en via poort 1,5 naar buiten.
- Emballage kan net als in het voorgaande alternatief naar buiten via de linkerzijde door poort 1.5 met dezelfde gevolgen voor de belasting op poort 2

Dit heeft voornamelijk gevolgen voor de veiligheid:

Veiligheid

- Het aantal maal achteruit rijden neemt af met 45,3% van 64 keer naar 35 keer. (merk op dat dezelfde winst is als in alternatief 1)
- Linkerzijde van het terrein bestaat volledig uit eenrichtingswegen → duidelijk overzicht

Doorstroming:

- Bij elk laadpunt is genoeg ruimte om langs een geparkeerde wagen te rijden en dienen wagens niet meer te keren. Daardoor zal er nooit meer gewacht moeten worden op andere wagens van een andere transportstroom waarvoor de aanpassing geldt.

Ook de kosten zullen hetzelfde zijn als in alternatief 1, waardoor er onderling tussen de alternatieven weinig verschil zit.

5.2.2 Optie 2: Overdekte route

In de gewenste situatie is de overdekte doorgang bij belading van droogzout bulk en emballage als eenrichtingsweg opgenomen in het traject. Door deze aanpassing hoeven zowel emballage, droogzout bulk als speciaalzout niet meer achteruit te draaien. Daardoor wordt er een veiligere situatie gecreëerd. Er moet echter wel rekening worden gehouden met de ruimte om daar verkeer door te laten rijden, omdat de pallet opslag van emballage op de overdekte weg staat. Voor speciaal zout en droogzout is er ruimte genoeg om langs het bezette laadpunt te rijden zonder dat er gevaarlijke situaties ontstaan.

Kengetallen:

- Breedte van het pad: 14 meter.
- Breedte van een pallet is 80 x 120 cm (breedte*lengte)
- Breedte van de wagens: 260cm

Op grond van de veiligheidsrandvoorwaarden zoals opgesteld in paragraaf moet de opstelplaats minimaal een ruimte hebben van de breedte van een vrachtwagen + 60cm aan beide zijden. Daarnaast moet er nog ruimte zijn voor het passeren van overige vrachtwagens waarbij gerekend wordt met een breedte van de wagen plus 20 cm aan beide zijden.

Daarmee komt de doorgangsweg uit op $260 + 2 \times 20 = 300$ cm. De opstelplaats dient $2,60 + 2 \times 60 = 380$ cm te zijn. Er blijft dan $1400 - 680 = 720$ cm over voor de pallet opslag.

Voor de overdekte doorrij weg krijgen we dan het volgende beeld in figuur 13.



Pallets	1400-680
Opstelplaats Emballage	260+2x60
Doorgaande weg Droogzout en Spec. Zout	260+2x20

Figuur 13: inrichting overdekte doorrijweg

Voor de palletopslag betekent dit dat de er maximaal 6 rijdiktes ($120 \times 6 = 720$ cm) pallets opgesteld kunnen worden over de lengte van de opslagplaats (over een breedte van 64 meter). De maximale opstapelhoogte bedraagt 30 pallets. Daarmee komt de totale opslaghoeveelheid uit op $6 \times 30 \times (64/0,8) = 14400$ pallets. Voor de afdeling Specialties is het dus van belang om te zorgen dat de voorraad pallets nooit boven dit aantal komt. Om zeker te zijn van voldoende ruimte is het verstandig 5 rijen pallets aan te houden. In dat geval komt het maximum uit op $5 \times 30 \times (64/0,8) = 12000$ pallets.

De gevolgen voor het aanpassen van de overdekte doorrijroute, kan voordelen opleveren voor het transportverkeer dat gebruikt maakt van de Zoutverwerkingsweg. Op het gebied van veiligheid vinden de volgende verbeteringen plaats:

- Het aantal maal achteruit rijden zal verminderen van 64 naar 39 maal (40% afname), omdat emballage en droogzout via poort 1.5 (of poort KWL) naar binnen kunnen⁴².
- Er is een logischere route voor de transportstromen emballage en droogzout (en speciaal zout).
- (Indien de optie weegbrug⁴³ wordt toegepast is het ook mogelijk om speciaal zout via deze route te laten verlopen. Dan neemt het aantal maal achteruit rijden nog meer af.)

Deze oplossing geeft geen extra kosten. Er moet echter wel rekening worden gehouden met de maximale opslagcapaciteit van pallets.

5.2.3 Optie 3: Specialzout route

Voor het verbeteren van de speciaal zout route aan de kanaalzijde zijn 2 mogelijkheden opgesteld om een logische en veiligere route te ontwerpen. Dat kan door de Libroxsteeg geschikt te maken voor zwaar transport of door de Hoofdweg TD + Kanaal weg geschikt te maken voor zwaar transport. Dit alternatief gaat er vanuit dat er een extra weegbrug wordt geplaatst ter hoogte van de pekelverlading⁴⁴.

Alternatief 1: Libroxsteeg

Door de Libroxsteeg in gebruikt te nemen voor zwaar transport is het mogelijk om de route voor speciaal zout aan de kanaalzijde te verbeteren op het gebied van veiligheid. Daarvoor 2 kleine aanpassingen noodzakelijke:

⁴² Appendix 12: bevat het aantal maal achteruit rijden

⁴³ Wordt behandeld in paragraaf 5.4

⁴⁴ Wordt behandeld in paragraaf 5.4

- Geschikt maken van de weg door plaatsen van verharde weg van 8 bij 20 meter
 - $8 \times 20 = 160\text{m}^2 = 40 \text{ blokken} \times 2\text{m}^2$
- Verwijderen van hoogtebalk

De kosten komen uit op $66,05 \times 40 = 2642$ voor het plaatsen van de verharde weg⁴⁵. De kosten voor het weghalen van de hoogtebalk zijn geschat op 500 Euro waarmee het totaal uitkomt op **3142 Euro**.

Alternatief 2: Hoofdweg Technische Dienst + Kanaalweg

Door de Hoofdweg TD en Kanaalweg geschikt te maken voor zwaar transport is het mogelijk om de route voor speciaal zout aan de kanaalzijde te verbeteren op het gebied van veiligheid. Hiervoor dient de kade geschikt te worden gemaakt voor zwaar transport:

- Nieuw stuk verharde weg nodig van 8 x 50 meter
 - $8 \times 50 = 400\text{m}^2 = 100 \text{ blokken} \times 2\text{m}^2$

De kosten voor het nieuwe stuk verharde weg komen uit op $66,05 \times 100 = 6605,00$ Euro.

Beide alternatieven kunnen in combinatie met andere oplossingen worden toegepast. Dit zal later in dit hoofdstuk worden besproken.

5.3 Minder belasting op poort 2

Het aantal aankomsten bij de uitgang van poort 2 heeft betrekking op een groot deel van de transportstromen. Uit de analyse in hoofdstuk 3 blijkt dat de belasting op poort 2 flink kan oplopen in de winter. Daarom worden hier de mogelijkheden besproken om de situatie bij poort 2 te verbeteren.

Op dit moment zijn er 2 meldpunten voor de transporteurs. Ze kunnen zich melden bij de gesloten poort 1 waar nog wel een meldkamer is voor transporteurs en bezoekers. Deze is slecht gesitueerd in de huidige situatie. Het andere meldpunt is bij poort 2.

Om de belasting op poort 2 te verminderen zijn er 2 mogelijke opties:

- **Optie 1:** zorgen voor het verhogen van de bedieningscapaciteit bij poort 2. Waardoor klanten sneller kunnen worden bediend.
- **Optie 2:** zorgen voor aanpassing in de routes, zodat de aankomstintensiteit bij poort 2 afneemt.

Optie 1 kan worden bereikt door:

- De medewerker van poort 1 te verplaatsen naar poort 2
- Poort 1 te verplaatsen naar poort KWL

Optie 2 kan worden bereikt door een of meerdere van de volgende transportstromen niet meer via poort 2 te laten verlopen:

- Pekel



- Wegenzout
- Emballage
- Speciaalzout
- Droogzout

De aanpassing van de routes vindt plaats in de verschillende paragrafen van dit hoofdstuk. In paragraaf 5.2 is al te zien hoe emballage, droogzout en speciaal zout kunnen worden aangepast. In de volgende paragrafen komen pekkel en wegzout aan bod.

5.3.1 Optie 1: Verhogen van de bedieningscapaciteit

In deze paragraaf wordt ingegaan op de eerste optie

Alternatief 1: verplaatsen van medewerker poort 1 naar poort 2

Dit heeft gevolgen voor het wachstelsel bij poort 1, omdat er in dit geval 2 portiermedewerkers zullen zijn die de klanten kunnen bedienen. Het is dan mogelijk om de situatie als een M/M/2 te beschouwen. Hierin zullen de klanten 1 rij vormen in het loket zelf, maar hun vrachtwagens zullen zowel binnen als buiten het terrein staan opgesteld in de rij. In deze berekening gaan we uit dat de bezoekers en het transport verdeeld worden over 15,5 uur, omdat de normale bezoekers niet s' nachts zullen arriveren en het merendeel van het transport van 06:00 tot 21:30 worden bediend.

We hebben te maken met de volgende gegevens:

Alle aankomsten van bezoekers en vrachtwagens zullen verlopen via poort 2 omdat poort 1 dicht gaat. Er is een wachstelsel met 1 wachtrij en 2 bedieners die beide alle klanten kunnen bedienen. De vrachtwagens kunnen zowel binnen als buiten het terrein staan opgesteld, voor het verlaten of betreden van het terrein. Er moet tevens rekening worden gehouden met de bediening van 'gewone' bezoekers die de locatie komen bezoeken of een afspraak hebben met medewerkers van Akzo Nobel. Het M/M/2 systeem kan dan worden gezien met de volgende gegevens⁴⁶:

$\lambda_{\text{aankomsten}}: 34,2$

De service tijd wordt weer gesteld op 3 minuten, ofwel $\mu=20$. Er zijn 2 medewerkers, dus $s=2$. Door gebruik te maken van de theorie uit hoofdstuk 2, levert dit de volgende op:

$\rho = 34,2/2 \cdot (20) = 0,85 < 1$, er wordt voldaan aan de stabiliteitsvoorwaarde. Met behulp van $L_q = \frac{P(j \geq s)\rho}{1-\rho}$ is het mogelijk om berekeningen door te voeren in een M/M/2 Model. Hierin staat j voor het aantal aanwezige klanten. $P(j \geq s)^{47} = 0,79$ geeft $L_q = 4,6$. Hieruit volgt $W_q = L_q/\lambda = 0,14$ uur, dat is ruim 8 minuten.

Doorstroming

⁴⁶ Appendix 18: bevat de berekeningen voor de aankomstintensiteit en de berekeningen in het M/M/2 model

⁴⁷ volgt uit Winston 2004 (tabel pagina 1088) met $P(j \geq s) = (s\rho)^s \frac{\pi_0}{s!(1-\rho)}$ afkomstig uit Winston 2004

- Alle bezoekers moeten zich melden bij poort 2. Door de aanwezigheid van een extra portier worden de bezoekers en transporteurs sneller bediend waardoor de totale wachtrij zakt tot 4,6 bezoekers (zowel wagens al normale bezoekers). De wachtrij voor de uitgang bevat nog 2,3 wagens.
- De gemiddelde wachttijd bij poort 2 bedraagt 8 minuten. Een afname van 49 minuten.

Kosten

- Er is geen investering nodig voor een nieuw gebouw of installatie van SAP, omdat dit al aanwezig is.
- Omdat er een afname is bij poort 2 van 49 minuten, komt de totale doorlooptijd van wegezout uit op $71+11=82$ minuten. In plaats van 3786.67 EUR, komen de verwachte totale gemiddelde wachtkosten voor wegezout dan uit op $80 * (((82-60)/60) * 40) = 1173,33$ EUR. Een besparing van 2613,33 EUR.

Alternatief 2: verplaatsen van poort 1 naar poort KWL

5.4 Snellere pekerverlading



⁴⁸ Appendix 17:

⁴⁹ Appendix 9:

⁵⁰ Appendix 18

5.5 Opslag wegenzout buiten het terrein

Peter Reiche⁵² heeft zich bezig gehouden met een onderzoek naar een extra silo voor zout/ wegenzout. De impact op de wachttijden bij poort 2 en de weegbrug zijn enorm. Deze paragraaf laat zien wat de gevolgen zijn voor de wachttijden bij de weegbrug en poort 2. Voor het kostenoverzicht en de beste locatie voor een nieuwe opslagsilo voor (wegen)zout wordt verwezen naar het onderzoek van Peter Reiche.

Indien het wegenzout buiten de locatie zelf kan worden afgehandeld heeft dit grote gevolgen voor de hele situatie op het terrein van Akzo Nobel Hengelo⁵³:

- Het aantal wagens in de wachtrij voor poort 2 is gemiddeld 1 wagen met een gemiddelde wachttijd van 4,8 minuten.
- Voor de weegbrug is de gemiddelde wachttijd eveneens flink gedaald naar 3,2 minuten.

Voor een kostenoverzicht en de mogelijkheden voor extra opslag wordt doorverwezen naar het onderzoek van Peter Reiche.

5.6 Combinatie van oplossingen

⁵⁵ Appendix 17:

⁵⁶ $NPV = -\text{investerings} + \frac{\sum_n \text{inkomsten}}{(1+i)^n}$, waarbij i de inflatie aangeeft en n het aantal jaren.

5.7 Afweging van de opties

De veiligheid kan worden verbeterd via de volgende opties:

Optie	Veiligheid	Kosten
1 KWL geschikt maken voor zwaar transport	Achteruitrijden met 45,3% gereduceerd + volledig eenrichtingsweg linkerzijde	5802,75
2 overdekte route geschikt maken	Achteruitrijden met 40% gereduceerd	0
3a Libroxsteeg	Kan alleen verbeterd worden in combinatie met andere opties	3142
3b Hoofdweg TD	Kan alleen verbeterd worden in combinatie met andere opties	6605

Tabel 10: Opties veiligheid

Opties 1, 2 en 3 kunnen allen worden uitgevoerd. Optie 2 kan te allen tijde worden aanbevolen, omdat het geen kosten met zich mee brengt, maar slechts een aanpassing in het aanhouden van de palletvoorraad en een wijziging in routes van bepaalde transportstromen.

Optie 1 is zeer waardevol indien gekozen wordt voor de besproken combinatie van opties in paragraaf 5.6. Daarmee wordt zowel op het gebied van veiligheid veel gewonnen en draagt het bij aan de doorstroming van het transport op de locatie.

Optie 3a krijgt de voorkeur boven optie 3b. In beide gevallen zijn de gevolgen voor de veiligheid hetzelfde. Op kosten scoort optie 3a echter een stuk beter, waardoor deze keuze voor de hand liggend is.

De doorstroming kan worden verbeterd via de volgende opties:





Hoofdstuk 6 Conclusies & Aanbevelingen

In hoofdstuk 1 is het algemene beeld geschetst van de huidige transportsituatie van Akzo Nobel. De hoofdvraag die is opgesteld voor het verbeteren van de situatie is: *‘Welke verbeteringen kan Akzo Nobel Hengelo doorvoeren in de inrichting van het transport op de locatie, om betere doorstroming en meer veiligheid te creëren in het transport?’*. In het onderzoek is de hoofdvraag opgedeeld in een aantal deelvragen, waardoor het nu mogelijk is om de conclusies op te stellen en aanbevelingen te doen voor het bereiken van een betere situatie.

6.1 Conclusie

De knelpunten die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen in de transportsituatie van Akzo Nobel Hengelo hebben betrekking op de volgende punten op het terrein:

- Situatie poort 2: Op drukke momenten in de winter is de belasting op poort 2 dusdanig groot dat de wachtrijlengte voor het verlaten van het terrein het overige verkeer gaat belemmeren in hun route. Verder ondervindt het verkeer op de Boortorenweg hinder door het opstellen van vrachtwagens op de weg indien de opstelplaats vol is. De totale wachtrij voor poort 2 is op drukke dagen gemiddeld 18 wagens, waarvan 9,3 op het terrein.
 - Door het verplaatsen van poort 1 is het mogelijk dit personeel in te zetten voor aan en afmelden van vrachtverkeer, waardoor de wachtrijlengte voor poort 2 afneemt van 9,3 tot 2,3 wagens.
- Situatie weegbrug: Op drukke momenten in de winter is de belasting op de weegbrug groot, waardoor lange wachttijden optreden. Dit is te wijten aan het gebruik van de weegbrug door zowel wegezout, pekels als speciaal zout verladingen.

Daarnaast is gebleken dat de veiligheidssituatie in het transport op de locatie niet optimaal is. Dit is te wijten aan het niet gebruiken van eenrichtingswegen en logische routes. Om logische en veiligere routes te krijgen zijn er een aantal mogelijkheden: Poort KWL moet geschikt worden gemaakt voor zwaar

transport door verharding van de weg, waardoor de gehele linkerzijde van het terrein als een eenrichtingsweg kan worden aangepast. Daarmee is het totaal aantal vrachtwagens dat moet keren op een (drukke) dag gereduceerd met 45,3%.

De overdekte doorgang kan geschikt worden gemaakt voor eenrichtingsverkeer, waardoor er veiligere situatie gecreëerd worden. Daarmee is het totaal aantal vrachtwagens dat moet keren op een (drukke) dag gereduceerd met 40%.

6.2 Aanbevelingen

De primaire aanbeveling is een combinatie van 3 verbeteringen op het terrein van Akzo Nobel.

3) Weg bij poort KWL geschikt maken voor zwaar transport

Om te zorgen dat poort KWL gebruikt kan worden, dient de weg bij poort KWL geschikt te worden gemaakt voor zwaar transport. De aanbeveling is om de weg te verharderen op de zelfde manier zoals dit al is gedaan op het terrein bij de koelwaterleiding. Dit zou voor de routes van kalk, soda, denimwater, Amagazijn en pekkel wagens betekenen dat er op de meest veilige manier wordt gehandeld op gebied van verkeersveiligheid. De gehele linkerzijde van het terrein kan op die manier bestaan uit 100% eenrichtingswegen en geminimaliseerde af te leggen afstanden, waardoor de kans op incidenten zo klein mogelijk is.

De onderstaande aanbevelingen kunnen worden gezien als secundaire aanbevelingen. Deze kunnen als extra toevoeging worden gezien op de primaire aanbevelingen.

4) Libroxsteeg geschikt maken voor zwaar transport



Door de komst van de nieuwe weegbrug is het mogelijk om de kleine hoeveelheid speciaal zout wagens te wegen op de weegbrug bij de pekelverlading. Gezien het kleine aantal zal dit minimaal effect hebben op de verlading van pekkel. Om de route volledig aan te passen is het noodzakelijk de librosteeg geschikt te maken voor zwaar transport.

5) Een maximale voorraad aanhouden voor de palletopslag

Daardoor is het mogelijk om logische en veiligere routes te creëren voor een deel van de transportstromen op de locatie. De maximale voorraad mag maximaal 14400 pallets bedragen om de overdekte doorgang niet te vol te vullen. Echter is het verstandig om het maximum nog onder de 14400 te houden en uit te gaan van een rijdikte van 5 rijen pallets in plaats van 6. Daarmee wordt een maximum voorraad van 12.000 pallets aanbevolen

(Extra optie: Nieuwe locatie voor de opslag van wegeenzout)

Indien er gekeken wordt naar het onderzoek van Peter Reiche om een nieuwe opslag voor wegeenzout buiten het terrein van Akzo Nobel te beginnen, is in dit onderzoek is aangetoond dat daarmee een groot deel van de wachttijdproblemen en belasting op poort 2 en de weegbrug kan worden opgelost, doordat een groot deel van het transport kan worden weggenomen van het terrein. Dit kan worden meegenomen in de afweging om te kiezen voor een nieuwe opslag.

6.3 Consequenties

Door het uitvoeren van de voorgestelde aanbevelingen in paragraaf 6.2 is het mogelijk om de huidige transportsituatie te verbeteren op het punt van veiligheid, overzicht en doorstroming. De grootste consequenties voor het opvolgen van de aanbevelingen zijn:

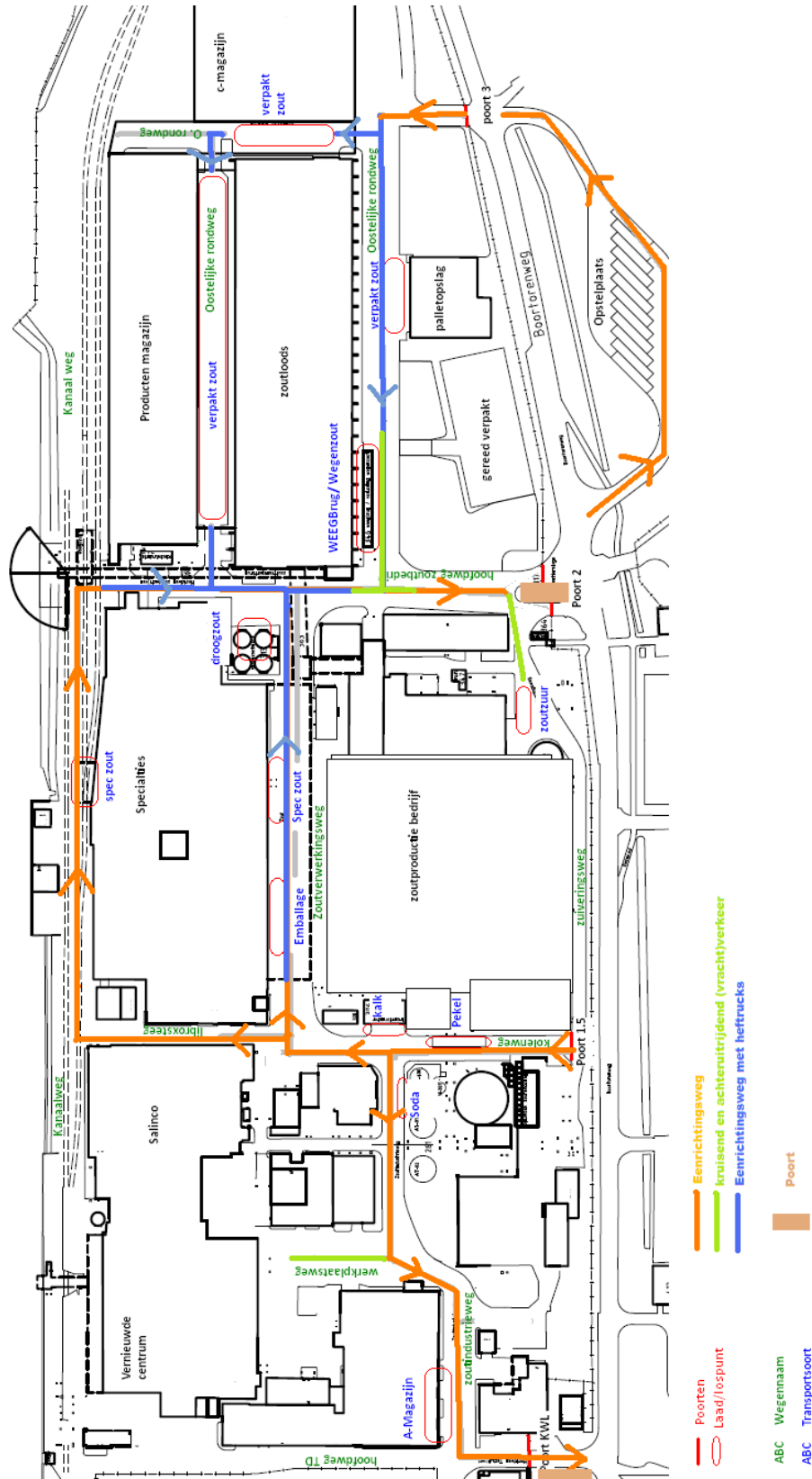
- Het aantal transportstromen dat dient te keren neemt af van 9 naar 2, waardoor het aantal handelingen per dag afneemt van *65 maal keren op een dag naar 6 maal keren op een dag*
- Een *flinke toename van het percentage eenrichtingswegen* op het terrein (zie figuur 14)
- Wachttijdpekkel: *afname van 245 minuten naar 15 minuten wachttijd*
- Lengte van de wachtrij bij (uitgang van) poort 2 *bedraagt 2,4 wagens op drukke dagen*
- *Wachttijd bij de weegbrug wordt gereduceerd tot 16 minuten.*
- De kosten voor aanpassing van de primaire aanbevelingen kunnen *binnen 7 jaar* worden terugverdiend door besparingen op wachttijdkosten en misgelopen opbrengsten.

Op deze manier is de locatie:

- Veiliger, met logisch ingerichte routes
- Snellere doorstroming van het transport waardoor wachttijdkosten kunnen worden gereduceerd en irritaties bij transporteurs kunnen worden weggenomen.

Het overzicht ziet er na het uitvoeren van de aanbevelingen als volgt uit:





Figuur 14: Nieuwe situatie

Referentielijst

Wayne L Winston(2004). *Operations Research applications and algorithms 4th edition*. Thomson Learning Inc., London

Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman(2008). *Factory physics 3th edition*. McGraw-Hill/Irwin, Singapore
The new era of management

Richard L. Daft(2006). *The New Era of Management international edition*. Thomson Learning Inc., London

J.M.G. Heerkens(2008). *Methoden en Technieken voor ontwerpen en beslissen*. TSM Business School, Enschede

R. Dan Reid, Nada R. Sanders(2005). *Operations Management An Integrated Approach*. Wiley & Sons, USA

College presentaties SMOM R. Boucherie

H.M. Visser, A. R. van Goor(2004) *Werken met logistiek*. Houten, Wolters-Noordhoff

M.C. van der Heijden, L. L.M. van der Wegen (2004). *College dictaat logistiek management*.

H. Heerkens (2005). *Algemeen Bedrijfskundige Probleemaanpak*. TSM Business School, Enschede

H. Heerkens (1998). *Methodologische checklis*. TSM Business School, Enschede

W.M. Nawijn. Collegedictaat Operations Research II, 158006

J. Alblas(1993). *Bij voorkeur de kortste wachttijd*. Universiteit Twente, Enschede

M.C. van der Heijden, L.L.M. van der Wegen(2004). *Collegedictaat Logistiek Management*. Universiteit Twente, Enschede.

Akzo Nobel (2010) *Jaarverslag Akzo Nobel* <http://www.akzonobel.com/nl/beleggersinfo/jaarverslag/>

Akzo Nobel (2010) *verkort jaarverslag Akzo Nobel*
<http://www.akzonobel.com/nl/beleggersinfo/jaarverslag/>

AkzoNobel (2011) *Bedrijfsinformatie*: <http://www.akzonobel.com/ic/>, <http://www.akzonobel.com/nl/>,
<http://www.akzonobel.com/hengelo/>, <http://report.akzonobel.com/2010>,
http://report.akzonobel.com/2010/ar/servicepages/downloads/files/akzonobel_report10_entire.pdf

Queing theory Nerry(2006):
<http://www.whitman.edu/mathematics/SeniorProjectArchive/2006/berryrm.pdf>

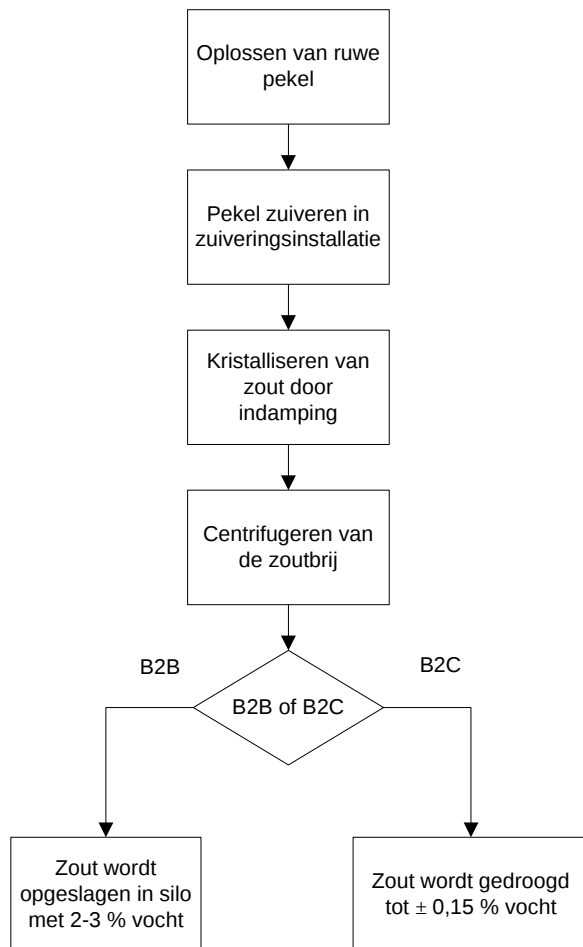


HSE: <http://www.hse.gov.uk/workplacetransport/sitelayout.htm>, 9-5-2011

Appendices

Appendix 1: Het zoutproductieproces

Het productieproces voor het maken van zout ziet er schematisch als volgt uit [P.Reiche, 2011]:



De stappen in het productieproces

Appendix 2: Lijst van betrokken medewerkers bij het onderzoek

Herman van Brakel	Begeleider in het onderzoek en productieassistent op de locatie.
Jan Henk Scharphof	Productieplanner Productiebedrijf
Jos Goossens	Planner/logistiek van Bulk
Jan Leuwerink	Planning/logistiek Afdeling Specialties
Marcel Elzinga	Planning/logistiek afdeling Specialties
Henk Rouwenhorst	Magazijnbeheer

Appendix 3: Overige opmerkingen:

- De overkapte doorrijroute heeft een breedte van 14 meter plus 1 meter loopruimte.
- De libroxsteeg bevat een maximale doorrij breedte van 2 meter en een hoogte van 2,50 meter
 - Kleine aanpassing zou breedte en hoogte geschikt maken voor vrachtwagentransport
- De Kolenweg is 10 meter breed
- De Kanaalweg wordt alleen gebruikt door 2 a 3 wagens per dag, lastig te bereiken, bovendien loopt er een spoorweg.
- Hoofdwegzoutbedrijf is een zeer drukke weg i.v.m. het extra verkeer van Heftrucks die af en aan rijden.
- Er zijn een aantal laadpunten gekoppeld aan het SAP systeem bij poort 2 waardoor een aantal transportsoorten via deze poort naar buiten gaan:
 - Droogzout belading is gekoppeld aan het SAP systeem bij poort 2
 - De weegbrug is gekoppeld aan het SAP systeem van poort 2
 - Pekel, Weegbrug, Speciaal zout.

Appendix 4: Aantal verpakt zout wagens per dag

Appendix 5: Vraag naar Pekel en Wegenzout, Jaaroverzicht

Appendix 6: Aankomsten per transportsoort

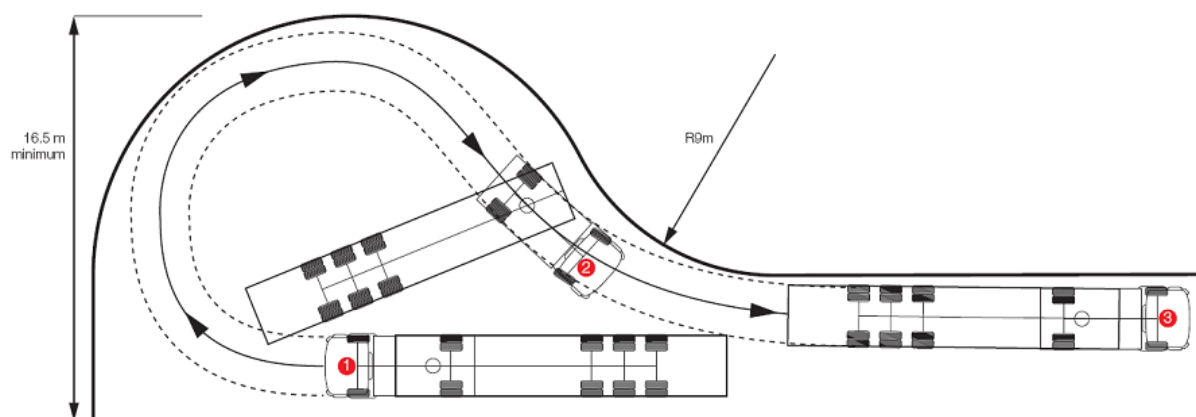
Aantal aanmeldingen voor poort 2 per uur:

Soort	# p dag	# p uur
VZ	94	6,06
EM	5	0,32
DZ	20	1,29
Pekel	16	0,67
WZ	80	3,33
SZ	5	0,32

Gebaseerd op het gemiddeld aantal aankomsten in het verleden, uitgaande van het gemiddelde van 2 drukke dagen achter elkaar.

Appendix 7: Banjo systeem

Het Banjo systeem is een ontwerp dat erop gericht is om te voorkomen dat vrachtwagens achteruit moeten keren of draaien.



Appendix 8: Verkoop prijzen

Appendix 9: Prijsopgaven

Prijsopgave voor een nieuwe weegbrug

Weegbrug met capaciteit 60 ton, 18 bij 3 meter[bron: Pfister]

Aanschaf prijs	26850
IJken	1500
SAP koppeling	3000
Prijs Exlc. Grondwerk:	31350
Grond werk graaf werk:	5000 incl BTW
Totaal	36350

60

Prijsopgave Wegversteving: [Bron: Meteoor]

Aanschafprijs	4m²	27,5 excl. BTW
----------------------	------------	-----------------------

Transport	4m ²	3	excl. BTW	
Montage	4m ²	25	excl. BTW	
Prijs per 4m²		66,05	(incl. BTW	Exclusief eventuele grondbewerking

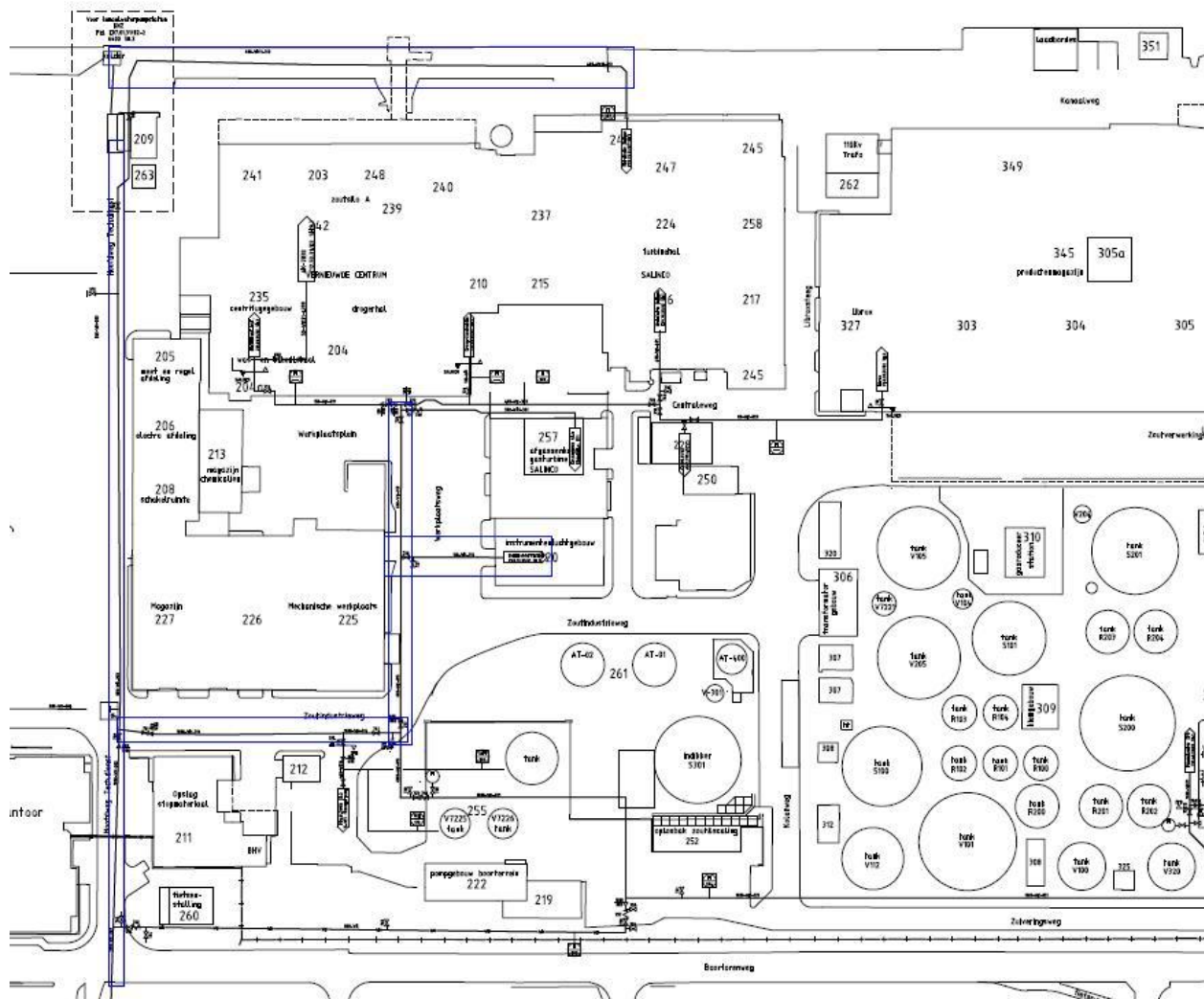
Kostenraming aanpassing pekel laadpunt⁵⁷

Na overleg met extern bedrijf(KSE) worden de totale kosten geschat op 65.000 euro voor het aanschaffen en installeren van het geijkte laadsysteem

Appendix 10: Bouwtekeningen

Waterleidingnetwerk:

⁵⁷ Afkomstig uit het email archief van Herman van Brakel.



Bouwtekening A0.1.106.486: Beschikbaar in een 1 op 1000 versie bij Akzo Nobel Hengelo

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van een 1 op 1000 versie voor de inschatting van gemiddelde afstanden.

Appendix 11: Wachttijdkosten

Appendix 12: # Achteruitrijden

Aantal x achteruit rijden

	# achteruit	# wagens drukke dag	Totaal # achteruit	KWL open	Overdekte route
WZ	0	80	0	0	0
PE	1	16	16	0	16
SO	1	1	1	0	1
KA	1	2	2	0	2
DZ	1	20	20	20	0
VZ	0	94	0	0	0
SZ	3	5	15	15	15
EM	1	5	5	0	0
MZ	1	4	4	0	4
DW	1	1	1	0	1
		228	64	35	39

Appendix 13: Afbakening van het wachtrijmodel

Het netwerk van wachtrijen is zeer complex. Daarom zijn de transportstromen afzonderlijke geanalyseerd om zodoende te kijken waar de knelpunten ontstaan zijn. Voor alle stromen is daarvoor aangenomen dat ze te beschouwen zijn als een M/M/1 model. Verpakt zout heeft al een eigen planningssysteem. Deze is hier verder niet meegenomen omdat er niet specifiek naar dat proces wordt gekeken. In de tabel van Appendix 7 staan de aankomstintensiteiten weer gegeven. Toepassing van de formule van Little geeft de volgende berekeningen.

Aantal aanmeldingen voor poort 2 per uur:								
Soort	# p dag	# p uur	1/u	s	L	Lq	W	Wq
EM	5	0,32	3	1	0,120482	0,012955	0,373494	0,040161
DZ	20	1,29	2,4	1	1,162791	0,625156	0,901163	0,484496
Pekel	16	0,67	0,857143	1	3,5	2,722222	5,25	4,083333
WZ	80	3,33	5	1	2	1,333333	0,6	0,4
SZ	5	0,32	2,4	2	0,15528	0,020871	0,481366	0,0647
Poort 2	236	12,67	13,39772	0,5	17,32661	16,38118	1,36789	1,293251

De opvallende waarden hierin zijn aangegeven met een rode kleur. Verder blijkt dat de weegbrug op drukke dagen ook zwaar wordt belast, maar in de analyse als M/M/1 model is dit niet aan te tonen.

De knelpunten in het transport zijn dus:

- Pekelverlading
- Uitgang poort 2
- Weegbrugsituatie(niet als M/M/1 systeem te berekenen door verschillende bedieningsduur)

Appendix 14: Berekeningen wachttijden

Berekeningen Pekel verlading (paragraaf 3.4.1):

λ_{pekel} 0,67

λ_{totaal} 0,67

μ 0,86

ρ 0,78

Analyse

	L	Lq	W	Wq	$Wq \text{ min}$
Pekelverlading	3,5	2,722222	5,25	4,083333	245

Berekeningen Poort 2 (paragraaf 3.4.2)

Aankomst naar openingstijden van server:

λ_{in} 12,00

λ_{uit} 12,67

λ_{totaal} 24,67

μ 20

ρ 1,233333

Analyse

	L	Lq	W	Wq	$Wq \text{ min}$
Poort 2	-5,29	-6,52	-0,21	-0,26	-15,86
Poort 2 In	-2,57	-3,17	-0,10	-0,13	-7,71
Poort 2 Uit	-2,71	-3,35	-0,11	-0,14	-8,14

Hieruit is op te maken dat het systeem op de lange duur vol zal lopen. Wordt er gerekend met de mogelijkheid dat alle aankomsten 24 uur per dag zijn, dan is het wel mogelijk om de wachttijden in kaart te brengen:

Aankomst naar 24 uurs opening:

λ_{in} 9,17

λ_{uit} 9,83

λ_{totaal} 19,00

μ 20

ρ 0,95

Analyse

	L	Lq	W	Wq	$Wq \text{ min}$
Poort 2	19,00	18,05	1,00	0,95	57,00
Poort 2 In	9,17	8,71	0,48	0,46	27,50
Poort 2 Uit	9,83	9,34	0,52	0,49	29,50



Berekeningen voor de weegbrug (paragraaf 3.4.3):

De onderstaande tabel geeft de aankomsten weer per soort. Het totaal aantal aankomsten komt uit op 5,31.

		2x?	Totaal	lambda
$\lambda_{\text{wegenzout}}$	3,33	nvt	3,33	3,33
λ_{pekel}	0,67	0,67	1,33	
$\lambda_{\text{speczout}}$	0,32	0,32	0,65	1,98
λ_{totaal}	4,32		5,31	5,31

Voor de gemiddelde bedieningsduur zijn de volgende getallen genomen:

$$\begin{aligned} \mu_{WZ}^{-1} &= 0,233 \quad = (\text{Laden} + \text{Wegen}) \\ \mu_{PE+SZ}^{-1} &= 0,05 \end{aligned}$$

Op grond van de statistiek en kansrekening wordt de volgende veronderstelling gedaan: Laat X de bedieningsduur zijn van een willekeurige klant. Daarmee kan de verwachte fractie per soort worden bepaald.

- De gemiddelde bedieningsduur is te berekenen door te kijken naar de fracties van aankomsten van de vrachtwagens. Er gelden de volgende bijdrages in de aankomst intensiteit: $\lambda_{WZ} = 80/24 = 3,33$ en $\lambda_{PE+SZ} = (16+16+5+5/24) = 1,75$. Daardoor ontstaan de volgende fracties: $p_{WZ} = 3,33 / (3,33 + 1,75) = 0,66$ en $p_{PE+SZ} = 1,75 / (3,33 + 1,75) = 0,34$.

Daarmee is het mogelijk om de gemiddelde bedieningsduur te berekenen aan de hand van de verwachtingswaarde:

$$E[X] = p_{WZ} * \mu_{WZ} + p_{PE+SZ} * \mu_{PE+SZ}$$

$$E[X^2] = p_{WZ} * \mu_{WZ}^2 + p_{PE+SZ} * \mu_{PE+SZ}^2$$

- De gemiddelde bedieningsduur kan daarmee berekend worden volgens: $\mu^{-1} = (p_{WZ} * \mu_{WZ}) + (p_{PE+SZ} * \mu_{PE+SZ}) = 0,17$ uur. $\mu = 1/0,17 = 5,87$
- De stationariteitsvoorwaarde wordt behaald: $\rho = \lambda * \mu^{-1} = 5,31 * 0,18 = 0,9 < 1$

Uit de kansrekening volgt dat:

$$\sigma^2 = E[X^2] - E[X]^2$$

Dit levert de volgende getallen op met Excel:

$E[X]$ 0,170219
 $E[X^2]$ 0,036562
 σ^2 0,007588

Met behulp van de variantie kan de variantiecoëfficiënt worden berekend en dus de wachttijd voor de weegbrug:

$$W_q = \frac{\rho}{2(1 - \rho)\mu} (1 + (\mu\sigma)^2)$$

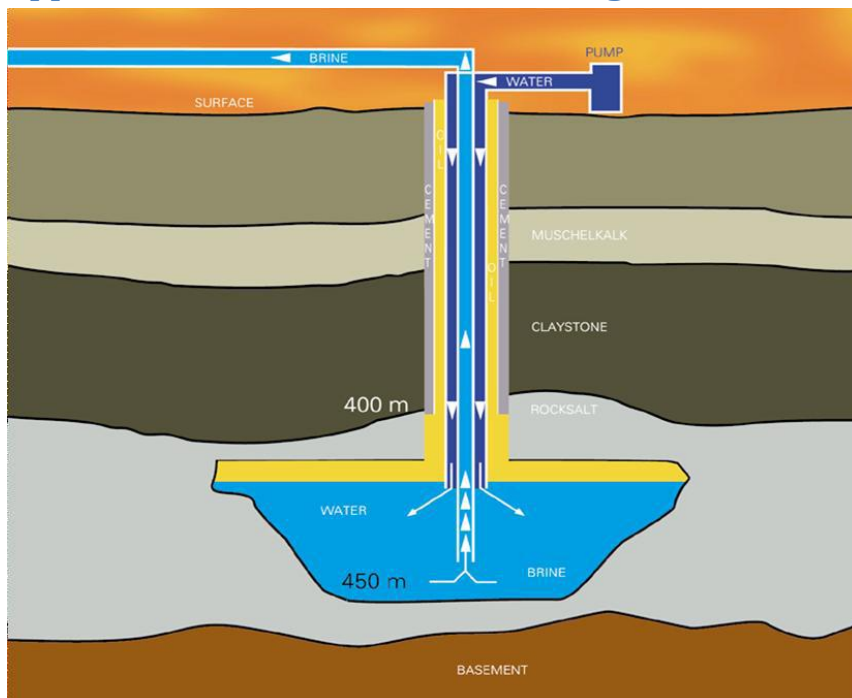
Met behulp van Excel worden dan de volgende getallen gevonden voor de weegbrug:

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Weegbrug	6,286793	5,382621	1,183546	1,013328	60,79965

Wanneer we uitgaan van 6 bedieningen per uur voor wegeenzout i.p.v. 5, is dit aan te passen in het Excel model, waardoor de getallen veranderen in het volgende:

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Weegbrug	2,591373	1,803307	0,48785	0,339489	20,36933

Appendix 15: Overzicht van een boring



Appendix 16: Wachtijdkosten verdeling pekel verlading

Kansverdeling voor aantal klanten in het systeem voor de pekelverlading in het geval $\lambda = 2/3$ en $\mu = 2$

J	PI(J)		
0	0,666666667		
1	0,222222222		
2	0,074074074		
3	0,024691358		
4	0,008230453		
5	0,002743484	0,998628258	0,001371742

Kansverdeling voor aantal klanten in het systeem voor de pekelverlading in het geval $\lambda = 4/3$ en $\mu = 2$

J	PI(J)		
0	0,333333333		
1	0,222222222		
2	0,148148148		
3	0,098765432		
4	0,065843621		
5	0,043895748	0,912208505	0,087791495

Appendix 17: Stijgende piek vraag naar pekel en NPV calculatie



Appendix 18: Berekeningen: aanpassingen in wachttijdmodel

Optie 1, alternatief 1 (paragraaf 5.2.1)

5 wagens minder bij de aankomstintensiteit voor de uitgang van poort 2 levert de volgende getallen:

λ_{in}	9,17
λ_{uit}	9,63
λ_{totaal}	18,79
μ	20
ρ	0,939583

Analyse

	L	L_q	W	W_q	$W_q \text{ min}$
Poort 2	15,55	14,61	0,83	0,78	46,66

Optie poort 1 verplaatsen naar KWL (paragraaf 5.3.1)

Wederom berekenen we aan de hand van 24 uren bediening. De parameter λ verandert licht doordat er op een dag 5 wagens minder uit gaan bij poort 2:

λ_{in}	9,17
λ_{uit}	9,63
λ_{totaal}	18,79

Dit geeft de volgende resultaten:

	L	L_q	W	W_q	$W_q \text{ min}$
Poort 2	15,55	14,61	0,83	0,78	46,66
Poort 2 In	7,59	7,13	0,40	0,38	22,76
Poort 2 Uit	7,97	7,48	0,42	0,40	23,90

Optie Verplaatsen van medewerkers van poort 1 naar poort 2 (paragraaf 5.3.1)

Voor de aankomsten moeten we ook de normale bezoekers meerekenen. Tevens moeten we de wagens die snachts worden beladen uit het interval van 15,5 uur halen. We hebben een totale aankomstintensiteit van: $(228+236+50+50-((8,5/24)*96))/15,5 = 34,2$. (= de som van alle aankomsten –



het deel van pekel en wegezout , dat buiten de 15,5 uur vallen/ 15,5 uur) hierin is $-(8,5/24)*96$ het deel van de wagens die buiten de 15,5 uur vallen.

M/M/s/GD	LAMBDA?	MU?	s?	RO			
	34,19354839	20	2	0,85483871			
	L	LS	LQ	W	WS	WQ	
	6,349758454	1,709677087	4,640081368	0,185700483	0,049999999	0,135700493	
STATE	P(j>=s)						
	1 0,787938289						

Optie Pekel verlaadpunt aanpassen geeft de volgende veranderingen (paragraaf 5.4)

- Voor de wachttijd van pekel: $W_q = L_q / \lambda$ met $L_q = \rho^2 / (1-\rho)$ met $\lambda = 0,67$ en $\mu = 2,00$ geeft: **$W_q = 0,25$**
 $\rightarrow 60 * 0,25 = 15$ minuten (was 245 minuten)

Optie extra opslag (paragraaf 5.5)

Indien de berekeningen voor poort 2 en de weegbrug opnieuw worden uitgevoerd in het Excel model, dan worden de wachttijden en wachtrij lengtes aanzienlijk verlaagd tot de volgende waarden:

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Poort 2	1,61	0,99	0,13	0,08	4,83
Poort 2 In	0,76	0,47	0,06	0,04	2,28
Poort 2 Uit	0,85	0,52	0,07	0,04	2,54

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Weegbrug	0,744345	0,18061	0,224753	0,054535	3,272091

Dit komt omdat alle wegezoutwagens elders worden beladen. Dat scheelt bijna 50% in de aankomstintensiteit bij poort2.

Combinatie Pekel en poort KWL (paragraaf 5.6)

De wachttijd van pekel neemt aanzienlijk af zoals eerder gesteld.

- Voor de wachtrijlengte poort 2: $L_q = \rho^2 / (1-\rho)$ met $\lambda = 17$ en $\mu = 20$ geeft:

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Poort 2	5,67	4,82	0,33	0,28	17,00



- Voor de wachttijd van de weegbrug geldt: $W_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} (1 + (\mu\sigma)^2)$ met $\lambda = 3,98$ en $\mu = 5,87$ geeft:

$W_q = 0, \rightarrow 0,225 \cdot 60 = 13,5$ minuten (was 61 minuten)

	L	Lq	W	Wq	Wq min
Weegbrug	1,573654	0,896441	0,39554	0,225322	13,5193

