

*Hoe kan spum individueel  
gedetecteerd, en de Spumbuster  
gepositioneerd worden?*

Robert Burgers  
Stichting Nederland Schoon, BekkerLaGram  
Universiteit Twente - Industrieel Ontwerpen  
September 2013



# Het ontwerp van een kauwgomverwijdermachine

*Hoe kan spum individueel gedetecteerd, en de Spumbuster gepositioneerd worden?*

## Bedrijven:



Stichting Nederland Schoon  
Bezuidenhoutseweg 12  
2591 AV Den Haag

**BEKKERLaGram**

BekkerLaGram  
Industrieweg 82  
5145 PW Waalwijk

## Student

**Naam:** Robert Friso Burgers  
**Studentnummer:** s1017969  
**Universiteit:** Universiteit Twente  
**Vakgroep:** Construerende Technische Wetenschappen  
**Opleiding:** Industrieel Ontwerpen

## Examencommissie

**Voorzitter:** Dr. Ir. T.H.J. Vaneker  
**Begeleider:** Dr. Ir. G.M. Bonnema  
**Bedrijfsbegeleider:** K. van der Wolf, projectleider Stichting Nederland Schoon

**Datum examen:** 18 september 2013

**Aantal exemplaren:** 4



# Voorwoord

Dit verslag is het resultaat van de bacheloreindopdracht Industrieel Ontwerpen van Universiteit Twente. De opdracht is uitgevoerd voor Stichting Nederland Schoon, met medewerking van BekkerLaGram. Het doel van deze opdracht was het vinden van een betere oplossing voor de door BekkerLaGram ontwikkelde kauwgomverwijdermachine 'De Spumbuster', zodat deze alsnog succesvol kan worden.

Graag wil ik alle personen bedanken die mij hebben gesteund bij het uitvoeren van deze opdracht: opdrachtgever Kors van der Wolf, die dit project mogelijk heeft gemaakt. Cor Vos, ingenieur bij BekkerLaGram die betrokken was bij de originele Spumbuster. Gijsbert Dos Santos, masterstudent Human Media Interaction, die meerdere malen advies heeft gegeven op het gebied van beeldherkenning, wat zeer belangrijk was voor dit project. Maarten Bonnema, begeleider van de universiteit, met wie ik regelmatig over het ontwerpprobleem gesproken heb. Hierdoor kon ik altijd weer goed op weg als het ontwerpproces vastliep. Via hem ben ik ook in contact gekomen met Rogier Kauw-A-Tjoe, die ik in het bijzonder wil bedanken vanwege de grote bijdrage die hij heeft geleverd aan dit project op het gebied van beeldherkenning.

Robert Burgers

# Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b>	1
<b>2. Probleemstelling</b>	2
2.1. Huidige Spumbuster	2
2.2. Probleemaanpak	3
<b>3. Eindontwerp</b>	4
3.1. Inleiding	4
3.2. Detectie	5
3.3. Onderdelen	6
3.4. Scenario	8
3.5. Details	9
<b>4. Ontwerpproces</b>	12
<b>4.1. Onderzoeksvragen</b>	13
<b>4.2. Analysefase</b>	14
4.2.1. De kenmerken van kauwgom op straat	14
4.2.2. Kauwgom en de straat	15
4.2.3. Het reinigingsbeleid	16
4.2.4. Conventionele reinigingsmethoden	17
4.2.5. Scenario's	18
4.2.6. Conclusie Analysefase	20
4.2.7. Programma van Eisen	21
<b>4.3. Eerste conceptfase</b>	22
4.3.1. Oplossingen voor de detectie	22
4.3.2. Conclusie detectie	23
4.3.3. Oplossingen voor de positionering	24
4.3.4. Detectie in combinatie met positionering	25
4.3.5. Detectie, positionering en het verwijderen van spum	26
4.3.6. Concepten van de eerste conceptfase	27
4.3.7. Selectiemethode met weegfactoren	30
4.3.8. Conclusie Eerste Conceptfase	31

<b>4.4. Tweede conceptfase</b>	32
4.4.1. De uiteindelijke detectiemethode	32
4.4.2. De oppervlaktereinigingsfunctie	34
4.4.3. De verwijdermethode	34
4.4.4. Concepten Tweede Conceptfase	35
4.4.5. Evaluatie concepten tweede conceptfase	42
4.4.6. Conclusie Tweede Conceptfase	45
<b>4.5. Conceptuitwerking</b>	47
4.5.1. Uitwerking van het gekozen concept	47
4.5.2. Toekomstscenario	48
<b>5. Reflectie op het ontwerpproces</b>	48
<b>6. Conclusies en Aanbevelingen</b>	50
6.1. Conclusies	50
6.2. Aanbevelingen	51
<b>7. Referenties</b>	52
<b>Bijlagen, in een tweede document</b>	
1. <i>Impressie verschillende soorten spum</i>	1
2. <i>Verschillende soorten bestrating in Enschede</i>	2
3. <i>Impressie aantal stuks spum op een vierkante meter</i>	3
4. <i>Scenario's</i>	4
5. <i>Voorbehandelingsmethoden</i>	5
6. <i>Computervisie</i>	6
7. <i>Test en methode herkennen kauwgom</i>	7
8. <i>Invloed belichtingsomstandigheden</i>	8
9. <i>Argumenten tegen oppervlakte- en spotreiniging in één machine</i>	9
10. <i>Gegevens concepten</i>	10
11. <i>Verwijdersnelheid concepten 1, 2, 3</i>	12
12. <i>Impressie bewegingsruimte in winkelgebieden</i>	13
13. <i>Gebruiksomgeving apparaat</i>	14
14. <i>Interface</i>	15
15. <i>Berekeningen snelheid concept 3</i>	18

# Samenvatting

Het verwijderen van spum (op straat vastgeplakte kauwgom) zoals dat tot op heden gedaan wordt is zeer arbeidsintensief. Stichting Nederland Schoon wenst dat de Spumbuster, een door BekkerLaGram ontwikkelde machine om kauwgom te verwijderen, doorontwikkeld wordt zodat ze uiteindelijk ingezet kan worden om op een efficiënte manier spum van de straten te verwijderen. De Spumbuster is een speciaal ontwikkelde voertuigopbouw die gekoppeld is aan een standaard werktuigdrager. Spum wordt door middel van een oppervlaktereiniging met stoom onder relatief lage druk verwijderd. Nadat spum verwijderd is (losgemaakt of opgelost) wordt het residu opgezogen.

De oppervlaktereiniging van de ontwikkelde Spumbuster was niet toereikend, kauwgom werd niet goed verwijderd. Als oplossingsrichting is gekozen voor het individueel verwijderen van kauwgom door middel van 'hoge energiedichtheid spotreiniging,' met stoom onder hogere druk, waarbij bestratingsvoegen ontzien moeten worden van de behandeling om deze niet te beschadigen. Hiervoor moet kauwgom individueel gedetecteerd, en moeten de stoomnozzles nauwkeurig geplaatst worden. De manier waarop dit gedaan kan worden wordt beïnvloed door de wijze waarop de Spumbuster zelf gepositioneerd wordt. De centrale onderzoeksvraag is daarom: Hoe kan spum individueel gedetecteerd, en de Spumbuster gepositioneerd worden?

Om de meest geschikte oplossing voor dit probleem te ontwikkelen is begonnen met een analyse van de huidige Spumbuster. Vervolgens zijn spum zelf, de straat, het huidige reinigingsbeleid en concurrerende machines geanalyseerd, waarna een programma van eisen geformuleerd werd.

Hierna is op systematische wijze in kaart gebracht welke oplossingen er zijn voor de detectie van spum en de positionering van de stoomnozzles, op machinale en handmatige wijze. De functies detecteren en positioneren, maar ook bijvoorbeeld het verwijderen, kunnen aan de mens, de machine of aan een combinatie mens / machine toegewezen worden. Door de mogelijke combinaties te beoordelen is bepaald welke het meest geschikt is. Dit heeft geleid tot drie verschillende concepten met dezelfde functieallocatie. Het eerste concept maakt al rijdend schoon, de tweede doet dit uit stilstand en de derde doet dit ook uit stilstand maar heeft een kleiner werkgebied en is beter manoeuvreerbaar. De detectie wordt gedaan door een combinatie van beeldherkenning en detectie door de mens via een scherm. De positionering en het verwijderen gebeuren machinaal.

Het eindontwerp is een vanuit stilstand werkende machine ter grootte van de huidige machine. Vanuit stilstand reinigen is beter controleerbaar, makkelijker te realiseren en gebruiksvriendelijker. Daarnaast is het bijna even snel als rijdend reinigen, afgezien van gebieden met zeer lage concentraties spum (vanwege verhouding verwijderdijd / verplaatsingstijd). Er wordt steeds ongeveer één vierkante meter straat behandeld met de voorbouw vooraan de wagen. De voor de voorbouw onbereikbare plekken kunnen te voet met een kleiner afneembaar apparaat, dat vrijwel op dezelfde manier werkt als de voorbouw, behandeld worden. Doordat spum en de straat (belichting wordt wel gecontroleerd) geen constante factoren zijn zal de machinale detectiegraad wisselen per situatie. Om dit verschil op te vangen kan de mens de detectie van de computer monitoren en aanvullen via een interface, aanwezig in de cabine en op het kleinere apparaat. Hoe hoog de machinale detectiegraad daadwerkelijk zal zijn moet nog blijken, er is geen generiek werkend proof of concept gerealiseerd om spum machinaal te herkennen. Wel wordt de methode aangeraden door de geraadpleegde experts en is met relatief weinig moeite in enkele afbeeldingen spum succesvol herkend.



# Abstract

The way in which spum (spit out chewing gum on streets) is removed from the streets is very labour intensive. Stichting Nederland Schoon desires that the chewing gum removal machine Spumbuster, which has been developed by BekkerLaGram, is further developed in order for it to eventually be used for efficient gum cleaning. The Spumbuster is a specially developed vehicle structure that is attached to the standard machine carrier Boschong Pony P4. Spum is cleaned using a surface cleaning method with steam under relatively low pressure. After the gum is removed (disconnected or dissolved) the residue is vacuumed into the wastewater tank.

The Spumbuster's low-intensity surface cleaning was not sufficient because gum was not removed well enough. As the direction for a solution to this problem, the choice was made to instead of surface cleaning, remove gum individually by means of 'high energy density spot cleaning'. Paving joints should be spared from this treatment for it would damage them. In order to do this, gum has to be detected individually, and the steam nozzles have to be placed accurately. The best way in which this can be done is influenced by the way the Spumbuster itself will be positioned. The central research question therefore is: In what way can spum be detected individually, and the Spumbuster positioned?

In order to develop the best solution for this problem this research started off with an analysis of the current Spumbuster. Then spum itself, the street, the current cleaning policy and competitive machines are analysed, after which a programme of requirements for a renewed design is stated.

Hereafter, activities commenced in order to map out which solutions there are for detecting spum and positioning steam nozzles in mechanical and manual ways. The functions detecting and positioning, but also for instance the removing can be assigned to the human, the machine, or possibly a combination of man and machine. After evaluating the different options, a decision for a specific combination could be made. This led to three concepts with the same allocation of functions. The first concept cleans the street while moving, the second cleans from a standstill and the third also cleans from a standstill but has a smaller working area, which makes it more manoeuvrable. The detecting of spum is carried out by a combination of image recognition and detection by the human via a screen. The positioning and the removal of spum are carried out mechanically.

The final design is a machine that works from standstill, and is the size of the current one. Cleaning from a standstill, compared to cleaning while moving, is better controllable, easier to implement and more user-friendly. In addition, it is almost as fast as a mobile cleaning, apart from areas with very low concentrations of spum (because of ratio removal time / displacement time). About one square meter of street can be treated at a time by the working structure in front of the vehicle. Areas that are inaccessible to this structure can be cleaned on foot by using a smaller removable device that works in practically the same way as the larger working structure. Because spum and the street (lighting conditions are controlled) are not constant factors the mechanical detection rate will vary per situation. The driver can compensate for this difference by monitoring the computer and complementing the detection of gum via an interface, either in the cabin or via the smaller device. How high the mechanical detection rate will be remains to be seen, no generically working proof of concept to detect spum mechanically was realised. However, the consulted experts recommended this method and spum was recognised with relatively little effort in a few photos.



# 1. Inleiding

In elke winkelstraat is uitgespuugde en platgetrapte kauwgom te vinden, het zogeheten spum. Ronde vlekken op de straattegels die moeilijk weg te krijgen zijn en er vies uitzien. Stichting Nederland Schoon zet zich in voor een zichtbaar en merkbaar schoner Nederland en zou de straten graag weer kauwgomvrij willen zien. Conventionele middelen om spum te verwijderen zijn echter arbeidsintensief en daarom duur. NLSchoon heeft daarom BekkerLaGram, leverancier van al het materieel dat wordt ingezet bij afvalinzameling, waaronder materiaal voor wegenreiniging, ingezet om een efficiënte oplossing te vinden om spum te verwijderen.

Het verwijderen van spum kan op verschillende manieren. BekkerLaGram heeft onderzocht wat de meest geschikte manier is om kauwgom te verwijderen en volgens hun rapport (Kamp, 2012) biedt een methode met oververhitte stoom op hoge druk het beste resultaat. BekkerLaGram heeft ondervonden dat wanneer alleen oververhitte stoom gebruikt wordt, het zogenaamde hoge energiedichtheid spotreinigen, de spum na drie seconden losraakt van het straatoppervlak. Hierdoor is het mogelijk dat de spum opgezogen wordt en er geen chemisch middel nodig is. BekkerLaGram heeft technologie in huis die in staat is om de spum en het resterende water vervolgens op te zuigen. Het bedrijf heeft eerder, in opdracht van NLSchoon, een prototype genaamd Spumbuster ontwikkeld die volgens een vergelijkbaar principe zou moeten werken. Dit prototype voldeed echter niet aan de eisen. Het vervolg van dit verslag gaat over de Spumbuster die ontwikkeld is door BekkerLaGram, en vooral hoe deze doorontwikkeld kan worden zodat ze aan de eisen voldoet.

Het verslag begint met een probleemstelling waarin de huidige Spumbuster kort wordt geëvalueerd. Er wordt behandeld waarom deze niet goed functioneerde, en op welke fronten een nieuw ontwerp moet verschillen om een product tot stand te kunnen laten komen dat de gewenste resultaten kan bereiken. De onderliggende vraag hier is hoe een nieuwe Spumbuster te werk zal moeten gaan en wat de opgelegde beperkingen voor het ontwerp zijn.

Na deze probleemstelling wordt het eindresultaat getoond dat voortgekomen is uit een systematisch uitgevoerd ontwerpproces. Hier wordt getoond hoe de machine werkt, en ook hoe de interactie tussen machine en bestuurder zal zijn.

Het daaropvolgende gedeelte van het verslag gaat over het ontwerpproces. Hier worden gemaakte keuzes uitgebreid toegelicht. Dit proces is begonnen met een analysefase waarin onder andere concurrerende producten, op straat liggende kauwgom en de werkomgeving van de Spumbuster besproken worden. Hierop volgt een eerste conceptfase met een breed aanbod aan oplossingsrichtingen. Deze worden beoordeeld waarna beslist wordt om bepaalde oplossingsrichtingen al dan niet verder uit te werken. In de daaropvolgende tweede conceptfase zijn bepaalde oplossingsrichtingen verder uitgewerkt en zijn hier meerdere concepten uit ontstaan. Deze worden opnieuw getoetst waarna een uiteindelijk concept tot stand komt, welke vervolgens verder uitgewerkt wordt in fase conceptuitwerking. Hierna wordt nog uitgebreid gereflecteerd op het ontwerpproces.

Tot slot volgen de conclusies en aanbevelingen waarin wordt gereflecteerd op het eindontwerp zelf.

## 2. Probleemstelling

### 2.1. Huidige Spumbuster

De Spumbuster is een speciaal ontwikkelde voertuigopbouw voor het intensief reinigen met stoom van met vastgeplakte kauwgom, zogenaamd spum, verontreinigde oppervlakken. Als voertuig wordt een standaard werktuigdrager ingezet, het standaard multi purpose voertuig Boschung Pony P4. Deze Boschung Pony (LxBxH = 4000 x 1290 x 2000 mm) heeft vierwielbesturing waardoor ze zeer wendbaar is voor een werktuigdrager (figuur 1,2).

Voor het voertuig is het werkend oppervlak geplaatst (voorbouw), met daarin twee stoomswivels die een soort ruitenwisserbeweging heen en weer maken. Aan deze swivels zijn stoomnozzles bevestigd die de stoom op het oppervlak spuiten. Achter de cabine bevinden zich drie compartimenten: Eén compartiment voor schoon (regen)water (1100L), één voor vuil water met opgezogen spum (1200L) en twee boilers waar de stoom gevormd wordt (130 °C).

De werking van de huidige Spumbuster is als volgt: het voertuig rijdt met een lage snelheid van 1,6 kilometer per uur vooruit, de stoom-swivels bewegen heen en weer en het volledige oppervlak (breedte 1m) wordt gereinigd. De spum zou los moeten raken van de straat waarna het residu (water, vuil, spum) wordt opgezogen en naar het vuilwatercompartiment geleid wordt. Niet alleen de kauwgomplekken, maar het hele oppervlak wordt door de Spumbuster gereinigd zodat ook de grauwsliuier van de straat verwijderd wordt. Hierdoor ontstaan geen zogenaamde 'schone spots'.



Figuur 1: Huidige Spumbuster (DiBo Greenboiler in de nieuwe Spumbuster Machine van bekkerlagram - Nieuws - DiBo, 2011)



Figuur 2: Boschung Pony P4 (Boschung Pony)

## 2.2. Probleemaanpak

Het probleem met de huidige spumbuster is dat de individuele kauwgomplekken niet goed gereinigd worden vanwege te lage druk. Het resultaat is dat kauwgomplekken bijvoorbeeld maar gedeeltelijk losgeweekt en vervolgens uitgerekt worden tot lange stroken kauwgom. Dit uitrekken komt door een afsluitende rubberen flap die over het straatoppervlak glijdt. Voordat de kauwgom voldoende los raakt zou er meer stoom onder grotere druk op uitgespoten moeten worden.

Het is echter geen optie om op het volledige straatoppervlak hogere druk stoom te spuiten omdat dat ten koste zou gaan van de werkingsgraad, het zou te veel energie gaan kosten. Ook is dit niet mogelijk omdat hogere druk ten koste zou gaan van de bestratingsvoegen, doordat het materiaal dat in de voegen zit dan weggespoten zou worden.



Figuur 3: Uitgesmeerde spum

Om de kauwgomplekken te reinigen zonder dat dit ten koste gaat van de werkingsgraad, en om de bestratingsvoegen intact te laten, moeten de kauwgomplekken individueel gedetecteerd, en vervolgens verwijderd worden door middel van hoge energiedichtheid spotreiniging. Door deze methode raakt spum al na drie seconden los van het straatoppervlak. Volgens de gegevens van BekkerLaGram is per stuk kauwgom zo'n 0,435 liter water nodig. Er moet dus omgeschakeld worden van oppervlakte- naar spotreiniging.

Doordat de bestratingsvoegen ontzien moeten worden van hoge energiedichtheid spotreiniging, is het ook nodig om deze voegen te kunnen detecteren, of om te kunnen herkennen wanneer gedetecteerde spum op een voeg ligt. Om spum die op een voeg ligt te verwijderen is het mogelijk om de stoom een wat langere tijd op een naastgelegen steen te spuiten. Verder is een wens dat dezelfde machine het resterende straatoppervlak schoonmaakt door middel van lage energiedichtheid oppervlaktereiniging. Hierdoor ontstaan geen schone spots en wordt de volledige straat gereinigd.

Om dit doel te bereiken kan in principe kan de hele voorbouw van de opbouw die de Spumbuster is gewijzigd worden, zolang deze nog wel op een standaard werktuigdrager past. De werktuigdrager zelf, de twee boilers en de twee reservoirs kunnen in principe niet aangepast worden, tenzij uiteindelijk blijkt dat er betere oplossingen zijn. Hoe de nozzles precies gepositioneerd kunnen worden wordt binnen dit verslag niet behandeld aangezien daar veel geschikte oplossingen voor bekend zijn bij BekkerLaGram. Het accent ligt in dit onderzoek op de detectie van spum, en de algehele werking en positionering van de Spumbuster die moet passen bij de manier van detectie.

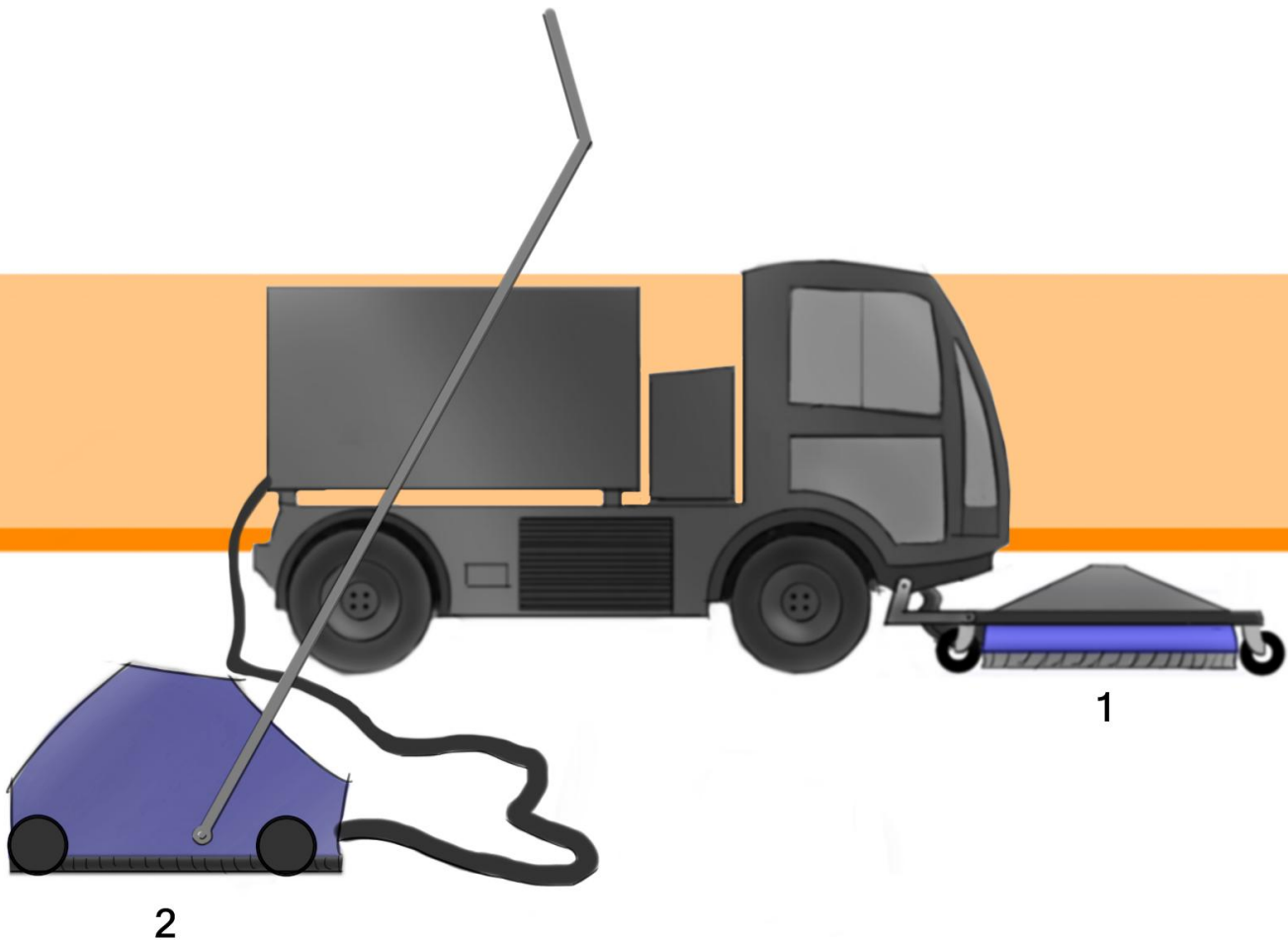
Op de volgende acht pagina's wordt het eindontwerp gepresenteerd, en in het daaropvolgende verslaggedeelte worden de gemaakte keuzes voor het eindontwerp verder toegelicht.

## 3. Eindontwerp

### 3.1. Inleiding

Op deze pagina is het uiteindelijke ontwerp van de Spumbuster afgebeeld. Deze is in staat om spum individueel te detecteren en twee stuks spum tegelijkertijd te verwijderen met een maximale verwijdersnelheid van 30 stuks per minuut. Hiervoor worden twee spuitnozzles ingezet die de spum met hoge intensiteit spotreiniging verwijderen. De machine is het meest geschikt voor zwaar verontreinigde gebieden maar kan ook efficiënt ingezet worden in gebieden met minder spum.

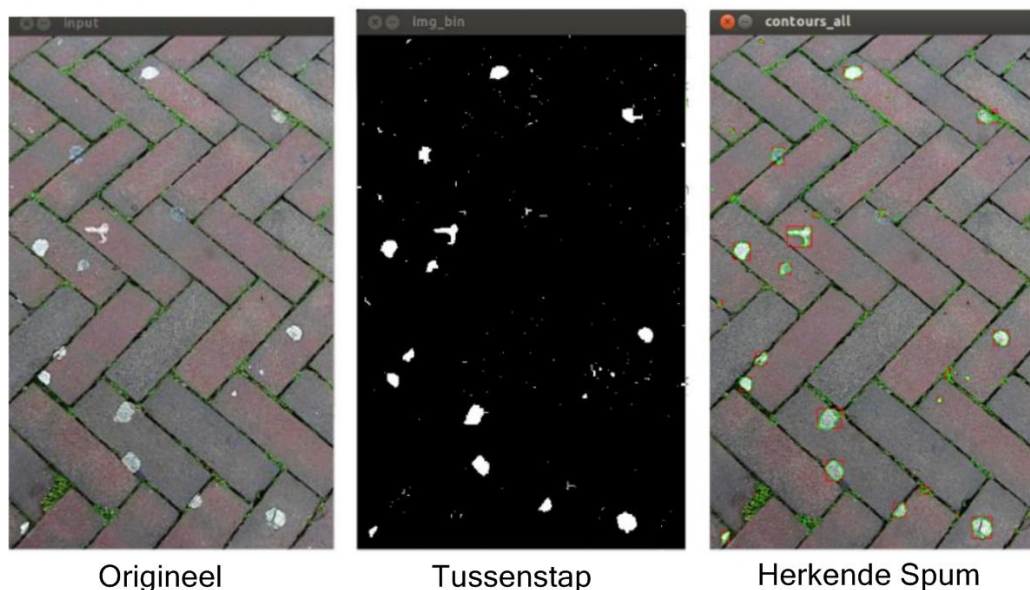
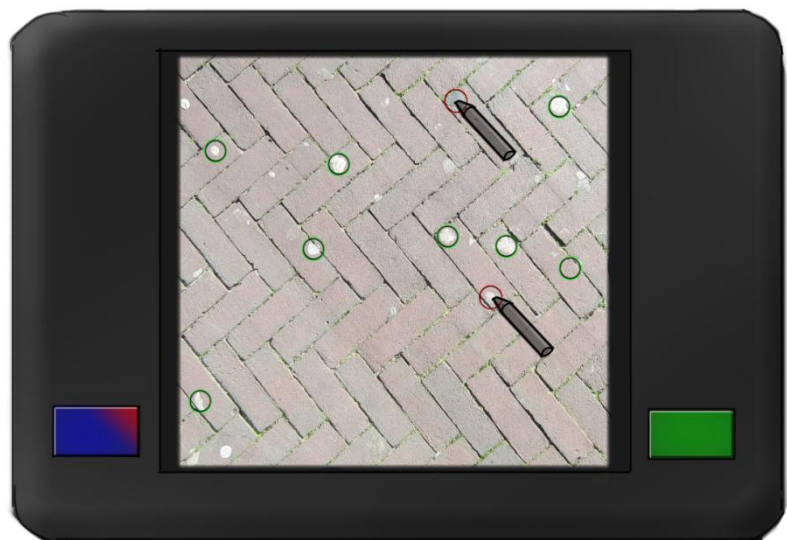
Voor de werktuigdrager bevindt zich een voorbouw (1) ter grootte van de huidige Spumbuster. Door dit grote werkvlak kunnen makkelijk bereikbare gebieden op een snelle manier worden behandeld. De reiniging wordt, in tegenstelling tot de voormalige Spumbuster, vanuit stilstand uitgevoerd, waarbij steeds ongeveer één vierkante meter straat behandeld wordt. Er wordt geen oppervlakereiniging uitgevoerd omdat deze moeilijk te combineren is met de discontinue spotreiniging. Rond obstakels, waar relatief veel spum ligt zoals rond prullenbakken, kan een afneembaar apparaat (2) gebruikt worden. De bestuurder kan deze te voet rond obstakels manoeuvreren, en dit apparaat heeft net als de voorbouw twee spuitnozzles. Dit apparaat werkt volgens hetzelfde principe als de voorbouw.



### 3.2. Detectie

Het detecteren wordt gedaan door een combinatie van beeldherkenning en detectie via een scherm door de bestuurder. Beeldherkenning is een vorm van computervisie waarmee met een specifiek computerscript de computer onder andere kan bepalen of een bepaalde vorm in een beeld spum is. Hierdoor kan zeer snel berekend worden waar zich spum bevindt. Deze methode zal echter niet alle spum detecteren; in de ene straat zal dit beter gaan dan in de andere straat. Dit komt door wisselende ondergronden en variërende vormen van spum. Sommige spum kan namelijk erg onopvallend zijn, bijvoorbeeld vanwege laag contrast (grijze spum op een grijze straat). Het is de bedoeling dat de Spumbuster het overgrote deel van de spum detecteert, en de bestuurder dan de ongedetecteerde spum kan aangeven via een scherm (figuur 4). Uit gesprekken met R. Kauw-A-Tjoe, een expert op het gebied van beeldherkenning, is gebleken dat beeldherkenning geschikt is om spum individueel te detecteren en dat bestratingsvoegen gezien het grote contrast zelfs makkelijk te detecteren zijn. Spum herkennen heeft hij voor dit project gedemonstreerd zoals te zien in figuur 5.

Figuur 4: Voorbeeld van een User Interface voor de Spumbuster. Computervisie doet het grootste gedeelte van de detectie, de bestuurder kan de handelingen van de computer monitoren en wanneer nodig aanvullen of corrigeren.

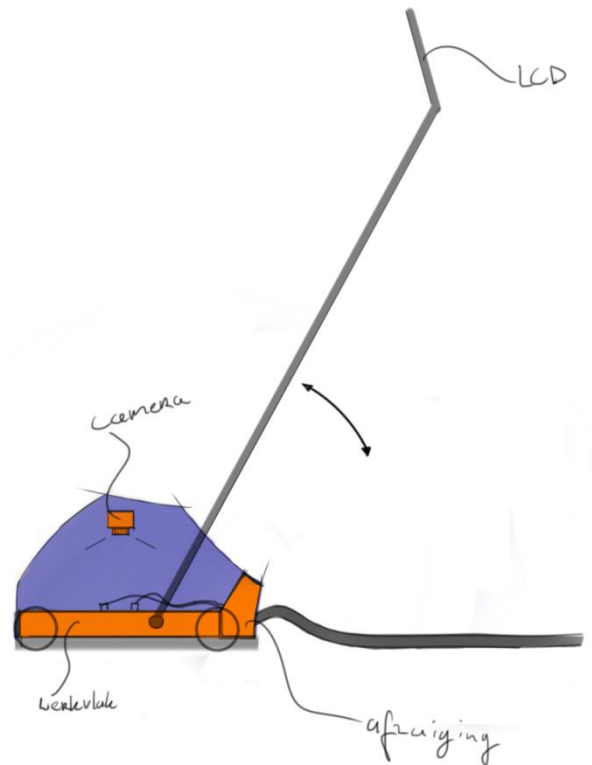


Figuur 5: Voorbeeld gedetecteerde spum. Herkende spum bevindt zich in een rood hokje.

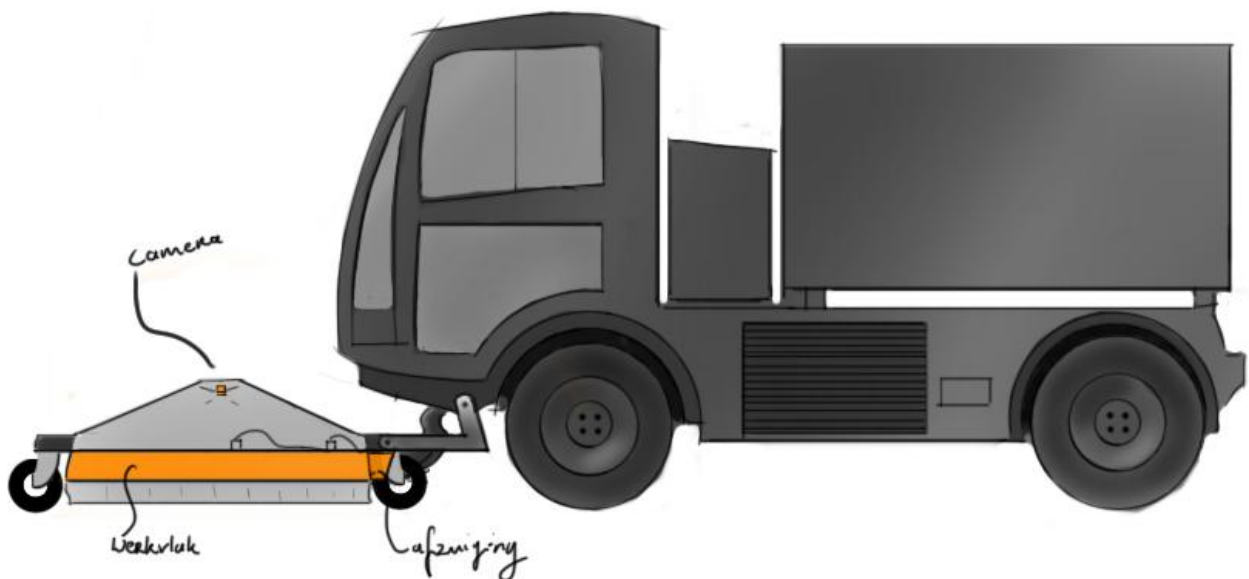
### 3.3. Onderdelen

De voorbouw is een afgesloten ruimte waarbinnen kauwgom wordt gedetecteerd en verwijderd (figuur 7,8). Deze ruimte is afgesloten van omgevingslicht zodat belichtingsomstandigheden constant gehouden kunnen worden waardoor beeldherkenning makkelijker is. Voor de detectie wordt als camera een webcam gebruikt met een grote beeldhoek, zoals 120 graden. Door deze grote beeldhoek is het mogelijk dat de hoogte van de voorbouw betrekkelijk klein blijft en er maar één camera gebruikt hoeft te worden. Webcams van goede kwaliteit zijn geschikt voor beeldherkenning en het beeld is ook goed genoeg om kauwgom door de mens te laten herkennen.

Aan de onderkant van de voorbouw zitten flappen die over elkaar heen vallen om het licht zo veel mogelijk te blokkeren. Om de webcam kan een ringvormige lamp geplaatst worden om de ideale belichtingsomstandigheden te creëren. Het apparaat waarmee rond obstakels schoongemaakt kan worden werkt op dezelfde manier (figuur 6).



Figuur 6: Onderdelen Apparaat: Camera, werkvlak, afzuiging en interface via bijvoorbeeld een LCD-scherm



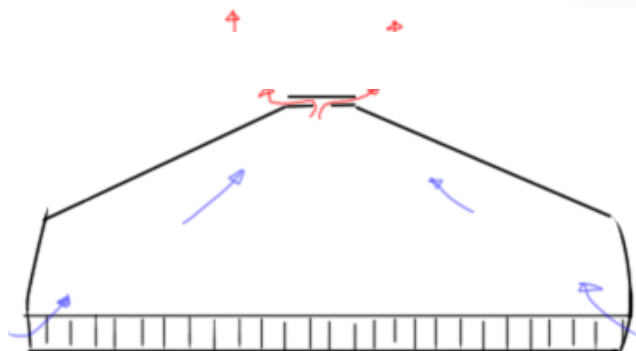
Figuur 7: Onderdelen Voorbouw: Camera, werkvlak en afzuiging



Een nadeel van de afgesloten ruimte is dat de stoom niet makkelijk weg kan, wat de detectie kan belemmeren. Ook zou condens een probleem kunnen vormen voor de camera. Volgens de expert zijn er tegen condens genoeg oplossingen, zoals een doorzichtig omhulsel voor de lens met bijvoorbeeld een ruitenwischer. De gevangen stoom wordt ook wellicht volledig weggezogen door de afzuiging van de Spumbuster waarna de hitte ook hergebruikt zou kunnen worden. Ook kan een natuurlijke ventilatie gecreëerd worden, te zien in figuur 9. Of dit werkt of nodig is zal nog onderzocht moeten worden. Andere oplossingen zijn het openen van de behuizing als er gereinigd wordt, het gebruik van een ventilator en een verwarmd omhulsel voor de camera.



Figuur 8: 3D-weergave Spumbuster



Figuur 9: Mogelijke oplossing ventilatie

### 3.4. Scenario

Hieronder is een scenario beschreven dat de werking van de Spumbuster verheldert:

De Spumbuster en de bestuurder worden door een dieplader vanaf de basis naar de juiste locatie gebracht, een winkelcentrum. Het is een zwaar met spum vervuild gebied. De gebruiker zet het detectiesysteem aan, en via de interface ziet hij dat kauwgom wordt herkend, zeker twintig stuks binnen deze vierkante meter. De gebruiker controleert gedurende enkele seconden of er niet heel veel 'false hits' zijn en de computer niet op allemaal voegen mikt. De spots die herkend zijn lijken allemaal goed en de gebruiker laat de machine beginnen met reinigen.

Het reinigen van de twintig stuks kauwgom duurt zo'n veertig seconden. In de tussentijd kijkt de gebruiker op het scherm of er nog kauwgom ligt die niet is herkend door de computer. In deze tijd vind hij nog drie niet gedetecteerde plekken en hij geeft deze aan via de interface. Op de interface ziet hij een foto van het werkgebied en het scherm heeft ongeveer de grootte van een vel A4-papier. Als de gebruiker klaar is met het aangeven van spots, kan hij via een knop schakelen naar live beelden van het werkgebied. Hij kan dan het verwijderen zelf zien voor zover dat gaat met de stoomontwikkeling.

De interface geeft op een gegeven moment aan dat de machine klaar is met reinigen. De gebruiker kan vervolgens op een knop drukken waardoor de machine een vaste afstand vooruit rijdt tot het volgende werkgebied. Tijdens het rijden wat zo'n vier seconden duurt, wordt het residu (water, stukjes spum) door de Spumbuster opgezogen en moet de stoom verdwijnen. Als de machine weer is gestopt met rijden wordt automatisch weer een foto gemaakt en deze wordt ook snel geanalyseerd door de computer.

Als de gebruiker alle open ruimtes in een gebied heeft gereinigd rijdt hij naar een plek toe waar de grote voorbouw niet bij kon komen. Hij rijdt voorbij een aantal bankjes en een prullenbak tot de achterkant van de wagen in de buurt is van de juiste plek. Het apparaat wordt vervolgens van de achterkant van de wagen af genomen en naar het eerste werkgebied toe geduwd. Kauwgom wordt automatisch herkend, en de gebruiker laat de machine schoonmaken. Niet gedetecteerde kauwgom kan vervolgens aangegeven worden waarna de machine deze plekken ook reinigt. Aan het handvat zit een hendel (net een handrem van een fiets) waarmee de afzuiging ingeschakeld wordt. Als de machine klaar is drukt de gebruiker deze hendel in en duwt hij het apparaat naar voren waardoor een groot gedeelte van het residu op wordt gezogen. Vervolgens kan het volgende gebied behandeld worden. Als er geen locaties meer binnen het bereik zijn van de slang kan de gebruiker het apparaat even aan de achterzijde van de Spumbuster hangen. Vervolgens moet de Spumbuster naar de volgende locatie gereden worden.

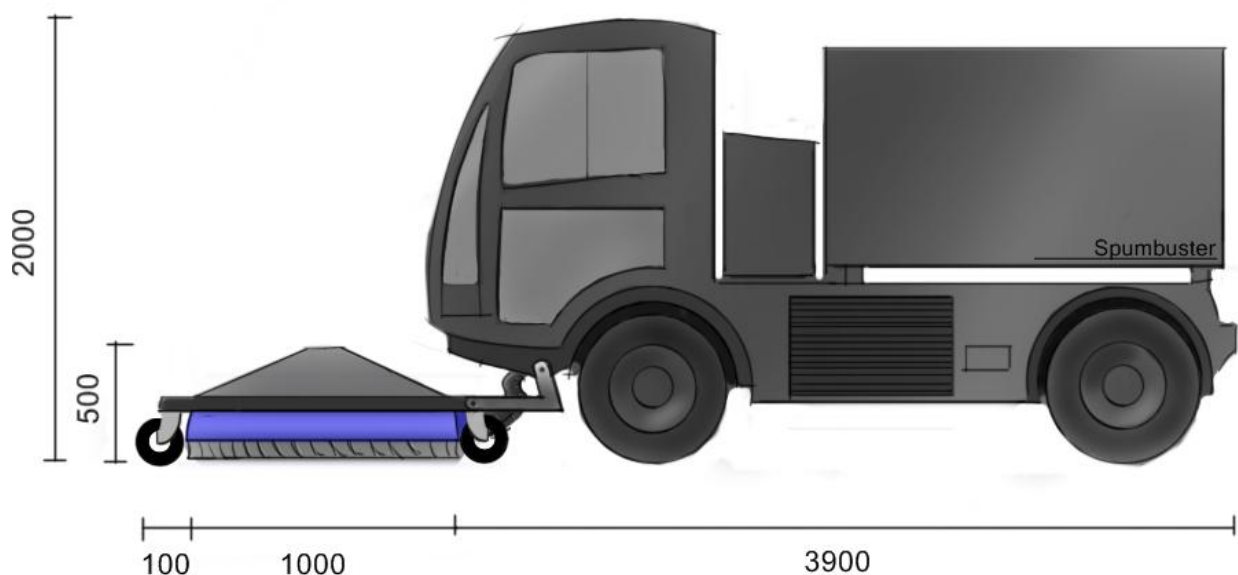
### 3.5. Details

Het gedeelte van de Spumbuster dat zich op de wagen bevindt, bestaande uit onder andere de twee boilers en de watercompartimenten, is hetzelfde gebleven. De 1100 Liter water uit het waterreservoir zijn goed voor ruim 2500 stuks spum, gezien de huidige gegevens van BekkerLaGram. Dit reservoir kan dan echter al in zo'n anderhalf tot twee uur leeg zijn. De Spumbuster zal daarom op locatie een aantal keer bijgevuld moeten worden, wellicht door middel van een brandkraan, er vanuit gaande dat er geen opgezogen vuil water wordt hergebruikt.

Voorbouw en apparaat lijken in werking erg op elkaar. De oppervlakte van het werkvlak van het apparaat is echter zo'n 14 keer kleiner dan dat van de voorbouw. Het apparaat is een miniatuurversie van de voorbouw, maar heeft dezelfde nozzles, dezelfde camera en wordt voortgeduwd als een soort kleine grasmaaier. De interface van voorbouw en apparaat werken ook op dezelfde manier. De interface voor de voorbouw bevindt zich in de cabine en die van het apparaat is boven op het handvat geplaatst.

#### Afmetingen

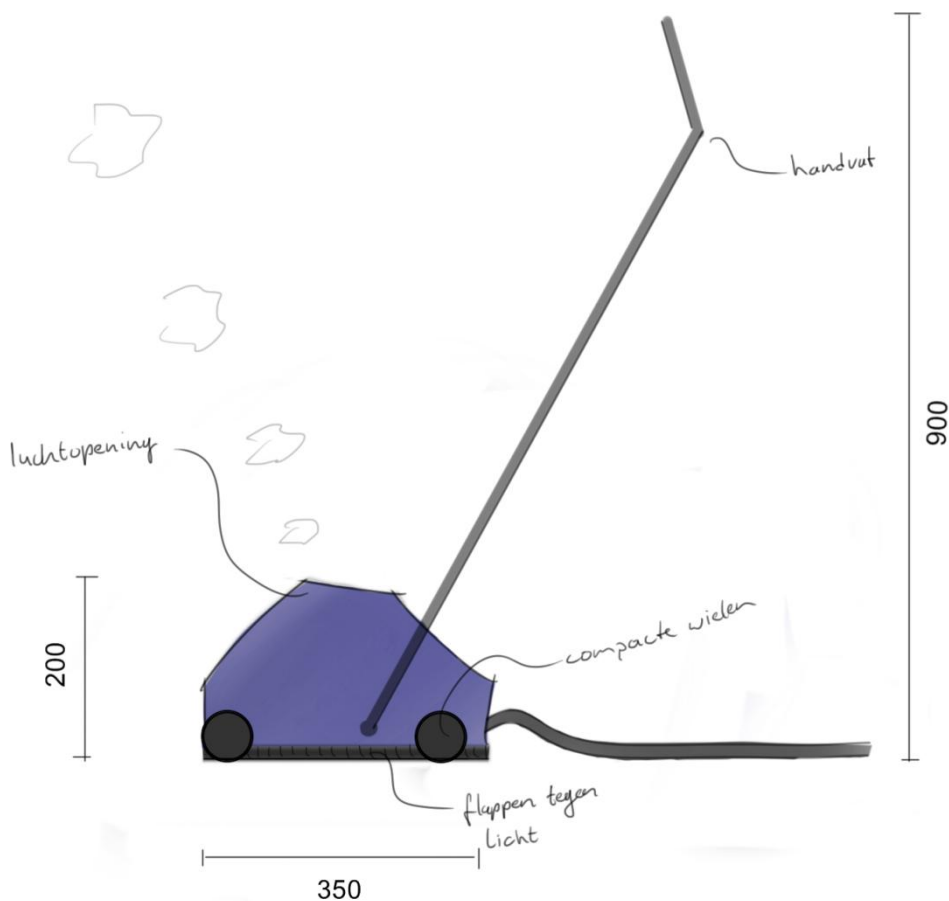
De voorbouw van de Spumbuster is ongeveer een meter in lengte, heeft een hoogte van 0,50 meter en een breedte van zo'n 1,30 meter, wat ook de breedte van de werktuigdrager is. Door deze vergrote breedte is de reinigingssnelheid wat hoger en kan er langs randen schoongemaakt worden. De wielen bevinden zich in het verlengde van de voorbouw zodat deze niet in de weg zitten als er langs randen wordt schoongemaakt (figuur 10).



Figuur 10: Afmetingen voorbouw en werktuigdrager

Het apparaat heeft een werkvlak van zo'n 0,30 bij 0,30 meter. Vanwege de afzuiging en de extra ruimte die nodig is om de nozzles en positioneringsmechanismen uit beeld te bewegen is de lengte van het apparaat ongeveer 0,35 meter. De hoogte van de behuizing is 0,20 meter, waardoor ook onder bankjes schoongemaakt kan worden. Een apparaat van deze grootte kan op vrijwel elke plek komen om spum te verwijderen. Zwaar met spum verontreinigde plekken zoals gebieden rond prullenbakken hebben doorgaans ook maar een kleine radius. Het apparaat hoeft hierdoor zelfs met dit kleine werkvlak maar een paar keer verplaatst te worden rond elk obstakel (figuur 11, 12).

De slang van het apparaat is aan de achterkant van de wagen bevestigd en het apparaat zelf kan ook aan deze kant bevestigd worden. Deze slang moet erg lang zijn, zeker 10 meter, zodat in doodlopende stukken de gebruiker de wagen niet achteruit naar de juiste plek moet rijden, om bij de spum te kunnen komen. Dit aangezien de Boschung Pony inclusief voorbouw vijf meter lang is. In de meeste gevallen kan de gebruiker langs de locatie rijden tot de achterkant van de wagen vlak naast de schoon te maken plek is.



Figuur 11: Afmetingen Apparaat



Figuur 12: 3D-Weergave Apparaat

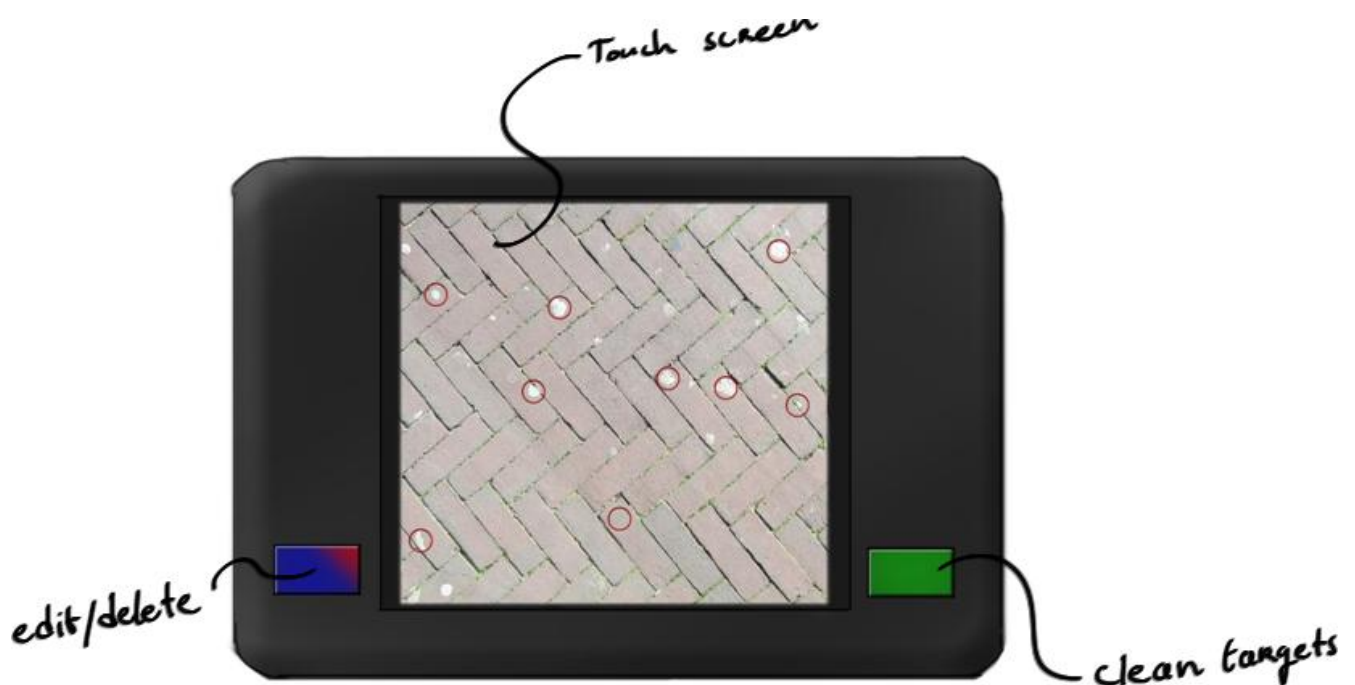
## User Interface

Interactie met de interface voor de herkenning van de voorbouw kan via een paneel in de cabine. Interactie met het apparaat kan via een zelfde type paneel dat boven het handvat van het apparaat bevestigd is.

De interface bestaat uit een touchscreen met twee fysieke knoppen. Het touchscreen wordt voor extra precisie met een elektronische pen bediend. Op het scherm is een foto te zien van het werkgebied, maar er kan ook geschakeld worden naar live-beelden. De door de computer als kauwgom herkende plekken worden weergegeven door een rode cirkel (figuur 13). Voordat de machine begint met het reinigen van bepaalde spots moeten deze eerst goedgekeurd worden door de bestuurder. Als alle met rood omcirkelde plekken volgens de bestuurder juist zijn drukt hij op de groene knop, waarna deze plekken vrijgegeven worden en ook schoongemaakt worden. Deze rode plekken kleuren vervolgens groen. Voordat er gereinigd wordt moet de machine altijd eerst goedkeuring krijgen van de bestuurder. De gebruiker kan ongedetecteerde spum met de pen aangeven, en coördinaten van spum verwijderen of verplaatsen via de linker knop. In bijlage 15 wordt meer uitleg gegeven over de user interface en is in stappen weergegeven hoe deze interface zou kunnen werken.

## Vervolg

Hierbij is een eind gekomen aan het verslaggedeelte over het eindresultaat. Het volgende verslaggedeelte behandelt het ontwerpproces, waarin gemaakte keuzes toegelicht worden. Aan het eind van het verslag volgt een hoofdstuk met conclusies en aanbevelingen, en ook wordt er een toekomstscenario geschetst.



Figuur 13: Interface. Door de computer als kauwgom herkende plekken worden weergegeven door een rode cirkel.

## 4. Ontwerpproces

Het verslaggedeelte over het ontwerpproces is onderverdeeld in vier fasen: de analysefase, de eerste conceptfase, de tweede conceptfase en de conceptuitwerkingsfase.

Binnen deze fasen zijn verschillende onderzoeksvragen beantwoord die in deze volgorde hebben geleid tot het uiteindelijke ontwerp. Op deze pagina staan de vier verschillende ontwerpfases, en op de rechterpagina staan de daartoe behorende onderzoeksvragen. Aan de gekleurde strook aan de linkerzijde van de onderzoeksvragen is te zien binnen welke fase de verschillende onderzoeksvragen vallen.

Analyse

1<sup>e</sup> Conceptfase

2<sup>e</sup> Conceptfase

Uitwerking

## 4.1. Onderzoeksvragen

De centrale onderzoeksvraag is:

*Hoe kan spum individueel gedetecteerd, en de Spumbuster gepositioneerd worden?*

Onderzoeks- en deelvragen zijn:

- 1. Wat zijn de eigenschappen van de huidige Spumbuster?**
  - 1.1. Wat zijn de technische eigenschappen van de huidige Spumbuster?
  - 1.2. Door welke factoren was het huidige prototype niet succesvol?
  - 1.3. Wat moet er veranderd worden?
  - 1.4. In hoeverre kan het huidige ontwerp veranderd worden?
- 2. Wat zijn de kenmerken van spum, de straat en het huidige reinigingsbeleid?**
  - 2.1. Wat zijn de kenmerken van spum?
  - 2.2. Wat zijn de kenmerken van de straat?
  - 2.3. Wat zijn de kenmerken van het huidige reinigingsbeleid?
  - 2.4. Hoe werken conventionele reinigingsmethoden?
- 3. Wat zijn de eisen en wensen voor een herontwerp van de Spumbuster?**
  - 3.1. Wat zijn de technische eisen?
  - 3.2. Wat zijn eisen op het gebied van gebruiksgemak?
  - 3.3. Wat zijn economische eisen?
- 4. Op welke manieren kan spum gedetecteerd, en de Spumbuster gepositioneerd worden?**
  - 4.1. Welke oplossingen zijn er voor het detecteren?
  - 4.2. Welke oplossingen zijn er voor het positioneren?
  - 4.3. Hoe kunnen de oplossingen voor het detecteren en positioneren samengevoegd worden?
  - 4.4. Welke combinaties van oplossingen voldoen het best aan de gestelde eisen?
- 5. Op welke manier worden de oplossingen van hoofdvraag 4 het best geïmplementeerd?**
  - 5.1. Hoe moet de detectie werken en hoe hoog is de detectiegraad?
  - 5.2. Op welke manier wordt de oppervlaktereiniging gecombineerd met de spotreiniging?
  - 5.3. Op welke manier wordt de spum verwijderd?
- 6. Welke concepten zouden een verbetering kunnen zijn ten opzichte van de huidige Spumbuster, gegeven de opgestelde eisen en wensen?**
  - 6.1. Welke concepten zijn voortgekomen uit hoofdvraag 4?
  - 6.2. Hoeveel potentie hebben deze concepten gezien de gestelde eisen?
  - 6.3. Welke van de concepten voldoet het best aan het programma van eisen?
- 7. Hoe wordt het gekozen concept verder uitgewerkt?**
  - 7.1. Wat is het uiteindelijke product?
  - 7.2. Hoe wordt spum gedetecteerd?
  - 7.3. Hoe wordt het product verder ontwikkeld in de toekomst?

## 4.2. Analysefase

Voordat gezocht werd naar oplossingen voor de Spumbuster is een analyse uitgevoerd van onder andere de bestaande Spumbuster, diens beoogde werkomgeving en concurrerende producten. Dit geeft het ontwerpprobleem een meer verhelderde context. Zo is er bijvoorbeeld ook onderzoek gedaan naar kauwgom zelf: hoe ziet deze kauwgom eruit? Waar ligt de kauwgom? Wat zijn de eigenschappen van deze kauwgom?

Met behulp van deze input zijn scenario's geschreven om een beeld te vormen van mogelijk gewenst gedrag van de Spumbuster en interactie met de gebruiker. Op deze manier wordt ook de breedte van mogelijke oplossingen geïllustreerd en kunnen ontwerpproblemen vroegtijdig ontdekt worden. Zo worden er later in het ontwerpproces minder verkeerde keuzes gemaakt.

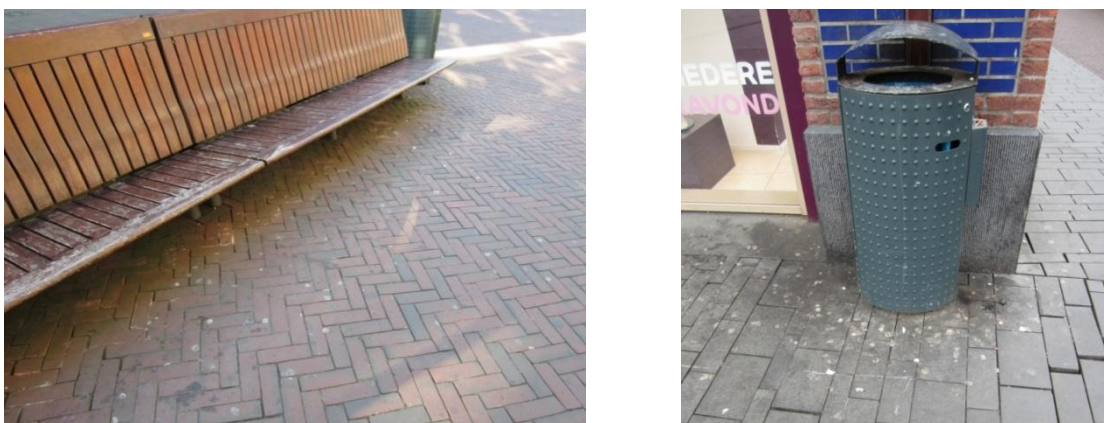
In dit verslagdeel zullen al deze zaken besproken worden waarna een programma van eisen opgesteld kan worden waar het ontwerp van de nieuwe Spumbuster aan moet voldoen. Dit programma van eisen is te vinden aan het eind van dit verslagdeel.

### 4.2.1. De kenmerken van kauwgom op straat

Door de kauwgom die op straat ligt te bestuderen en experts te raadplegen is hier informatie over gewonnen. Gegevens zijn voornamelijk gebaseerd op de kauwgom in de binnenstad van Enschede.

Spum is van variërende grootte en vorm, maar de platgetrapte kauwgom heeft doorgaans een grootte van om en nabij twee bij twee centimeter. Daarnaast zijn kauwgomplekken verschillend van kleur, variërend van wit tot grijs, en van grijs tot zwart. Deze verkleuring van wit naar grijs en uiteindelijk zwart ontstaat door vuil. De zwarte of grijze laag is oppervlakkig. Gekleurde kauwgom zoals rode kauwgom is maar zeer zelden te zien. De belichting is van grote invloed op de zichtbaarheid van spum. Zo is op een zwaar bewolkte dag de spum erg goed te zien. Wanneer de zon vol op de straat schijnt rond twaalf uur 's middags dan is de kauwgom slechter zichtbaar. 's Avonds en 's ochtends glinstert de spum vanuit de juiste hoek opvallend in de zon.

De dikte van de kauwgom is ook erg verschillend, van zeer dun en bijna weggesleten tot een aantal millimeter dik. Zwaar versleten spum valt amper op. De kleur en dikte is afhankelijk van de duur die de kauwgom heeft doorgebracht op straat en de slijtage die ze heeft ondergaan. Over het algemeen is dikkere witte kauwgom relatief vers en zwarte kauwgom relatief oud. Hoe lang het ongeveer duurt voordat kauwgom verkleurt is onbekend. Een overzicht van verschillende soorten spum is te zien in bijlage 1.



Figuur 14: Links: Spum rond een bankje. Rechts: Spum rond een prullenbak (Enschede)



#### 4.2.2. Kauwgom en de straat

De verdeling van kauwgom in de open ruimte op straat lijkt volkomen willekeurig te zijn. Bij prullenbakken, putten, goten, bankjes en bushaltes is de concentratie hoger (Figuur 14). Ook voor ingangen van de snackbar en het casino is de concentratie hoger dan gemiddeld. Dit gemiddelde ligt in de binnenstad van Enschede (in drukke winkelstraten) op zo'n 12 stuks opvallend zichtbare spum per vierkante meter. Dit is echter een grove schatting, er is geen voldoende uitgebreid onderzoek naar gedaan. In smallere straten lijkt er meer spum langs de rand van de straat te liggen dan in bredere straten. Midden op pleinen is de concentratie lager, de spum ligt zoals verwacht kan worden op de door meer mensen belopen randen van het plein. Wanneer en of deze straten schoongemaakt zijn is niet onderzocht, er is alleen bepaald hoeveel er op het moment ongeveer lag. In bijlage 3 staan afbeeldingen van het aantal stuks spum dat op één vierkante meter kan liggen.

De straat in de binnenstad van Enschede is over het algemeen behoorlijk vlak; de tegels steken niet uit en de voegen zijn dusdanig smal dat kauwgom zich niet diep tussen de tegels kan nestelen. Dit op de straten met kinderkopjes na. In deze straten zijn de voegen relatief breed en kan de spum zich goed (in zijn geheel) tussen de tegels en onder het tegeloppervlak nestelen. Naast kauwgom ligt er ook allerlei ander vuil op straat, zoals olieresten, sigaretten, algen en vogelpoep. De tegels zijn meestal grijs. In bijlage 2 is een impressie te zien van de verschillende soorten straten in de binnenstad van Enschede. Op grijze straten is de witte spum het meest opvallend. In de binnenstad zijn er ook allerlei obstakels zoals terrassen, palen, vuilnisbakken, borden, hekjes, bomen en kunstwerken. Daarnaast zijn er langs de rand obstakels zoals regenpijpen, andere uitstekende stukken wand en moeilijk bereikbare gebieden zoals portieken (figuur 15).



Figuur 15: Mogelijke obstakels voor de Spumbuster (Enschede)

### 4.2.3. Het reinigingsbeleid

Op de ReinigingsDemoDagen 2013 is gesproken met een aantal ondernemers die actief zijn in de reinigingsbranche. Uit de gesprekken bleek dat de gemiddelde straat in Nederland alleen maar wordt gereinigd met veegwagens waarbij al het losse vuil met (natte) borstels verwijderd wordt. Intensieve reiniging, door middel van stoom of met heet water en een chemisch middel gebeurt over het algemeen alleen in straten met zogenaamde speciale betegeling, die men mooi en goed zichtbaar wil houden. Intensieve reiniging met uitsluitend heet water verwijdert de kauwgom echter niet.

In de gemiddelde straat wordt kauwgom nooit verwijderd. De frequentie waarop het verwijderen van kauwgom gebeurt in straten waar dit wel gedaan wordt, zoals in winkelgebieden, verschilt behoorlijk tussen verschillende gemeenten en bedrijven. Volgens Gumbusters Benelux wordt bij Schiphol elke maand kauwgom verwijderd. Hier komen dan ook erg veel (wachtende) mensen. In Hattem wordt één keer in de zes jaar spum verwijderd en in Zoetermeer is dit twee keer per jaar. Echter, de concentratie kauwgom die er ligt als het verwijderd moet worden verschilt volgens hen ook zeer. Hier kon geen getal aan gekoppeld worden.

Volgens Proper Dienstverlening reinigen zij de straten van hun klanten meestal één tot drie keer per jaar, afhankelijk van de wensen van de klant. De concentratie spum kan tien stuks of meer per vierkante meter zijn. Wat de frequentie is waarop een gemiddelde locatie (zoals een winkelcentrum) gereinigd zou moeten worden (met de huidige middelen) en het aantal stuks kauwgom dat er op dat moment ligt is dus vrij onduidelijk.

Het lijkt er wel op dat de hoeveelheid spum per vierkante meter, wanneer gereinigd wordt, in de orde van grootte van minimaal tien stuks per vierkante meter ligt, uitgaande van het gesprek met Proper Dienstverlening. Gumbusters Benelux kon hier echter geen uitspraak over doen. Als op straat gekeken wordt dan worden deze tien stuks per vierkante meter in zeer veel winkelgebieden makkelijk behaald. De vraag is echter of daar ooit wel schoongemaakt wordt. Het zou kunnen dat in een bepaalde straat alle spum heel erg oud is en er bijna nooit wat valt. In veel straten is echter veel relatief verse spum te ontdekken.

Zou de Spumbuster veel kostenefficiënter werken dan conventionele middelen dat doen, dan zou deze waarschijnlijk ook vaker ingezet kunnen worden, dus uiteindelijk bij een lagere concentratie spum dan nu het geval is. 'Spumdichtheid' zal nog een veel voorkomende term worden in dit verslag. Op de volgende pagina worden eerst conventionele reinigingsmiddelen behandeld.

#### 4.2.4. Conventionele reinigingsmethoden

Er zijn twee manieren waarop kauwgom wordt verwijderd, één spotsgewijze methode door middel van een stoomlans en een oppervlaktereinigingsmethode.

Met stoomlansen wordt kauwgom individueel verwijderd (spotreiniging). De stoomlans is via een lange slang gekoppeld aan een kleine kar die voortgeduwd kan worden. Het komt ook voor dat meerdere lansen aan een autowagen gekoppeld zijn. De lansen hebben doorgaans aan het uiteinde een borstel waarmee de verweekte kauwgom los geborsteld wordt. De gebruiker moet deze borstel heen en weer bewegen over de kauwgom, waardoor deze loslaat of geheel oplost. Stoomlansen kunnen onderverdeeld worden in lansen die een chemisch middel gebruiken om kauwgom volledig op te lossen, en lansen die alleen stoom gebruiken om de kauwgom te verwijderen. Voorbeelden zijn de machines van Gumbusters en Daimer.

##### *Gumbusters - chemisch*

Als een chemisch middel gebruikt wordt, zoals de machines van Gumbusters doen, lost de kauwgom op na zo'n 6 seconden borstelen (verschilt per spum) in de stoom van 130 graden Celsius. De machine van gumbusters kan acht uur achtereen werken, heeft een tank van 50 liter en werkt op benzine. Hij wordt ook gebruikt om graffiti te verwijderen en bankjes en vuilnisbakken te reinigen.

##### *Daimer*

Daimer heeft een twee reeksen machines die zijn uitgerust met een stoomlans. De Super Max reeks en de Kleenjet reeks. De Super Max werkt met hoge temperaturen (165 °C) en hoge druk (69 Bar) waardoor de kauwgom vaporiseert. Dit gebeurt zonder borstel en zonder chemicaliën. De Kleenjet reeks werkt op lagere druk (7 Bar), er moet daardoor wel geborsteld worden en de opgeloste kauwgom wordt tijdens het heen en weer bewegen opgezogen. De Kleenjet reeks is in gebruik ongeveer hetzelfde als het apparaat van Gumbusters. Het apparaat van Gumbusters zuigt de kauwgom echter niet op maar zorgt ervoor dat het volledig oplost (figuur 16).



Figuur 16: Links: Product van Gumbusters (Gumbusters Benelux BV) (Boston Gum Removal Services)  
Rechts: Producten van Daimer (Daimer Kleenjet Ultra CVGP) (Steam Vacuum Cleaner- Daimer Kleenjet MEGA 550 V)

### Oppervlaktereinigers

Oppervlaktereinigers maken het gehele straatoppervlak schoon. Bekende voorbeelden van deze machines zijn die van Jadon en Klikocleaning. Het lijkt er echter op dat dit dezelfde machine is (figuur 17,18). Beide gebruiken een combinatie van stoom, heet water en hoge druk om het straatoppervlak te reinigen. Het residu wordt opgezogen en een gedeelte van de opgewekte warmte wordt hergebruikt. Ondanks dat op de site van Jadon staat dat de methode geschikt is voor elk oppervlak, is volgens BekkerLagram deze methode schadelijk voor bestratingsvoegen. Wel is het een zeer snelle methode om kauwgom en al het andere vuil te verwijderen. De machine van Jadon verwijdert 85 tot 90 procent van de kauwgom en reinigt 1000 vierkante meter per dag. 30 tot 40 procent van de gebruikte energie wordt hergebruikt (Clean Totaal, 2009). De machine lijkt in gebruik hetzelfde als de huidige Spumbuster, die ook een oppervlaktereiniger is.



Figuur 17: Machine van Jadon (Clean Totaal, 2009)



Figuur 18: Machine van KlikoCleaning (Kliko Cleaning Kauwgom & Straatwerkreiniging, 2009)

#### 4.2.5. Scenario's

Om een beeld te krijgen van mogelijk gewenst gedrag van de Spumbuster en interactie met de gebruiker zijn een aantal scenario's geschreven. De ontbrekende scenario's zijn te vinden in bijlage 4. In de scenario's zijn al een aantal mogelijke oplossingen voor de Spumbuster beschreven, maar de werkelijke geschiktheid van veel van deze ideeën was op het tijdstip van schrijven nog zeer onzeker.

##### *Scenario 1*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat. De bestuurder stuurt de machine in de goede richting, en kan hem eventueel stoppen. Via een camera is het straatoppervlak voor het werkvlak op een groot scherm te zien. Door beeldherkenning wordt geregistreerd waar de kauwgom zit. De bestuurder kan zien dat de kauwgom herkend wordt op het scherm. Bestuurder geeft eventuele overgeslagen plekken waar kauwgom zit op het scherm aan. De kauwgom wordt al rijdend verwijderd. Als er te veel kauwgom ligt dan past de machine haar snelheid aan, zodat alle kauwgom in het gebied verwijderd kan worden.

##### *Scenario 2*

Een medewerker markeert de plekken waar kauwgom ligt met een staf. Hierdoor weet de machine waar kauwgom ligt (Local Positioning System). De machine (robot) rijdt naar de plekken toe en verwijdert de kauwgom. Een andere machine reinigt vervolgens het gehele oppervlak van de straat.

#### *Scenario 4*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat en besproeit de straat met een chemisch middel dat reageert met de kauwgom. Door deze reactie wordt het mogelijk om de kauwgom te detecteren. De machine detecteert waar de kauwgom zit, de kauwgom wordt verwijderd en het residu wordt opgezogen.

#### *Scenario 7*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat en voert een oppervlaktebehandeling uit waardoor al het losse vuil verwijderd wordt. Achter het gedeelte van de oppervlaktebehandeling bevindt zich een soort wals met daarop een reliëf dat een patroon vormt. Deze wals drukt dit patroon in de kauwgom, doordat de kauwgom relatief zacht is vergeleken met de straat. Met computervisie is het zeer makkelijk om patronen te herkennen en elke plek met een patroon vanaf een bepaalde grootte wordt geïdentificeerd als kauwgom. De machine beweegt automatisch de meerdere nozzles naar de juiste plekken en kauwgom wordt verwijderd. Als laatste wordt de kauwgom opgezogen.

(Stap 1: oppervlaktereiniging)    Stap 2: Prepareren    Stap 3: detectie    Stap 4: Spotreiniging

#### **4.2.6. Conclusie Analysefase**

De huidige Spumbuster is een oppervlaktereiniger die de kauwgom niet goed verwijdert omdat de druk waaronder stoom gespoten wordt te laag is. De druk verhogen is geen optie in verband met energieverbruik en bestratingsvoegen. Er moet nu onderzocht worden hoe de Spumbuster met dezelfde componenten als ze nu heeft hoge energiedichtheid spotreiniging uit kan voeren. Hiervoor moet spum individueel gedetecteerd, en moeten de nozzles nauwkeurig gepositioneerd worden.

In tegenstelling tot andere spotreinigers is de Spumbuster erg groot. Als ze hiermee wil concurreren zal ze een stuk sneller moeten werken. Ook zal ze zuiniger moeten zijn in energieverbruik dan bestaande oppervlaktereinigers. Er bestaat nog geen machine die op de dezelfde manier werkt als de beoogde Spumbuster. Spotreiniging en detectie van kleine stukjes kauwgom met een grote machine lijkt tegenstrijdig, maar zou efficiënter en vooral minder arbeidsintensief kunnen zijn.

De concentratie spum die in een bepaald gebied ligt is als daar gereinigd moet worden, en waar de Spumbuster op berekend zou moeten worden, kan behoorlijk verschillen per locatie. De Spumbuster zal waarschijnlijk relatief efficiënt werken als initiële reiniger in een gebied met een hoge concentratie spum, maar kan wellicht ook efficiënt ingezet worden in gebieden waar de concentratie aan spum laag is. De wijze van detectie van spum, en positioneren van de Spumbuster zal hier zijn invloed op hebben. Dit zal behandeld worden in de volgende ontwerpfase, de eerste conceptfase, maar eerst wordt het programma van eisen getoond.

#### **4.2.7. Programma van Eisen**

Een herontwerp van de Spumbuster moet aan bepaalde eisen voldoen om succesvol te zijn. Tijdens het ontwerpproces kunnen ontwerpen aan dit programma van eisen getoetst worden. Dit is een zogenaamd levend document waaraan eisen toegevoegd of verwijderd kunnen worden. Zo was het reinigen van de gehele straat door middel van oppervlaktereiniging oorspronkelijk een eis, maar werd deze later niet meer als noodzakelijk beoordeeld en geschrapt. Het uiteindelijk programma van eisen is als volgt:

##### **Technische eisen**

- Moet compatibel zijn met een standaard werktuigdrager
- Moet kauwgomplekken van het straatoppervlak verwijderen met hoge energiedichtheid spotreiniging
- Moet minimaal 90% van op het straatoppervlak van aanwezige kauwgomplekken op straat detecteren in de open ruimte
- Moet minimaal 90% van de kauwgom van herkende spumplekken verwijderen
- Mag geen schade aan de straattegels aanbrengen
- Mag geen schade aan 99 % van de bestratingsvoegen aanbrengen
- Als de machine alleen gericht is op spotreiniging, dan moet deze in staat zijn om 15 plekken spum per minuut te verwijderen.
- De stoom mag het zicht van het passerende verkeer niet volledig versperren, in elke weersituatie
- Moet door één persoon bestuurd kunnen worden

##### **Eisen op gebied van gebruiksgemak en ergonomie**

- Moet niet dermate fysiek of mentaal belastend zijn voor de bestuurder bij fulltime gebruik waardoor blijvend letsel ontstaat
- Training van de bestuurder mag niet meer dan een week vereisen
- Moet door personeel van de gemeentelijke reiniging te gebruiken zijn
- Het verwijderen van een kauwgomplek moet minder inspanning kosten dan met een stoomlans
- Onderhoud mag niet meer dan een half uur werk per dag vereisen

##### **Economische eisen**

- Onderhoud mag niet meer dan 30 Euro aan materiaal per dag kosten
- Het grondig reinigen van het volledige oppervlak van met spum vervuilde straten mag op lange termijn niet duurder zijn dan het reinigen met conventionele middelen

### 4.3. Eerste Conceptfase

Na in de analysefase bepaald te hebben welke factoren belangrijk zijn voor het ontwerp, en aan welke eisen het ontwerp moet voldoen, is begonnen met de eerste conceptfase. Op een systematische manier zijn er oplossingen gegenereerd voor verschillende functies die de Spumbuster moet vervullen. Voorbeelden van functies zijn het detecteren van spum en het positioneren van de Spumbuster. Deze methode is gebaseerd op bestaande morfologische ontwerpmethodes (Eger, Bonnema, Lutters, & Voort, Systematische technieken, 2008).

Om spum individueel te detecteren en te verwijderen, moeten spum herkend en de spumbuster en spuitnozzles nauwkeurig gepositioneerd worden. Door wie of wat (mens, machine) en op welke manier deze functies ingevuld kunnen worden wordt als eerst in dit hoofdstuk beschreven. Later wordt beschreven op welke manier deze functie-invullingen gecombineerd zouden kunnen worden en welke combinatie het meest geschikt is. De functies detecteren en positioneren kunnen namelijk niet los van elkaar worden gezien. De beste oplossing voor het detecteren kan niet altijd op een geschikte manier worden gecombineerd met de beste oplossing voor het positioneren.

Naast het verwijderen van spum was gewenst dat het gehele straatoppervlak door de Spumbuster gereinigd wordt. Het reinigen van het straatoppervlak kan afzonderlijk gezien worden van het verwijderen van spum. De oppervlaktereiniging zou na het verwijderen van de spum plaats kunnen vinden. Ze zou echter ook als hulpmiddel gebruikt kunnen worden om spum makkelijker te detecteren.

#### 4.3.1. Oplossingen voor de detectie

De functie 'spum detecteren' kan in twee hoofdgroepen worden onderverdeeld. Detectie door de mens en detectie door de machine:

##### *Detectie Mens*

Spum is makkelijk detecteerbaar voor het menselijk oog, waardoor mensen zich er ook makkelijk aan kunnen storen. Bij het individueel verwijderen van spum zoals dat nu gebeurt, bijvoorbeeld met een stoomlans, wordt de spum ook door de mens gedetecteerd. Dit gebeurt door middel van visie, ofwel optisch. Er zijn verschillende wijzen waarop de mens de spum optisch kan detecteren. De mens zou de spum kunnen detecteren vanuit de cabine, vanaf de straat of via een scherm. Vanaf de straat kan de mens de kauwgom vrij gemakkelijk detecteren. Via een scherm kan dit ook gemakkelijk maar is het beeld van de mens beperkt tot het scherm. Vanuit de cabine is het detecteren van kauwgom moeilijker doordat het apparaat het zicht beperkt.

##### *Detectie Machine*

Het machinaal detecteren van spum zou op de volgende hoofdmanieren kunnen gebeuren: optisch, chemisch, elektrisch, haptisch en akoestisch. Niet alle opties zijn echter ook geschikt om dit te doen:

-Optisch zou de spum gedetecteerd kunnen worden door middel van beeldherkenning. Een computer kan het beeld van een camera analyseren en opgeslagen objecten herkennen. Ook kunnen makkelijk patronen in een beeld ontdekt worden. Deze techniek wordt bijvoorbeeld veel toegepast om gezichten in foto's te herkennen.



-Door middel van een chemische behandeling zou de kauwgom beter detecteerbaar gemaakt kunnen worden.

-Door middel van een plaatselijke elektrische stroom op het straatoppervlak zou spum gedetecteerd kunnen worden. Als de stroom door de spum moet gaan en dit specifieke stroomwaarden oplevert dan zou dit een optie kunnen zijn. Het straatoppervlak is echter vrij groot wat nadelig is voor deze methode. Ook verschillende diktes van spum en wisselende omgevingsfactoren zijn erg nadelig voor een dergelijk systeem.

- Spum zou gedetecteerd worden door het reliëf of de hardheid van het straatoppervlak te meten. Uitstekende (zachtere) spumplekken zouden zo gedetecteerd kunnen worden. Aangezien spum erg dun is, de straat niet altijd vlak is, en andere soorten aanslag op de straat of vuil dan ook voor spum aangezien kunnen worden lijkt deze methode niet geschikt.

-Door middel van een soort echolocatie zoals vleermuizen gebruiken kunnen objecten opgespoord worden. SONAR werkt met geluidsgolven en wordt door de mens gebruikt om de omgeving onder water waar te nemen. Boven water werkt men met RADAR, dat gebruik maakt van radiogolven om een echo van radiostraling waar te nemen. LIDAR kan ook gebruikt worden, dat is een soort radar die werkt met licht (lasers) in plaats van radiogolven. Deze technieken worden echter vooral voor relatief grote afstanden gebruikt. De meting is vrij ruw en de objecten die gemeten worden steken behoorlijk uit in de omgeving, in tegenstelling tot spum. Het akoestisch of elektromagnetisch opsporen van spum lijkt geen geschikte methode aangezien de spum vrij nauwkeurig gedetecteerd moet worden.

#### **4.3.2. Conclusie detectie**

De mens kan kauwgom vrij gemakkelijk detecteren, maar moet wellicht ook andere taken uitvoeren. Als de machine de detectie even goed zou kunnen uitvoeren dan zou dit de mens veel inspanning en verantwoordelijkheid kunnen besparen.

Het optisch detecteren van spum door middel van computervisie lijkt de enige geschikte optie om spum machinaal te detecteren. Het lijkt de enige manier waarop kleine en dunne stukken spum binnen een groot oppervlak op een snelle manier gedetecteerd zouden kunnen worden. Om de keuze voor computervisie te ondersteunen is er contact geweest met een student Human Media Interaction die hier meer verstand van heeft. Deze student zou computervisie aanraden en dacht dat spum goed herkend kon worden, maar hij dacht wel het moeilijk zou zijn om een zeer hoge detectiegraad te behalen. Dit komt doordat spum, de straat en de belichting wisselen van aard. Ook kunnen bijvoorbeeld olievlekken, vogelpoep of algen voor spum worden aangezien.

Als machinale detectie veel sneller zou kunnen dan menselijke detectie en de informatie ook snel kan worden verwerkt is machinale detectie wellicht geschikter dan (betrouwbare) menselijke detectie. Om een keuze te kunnen maken tussen menselijke en machinale detectie zal beeldherkenning nog verder onderzocht moeten worden. Ook zal de gekozen methode van detectie aan moeten sluiten bij de methode van positionering, de snelheid waarmee de machine spum verwijdert (stuks / minuut), en de gewenste kwaliteit van reiniging. Voor de detectie zal ook een afweging gemaakt moeten worden tussen detectiegraad, foutgraad en snelheid.

### **4.3.3. Oplossingen voor de positionering**

Het positioneren kan op dezelfde twee hoofdmanieren gedaan worden: Positioneren door de mens en positionering door de machine. Welke van deze twee manieren het best is en hoe dit ingevuld wordt is afhankelijk van de manier waarop de detectie plaatsvindt.

#### *Positionering door de Mens*

De categorie 'positioneren door mens' valt nog verder onder te verdelen in twee groepen: Handmatig positioneren en positioneren via de machine. Met handmatig positioneren wordt positioneren door spierkracht bedoeld, zoals het plaatsen van de spuitnozzle met de hand, zoals dat bij het gebruik van een stoomlans gebeurt. Met positioneren via de machine wordt het aansturen van de machine door de mens bedoeld, zoals het gebruik van een joystick om de spuitnozzle te plaatsen.

Positioneren met de hand heeft het voordeel dat het positioneringsbereik groot is. Obstakels kunnen door de mens gemakkelijk omzeild worden. Het nadeel is dat hier extra personeel voor nodig is. De detectie vooraf kan bij positionering door de mens het best ook door de mens gedaan worden. Detectie door de machine zou overbodig zijn als de mens de positionering zou doen.

#### *Positionering door de Machine*

Het positioneren door de machine kan op vele manieren gebeuren, maar deze vallen allemaal binnen één groep. De detectie vooraf, inclusief het aangeven van locaties, kan gedaan worden door de machine of door de mens.

Het voordeel van positioneren door de machine is dat de mens deze handeling niet uit hoeft te voeren, wat de mens fysieke arbeid bespaart. Daarnaast zou de machine meerdere plekken spum tegelijkertijd kunnen verwijderen, door meerdere nozzles in te zetten. De machine kan hierdoor sneller werken dan wanneer de mens de nozzles in positie zou brengen.

#### 4.3.4. Detectie in combinatie met positionering

De invulling van de functies kan op verschillende manieren gebeuren en daarom is het noodzakelijk om alle opties te beoordelen, zodat er geen overgeslagen wordt. Dit wordt in deze paragraaf gedaan door een overzicht te tonen van alle verschillende combinaties van functie-invullingen. Op deze manier is getracht een keuze te maken voor de meest geschikte combinatie.

De functies van de Spumbuster zijn tot op heden deze geweest: Detecteren en Positioneren. Zoals te zien was in de scenario's is het eventueel mogelijk om de spum vooraf te markeren of een oppervlaktebehandeling uit te voeren waardoor het detecteren makkelijker wordt. Om deze reden is de functie prepareren toegevoegd. De functie prepareren kan tevens door mens of machine uitgevoerd worden. Bij prepareren door de machine kan gedacht worden aan een oppervlaktebehandeling met stoom of een chemische behandeling. Bij prepareren door de mens wordt het markeren van spumplekken bedoeld zodat deze vervolgens makkelijk door de machine gedetecteerd kunnen worden. De functies zijn nu als volgt:

(Prepareren) -> Detecteren -> Positioneren

Bij een aantal oriëntaties van functie-invullingen is de functie prepareren er niet, vandaar dat deze hierboven tussen haakjes staat. Een volledig overzicht van invullingen van deze drie functies is hieronder weergegeven in figuur 19. Hierin stelt **H** (Human) de mens voor en **M** de machine. Niet alle combinaties zijn geschikt. Het is bijvoorbeeld niet nodig om het detecteren door de machine te laten doen en vervolgens het positioneren door de mens. Ook wanneer het detecteren door de mens gedaan wordt dan is het prepareren door de mens, het markeren, onnodig. De systemen met ID's: 6,8,9,10, en 12, vijf van de twaalf mogelijkheden, vallen af omdat hun functie-invullingen ongeschikt zijn. De ander zeven mogelijkheden worden verder behandeld.

ID	prepareren	detecteren	positioneren	Beoordeling
1		M	M	Geschikt
2	M	M	M	Geschikt
3	H	M	M	Geschikt
4		H	M	Geschikt
5	M	H	M	Geschikt
6	H	H	M	Valt af, prepareren mens -> detecteren mens
7		H	H	Geschikt
8	H	M	H	Valt af, detecteren machine -> positioneren mens
9		M	H	Valt af, detecteren machine -> positioneren mens
10	M	M	H	Valt af, detecteren machine -> positioneren mens
11	M	H	H	Geschikt
12	H	H	H	Valt af, prepareren mens -> detecteren mens

Figuur 19: De beoordeling van alle mogelijke combinaties van functie-invullingen. Functies zijn detecteren, positioneren en prepareren. De functie kan uitgevoerd worden door de mens (H) of de machine (M). Alleen de functie prepareren kan ook niet uitgevoerd worden.

#### 4.3.5. Detectie, positionering en het verwijderen van spum

Naast de functies Prepareren, Detecteren en Positioneren kan er nog een functie aan het schema toegevoegd worden, de functie spum verwijderen. De functies zijn nu als volgt:

(Prepareren) -> Detecteren -> Positioneren -> Verwijderen

Het verwijderen kan door de machine gedaan worden, door stoom op de spum te spuiten. Ook zou het verwijderen door de mens gedaan kunnen worden door een stoomlans met een borstel over de spum te bewegen. Deze functie wordt bij alle combinaties op één na in het schema door de machine ingevuld, omdat het verwijderen door de mens na het positioneren door de machine geen goede optie is. Het schema is nu zoals in figuur 20.

Het prepareren buiten beschouwing gelaten, zijn er vier hoofdmanieren waarop de functies ingevuld kunnen worden. Wanneer deze eventuele voorbehandeling wordt uitgevoerd zijn er acht verschillende manieren waarop de functies ingevuld kunnen worden. Deze voorbehandeling kan bij het detecteren door de machine een grote rol spelen. Bij het detecteren door de mens speelt de voorbehandeling niet per se een grote rol, door het grote vermogen van de mens om spum te herkennen. Het is meer een hulpmiddel om de detectie makkelijker te maken

en daarom lijken de systemen 4 en 5, en 7a en 11 veel op elkaar. De functie prepareren wordt daarom vanaf nu geschrapt bij het detecteren door de mens om het aantal combinaties te verkleinen. Op deze manier blijven zes heel verschillende combinaties over, zoals in figuur 21. Dit schema kan ook overzichtelijker weergegeven worden zoals in figuur 22.

ID	Prepareren	Detecteren	Positioneren	Verwijderen
1	X	M	M	M
2	M			
3	H			
4	X	H	M	M
5	M			
7a	X	H	H	M
11	M			
7b	X	H	H	H

Figuur 20: Een overzicht van de verschillende combinaties van functie-invullingen. De functie verwijderen is toegevoegd.

ID	Prepareren	Detecteren	Positioneren	Verwijderen
a	X	M	M	M
b	M			
c	H			
d		H	M	M
e		H	H	M
f		H	H	H

Figuur 21: Overzicht van functie-invullingen. De functie prepareren is geschrapt wanneer de mens (H) de detectie uitvoert.

(Prepareren)	Detecteren	Positioneren	Verwijderen
M	M	M	M
H			
	H	M	M
	H	H	M
	H	H	H

Figuur 22: Vereenvoudigd overzicht van functie-invullingen.

#### 4.3.6. Concepten van de eerste conceptfase


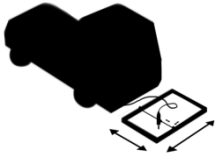

In deze paragraaf worden de verschillende combinaties van functie-invullingen verder behandeld. Ze zullen afzonderlijk geëvalueerd worden en aan het eind van de paragraaf zal elke combinatie op basis van bepaalde criteria een score krijgen. Op die manier wordt bepaald welke opties het meest geschikt zijn om mee verder te gaan.

De eventuele functie prepareren wordt voorlopig voor het overzicht buiten beschouwing gelaten, hierdoor blijven vier indelingen van functieverdelingen over (figuur 23). Hierbij is S1 volledig machinaal, S4 volledig handmatig en S2 en S3 zijn een combinatie. Deze vier combinaties en hun eigenschappen worden op de volgende pagina's beknopt weergegeven en vormen vroege concepten van de Spumbuster.

	Detecteren	Positioneren	Verwijderen
S1	M		
S2			
S3	H		
S4			

Figuur 23: vereenvoudigd overzicht van de vier primaire verdelingen van functies. De functies van S1 worden bijvoorbeeld allemaal door de machine vervuld (MMM), en bij S2 wordt de detectie door de mens gedaan en de twee andere functies door de machine (HMM).

## S1- MMM - volledig autonoom

Detecteren	Positioneren	Verwijderen
 <p>Binnen detectievlak wordt kauwgom gedetecteerd.</p>	 <p>Machine positioneert de nozzles.</p>	 <p>Machine verwijdert</p>

### Handelingen

Bestuurder stuurt machine, Machine rijdt door zonder stoppen. Kauwgom wordt continu gedetecteerd, voor het werkveld. Coördinaten worden berekend. Nozzles worden gepositioneerd Nozzles worden op spum gericht gehouden (3 sec). Nozzles gaan naar volgende locaties.

### Bijzonderheden

Eventueel is prepareren (markeren / opp. Behandeling) een optie.


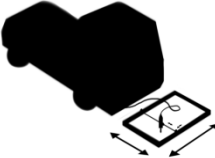

+

Snel  
Autonoom  
Geen (extra) personeel nodig  
Goed te combineren met opp behandeling

-

Herkenning niet 100%  
Misschien voorbehandeling nodig  
Spum kan onterecht herkend worden

## S2 - HMM - detectie handmatig, rest autonoom

Detecteren	Positioneren	Verwijderen
 <p>Mens geeft aan waar spum ligt (op scherm).</p>	 <p>Machine positioneert nozzles.</p>	 <p>Machine verwijdert</p>

### Handelingen

Bestuurder stuurt machine. Machine rijdt door zonder (of met) stops. Bestuurder geeft aan waar spum ligt, voor (of binnen) het werkveld. Coördinaten worden berekend. Nozzles worden gepositioneerd. Nozzles worden op spum gericht gehouden (3 sec).

### Bijzonderheden

De bestuurder moet wel getraind zijn in het 'aanwijzen' van de spum. Als tegelijkertijd genavigeerd moet worden en er veel spum ligt kan dit problemen opleveren.




+

Snel  
Hoge herkenning  
Geen extra personeel nodig  
Goed te combineren met opp behandeling

-

Vereist vaardigheden bestuurder

### S3 – HHM – detectie en positioneren handmatig, verwijderen machinaal

Detecteren	Positioneren	Verwijderen
 Mens detecteert spum	 Mens stuurt nozzles	 Machine verwijderd

#### Handelingen

Bestuurder stuurt machine. Machine rijdt door zonder (of met) stoppen. Bestuurder stuurt nozzles naar locatie. Nozzles worden handmatig op spum gericht gehouden (3 sec), spum wordt verwijderd.

#### Bijzonderheden

Bestuurder moet veel handelingen uitvoeren, continu rijden en de nozzles richten lijkt moeilijk voor de bestuurder. De computer zou de nozzles dan op de plek gericht moeten houden.




+

- Hoge herkenning
- Betrouwbare positionering
- Goed te combineren met opp behandeling

-

- Vereist veel vaardigheden bestuurder / extra personeel
- Meerdere nozzles positioneren is moeilijk

### S4 – HHH – volledig handmatig

Detecteren	Positioneren	Verwijderen
 Mens detecteert	 Mens positioneert	 Mens verwijderd

#### Bestuurd

- Mens in cabine bestuurt Spumbuster
- Andere mens te voet detecteert
- Mens te voet positioneert nozzle
- Mens te voet verwijderd

#### Onbestuurd

- Mens te voet stuurt spumbuster
- Mens te voet detecteert
- Mens te voet positioneert nozzle
- Mens te voet verwijderd

#### Bijzonderheden

Spumbuster is hier alleen werkplatform + boiler + opzuigen residu. Bijna op dezelfde manier zoals het nu al gebeurt met kleine installaties en een stoomlans. Daar wordt de spum opgelost, hier wordt het losgemaakt en opgezogen. De methode is iets sneller dan de conventionele stoomlans door de hoge energiedichtheid spotreiniging.

+

- 'Snel'
- Zeer hoge herkenning
- Grote bewegingsvrijheid
- Betrouwbare positionering

-

- Extra werknemers nodig
- Opp behandeling beperkt snelheid werknemers(s) te voet
- Arbeidsintensief

#### 4.3.7. Selectiemethode met weegfactoren

De selectiemethode met weegfactoren is een hulpmiddel om een keuze te kunnen maken tussen verschillende concepten (Eger, Bonnema, Lutters, & Voort, Selectiemethoden, 2008). Aan de belangrijkste eisen waaraan het ontwerp moet voldoen, de key drivers, is een weegfactor toegekend gebaseerd op hun belangrijkheid. Deze key drivers kunnen meerdere eisen representeren. Hoe hoger een bepaald concept scoort op verschillende key drivers, hoe hoger het totale puntenaantal zal zijn. Deze methode kan een uitspraak onderbouwen over de geschiktheid van een concept.

De methode kan echter een vertekend beeld van de werkelijkheid geven. Op het tijdstip van het maken van deze selectie was de toekenning van punten een inschatting gebaseerd op de informatie die er op dat moment was. Dit geldt ook voor de gekozen key drivers. Zo had achteraf gezien de key driver 'geschiktheid voor combineren met oppervlaktereiniging' achterwege gelaten kunnen worden. Op dit moment in het ontwerpproces was nog niet duidelijk dat de oppervlaktereiniging later een obstakel zou vormen voor de spotreiniging. Hieronder is de selectiemethode weergegeven:

Key driver	Weegfactor	S1		S2		S3		S4	
		Rating	Score	Rating	Score	Rating	Score	Rating	Score
Betrouwbaarheid	5	3	15	4	20	4	20	5	25
Snelheid	4	5	20	4	16	1	8	4	16
Vaardigheden bestuurder(s)	4	5	20	3	12	1	4	3	12
Aantal personeel	5	5	25	5	25	4	20	1	5
Inspanning personeel	4	5	20	4	16	2	8	1	4
Combineren met oppervlaktereiniging	4	5	20	5	20	4	16	2	8
Bereik (hoekjes e.d.)	3	2	6	2	6	2	6	5	15
Productiekosten*	1	3	3	3	3	4	4	5	5
Softwarekosten**	0	3	0	4	0	5	0	5	0
<b>Totaal:</b>			<b>129</b>		<b>118</b>		<b>82</b>		<b>90</b>

\*Kosten hardware voor beeldherkenning zijn relatief laag \*\*Eenmalige Softwarekosten < 10 000 Euro volgens HMI student

In het bovenstaande overzicht is af te lezen dat S1 (volledig machinaal) de hoogste score heeft, gevolgd door S2 (Mens detecteert, rest machinaal). S4 en S3 scoren een stuk slechter. De onderliggende reden hiervoor is dat S1 en S2 snel zijn, weinig van de bestuurder vereisen en door één persoon bediend kunnen worden. Ook zouden ze goed gecombineerd kunnen worden met de oppervlaktereiniging. Was deze key driver toentertijd niet meegerekend dan had S4 een relatief hogere score, maar zouden S1 en S2 nog steeds aan kop gaan. S3 zou dan slechter voor de dag komen vergeleken met S4. De conclusie die hieruit getrokken is, is dat S1 en S2 het meest geschikt lijken. S3 is volgens dit overzicht zeker niet geschikt. S4, die volledig handmatig is, had nog een verassend hoge score, die nog wel significant lager was dan die van S1 en S2. Dit komt vooral door het grotere bereik, en de achteraf gezien vrij hoge (foutieve) inschatting voor snelheid. Toch kon dezelfde conclusie getrokken worden, mede door de key driver over oppervlaktereiniging.



#### 4.3.8. Conclusie Eerste Conceptfase

Als gekozen moet worden tussen de verschillende opties dan lijkt S1 erg geschikt. De methode is snel, autonoom en goed te combineren met de oppervlaktebehandeling. Vooral vanwege advies van een HMI-student lijkt het goed mogelijk om een groot gedeelte van de spum op straat te herkennen. Het positioneren van de nozzles zou een kleiner obstakel zijn dan het detecteren, aangezien het gaat om een relatief lage nauwkeurigheid (centimeterschaal).

S2 lijkt ook erg geschikt. De mens kan de kauwgom snel en betrouwbaar detecteren zolang er een goede interface hiervoor aanwezig is. De machine kan vervolgens op een efficiënte wijze de spum verwijderen. Een hoge verwijderingsgraad en hoge snelheid van verwijderen is hierdoor mogelijk. Dit lijkt een zeer realistische methode. Hoewel het detecteren door de mens vrij snel kan, kan het vlot en nauwkeurig overbrengen van deze informatie naar de computer lastig worden, zeker als er veel spum gedetecteerd moet worden. Een mens zal minder snel de coördinaten van spum door kunnen geven dan een machine die met computervisie werkt. Als de snelheid waarmee spum verwijderd gaat worden lager is dan de snelheid waarmee de mens de spum kan aangeven is dit wellicht geen groot obstakel. Als de verwijdersnelheid hoger is dan zal de detectie door de mens de verwijdersnelheid gaan belemmeren.

Het nadeel van S3 en S4 is dat de methoden minder snel zijn of dat ze meer personeel vereisen om een hogere snelheid te bereiken. Dit komt doordat het positioneren door de mens wordt gedaan, wat langzamer gaat dan wanneer de machine dit zou doen. S3 vergt daarnaast meer vaardigheden van de bestuurder (besturen nozzles), en lijkt daardoor al helemaal geen geschikte optie. Het voordeel wat S4 nog heeft ten opzichte van de andere concepten is dat de manoeuvreerbaarheid hoger is. S4 zou bijvoorbeeld makkelijk onder een prullenbak de kauwgom kunnen verwijderen. Dit zou bij de andere concepten wellicht ook machinaal kunnen maar dat zou het ontwerp veel complexer maken.

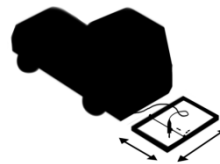
S1 en S2 voldoen het best aan de gestelde eisen en lijken de meest geschikte richtingen om verder uit te werken. De selectiemethode met weegfactoren ondersteunt dit ook. Het positioneren van de nozzles en het verwijderen van de spum wordt dus in ieder geval door de machine gedaan, waardoor de verwijdersnelheid hoog is. Een combinatie van S1 en S2 zou ook mogelijk kunnen zijn waarbij een gedeelte van de spum door de machine, en een gedeelte door de mens wordt herkend. Het liefst wordt er zo min mogelijk van de bestuurder vereist. De grote vraag is op dit punt in het ontwerpproces nog altijd: waartoe is de machine precies in staat? Welk percentage spum kan deze herkennen? Wat zal het aandeel van de bestuurder zijn binnen de detectie? Gaat dit geheel autonoom of gaat beeldherkenning toch te weinig toevoegen aan de detectie, en wordt hiervan af gezien. Het is dus zaak dat hier duidelijkheid over ontstaat en dit is gerealiseerd in het volgende hoofdstuk: de tweede conceptfase.

## 4.4. Tweede Conceptfase

Uit hoofdvraag 4 is gebleken dat de oplossingsrichtingen de volgende zijn: Volledig machinaal (S1) en volledig machinaal maar met detectie door de mens (S2) (figuur 24). De machinale detectie door middel van computervisie kan op vele manieren plaatsvinden. De computer kan de spum detecteren zonder dat deze voorbehandeld is. Door middel van een voorbehandeling (Mens / Machine) zou de detectiegraad nog verhoogd kunnen worden. Nadeel hiervan is dat deze extra functie uitgevoerd moet worden. In bijlage 5 staan voorbeelden van eventuele voorbehandelingen om de detectiegraad te verhogen. Het machinaal positioneren van de nozzles waar de stoom uit moet komen is relatief eenvoudig en wordt in dit verslag niet behandeld.

Figuur 24: De twee gekozen oplossingsrichtingen Positioneren en verwijderen wordt door de machine gedaan. Detectie kan door mens, machine of een combinatie mens/machine

	Detecteren	Positioneren	Verwijderen
S1	M	M	M
S2	H	M	M



### 4.4.1. De uiteindelijke detectiemethode

Bij de concepten in het volgende hoofdstuk wordt het detecteren gedeeltelijk door de mens en gedeeltelijk door de machine gedaan. Het machinaal detecteren gebeurt door middel van beeldherkenning. Door de wisselwerking tussen mens en machine voor de detectie is er geen voorbehandeling nodig om de kauwgom te herkennen.

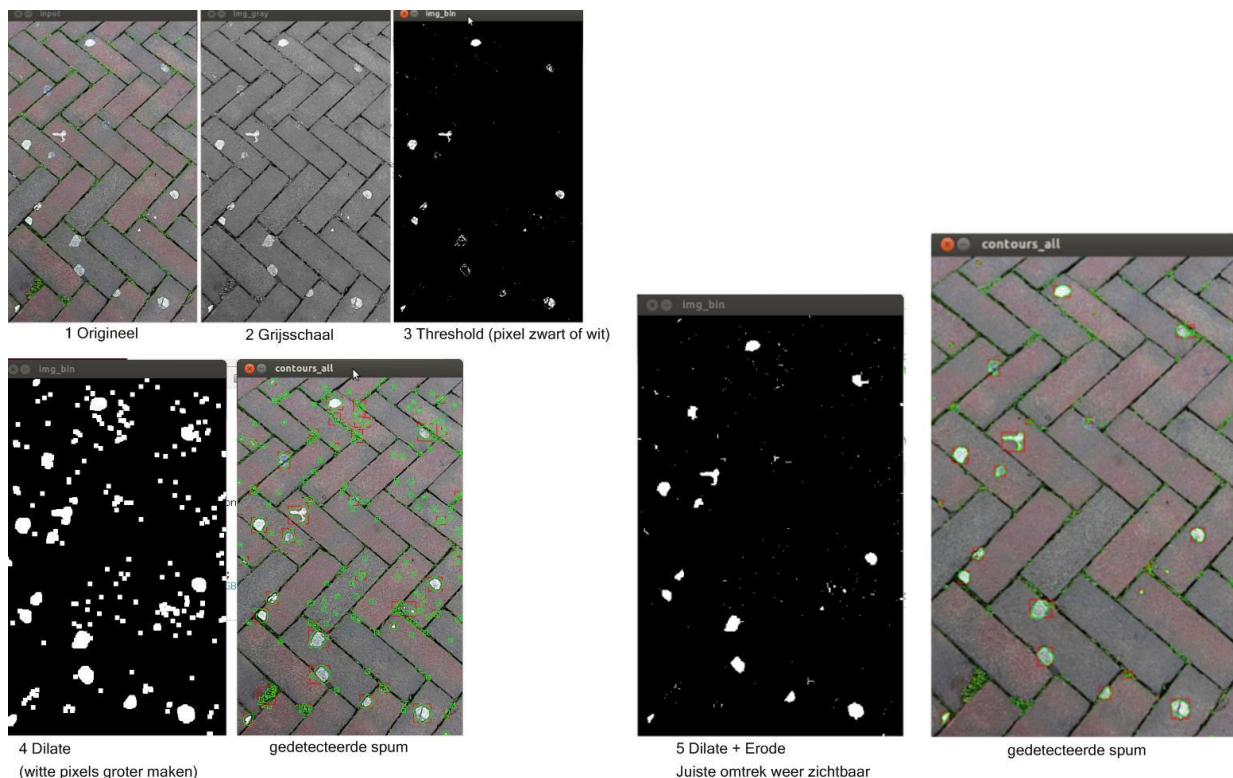
De bedoeling is dat het grootste gedeelte van de spum machinaal herkend wordt (minimaal 80%). De bestuurder kan via een scherm met daarop het straatoppervlak zien welke kauwgom wel, en welke kauwgom niet herkend wordt. Ook kan de bestuurder zien welke door de computer als kauwgom herkende plekken in werkelijkheid geen kauwgom zijn (false hits, vogelpoep e.d.). Belangrijk is dat de detectie door de mens zo min mogelijk ten koste moet gaan van de verwijderingssnelheid. Hoe hoog deze is wordt bij de concepten in dit hoofdstuk besproken. Voegen zijn vergeleken met kauwgom makkelijk om te detecteren en dit zou geen probleem moeten zijn voor beeldherkenning.

Er is veel nuttige informatie en advies verkregen van R. Kauw-A-Tjoe, een expert op het gebied van beeldherkenning. Hij heeft gewerkt bij Studio diip, een bedrijf dat hier veel mee werkt. Hij raadde aan om spum te herkennen door middel van computervisie. Na over beeldherkenning gesproken te hebben is door R. Kauw-A-Tjoe getracht om kauwgom te herkennen op een afbeelding van het internet (figuur 25).

De manier waarop hij werkte was door eerst de foto om te zetten naar een beeld in grijschaal (2). Daarna wordt door een threshold in te stellen het beeld omgezet in zwarte en witte pixels. Als een individuele pixel lichter is dan de ingestelde threshold dan wordt de pixel wit, en als hij donkerder is dan wordt hij zwart. (3) Vervolgens kon hij de witte pixels groter maken via dilate (4). Via de functie Erode kan al het wit dat buiten de omtrek die de pixels bij 3 vormen valt weggehaald worden (5 Dilate + Erode). Vervolgens kan aangegeven worden vanaf welke grootte witte plekken als kauwgom beschouwd moeten worden door de computer. Deze herkent deze witte plekken vervolgens, te zien aan het rode hokje om de kauwgom.

Dit is één methode om kauwgom te herkennen via computervisie en dit is maar één afbeelding. De gebruikte instellingen zullen niet even goed werken bij andere foto's. In de realiteit moet met dezelfde instellingen op alle verschillende ondergronden verschillende kauwgom herkend worden. De gebruikte threshold moet dan tussen foto's verschillen, wellicht door de gemiddelde grijswaarde als uitgangspunt te nemen.

Volgens R. Kauw-A-Tjoe is het bereiken van een generieke oplossing zeker haalbaar. Wel zou het gunstig zijn als de belichtingsomstandigheden zo ideaal mogelijk gemaakt zouden worden. Hierdoor wordt herkenning makkelijker. Wisselende belichtingsintensiteit en variërende belichting binnen een foto kunnen namelijk een obstakel zijn (bijlage 8). In bijlage 6 staat meer algemene informatie over computervisie zelf en in bijlage 7 is onderstaande afbeelding uitvergroot weergegeven.



Figuur 25: Detectieproef. In In een aantal stappen herkent de computerprogramma spum. In de rechter afbeelding is de omtrek van spum groen gemaakt en is er een rood hokje omheen geplaatst. Een grotere weergave van deze figuur is in bijlage 7 te vinden. Originele afbeelding: (Your Way of Life: De online glossy!)

#### **4.4.2. De oppervlaktereinigingsfunctie**

Dat er een oppervlaktereiniging uitgevoerd moet worden om de gehele straat te reinigen was oorspronkelijk een eis. Zo zouden geen 'schone spots' overblijven. Na verloop van tijd is echter gebleken dat het combineren van de twee functies, spot- en oppervlaktereiniging, in één machine geen goede optie is. De oppervlaktereiniging is daarom niet toegevoegd bij de concepten, en zal door een aparte machine uitgevoerd moeten worden. Dit vooral omdat het twee hele verschillende functies zijn: de één is gefaseerd en de ander continu. De snelheid waarmee de twee taken uitgevoerd kunnen worden verschilt ook zeer. In bijlage 9 staat een lijst met argumenten tegen de combinatie oppervlakte- en spotreiniging.

De huidige Spumbuster was echter wel bedoeld als oppervlaktereiniger. Als ze alleen gebruikt wordt voor spotreiniging is het de vraag of dit formaat Spumbuster wel zo geschikt is voor spotreiniging. Bij de aanstaande concepten wordt hierop aangehaakt.

#### **4.4.3. De verwijdermethode**

De spum wordt verwijderd door hoge energiedichtheid spotreiniging. Hiervoor wordt water tot 130 graden Celsius verhit in twee boilers achterop de Spumbuster. De stoom wordt vanuit nozzles drie seconden van boven op de kauwgom gespoten. De straal is zo'n twee centimeter in diameter. Volgens C. Vos, werkend bij BekkerLaGram heeft de waterpomp een debiet van 8,7 liter per minuut, waardoor voor drie seconden stoom spuiten 0,435 liter water wordt verbruikt. Het is mogelijk om langs de nozzles te kijken, de houder van de nozzle is ongeveer 10 bij 8 centimeter.

Omdat de stoomcapaciteit begrensd is, is het aantal nozzles dat tegelijkertijd gebruikt kan worden voorlopig twee. De positioneringstijd van de nozzles, uitgaande van een werkvlak van een meter bij een meter, is maximaal drie seconden, uitgaande van de grootste beweging. Het duurt dus in het langzaamste geval zes seconden om een stuk spum dat op een tegel ligt te verwijderen.

Dikkere kauwgom wordt in zijn geheel van de straat verwijderd en blijft intact. Dunnere kauwgom wordt gereduceerd tot kleine stukjes. Het water dat overblijft en de losse kauwgom wordt opgezogen en opgeslagen in het vuilwatercompartiment. Deze heeft een capaciteit van 1200 liter. Het schoonwatercompartiment heeft een inhoud van 1100 liter. Met deze hoeveelheid water kunnen dus ruim 2500 stuks spum verwijderd worden (2528 stuks). Als er twee nozzles gebruikt kunnen worden die continu in gebruik zijn en die steeds drie seconden nodig hebben om zich te positioneren, is de huidige tank van 1100 liter in ruim 2 uur leeg (20 stuks / minuut). De schoonwatertank zal dus (op locatie) op een gegeven moment bijgevoerd moeten worden, en de vuilwatertank geleegd.

Er wordt in het vervolg vanuit gegaan dat twee nozzles tegelijkertijd gebruikt kunnen worden. Ook wordt er vanuit gegaan dat de gemiddelde positioneringstijd één seconde is. Deze tijd zou makkelijk te behalen moeten zijn aangezien de nozzles waarschijnlijk relatief licht zijn en de positionering op centimeterschaal nauwkeurig moet zijn.

#### **4.4.4. Concepten Tweede Conceptfase**

De concepten die in dit hoofdstuk getoond worden zijn allemaal spotreinigers die op een aantal vlakken overeenkomen. Zo maken ze gebruik van dezelfde methode om kauwgom te verwijderen. Ondanks dat er geen oppervlaktereiniging meer wordt uitgevoerd, zijn alle concepten vrij grote machines vergeleken met conventionele middelen om kauwgom te reinigen. Ze zijn nog steeds van hetzelfde formaat als de huidige Spumbuster omdat de spotreiniging nu eenmaal veel water vereist.

In deze paragraaf worden drie concepten getoond. De wijze waarop de kauwgom gedetecteerd wordt is bij elk van de drie hetzelfde. Het grootste verschil qua detectie is dat twee van de concepten gefaseerd werken, en de ander niet. Het derde concept heeft daarnaast een kleiner werkvlak dan de eerste twee concepten.

## **Concept 1**

Op de naastgelegen pagina is concept 1 te zien. Deze Spumbuster gedraagt zich op een vergelijkbare manier als een veegwagen van de gemeentereiniging. De machine rijdt ook continu maar met wisselende (veel lagere) snelheid. De snelheid is afhankelijk van het aantal stuks spum dat gereinigd moet worden.

Het werkvlak van een meter bij een meter waarin de nozzles kunnen bewegen bevindt zich voor het voertuig. Het detectiegebied is voor het werkvlak, waar een camera geplaatst is. Coördinaten moeten omgerekend worden waarbij er rekening met de snelheid en eventuele bochten gehouden moet worden. De bestuurder moet tijdens het rijden de computer kunnen corrigeren via een touchscreen.

Uitgaande van het gegeven dat er drie seconden nodig zijn om een kauwgomplex te verwijderen en de nozzle voordat de kauwgom binnen het werkvlak is zich al kan positioneren, is de maximale snelheid tijdens het verwijderen 1/3 meter per seconde, of 1,2 kilometer per uur. Dit kan alleen bij hele lage spumdichtheid. Bij een doorsnee spumdichtheid van 12 stuks kan de maximale snelheid nog maar 0,04 meter per seconde, 0,15 kilometer per uur zijn (Bijlage 10B). De verwijdersnelheid van concept 1 is maximaal 30 stuks per minuut, er vanuit gaande dat de nozzles dan continu bezet zijn en positionering 1 seconde duurt.

Het werkvlak had ook achter het voertuig geplaatst kunnen worden zodat er meer tijd is (voor de bestuurder) om vooruit te plannen. Bij hoge spumdichtheid zoals in de binnensteden nu, en erg lage snelheid, is dit niet nodig.

**Concept 1** Spumbuster op Boschung Pony. Continu rijdend. Werkgebied  $\pm 1m^2$  (breedte  $\pm 1m$ ),  
2 nozzles, 4 seconden per spum, wisselende snelheid  $< 1,2$  km/h

Funcities Spumbuster	Allocatie
Globaal detecteren spum	Mens
Globaal (strategisch) positioneren werkvlak	-
Precies detecteren / aangeven spum	Machine / Mens
Positioneren nozzles	Machine
Verwijderen spum	Machine
Opzuigen spum	Machine

### Acties

Camera voor werkvlak detecteert spum

Snelheid wordt berekend voor volgend gebied

Bestuurder (in cabine) corrigeert via interface (false hits, ongedetecteerde spum)

Snelheid wordt berekend

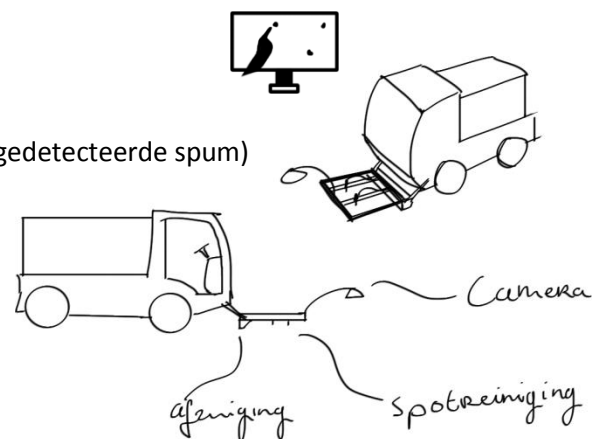
Coördinaten worden berekend

Nozzles worden gepositioneerd

Nozzles spuiten stoom (3s)

Positie nozzles wordt gehandhaafd (3s -> spum verwijderd)

Spum wordt continu opgezogen



Tijd ->			
1 s	3 s	1 s	3 s
Rijden			
Detecteren			
Bestuurder: Corrigeren, sturen			
Positioneren nozzles	Positie handhaven	Positioneren nozzles	Positie handhaven
	Stoom spuiten		Stoom spuiten
Spum opzuigen			

### Voordelen

- Snel bij elke dichtheid
- Meer dan 2 nozzles wellicht mogelijk in toekomst

### Nadelen

- Beperkte manoeuvreerbaarheid
- Vereist 2 taken van bestuurder
- Wisselende zeer lage rijnsnelheid
- Continue opzuiging spum kost meer energie

## Concept 2

Concept 2 lijkt op concept 1 maar werkt op een totaal andere manier. Het voertuig rijdt steeds een meter vooruit, stopt dan en reinigt een vlak van één vierkante meter. Het detectievlak en het werkvlak zijn hetzelfde, de camera bevindt zich boven dit vlak.

Dit concept is goed voor initiële reiniging van een gebied waar de spumdichtheid heel hoog is. Als de dichtheid laag is dan gaat het verplaatsen van het voertuig relatief meer tijd kosten. Voordeel van dit concept ten opzichte van concept 1 is dat het omrekenen van coördinaten eenvoudiger is. Ook kan de bestuurder zien dat de kauwgom verwijderd wordt, in plaats van zich op 'toekomstige' kauwgom te richten. Zo kan gecontroleerd worden of de straat ook echt schoon is.

Een ander voordeel is dat er bij dit concept minder druk op de bestuurder komt te staan. De bestuurder hoeft maar één handeling tegelijk uit te voeren. Aangezien een wisselwerking tussen computervisie en detectie door de mens nodig is om de kauwgom te detecteren is het prettig voor de bestuurder dat deze niet tegelijkertijd moet sturen en detecteren. Aangezien het verwijderen met twee en zelfs vier nozzles langzamer gaat dan het detecteren normaliter zal gaan, heeft de bestuurder de tijd om corrigerende handelingen uit te voeren en te controleren of het verwijderen goed gaat. Als een situatie ontstaat waarin de bestuurder toch meer tijd nodig heeft dan kan deze wat meer tijd nemen. Hierdoor heeft de bestuurder meer controle over de machine. Als twee nozzles gebruikt worden is het onwaarschijnlijk dat de bestuurder extra tijd nodig heeft. Daarnaast is het wellicht een voordeel dat de afzuiging van het residu alleen maar ingeschakeld hoeft te worden als het voertuig rijdt, wat energie bespaart.

De productie van stoom zou een probleem kunnen vormen voor de camera, maar volgens een expert zijn er genoeg oplossingen om de lens condensvrij te houden. Voor het detecteren kan gebruik gemaakt worden van een foto, en voor controle kan de bestuurder schakelen naar live beelden.



**Concept 2** Spumbuster op Boschung Pony. Gefaseerd rijdend. Werkgebied ±1m<sup>2</sup> (breedte ±1m),  
2 nozzles, 4 seconden per spum, 4s rijden voor 1m verplaatsen

Funcities Spumbuster	Allocatie
Globaal detecteren spum	Mens
Globaal (strategisch) positioneren werkvlak	Machine / Mens
Precies detecteren / aangeven spum	Machine / Mens
Positioneren nozzles	Machine
Verwijderen spum	Machine
Opzuigen spum	Machine

### Acties

Bestuurder detecteert spum globaal

Bestuurder rijdt naar locatie

Camera boven werkvlak detecteert spum (voor zou ook kunnen)

Bestuurder corrigeert detectie

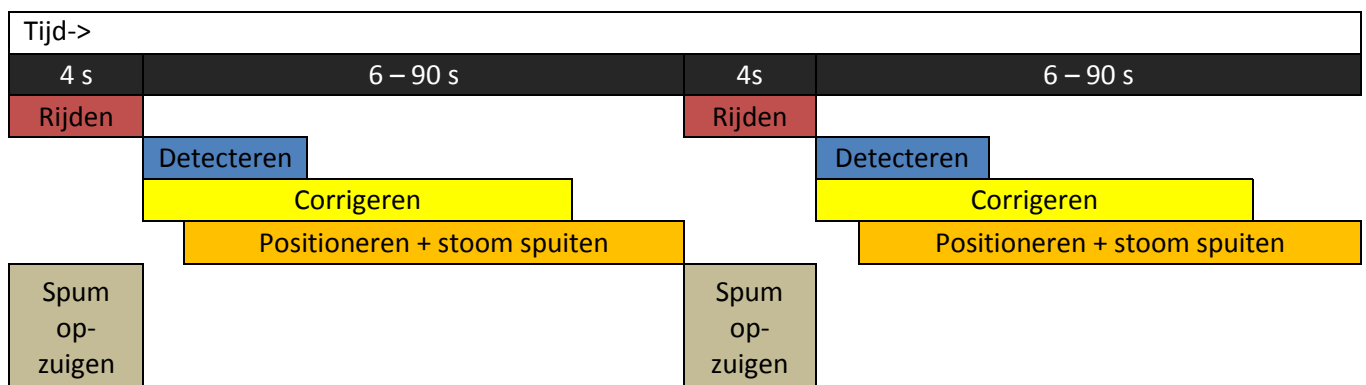
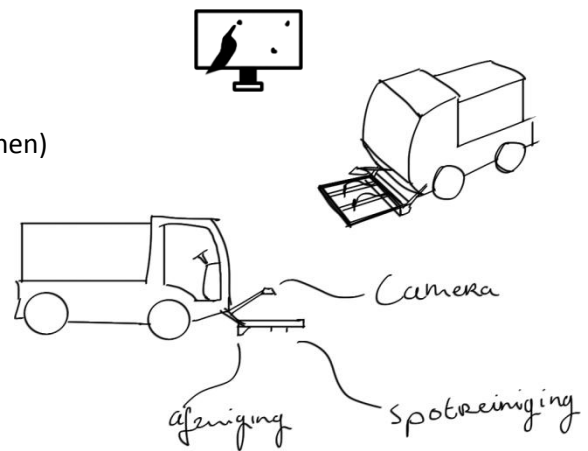
Coördinaten worden berekend

Nozzles worden gepositioneerd naar goedgekeurde locaties,

Nozzles spuiten x keer stoom (3s)

Bestuurder rijdt vooruit (4s)

Spum wordt opgezogen



### Voordelen

- Makkelijk voor bestuurder
- Meer dan 2 nozzles wellicht mogelijk in toekomst

### Nadelen

- Beperkte manoeuvreerbaarheid
- Bij lage spumdichtheid kost verplaatsten relatief veel tijd

### **Concept 3**

Bij concept 3 zit de bestuurder niet in de cabine, maar gaat hij te voet te werk. Het vierkante werkvlak is bij dit concept losgekoppeld van het voertuig en verbonden met een slang, het voertuig levert de stoom aan het apparaat. Ook zorgt het voertuig voor zuigkracht.

Het apparaat heeft een kleiner werkvlak van 0,25 vierkante meter. De bestuurder duwt het apparaat naar plekken waar kauwgom ligt, en kan het werkvlak strategisch plaatsen (om groepjes kauwgom). Door computervisie wordt kauwgom gedetecteerd en dat wordt op een scherm weergegeven. Vervolgens worden de twee nozzles ingeschakeld en bewegen ze naar de juiste locaties. De bestuurder kan via het scherm de computer wanneer nodig corrigeren en aangeven waar nog meer gereinigd moet worden.

Het grootste voordeel van dit concept is dat de manoeuvreerbaarheid veel groter is dan die van de andere twee concepten. Met dit apparaat kan vrijwel de hele straat schoongemaakt worden, waar de andere concepten niet overal bij kunnen komen, doordat ze zo groot zijn. Dit concept werkt echter trager dan de andere concepten doordat het apparaat steeds verplaatst moet worden nadat een kwart vierkante meter is behandeld. Dit kost steeds een aantal seconden en de bestuurder moet tot vier keer zo vaak aangeven dat de herkende spum schoongemaakt kan worden, vergeleken met concept 2.

Het voertuig (Boschung Pony) kan langere tijd op dezelfde plek blijven staan en de bestuurder kan in de gebieden eromheen de kauwgom verwijderen. De gebruiker heeft ook goed zicht op het verwijderen, en kan bij deze methode goed controleren of de kauwgom naar behoren verwijderd wordt.

Als er in de toekomst toch meer nozzles gebruikt zouden kunnen worden dan is het een optie om het werkvlak van het apparaat tot op zekere hoogte groter te maken, of de vorm aan te passen. In werkelijkheid kan dit concept compacter zijn dan in de afbeelding het geval is.

**Concept 3** Spumbuster los apparaat. Boschung Pony zonder inzittende levert stoom en zuigkracht. Gefaseerd, manoeuvreerbaar. Werkgebied  $\pm 0,25m^2$ , 2 nozzles, 4 seconden per spum. Bereik apparaat  $5x5 m = 25m^2$ . Verplaatsen wagen = 30 seconden

Functies Spumbuster	Allocatie
Globaal detecteren spum	Mens
Globaal (strategisch) positioneren werkvlak	Mens
Precies detecteren / aangeven spum	Machine / Mens
Positioneren nozzles	Machine
Verwijderen spum	Machine
Opzuigen spum	Machine (/ mens)

### Acties

Bestuurder detecteert locatie met spum globaal

Bestuurder duwt apparaat naar locatie

Bestuurder plaatst werkvlak strategisch

Camera boven compact werkvlak detecteert spum

Bestuurder corrigeert detectie

Coördinaten worden berekend

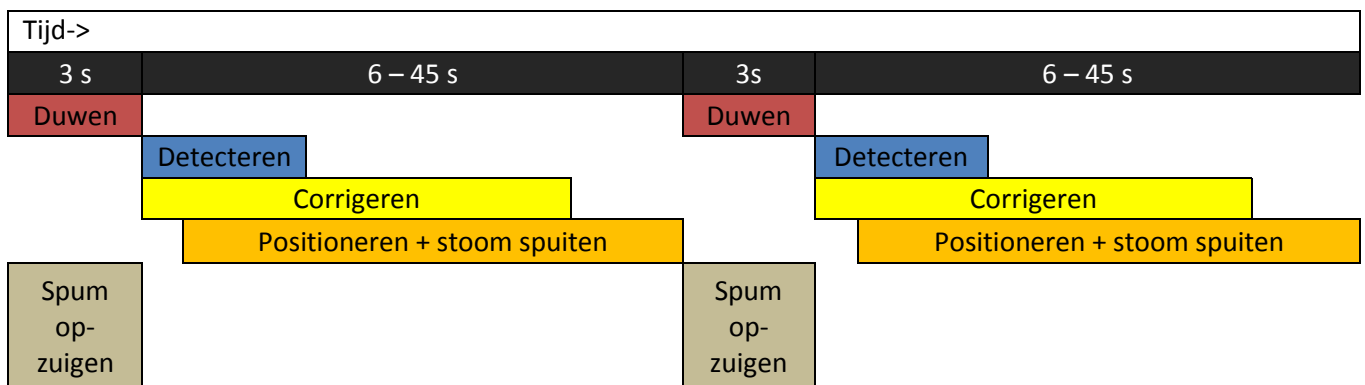
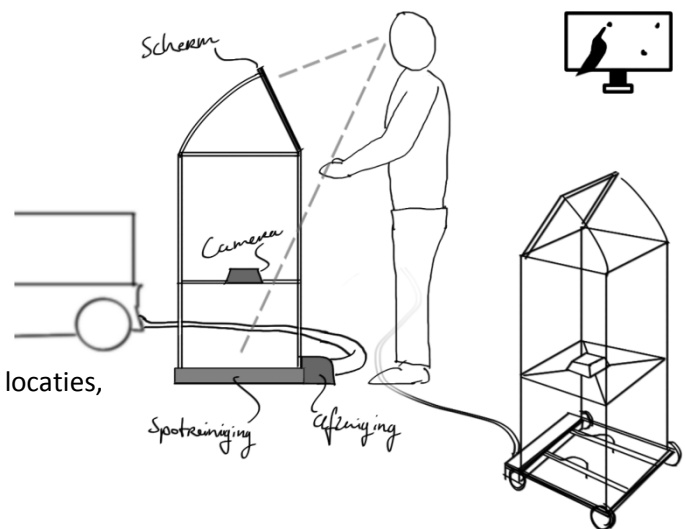
Nozzles worden gepositioneerd naar goedgekeurde locaties,

Nozzles spuiten x keer stoom (3s)

Bestuurder duwt apparaat vooruit

Spum wordt opgezogen

Na verloop van tijd stuurt bestuurder Boschung Pony een aantal meter verder



### Voordelen

- Hoge manoeuvreerbaarheid
- Hoge detectiegraad
- Compact vervoerbaar

### Nadelen

- Apparaat verplaatsen kost extra tijd
- Af en toe wagen moeten verplaatsen
- Bij lage spumdichtheid kost verplaatsten relatief veel tijd
- Slang hindert verkeer wellicht

#### 4.4.5. Evaluatie concepten tweede conceptfase

In deze paragraaf zullen de concepten afzonderlijk beoordeeld worden, waarna de conclusie van de tweede conceptfase volgt, waar een keuze gemaakt wordt tussen de concepten.

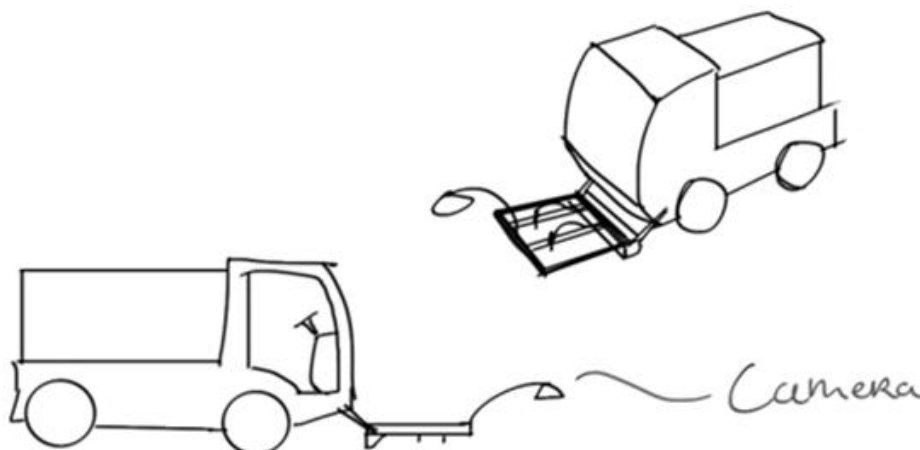
##### Concept 1

Het voordeel dat concept 1 heeft ten opzichte van concept twee is dat ze veel sneller is bij lage dichtheid kauwgom, omdat ze niet tussendoor een paar seconden hoeft te rijden (Bijlage 10C). Hierdoor is concept 1 een stuk sneller in periodieke reiniging (lage spumdichtheid) waarvoor ze wellicht geschikt is. Volgens de bijlage is ze dan veel sneller dan concept 2 (>40%). In de realiteit zal dit verschil echter niet zo groot zijn aangezien de spum niet gelijk over de straat verdeeld is. Er zijn grote stukken zonder spum en stukken met relatief veel spum. Ook zijn er stukken straat die goed contrasteren met kauwgom en straten die dat niet doen, waardoor de verhouding detecteren door de mens en door de machine verschilt tussen straten.

Het grootste probleem met concept 1 is dat de bestuurder continu op tijd vooruit moet werken. Zodra er een gebied komt met veel moeilijk detecteerbare spum of met veel false hits waar de bestuurder dus veel moet doen, moet deze adequaat ingrijpen. Doordat de wagen continu doorrijdt en er tijdsdruk kan ontstaan is het risico op fouten groot. Het zal eerder gebeuren dat plekken overgeslagen worden en voegen geraakt worden. Ook kan de bestuurder niet controleren of de kauwgom goed wordt gereinigd vanwege het vooruit detecteren.

Deze methode van kauwgom verwijderen is niet betrouwbaar genoeg en de bestuurder heeft er te weinig controle over. Alleen als er volledig vertrouwd kon worden op machinale detectie zou dit concept geschikt zijn, of wellicht als voegen niet beschadigd zouden worden. Aangezien dit niet het geval is en de mens een gedeelte van de spum moet herkennen is concept 1 niet geschikt voor periodieke reiniging.

Voor initiële reiniging van een gebied met veel spum (>12 stuks / m<sup>2</sup>) is concept 1 ook maar iets sneller dan concept 2, terwijl concept 2 verder geschikter is. Concept 1 is zeker niet geschikt voor initiële reiniging.

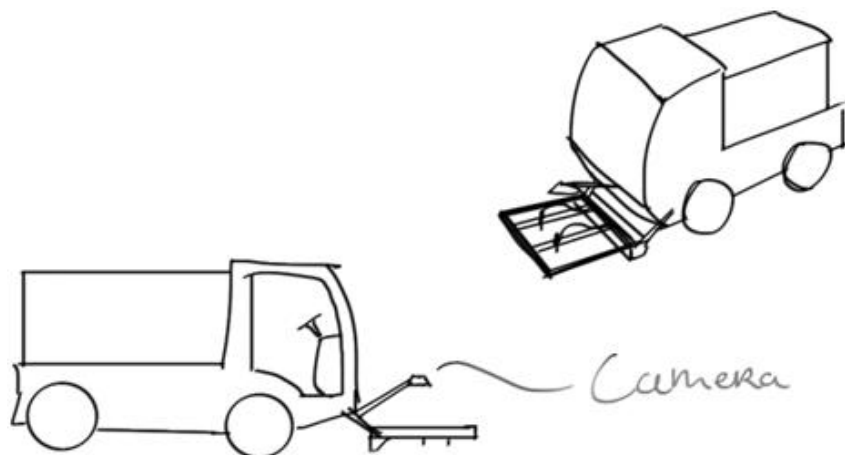


## Concept 2

Concept 2 is zeer geschikt als initiële reiniger. Het enige nadeel van concept 2 ten opzichte van concept 1 is de extra tijd die het kost om van positie te wisselen. Deze is geschat op vier seconden per keer. Als er erg weinig spum ligt dan is concept 1 een stuk sneller. Als er meer ligt dan is de verplaatsingstijd van de machine vergeleken met de verwijderingstijd kleiner.

Voor initiële reiniging is concept 2 veel geschikter dan concept 1, zeker ook vanwege de wisselwerking die er moet bestaan tussen detectie door de mens en machinale detectie. De bestuurder heeft door de gefaseerde methode minder druk en meer controle. Daarnaast werkt concept 2 op een makkelijkere manier dan concept 1 en is ze makkelijker te besturen. Coördinaten hoeven niet omgerekend te worden en er kan ook makkelijker gemanoeuvreed worden doordat het detectievlak niet voor het werkvlak is geplaatst.

Concept 2 kan ook prima periodieke reiniging doen, waarin ze wel langzamer is dan concept 1. Concept 2 is een flexibele machine die in elke situatie op een gecontroleerde manier de kauwgom kan verwijderen. Er zal echter wel nog een oplossing gevonden moeten worden om de delen van de straat te reinigen die concept 2 niet kan bereiken.

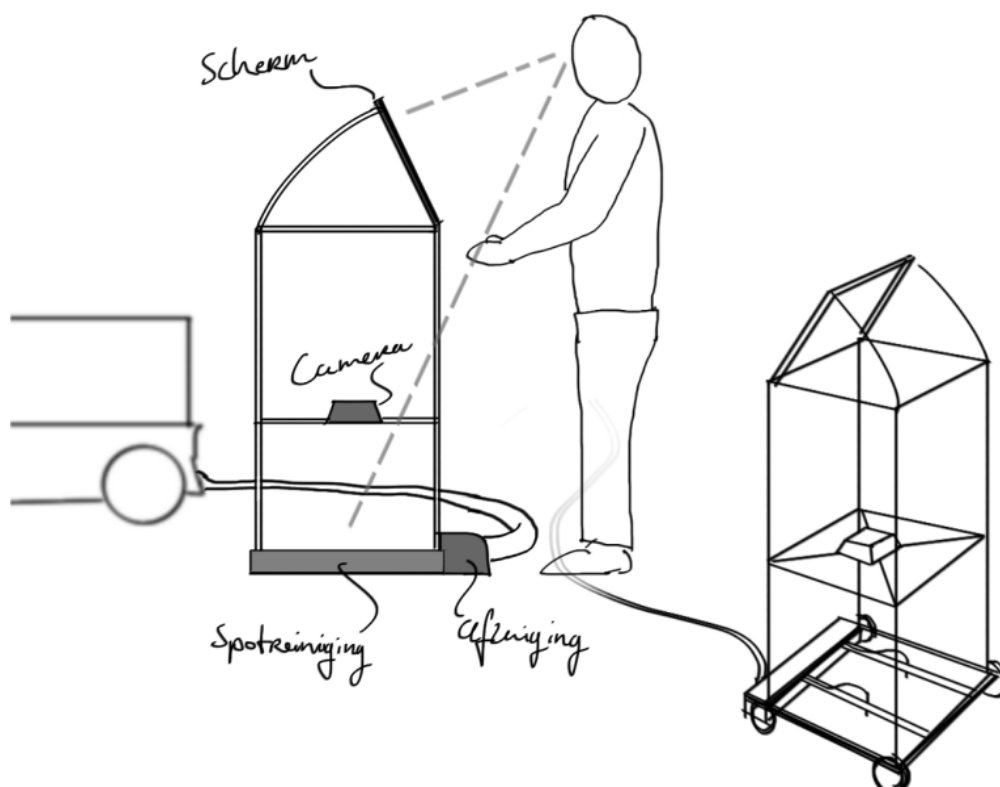


### Concept 3

Het grote voordeel van concept 3 ten opzichte van de andere twee concepten is dat de manoeuvreerbaarheid hoger is. Waar de grote machines alleen de open ruimtes schoonmaken kan concept 3 dit ook makkelijker langs de randen van de straat en obstakels zoals prullenbakken en bankjes waardoor vrijwel de hele straat gereinigd kan worden. De wagen kan ook aan de rand van de straat geplaatst worden waardoor verkeer zo min mogelijk gehinderd kan worden. Ook is een wagen met een compact op te bergen apparaat in plaats van een grote voorbouw makkelijker naar de locatie te rijden.

Nadelen zijn dat de wagen af en toe verplaatst moet worden en dat de bestuurder te voet te werk moet gaan. Concept 3 levert in op snelheid en comfort vergeleken met concept 2. Vooral als er weinig spum ligt kost het verplaatsen van de wagen en het daaraan gekoppelde apparaat veel tijd. De snelheid van concept 3 is weergegeven in Bijlage 11. Er is te zien dat concept 3 bij lage dichtheid ( $4/m^2$ ) 44 % langzamer is dan concept 2, en bij hoge dichtheid ( $30/m^2$ ) dit 14 % is. Hierdoor is concept 3 minder geschikt als periodieke reiniger. Voor initiële reiniging van een gemiddeld winkelgebied in Enschede, met 12 stuks per vierkante meter (schatting) is dit concept zo'n 33 % langzamer dan concept 2.

Het kleinere werkvlak kost in gebieden met weinig spum nog extra tijd, doordat minder vaak twee stuks spum tegelijkertijd binnen het kleine werkvlak vallen, en één nozzle dan niet gebruikt wordt. Hier is bij de berekening in de bijlage geen rekening mee gehouden. Aan de andere kant kan het tussendoor moeten verplaatsen van het apparaat in gebieden met weinig spum juist weer tijds winst opleveren, doordat het werkvlak strategisch om groepjes spum heen geplaatst kan worden. Echter, als er veel spum ligt dan zijn er minder lege plekken die overgeslagen kunnen worden.



#### 4.4.6. Conclusie Tweede Conceptfase

Concept 1 is in ieder geval geen goede optie voor de Spumbuster, doordat de snelheid niet opweegt tegen het verhoogde aantal fouten dat gemaakt zal worden. De gefaseerde methode is makkelijker te realiseren en beter controleerbaar.

De concepten met de gefaseerde methodes, 2 en 3, verschillen in manoeuvreerbaarheid en snelheid. Bij lage dichtheden is concept 3 veel langzamer dan concept 2, en bij gemiddelde dichtheid is dit ook nog het geval. Ook vereist concept 3 meer van de gebruiker dan concept 2, welke echter een kleiner gedeelte van het straatoppervlak bereiken. De vraag is dus welk percentage van het straatoppervlak beide concepten kunnen bereiken. Hoe groot is dit verschil? Hoe meer obstakels er zijn, hoe aantrekkelijker concept 3 wordt. Zeker omdat rond prullenbakken en bankjes de concentratie spum hoger is.

In het winkelgebied van Enschede is er relatief veel open ruimte vergeleken met andere binnensteden. Concept 2 zou hier erg geschikt voor zijn. Om te kijken of in andere steden niet concept 2, maar concept 3 juist beter geschikt is, zijn twee winkelcentra in Deventer, en ook de binnensteden van Deventer en Apeldoorn bezocht. In bijlage 12 is een impressie van de bewegingsruimte in winkelgebieden te zien. In de binnenstad van Deventer zijn bijvoorbeeld vrij veel smalle straten, toch zou concept 2 ongeveer 95 procent kunnen bereiken (afgezien van fietsen e.d.).

Het blijkt dat het overgrote gedeelte van de straat, grof geschat meer dan 95 procent, door concept 2 bereikt kan worden. 95 procent van het straatoppervlak zou dus door concept 2 gereinigd kunnen worden en de overige ruimte bijvoorbeeld door middel van een stoomlans. In die overgebleven 5 procent onbereikbare ruimte bevindt zich echter meer dan 5 procent van de kauwgom. Dit komt vooral doordat de concentratie kauwgom rond prullenbakken en bankjes veel hoger is dan de gemiddelde concentratie. 60 stuks per m<sup>2</sup> is niet ongebruikelijk. Het gebruik van een apparaat zoals die van concept 3 zou zeker rendabel zijn voor die plekken. Het apparaat van concept 3 kan echter niet bij alle kauwgom komen, daar is het werkvlak nog net iets te groot voor. Hoewel het werkvlak wel onder bankjes door kan, is de afstand tussen bijvoorbeeld bankjes en prullenbakken op veel plekken te smal voor concept 3.

Een combinatie tussen concept 2 en 3 ligt voor de hand, waarin het apparaat een wat kleiner werkvlak heeft zodat er zo min mogelijk plekken overblijven die alleen met een stoomlans schoongemaakt kunnen worden. Open ruimtes kunnen vlot schoongemaakt worden terwijl de bestuurder in de cabine zit, bij obstakels kan de bestuurder te voet met het kleinere apparaat rond obstakels kauwgom verwijderen. Als de concentratie hoog is kan dit alsnog vlot en met twee nozzles gaan.

Een afneembaar werkvlak van concept 2 had ook een optie kunnen zijn om de manoeuvreerbaarheid te verhogen. Hierdoor ontstaat een soort combinatie tussen concept 2 en 3. Het werkvlak is dan echter nog vrij groot om goed tussen obstakels te kunnen reinigen. Ook zal dit zwaar worden voor de bestuurder. Het halve werkvlak afneembaar maken of het werkvlak verkleinen zou ten koste gaan van de reinigingssnelheid in open ruimtes. Een apart apparaat met aparte nozzles is een betere optie omdat de kosten voor dit apparaat relatief laag zijn.

## 4.5. Conceptuitwerking

### 4.5.1. Uitwerking van het gekozen concept

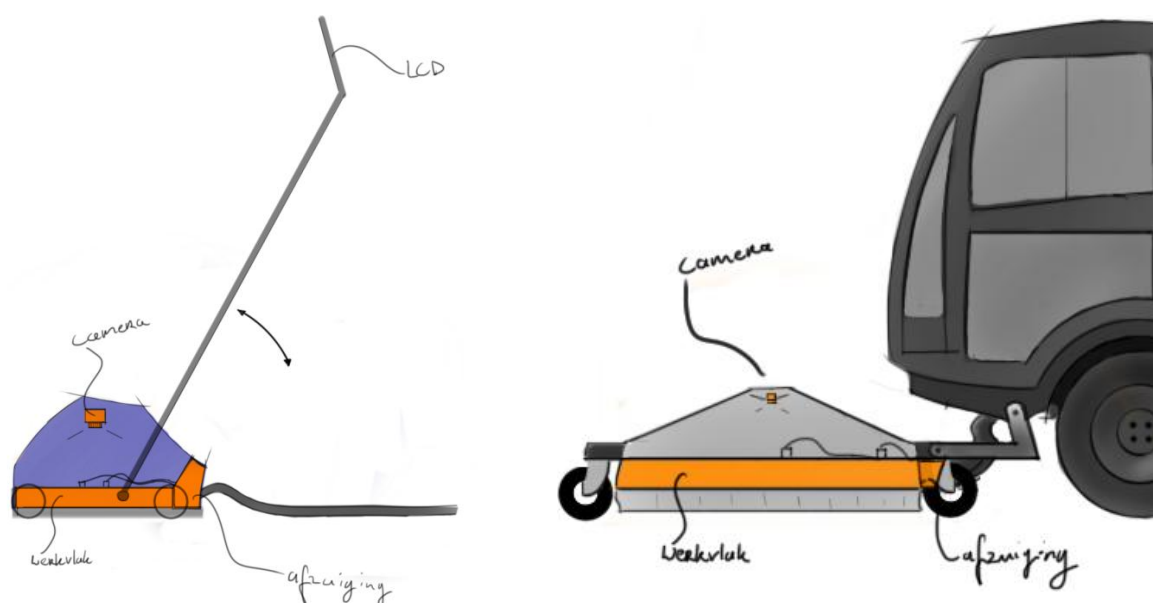
In de tweede conceptfase bleek dat concept 2 de beste optie is, gecombineerd met een vorm van concept 3 om ook op moeilijk bereikbare plekken te komen. Gezien er hoge concentraties spum in veel moeilijk bereikbare gebieden ligt zou dit apparaat toch een aanwinst zijn.

In de conceptuitwerkingsfase is bepaald hoe het uiteindelijke product eruit ziet en werkt, zoals bij het eindresultaat al te zien was. Er is bijvoorbeeld bepaald wat de afmetingen van het werkvlak van het apparaat moeten zijn. Dit is gedaan door de beoogde gebruiksomgeving van het apparaat te verkennen in verschillende steden. Er is ingeschat hoeveel bewegingsruimte er ongeveer is tussen deze obstakels. Een impressie hiervan is te zien in bijlage 13.

Daarnaast is ervoor gekozen om de detectieruimte af te sluiten van licht waardoor belichtingsomstandigheden gecontroleerd kunnen worden. Dit zou de herkenning volgens R. Kauw-A-Tjoe vergemakkelijken. Volgens hem zou een goede webcam erg geschikt zijn om de kauwgom te herkennen met beeldherkenning, dit beeld is zeker gedetailleerd genoeg voor de computer. Ontzettend geavanceerde camera's vereisen ook alleen maar meer rekenkracht om de beelden te analyseren. Goede webcams leveren ook voor de gebruiker een kwalitatief goed beeld, zeker in een gecontroleerde omgeving. Om dit omhulsel zo compact mogelijk te houden, waardoor het apparaat onder bankjes door kan, is gekozen voor een webcam met een brede beeldhoek van 120 graden. Een dergelijke webcam is voor nog geen 100 euro verkrijgbaar (Genius 120 degree webcam).

Verder is in deze fase het voorstel voor de user interface gemaakt. Via deze interface zou de bestuurder gemakkelijk de handelingen van de computer kunnen monitoren en aanvullen. In bijlage 14 was in stappen uitgelegd hoe deze zou moeten werken.

Als laatste stap na de conceptuitwerking is een toekomstscenario geschreven voor de Spumbuster, deze is op de volgende pagina te zien. Met dit toekomstscenario is ook een eind gekomen aan het verslagdeel over het ontwerpproces. Hierna volgt een uitgebreide reflectie op dit proces, waarna de conclusies en aanbevelingen volgen.



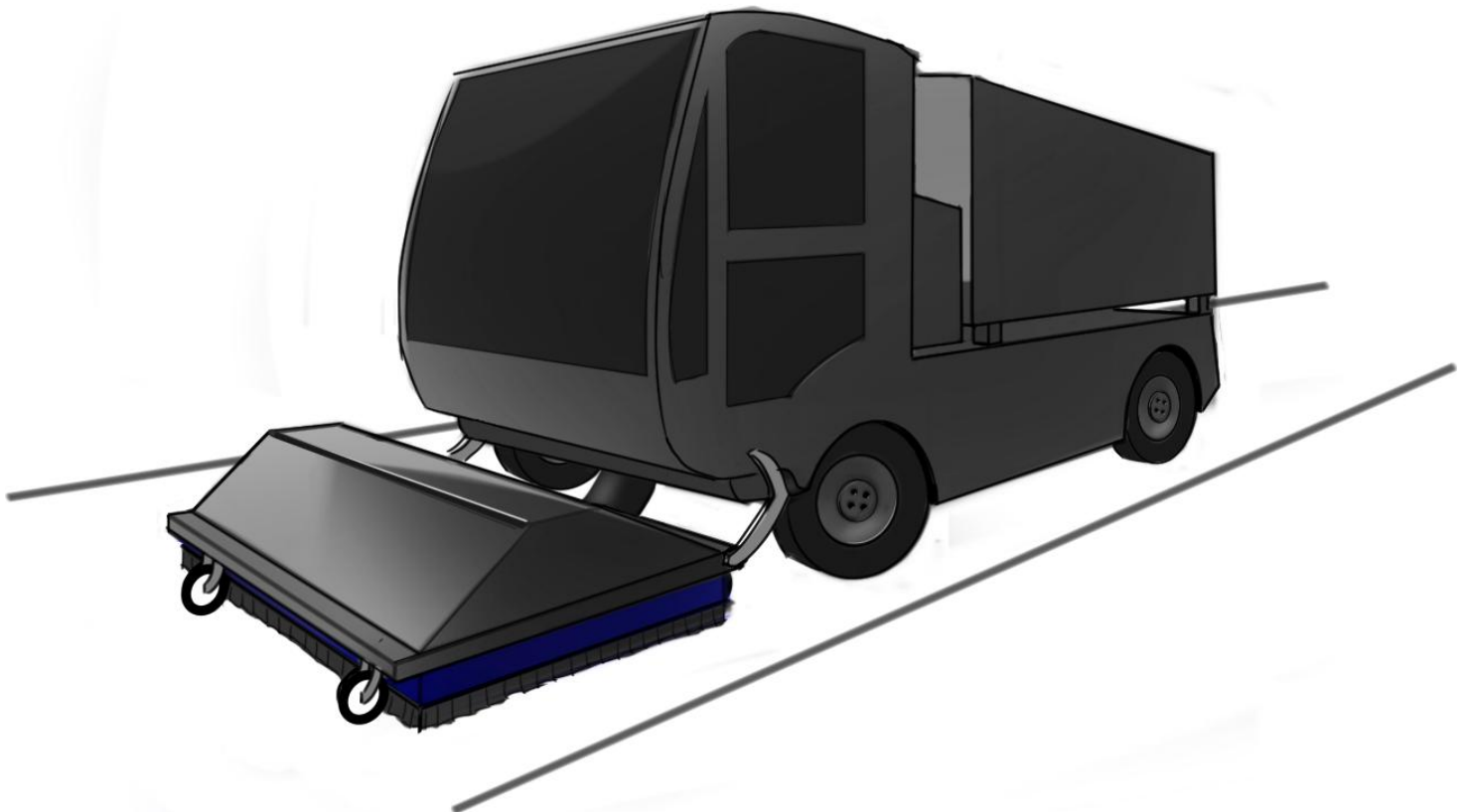


#### 4.5.2. Toekomstscenario

In de toekomst zal de machinale detectie van kauwgom steeds beter gaan. Het menselijke aandeel in de detectie wordt steeds kleiner. Waarschijnlijk zal het ook mogelijk worden om meer dan twee nozzles te gebruiken. Doordat de rol van de mens steeds kleiner wordt zal bij meerdere nozzles (en hogere snelheid) de relatieve traagheid van de mens de verwijdersnelheid niet veel gaan hinderen.

Als de verwijdersnelheid hoger wordt zal het wel steeds aantrekkelijker worden om een continu rijdende Spumbuster te nemen. Dit komt doordat de verplaatsingstijd van een gefaseerd werkende Spumbuster bij een kortere verwijdertijd hoger is. Echter, bij een hoge verwijdersnelheid wordt het voor de gebruiker steeds lastiger om op tijd correctiewerk uit te voeren. Als er in de toekomst toch voor een continu rijdende machine wordt gekozen dan zou de detectie volledig machinaal moeten gaan. De gebruiker hoeft dan alleen de wagen te sturen, en een aantal beschadigde voegen zouden dan voor lief moeten worden genomen. Geen enkele schade aan voegen is sowieso niet te garanderen, ook bij de gefaseerd werkende Spumbuster, tenzij het verwijderproces aangepast wordt.

Als de Spumbuster in de toekomst de mogelijkheid krijgt om meer nozzles te gebruiken kan ze zolang de detectie niet volledig machinaal is op dezelfde gefaseerde manier blijven werken. Het kleinere apparaat heeft echter niet evenveel baat bij meerdere nozzles als de voorbouw. In de toekomst zal de voorbouw van de Spumbuster veel meer kauwgom tegelijkertijd kunnen reinigen dan het apparaat. Toch zal het apparaat onderdeel blijven van de Spumbuster om de laatste hand aan een bepaald gebied te leggen.



## 5. Reflectie op het ontwerpproces

Medio april 2013, aan het begin van het ontwerpproces, was er een hele andere kijk op dit ontwerpprobleem: het detecteren van spum en het positioneren van de Spumbuster. Er werden gelijk allerlei ideeën gegenereerd waarvan de potentie onduidelijk was. Tegelijkertijd is geprobeerd om contact te krijgen met experts om suggesties te krijgen voor het (machinaal) herkennen van kauwgom. Ook is bijvoorbeeld via een contact bij TNO nagegaan of kauwgom misschien met een bepaalde stof reageert waardoor herkenning mogelijk is. Dit heeft echter niet tot resultaten geleid waardoor het moeilijk was om vat te krijgen op een geschikte oplossingsrichting. Het was een complex probleem met veel onzekerheden en het eindontwerp lag oorspronkelijk niet voor de hand.

Beeldherkenning is vanaf het begin een idee geweest, maar het heeft lang geduurd voordat bevestigd werd dat deze techniek daadwerkelijk geschikt is voor de Spumbuster, en het gecombineerd kan worden met detectie door de mens. Aan het begin werd vooral geneigd naar een handmatige oplossing voor de detectie, waarbij de gebruiker aangeeft waar de spum zich bevindt, bijvoorbeeld met een soort markeerstaaf. Dit leek veel beter haalbaar dan een machinale oplossing, maar de grootte van de Spumbuster (vanwege de oppervlaktereiniging) leek een enorm obstakel.

Om overzicht te krijgen van de verschillende manieren om spum te detecteren, en de nozzles en Spumbuster te positioneren is gekozen voor een systematische aanpak van het probleem. Alle mogelijke oplossingen pasten binnen één schema. Er is geprobeerd om een onderbouwd oordeel te geven over deze oplossingsrichtingen. Hiervoor is intensief naar informatie gezocht, bijvoorbeeld informatie over beeldherkenning. Deze informatie was echter niet toereikend, er zijn geen goede voorbeelden gevonden die toepasbaar zijn voor de herkenning van spum, aangezien spum altijd anders is, net zoals de bestrating en weersomstandigheden. Lang is gedacht dat de oplossing voor machinale detectie binnen de oppervlaktereiniging (prepareren) lag. Als spum bijvoorbeeld verwarmd kan worden of als er een afdruk in kan worden achtergelaten dan zou spum uniform gemaakt kunnen worden. Eén detecteerbaar aspect van de spum zou dan in ieder geval constant zijn. Beeldherkenning leek vanwege het eerder uitgevoerde onderzoek zeer geschikt om uniforme spum te kunnen herkennen.

Begin mei is er gecorrespondeerd met een masterstudent Human Media Interaction, die ervaring scheen te hebben met beeldherkenning. Deze persoon kon veel over de techniek vertellen, en aan de hand van een foto is gevraagd welk percentage spum herkend zou kunnen worden. Een hoog percentage (80%) leek goed haalbaar. Later zijn meer foto's opgestuurd maar hier kon moeilijk een getal aan gekoppeld worden. Ondanks het goede advies was eind mei de echte potentie van beeldherkenning nog onduidelijk, omdat maar over één afbeelding een uitspraak was gedaan.

Wel was door de systematische aanpak inmiddels duidelijk geworden dat de detectie een combinatie mens / machine zou kunnen zijn, en machinale positionering en verwijdering het meest geschikt is. De vraag was ook nog of alle spum verwijderd moet worden, of dat de meest opvallende spum verwijderen al voldoende is. Op 29 mei is op de reinigingsdemodagen in Lelystad overlegd met opdrachtgever K. van der Wolf. Hier werd duidelijk dat als de minst opvallende spum overgeslagen werd dit niet zo erg was, maar het liefst wordt wel een zeer hoog percentage bereikt. Het combineren van de detectie door mens en machine leek hem daarom ook een goed idee. Als

beeldherkenning een groot deel van de detectie zou kunnen doen zou dit zeer gunstig zijn. Tijdens die vergadering werd de oppervlaktereinigingsfunctie ook geschrapt.

Van eind mei tot eind juli is er veel interactie geweest met R. Kauw-A-Tjoe. Medio Juni is er in Utrecht vergaderd en werd bevestigd dat beeldherkenning daadwerkelijk geschikt is voor het herkennen van spum. Een proof of principle hiervoor is helaas niet gerealiseerd. Ondertussen waren er nog veel aspecten van de Spumbuster niet bekend. Begin juni is er veel informatie verkregen van C. Vos van BekkerLaGram over de verwijderfunctie van de Spumbuster. Er was nog geen rekening gehouden met de snelheid waarmee spum verwijderd kon worden. Deze was lager dan verwacht, er konden twee nozzles tegelijkertijd gebruikt worden. Als dit eerder bekend was dan was er eerder gerealiseerd dat de oppervlaktereiniging slecht gecombineerd kan worden met de spotreiniging. Ook werd toen pas nagegaan hoeveel water de spotreiniging vereist.

Als deze spotreiniging veel minder water had vereist was een ander (compactere) eindontwerp wellicht meer geschikt. Zeker gezien de beperkte informatie die er eerst was op het gebied van detectie. Er werd altijd simpelweg vanuit gegaan dat spotreiniging relatief weinig water kost (wat niet zo is), en vanwege de oorspronkelijk vereiste oppervlaktereinigingsfunctie bleven de meeste ontwerpen van groot formaat. Achteraf gezien had hier meer duidelijkheid over gevraagd moeten worden en had informatie, bijvoorbeeld over verwijdersnelheid eerder opgevraagd moeten worden. Door deze onduidelijkheid had een verkeerde ontwerpkeuze gemaakt kunnen worden. De oplossingsrichting had bijvoorbeeld eerst een compacte machine kunnen zijn waarbij alleen de mens te voet de detectie uitvoert. Later zou dan beseft worden dat er een groot waterreservoir nodig is.

Gelukkig heeft dit geen vertraging veroorzaakt. Toen de functieallocatie bekend was, is er veel getwijfeld over de implementatie daarvan in het uiteindelijke ontwerp. Er werd lange tijd gedacht dat concept 3 van de tweede conceptfase, de compactere opstelling met het werkvlak van 0,5 bij 0,5 meter, de beste optie was. Deze kon nu eenmaal een groter gedeelte van de straat bereiken en leek toen niet langzamer dan concept 2. Er waren al vergelijkende berekeningen van concept 1 en 2 uitgevoerd (met verschillende aantallen nozzles), maar dit was nog niet goed voor concept 3 gedaan. Er werd lange tijd niet gerealiseerd dat deze toch een stuk langzamer zou zijn dan concept 2, vooral doordat er vaker verplaatst moet worden. Er werd toen gedacht dat concept 3 zelfs sneller zou zijn doordat het werkvlak strategisch om groepjes kauwgom geplaatst kan worden, waardoor lege stukken straat overgeslagen kunnen worden. Later leek concept twee beter, maar niet om de juiste reden. De reden was vooral dat de bestuurder dan in de cabine kan zitten, en het concept meer op een conventionele straatreiniger lijkt. Ernstige twijfel heerste op dat moment en een beslissing tussen de twee concepten kon niet gemaakt worden.

Na een vergadering in begin Juli met UT-begeleider Dr. Ir. G.M. Bonnema werd geadviseerd om scenario's van de concepten te kwantificeren, en de gebruiksomgeving nog eens te bekijken. Toen er een berekening van de geschatte snelheid uitgevoerd werd van concept 3, werd ineens duidelijk dat deze significant langzamer is dan concept 2. Ook werd toen bevestigd dat er rond obstakels erg veel spum kan liggen, waardoor het gebruik van een extra apparaat zoals die van concept 3 wel gunstig zou zijn. Dit leidde tot het uiteindelijke ontwerp, een kauwgomverwijdermachine die door middel van beeldherkenning en detectie door de mens spum individueel kan detecteren, en de gehele straat kan reinigen. Hoe goed de machinale detectie gaat werken moet nog blijken, maar het lijkt een veelbelovende richting voor de Spumbuster om in verder te gaan.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

### 6.1. Conclusies

De hoofdvraag van deze opdracht ging over op welke manier de Spumbuster spum individueel kan detecteren, en hoe de Spumbuster gepositioneerd kan worden. Na analyse en uitwerkingen van verschillende oplossingsrichtingen is gebleken dat een combinatie mens / machine het meest geschikt is voor de detectie, waarbij beide de kauwgom optisch detecteren. Machinale detectie van spum gaat het best door middel van beeldherkenning. De mens kan de machine via een visuele interface (touch screen) waar nodig corrigeren en gemiste kauwgom aangeven. Het is een flexibele hybride oplossing, passende bij het wisselende type spum en bestrating.

Voor het positioneren is gekozen voor een groot werkvlak, zoals de huidige Spumbuster heeft. Hiermee kan de open ruimte op de meest efficiënte wijze gereinigd worden, vergeleken met de andere oplossingsrichtingen. Een zeer groot gedeelte van de straat kan hiermee bereikt worden. In het resterende gedeelte van de straat bevindt zich echter relatief veel spum, bijvoorbeeld rond prullenbakken. Voor deze gebieden is daarom gekozen voor een kleiner apparaat dat de gebruiker na het reinigen van de open ruimte kan gebruiken.

Doordat geen enkel stuk kauwgom hetzelfde is en de ondergrond ook geen constante factor is zal de machinale detectiegraad variëren. Hierdoor verschilt het aandeel dat de menselijke detectie heeft per straat. In sommige straten zal de machinale detectiegraad erg hoog zijn en in andere straten zal dit percentage veel lager zijn. De bestuurder moet dit verschil kunnen opvangen. Een ervaren bestuurder zal de gemiste plekken met de beoogde interface snel kunnen aangeven, maar het streven is dat deze dit zo min mogelijk hoeft te doen. Dit zodat het besturen van de Spumbuster zo toegankelijk mogelijk is voor de gebruiker.

Beeldherkenning en de machinale detectiegraad spelen hierom een centrale rol binnen de detectie van spum. Er is getracht om een proof of principle op vrijwillige basis door een expert te laten maken. Het proof of principle zou met dezelfde instellingen in verschillende foto's de spum succesvol moeten herkennen, maar deze is echter niet gerealiseerd binnen dit project. Overtuigend bewijs voor het functioneren van beeldherkenning in de gebruiksomgeving is er dus niet. Uit gesprekken met deze expert is echter wel gebleken dat beeldherkenning zeer geschikt is voor het herkennen van spum, en op een aantal individuele foto's is spum met relatief weinig moeite succesvol herkend. Hieruit, en volgens de mening van de expert, blijkt dat de methode wel potentie heeft. Zeker doordat het controleren van de belichtingsomstandigheden de detectiegraad verder zou moeten verhogen.

Hoe hoog de detectiegraad zal kunnen zijn en wat er vereist wordt van de bestuurder zal nog moeten blijken. Er wordt verwacht dat praktisch alle goed zichtbare en meest storende spum machinaal gedetecteerd kan worden. Aangezien de voegen gespaard moeten blijven is het goed dat de mens de detectie door de machine kan controleren en aanvullen. Gezien de snelheid waarmee verwijderd kan worden heeft de bestuurder hier genoeg tijd voor, zonder dat dit erg ten koste gaat van de verwijdersnelheid.

## 6.2. Aanbevelingen

Een toekomstige Spumbuster zou wellicht baat hebben bij onderstaande aanpassingen, op het gebied van manoeuvreerbaarheid, de interface en de verwijderfunctie.

Een beweegbaar werkvlak (links naar rechts) zou bruikbaar zijn zodat randen van de straat beter bereikt kunnen worden. Daarnaast zou de voorbouw wellicht inklapbaar gemaakt kunnen worden zodat de Spumbuster makkelijker naar de locatie toe kan rijden.

De wielen van de voorbouw zijn nu in het verlengde van de voorbouw geplaatst zodat de Spumbuster dichter langs randen van de straat schoon kan maken, maar hierdoor kan ze waarschijnlijk niet gemakkelijk over drempels heen rijden. De voorbouw zou wellicht wat hoger kunnen worden geplaatst om dit op te lossen.

Bij de interface zou een knop om alle gedetecteerde spots te wissen wellicht handig zijn, als in de praktijk blijkt dat er weleens heel veel false hits zijn (een gebied met heel veel vogelpoep). Dan hoeven deze niet één voor één verwijderd te worden. Ook zou de edit-knop beter in het midden geplaatst kunnen worden zodat linkshandigen de pen met links kunnen hanteren.

De verwijdermethode zou verder geoptimaliseerd kunnen worden. Wellicht werkt het beter om de stoom onder een hoek tegen en langs het straatoppervlak te spuiten. Hierdoor kan de stoom wellicht beter tussen spum en de straat komen en worden voegen niet frontaal geraakt. Dit zou schade moeten beperken en zou misschien ook minder stoom kosten.



## 7. Referenties

*Boschung Pony.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van Boschung.com:

<http://www.boschung.com/fileadmin/user/Prospekte/Mehrzweckfahrzeuge/Pony/en/Pony-en.pdf>

*Boston Gum Removal Services.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van Boston Gumbusters:

<http://www.bostongumbusters.com/gum-removal-services/>

*Clean Totaal.* (2009, Augustus 2). Opgeroepen op Juli 2013, van Jadon verwijdert kauwgom en vuil:

<http://www.cleantotaal.nl/artikelen/N6N19/Artikelen/Jadon-verwijdert-kauwgom-en-vuil>

*Daimer Kleenjet Ultra CVGP.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van Daimer Industries:

<http://www.daimer.com/steam-cleaners/kleenjet-5000cvgp.htm>

*DiBo Greenboiler in de nieuwe Spumbuster Machine van bekkerlagram - Nieuws - DiBo.* (2011, Mei 24). Opgeroepen op Juli 2013, van Dibo.nl: <http://www.dibo.com/nl/over-ons/nieuws/detail/dibo-greenboiler-in-de-nieuwe-spumbuster-machine-van-bekkerlagram>

Eger, A., Bonnema, G. M., Lutters, E., & Voort, M. van der. (2008). Selectiemethoden. In *Productontwerpen* (Vol. 3, pp. 226-228). Den Haag: LEMMA.

Eger, A., Bonnema, G. M., Lutters, E., & Voort, M. van der. (2008). Systematische technieken. In *Productontwerpen* (Vol. 3, pp. 183-189). Den Haag: LEMMA.

*Genius 120 degree webcam.* (sd). Opgeroepen op Juni 2013, van Amazon:

<http://www.amazon.com/Genius-120-degree-Conference-WideCam-F100/dp/B0080CE5M4>

*Gumbusters Benelux BV.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van Gumbusters Benelux B.V. - Specialist in kauwgumverwijdering: <http://www.gumbusters.nl/kauwgumverwijdering.html>

Kamp, W. van der. (2012). *Het verwijderen van kauwgom van harde steenachtige oppervlaktes.*

*Kliko Cleaning Kauwgom & Straatwerkreiniging.* (2009). Opgeroepen op Juli 2013, van kliko.nl:

[http://www.kliko.nl/klikocleaning/attachments/060\\_Kliko%20Cleaning.pdf](http://www.kliko.nl/klikocleaning/attachments/060_Kliko%20Cleaning.pdf)

*Steam Vacuum Cleaner- Daimer Kleenjet MEGA 550 V.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van

<http://www.daimer.com/steam-cleaners/kleenjet-550v.htm>

*Your Way of Life: De online glossy!* (sd). Opgeroepen op juni 15, 2013, van Your Way of Life website:

[http://www.yourwayoflife.nl/articles/gonnie\\_schaap](http://www.yourwayoflife.nl/articles/gonnie_schaap)

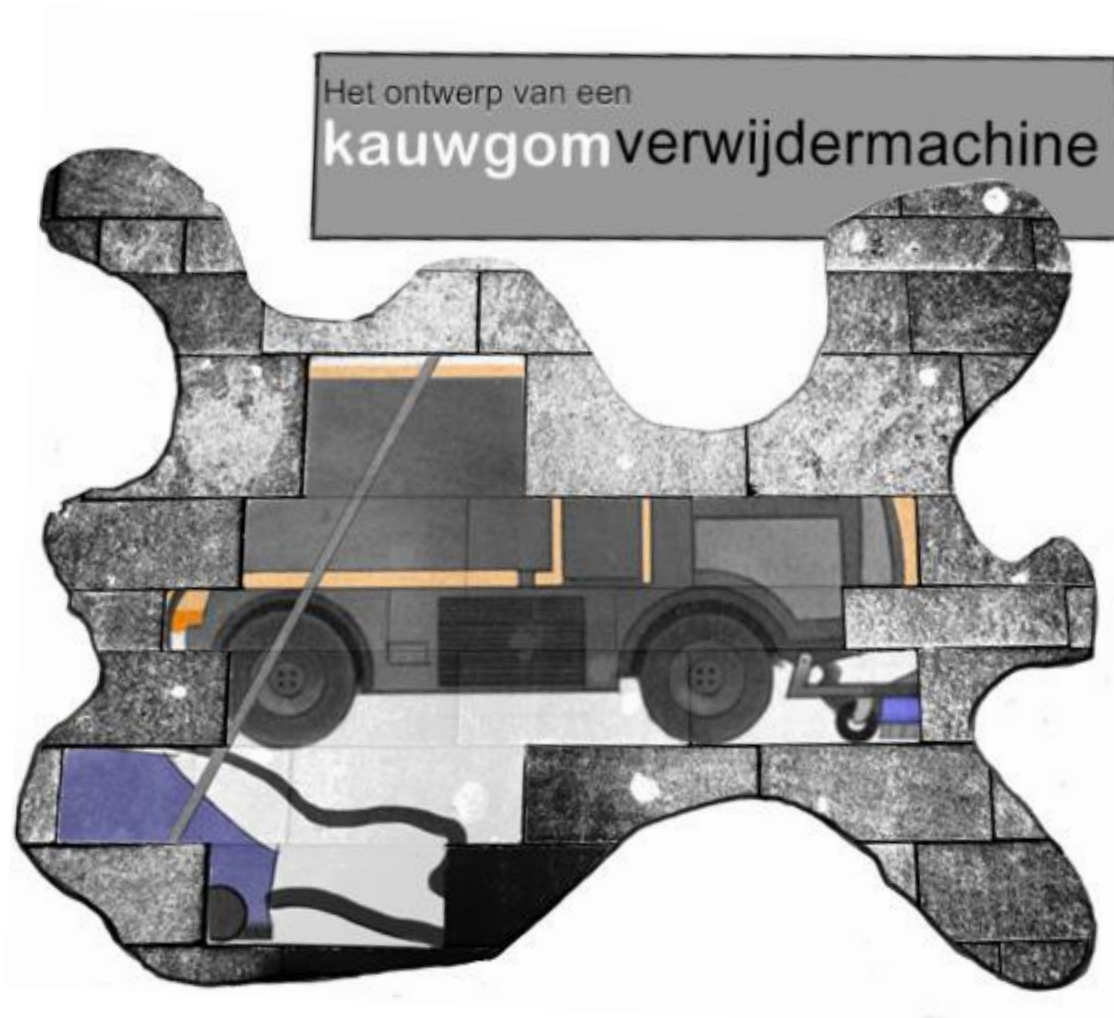
### Bijlagen

*Blob Detection.* (sd). Opgeroepen op Juli 2013, van CS Illinois web site:

[http://www.cs.illinois.edu/~slazebni/spring11/lec08\\_blob.pdf](http://www.cs.illinois.edu/~slazebni/spring11/lec08_blob.pdf)

*Canny Edge detection.* (sd). Opgeroepen op juli 2013, van cyroforge.wordpress.com:

<http://cyroforge.wordpress.com/2012/01/21/canny-edge-detection/>



## Bijlagen

Robert Burgers  
Stichting Nederland Schoon, BekkerLaGram  
Universiteit Twente - Industrieel Ontwerpen  
September 2013

## Inhoud Bijlagen

Bijlage 1 - Impressie verschillende soorten spum .....	1
Bijlage 2 - Verschillende soorten bestrating in Enschede .....	2
Bijlage 3 - Impressie aantal stuks spum op een vierkante meter.....	3
Bijlage 4 - Scenario's .....	4
Bijlage 5 – Voorbehandelingsmethoden .....	5
Bijlage 6 – Computervisie .....	6
Bijlage 7 - Test en methode herkennen kauwgom .....	7
Bijlage 8 - Invloed belichtingsomstandigheden .....	8
Bijlage 9 - Argumenten tegen oppervlakte- en spotreiniging in één machine ....	9
Bijlage 10 - Gegevens concepten .....	10
Bijlage 11 - Verwijdersnelheid concepten 1, 2, 3 .....	12
Bijlage 12 - Impressie bewegingsruimte in winkelgebieden .....	13
Bijlage 13 - Gebruiksomgeving apparaat .....	14
Bijlage 14 – Interface .....	15
Bijlage 15 - Berekeningen snelheid concept 3 .....	18

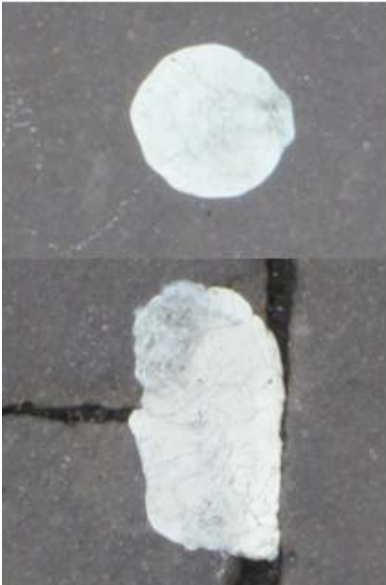


## Bijlage 1 - Impressie verschillende soorten spum

Van boven naar onder: witte, grijze en zwarte spum in verschillende toestanden.

Foto's zijn genomen in de binnenstad van Enschede, woensdagochtend 22 mei 2013.

vol



half



versleten



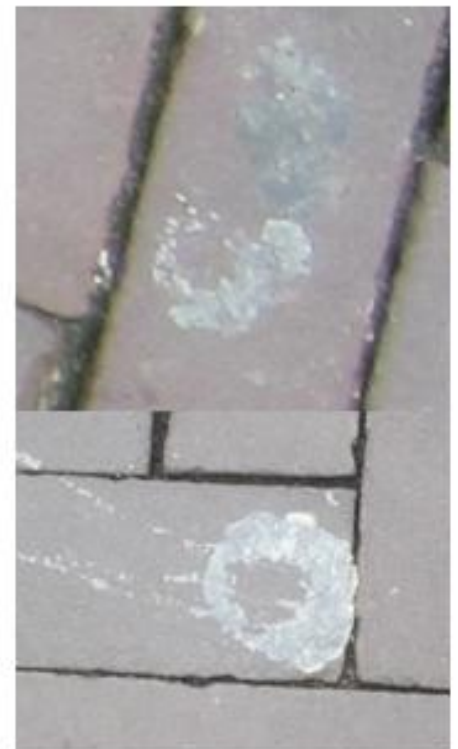
vol



half



versleten



vol



half



## Bijlage 2 - Verschillende soorten bestrating in Enschede

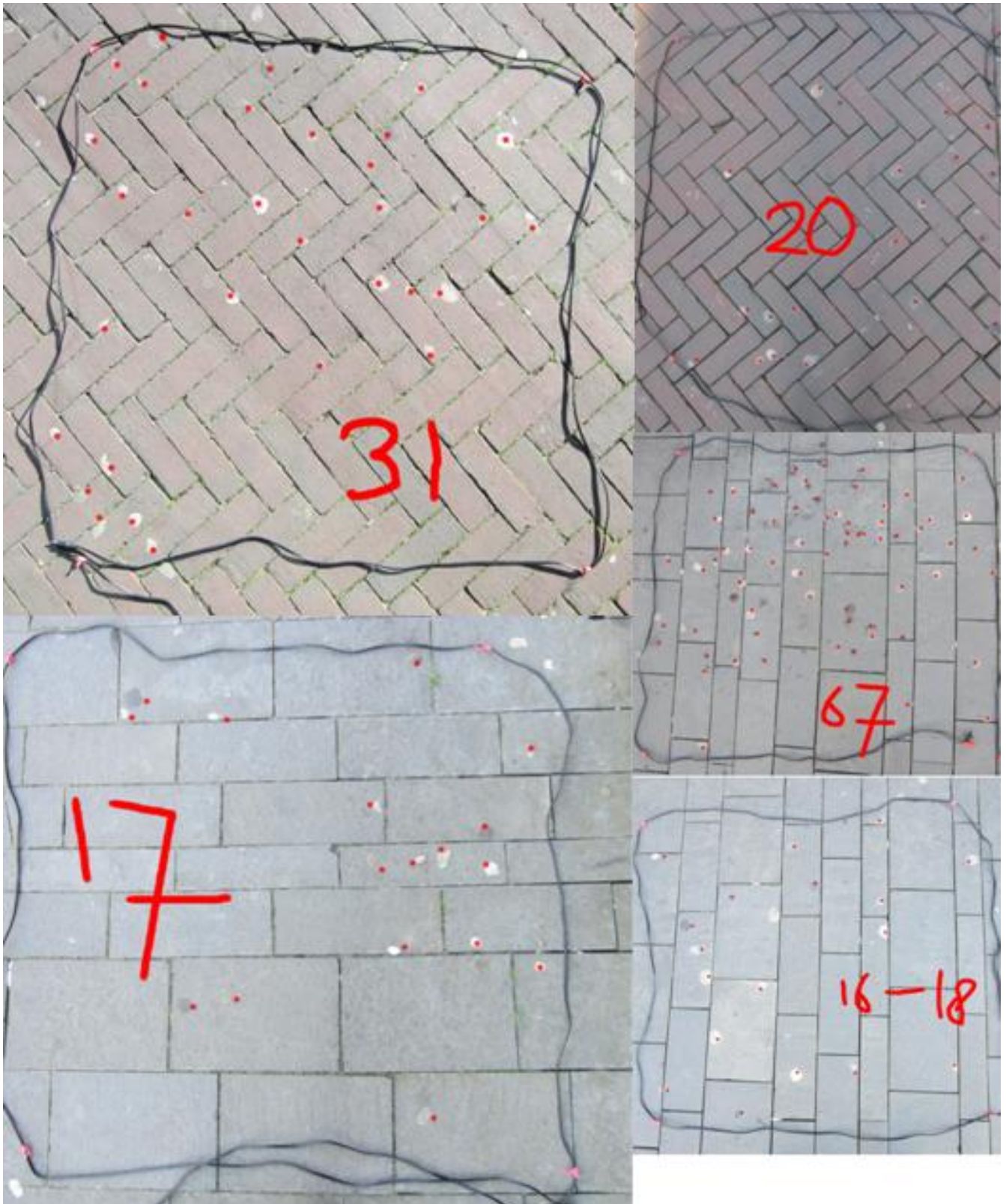
Foto's zijn genomen in de binnenstad van Enschede, op woensdagochtend 22 mei 2013.



### Bijlage 3 - Impressie aantal stuks spum op een vierkante meter

Foto's zijn genomen in winkelgebieden in de binnenstad van Enschede, op dinsdagmiddag 4 juni 2013.

Linksboven: kruising Hendrik Jan van Heekplein en Van Loenshof. Rechtsboven: Van Loenshof. Overige foto's zijn van verschillende delen van het van Heekplein (plein- en straatgedeelte)



## **Bijlage 4 - Scenario's**

De scenario's die in het verslag ontbreken:

### *Scenario 3*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat en reinigt het gehele straatoppervlak met lage energiedichtheid. De straat wordt volledig gereinigd, behalve de kauwgomplekken, die zitten te hardnekkig vast, maar de kauwgom krijgt haar oorspronkelijke kleur weer. Door deze bewerking wordt het gemakkelijker voor de machine om kauwgomplekken te identificeren. Door middel van beeldherkenning identificeert de machine waar de kauwgomplekken zitten, en deze worden met hoge energiedichtheid verwijderd.

Stap 1: oppervlaktereiniging    Stap 2: detectie    Stap 3: Spotreiniging

### *Scenario 5*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat en met een groot aantal speciale sensoren die op het straatoppervlak tikken wordt bepaald of de sensor tegen steenachtig oppervlak, een bestratingsvoeg of tegen een kauwgomplek tikt. Deze informatie wordt verwerkt en er wordt bepaald waar de kauwgomplekken zitten. Deze plekken worden continu gereinigd.

### *Scenario 6*

De machine rijdt in een vast tempo door de straat en voert oppervlaktebehandeling uit. Hierdoor wordt de straat gereinigd en de kauwgom verweekt en wordt opgewarmd. Erg dunne kauwgom wordt door de oppervlaktereiniging al verwijderd. Doordat de kauwgom de warmte op een andere manier vasthoudt dan de straat kan met een infraroodcamera de warmere kauwgom gemakkelijk gedetecteerd worden. De machine positioneert de nozzles automatisch naar de juiste plek en kauwgom wordt verwijderd.

Stap 1: oppervlaktereiniging    Stap 2: detectie    Stap 3: Spotreiniging

## **Bijlage 5 - Voorbehandelingsmethoden**

Verschillende eventuele voorbehandelingsmethoden om de machinale detectiegraad te verhogen:

### **Machinaal:**

- Lage intensiteit oppervlakreiniging, waardoor bijna al het vuil verdwijnt op de kauwgom na en de kauwgom haar oorspronkelijke kleur weer krijgt. Hierdoor verdwijnt de grauwsluier van de straat en wordt het contrast tussen de spum en de ondergrond vergroot.
- Verhitting straatoppervlak. Nadat het straatoppervlak verhit is kan met een infraroodcamera gekeken worden naar de warmte die de straat uitstraalt. Kauwgom zal een andere warmtegeleidingscoëfficiënt hebben dan de straat en er op dit beeld (na verloop van tijd) anders uitzien. Waarschijnlijk absorbeert de kauwgom de warmte beter dan het straatoppervlak.
- Patroon aanbrengen in kauwgom. Met bijvoorbeeld een wals met daarop een reliëf dat een patroon vormt zou een patroon in de kauwgom gedrukt kunnen worden. Patronen zijn erg makkelijk herkenbaar voor computervisie. Er bestaat bijvoorbeeld betrouwbare software om gezichten te herkennen in afbeeldingen. Andere materialen waar dit patroon in gedrukt kan worden (zand) zouden wellicht eerst verwijderd moeten worden. Deze methode werkt ook mogelijk niet bij erg dunne spum.

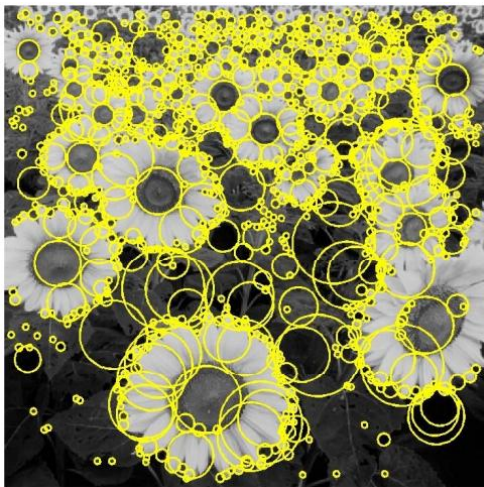
### **Handmatig:**

- Spum markeren. Spum zou handmatig gemarkeerd kunnen worden door er bijvoorbeeld met een soort markeerstaf iets herkenbaars op de spum achter te laten, of door de coördinaten door te geven. Hierdoor zou de spum gemakkelijk door de machine herkend moeten worden.

## Bijlage 6 – Computervisie: Beeldherkenning

Beeldherkenning is een vorm van computervisie waarmee digitale beelden geanalyseerd worden zodat daaruit informatie verkregen kan worden. Deze beelden kunnen onder andere van foto-, video- en infraroodcamera's zijn.

Om objecten zoals spum te herkennen moet de computer vooraf weten hoe het eruit ziet, of weten bij welke kenmerken een gedeelte van het beeld als spum gezien moet worden. Aangezien spum niet altijd hetzelfde eruit ziet moet de computer dit laatste doen. Aan de hand van bepaalde 'interessante' kenmerken van het beeld berekent de computer of een bepaald gebied wel of geen spum is. Deze kenmerken zijn: edges, corners, blobs en ridges. Er bestaan verschillende algoritmes om deze kenmerken in beelden te detecteren.



Figuur 15: Blob detection (Blob Detection)



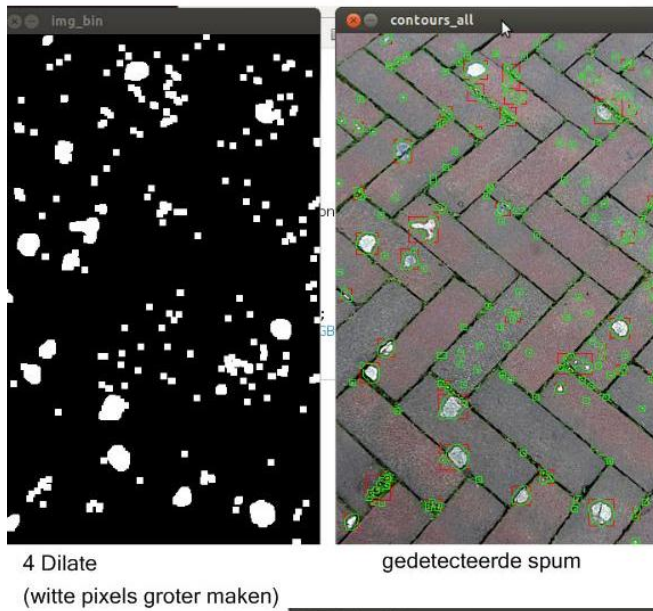
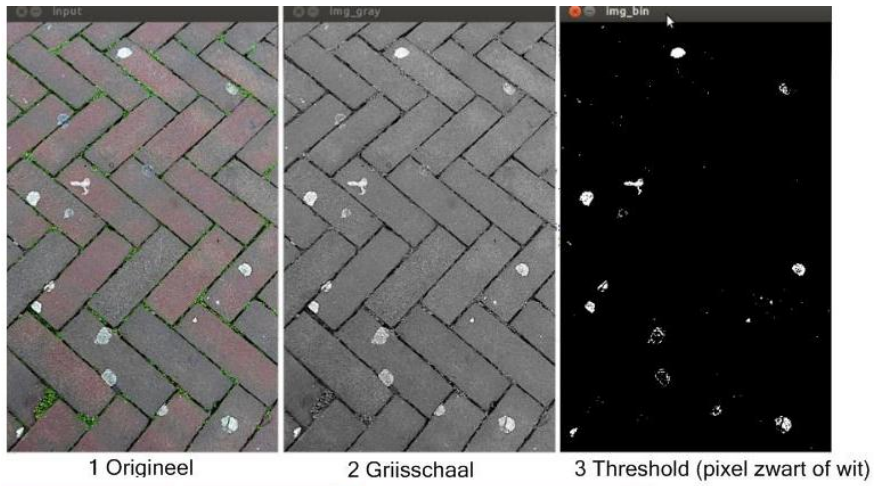
Figuur 16: Canny edge detection (Canny Edge detection)

### Toepassingen

Beeldherkenning wordt onder andere toegepast in de industrie om het fabricageproces te ondersteunen. Het wordt veel gebruikt voor automatische kwaliteitscontrole, waar de producten bijvoorbeeld één voor één langs een camera bewegen. Het wordt ook gebruikt om groenten en fruit die niet voldoen aan de gewenste eisen te herkennen, het zogenaamde optisch sorteren. Computervisie wordt ook gebruikt voor militaire en beveiligingsdoeleinden, bijvoorbeeld om vijandelijke soldaten of voertuigen te herkennen. In het dagelijks leven gebruikt Facebook bijvoorbeeld ook beeldherkenningstechnologie om gezichten te herkennen in foto's, wat erg goed werkt.

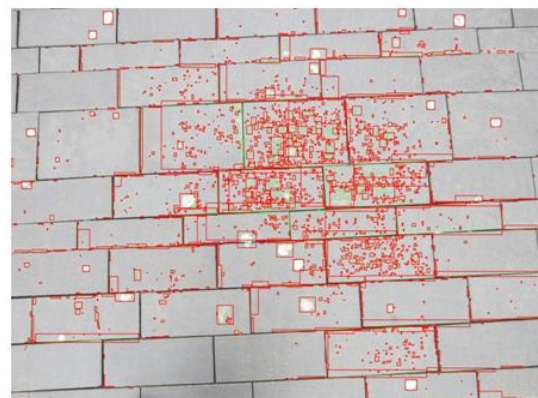
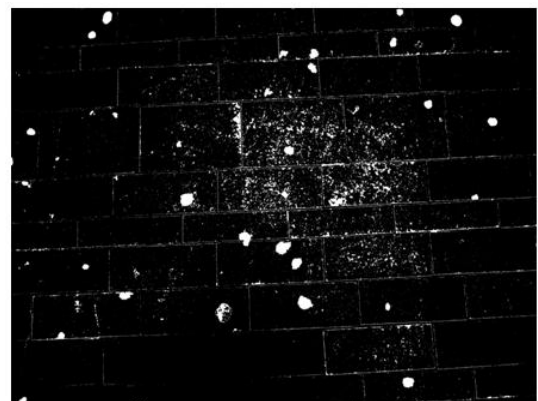
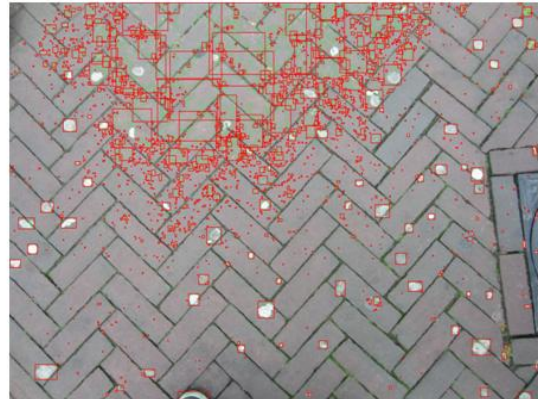
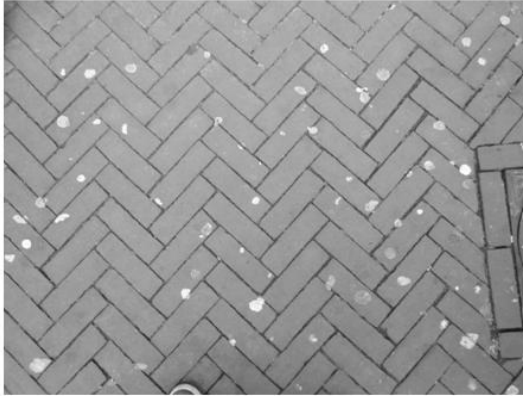
## Bijlage 7 - Test en methode herkennen kauwgom - Uitvergroot

Spum is succesvol herkend met een computerscript dat specifiek voor deze afbeelding is geschreven. Er was hiermee geen generieke oplossing gerealiseerd.



## Bijlage 8 - Invloed belichtingsomstandigheden

Deze afbeeldingen laten zien dat de belichting binnen een foto erg verschillend kan zijn, wat problemen op kan leveren voor het herkennen van kauwgom. Als de belichtingsomstandigheden (meer) gecontroleerd kunnen worden dan zou de foto rechtsboven de witte was niet hebben.





## **Bijlage 9 - Argumenten tegen oppervlakte- en spotreiniging in één machine**

- De snelheid van oppervlaktereiniging ligt nu veel hoger dan de snelheid waarmee spotreiniging uitgevoerd kan worden. De ene functie zou niet op de andere moeten wachten. Oppervlaktereiniging kan uitgevoerd worden met een snelheid van 1,6 km/h en spotreiniging kan op zijn snelst met 1,2 km/h. Deze snelheid kan behaald worden als de nozzles vooraf al goed gepositioneerd worden en elke nozzle maar één stuk kauwgom hoeft te verwijderen. In werkelijkheid is de snelheid waarmee de Spumbuster zich voort kan bewegen veel lager aangezien in winkelbieden de spumdichtheid hoog is.
- Oppervlaktereiniging neemt veel ruimte in beslag. Gecombineerd met spotreiniging en detectie in dezelfde baan wordt het een lang geheel.
- Door de werking van de oppervlaktereiniging en de grootte van het werkvlak, wordt het werkvlak van de spotreiniging ook al bepaald. Deze is hetzelfde werkvlak, er moet toch overall langsgereden worden. Dit terwijl de spotreiniging een groter werkvlak zou kunnen beslaan en efficiënter zou kunnen werken, als spum bijvoorbeeld uit elkaar ligt (buiten 1 m<sup>2</sup> werkvlak). De oppervlaktereiniging beperkt het aantal oplossingsrichtingen voor de spotreiniging.
- Spotreiniging kost al vrij veel water (0,435 / spum), gecombineerd met oppervlaktereiniging zou de watertank sneller leeg raken, of zou deze groter gemaakt moeten worden.
- De oppervlaktereiniging moet wellicht niet even vaak uitgevoerd worden als de spotreiniging.

## Bijlage 10 - Gegevens concepten

### 10A - Tijd per m<sup>2</sup>, concept 2

Spumdichtheid /m <sup>2</sup>	Tijd per m <sup>2</sup> (s), zonder 4s verplaatsen (1s positioneringstijd)			
	<i>2 nozzles</i>	<i>4 nozzles</i>	<i>6 nozzles</i>	<i>8 nozzles</i>
2	4	4	4	4
4	8	4	4	4
8	16	8	8	4
12	24	12	8	8
24	48	24	16	12
30	60	32	20	16

### 10B – Maximale rij snelheid concept 1 (km/h)

Spumdichtheid /m <sup>2</sup>	Max snelheid (km/h) (1s positionering)			
	<i>2 nozzles</i>	<i>4 nozzles</i>	<i>6 nozzles</i>	<i>8 nozzles</i>
1	1,2	1,2	1,2	1,2
2	0,9	1,2	1,2	1,2
4	0,45	0,9	1,2	1,2
12	0,15	0,3	0,45	0,6
30	0,06	0,12	0,18	0,24

**10C - Werktijd concept 1 en 2, tijd tot de tank van 1100 liter leeg zou zijn.**

Verwijdersnelheid (stuks / minuut)= 2528 / werktijd

Nozzles: 2 Positioneren: 1s Capaciteit: 1100 L, 2528 stuks spum				
Spumdichtheid	Concept1 (minuten)	Concept 2 (minuten)	Tijdsverschil (minuten)	% sneller C1 t.o.v. C2
1	126	337	211	63
2	84	169	85	50
4	84	126	42	33
8	84	105	21	20
12	84	98	14	14
24	84	91	7	7,6
30	84	90	6	6,7

**10D – Werktijd concept 1 en 2, bij 4 nozzles**

**4 nozzles:**

Nozzles: 4 Positioneren: 1s Capaciteit: 1100 L, 2528 stuks spum				
Spumdichtheid	Concept1 (minuten)	Concept 2 (minuten)	Tijdsverschil (minuten)	% sneller C1 t.o.v. C2
1	126	337	211	63
2	63	169	105	63
4	42	84	42	50
8	42	63	21	33
12	42	56	14	25
24	42	49	7	14
30	42	51	9	18
32	42	47	5	11

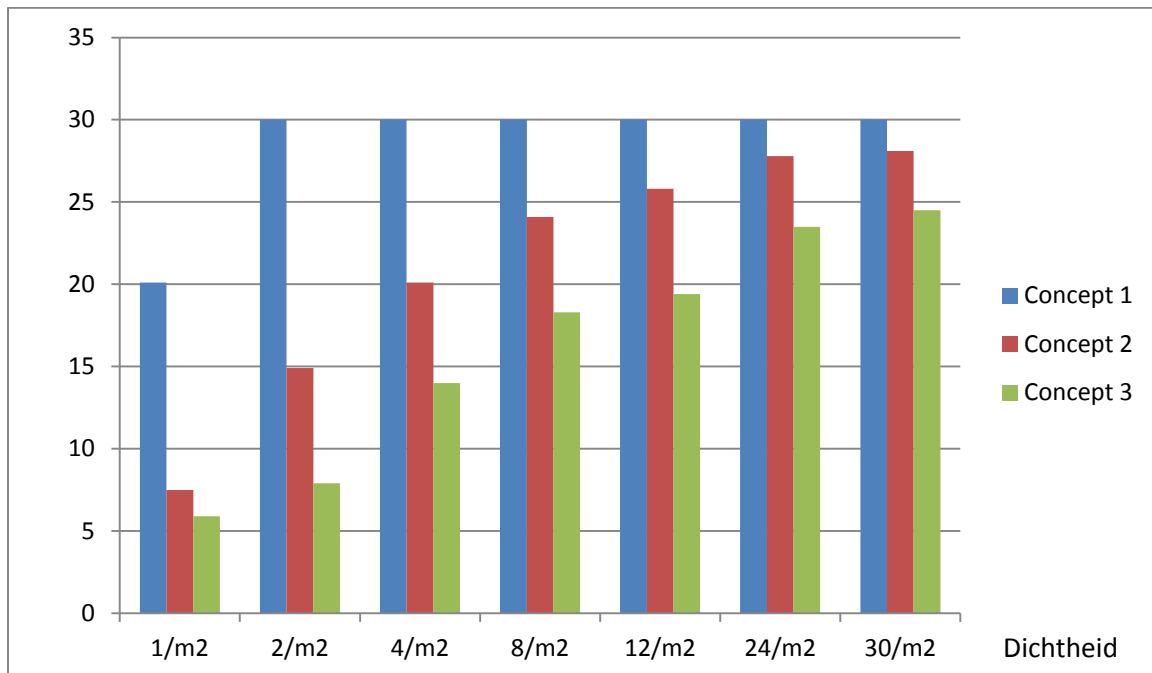
**10E - 2 versus 4 nozzles, concept 2:**

Concept 2, Positioneren: 1s Capaciteit: 1100 L, 2528 stuks spum				
Spumdichtheid	2 nozzles	4 nozzles	Tijdsverschil (minuten)	Snelheid 4 nozzles t.o.v. 2 nozzles (%)
1	337	337	0	100
2	169	169	0	100
4	126	84	42	67
8	105	63	42	60
12	98	56	42	57
24	91	49	42	54
30	90	51	39	57
32	84	47	37	56

## Bijlage 11 - Verwijdersnelheid concepten 1, 2, 3

Verwijdersnelheid (stuks / minuut) bij verschillende spumdichtheid. - 2 nozzles, 1s positioneren.

Spumdichtheid (stuks / m <sup>2</sup> )	Verwijdersnelheid concept 1, 2, 3 (stuks / minuut)		
	Concept1	Concept 2	Concept 3
1	20,0	7,5	5,9
2	30,0	14,9	7,9
4	30,0	20,1	14,0
8	30,0	24,1	18,3
12	30,0	25,8	19,4
24	30,0	27,8	23,5
30	30,0	28,1	24,5



\*In bijlage 16 staat hoe de snelheid van concept 3 is bepaald.

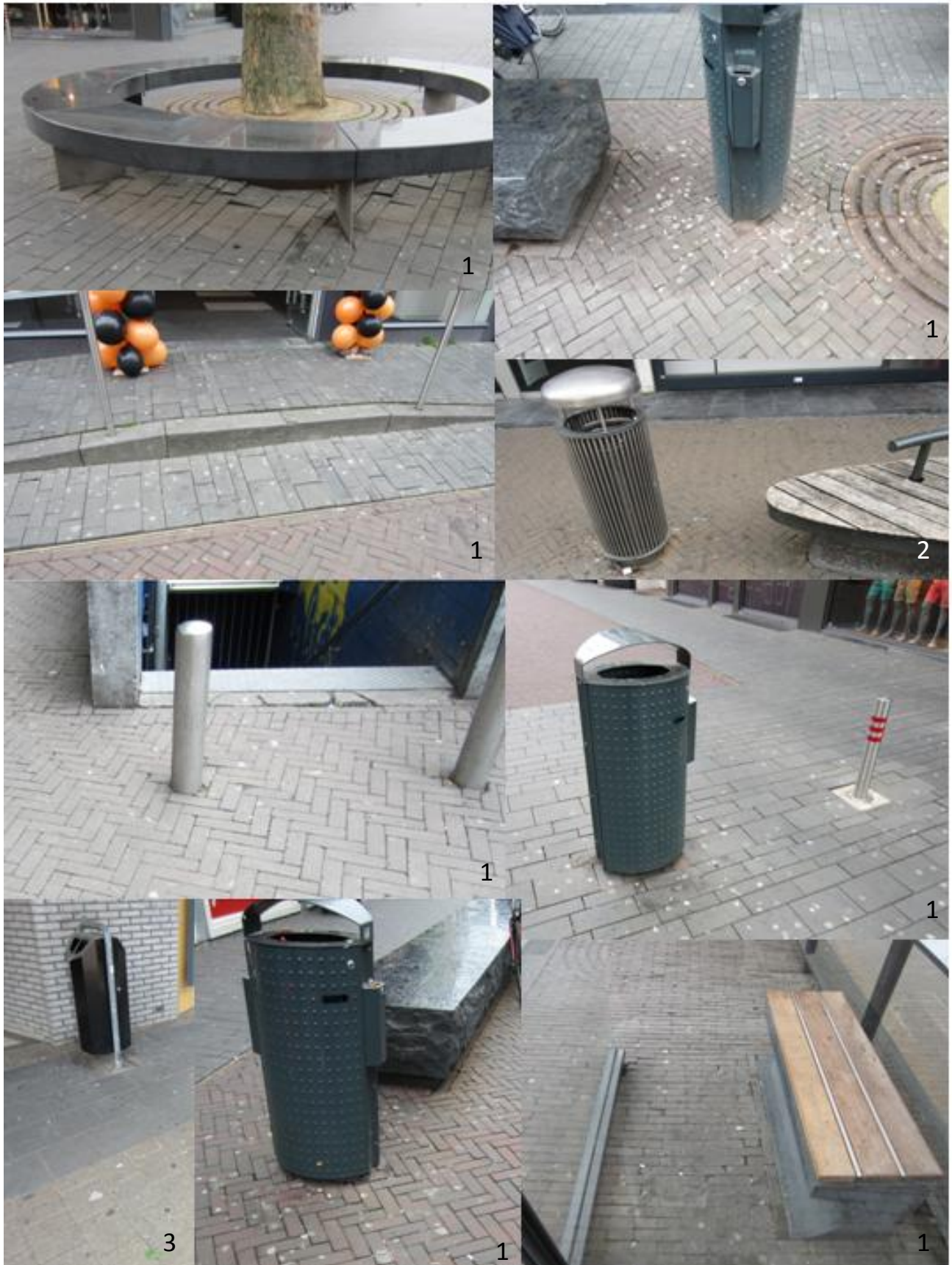
## Bijlage 12 - Impressie bewegingsruimte in winkelgebieden

Beelden gemaakt op locaties: (1) Winkelcentrum Flora (Deventer), (2) winkelcentrum Keizerslanden (Deventer), (3) binnenstad Deventer, (4) binnenstad Apeldoorn.



## Bijlage 13 - Gebruiksomgeving apparaat

Beelden gemaakt op locaties: (1) Binnenstad Enschede, (2) binnenstad Apeldoorn, (3) Winkelcentrum Flora (Deventer)

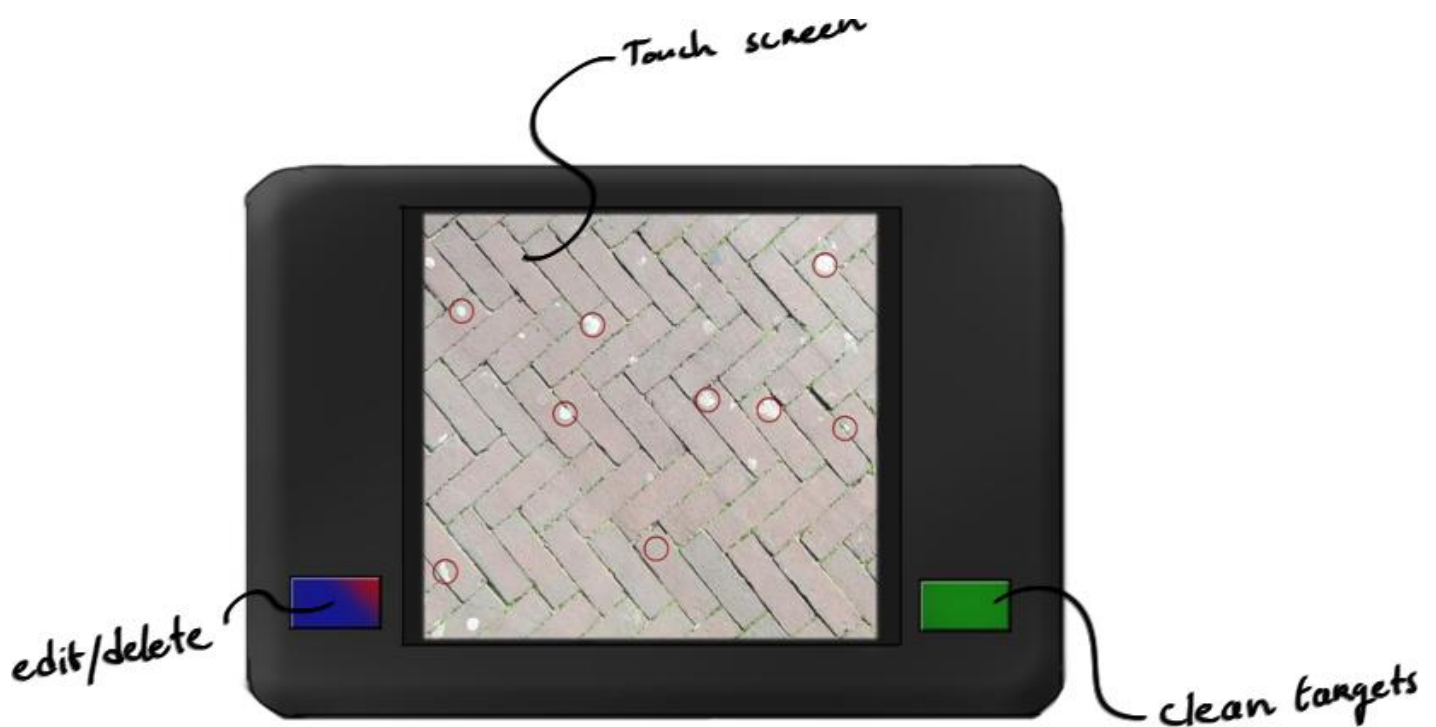


## Bijlage 14 – Interface

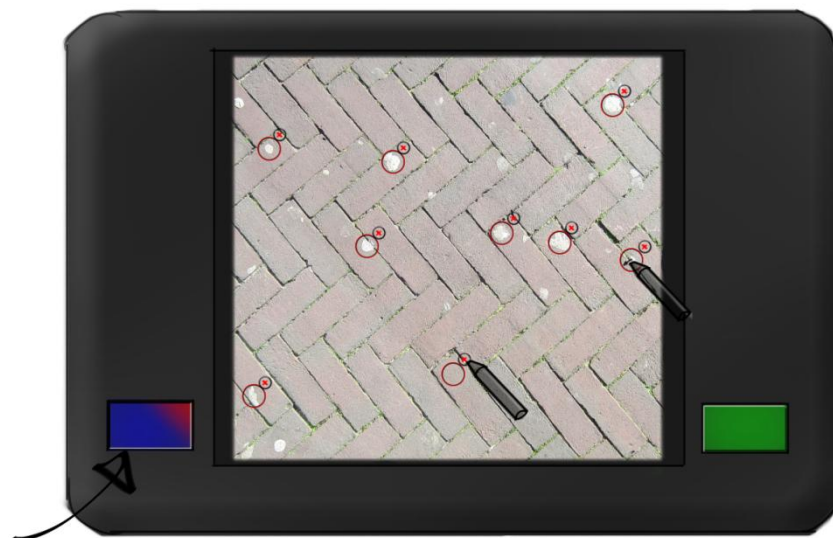
Vervolg van uitleg over de interface in het verslag.

Verslaggedeelte: Eindontwerp, detectie (p. 5).

Als er plekken niet zijn herkend kan de bestuurder met de pen via het scherm de locaties van spum doorgeven door op de juiste plek de pen tegen het scherm aan te tikken. Als er false hits zijn of als de computer een rode cirkel op een voeg heeft geplaatst, kan de gebruiker de rode cirkels verwijderen of verplaatsen als hij met één hand de blauwrode edit-knop ingedrukt houdt. Dan verschijnt er een rood kruisje naast elke rode cirkel. Als deze met de pen aangetikt wordt verdwijnt de rode cirkel. Als de gebruiker een cirkel per ongeluk verwijdert kan hij de edit-knop loslaten en op de goede plek tikken om weer een rode cirkel te laten verschijnen. Als de gebruiker een rode cirkel wil verplaatsen kan hij deze slepen door de pen binnen de rode cirkel te drukken. De cirkel kan vervolgens naar een andere locatie verslept worden. Op de volgende pagina's wordt met een aantal afbeeldingen de werking verder uitgelegd.



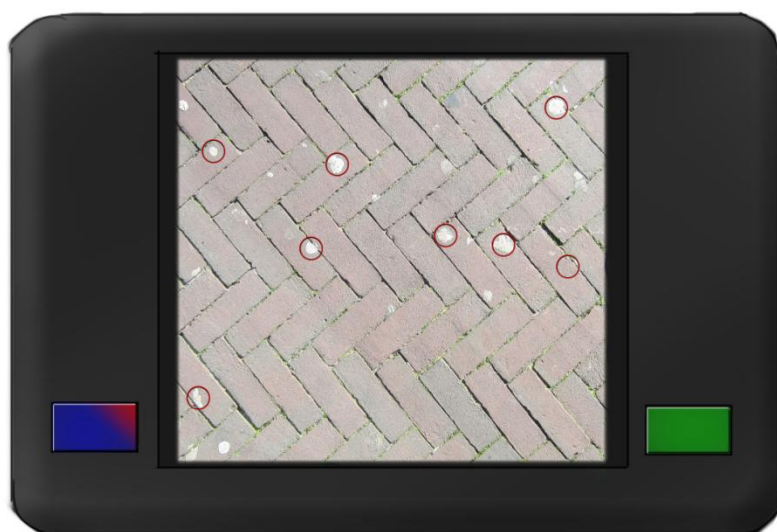
Edit-knop ingedrukt. Spots kunnen worden verwijderd of verplaatst met de pen.



Eén spot verwijderd, een andere spot verplaatst.



Resultaat.

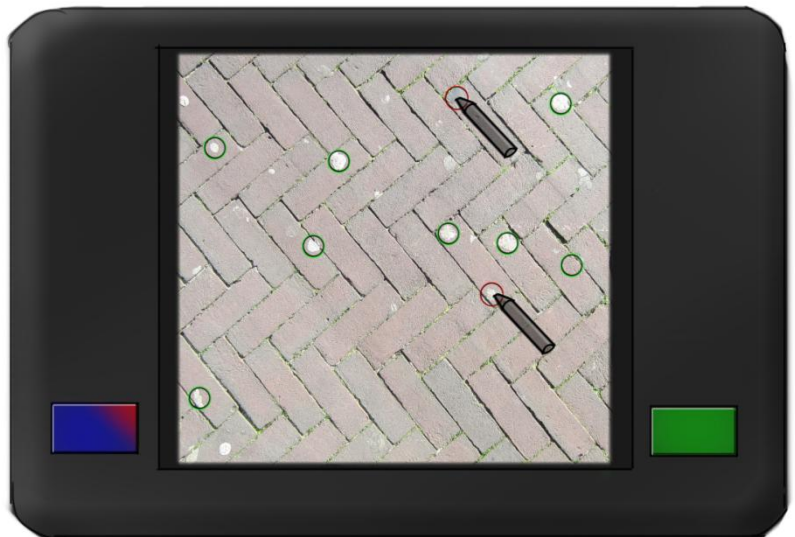




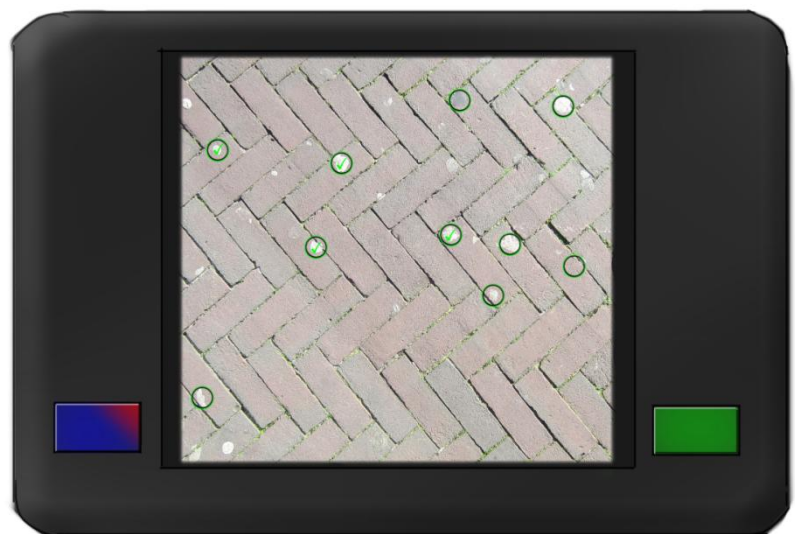
Groene knop is ingedrukt geweest.  
Spots worden groen. Machine begint met het reinigen van de groene spots.



Niet herkende plekken kunnen met de pen worden aangegeven als de edit-knop niet is ingedrukt.



Als de gebruiker hier klaar mee is kan hij de groene knop weer indrukken, of hij kan dit tussendoor doen. Groene spots die al zijn schoongemaakt krijgen een groen vinkje.



## Bijlage 15 - Berekeningen snelheid concept 3

Er is van dezelfde verwijdersnelheid per m<sup>2</sup> uitgegaan als bij concept 2. Tijd per vierkante meter zonder verplaatsingstijd (Bijlage 10). Er is dus geen rekening gehouden met ongebruikte nozzles. In de realiteit is het verschil tussen de concepten waarschijnlijk groter. In werkelijkheid kan ook tijd bespaard worden door dit concept door strategische plaatsing van het werkvlak. Ook is er geen verschil in positioneringstijd van de nozzles meegerekend en tijd die de bestuurder moet nemen.

Er wordt uitgegaan van een tank van 1100 L, goed voor 2528 stuks spum.  
Oppervlak werkvlak = 0,25 m<sup>2</sup> Bereik apparaat = 5 x 5 meter = 25m<sup>2</sup>  
Verplaatsingstijd apparaat = 3s Verwijdersnelheid = 2528 / aantal minuten

**Dichtheid = 1 / m<sup>2</sup>**

2528/1 = 2528 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

2528 keer verplaatsen, elke spum apart

2528 x 5 seconden (grotere afstand) = 12640 seconden = 211 minuten verplaatsingstijd apparaat

Aantal keer verplaatsen wagen = 2528 / 25 = 101 keer

101 x 30 seconden = 3030 seconden = 51 minuten verplaatsingstijd wagen

Verwijdertijd = 4 seconden / spum = 4 x 2528 = 10112 seconden = 168 minuten verwijdertijd

Totale tijd = 430 minuten, Verwijdersnelheid = 5,9 stuks / minuut

**Dichtheid = 2 / m<sup>2</sup>**

2528/2 = 1264 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

2528 keer verplaatsen, elke spum apart

2528 x 3 seconden = 7584 seconden = 126 minuten verplaatsingstijd apparaat

Aantal keer verplaatsen wagen = 1264 / 25 = 51 keer

51 x 30 seconden = 1530 seconden = 25,5 minuten verplaatsingstijd wagen

Verwijdertijd = 4 seconden / spum = 4 x 2528 = 10112 seconden = 168 minuten verwijdertijd

Totale tijd = 319 minuten, Verwijdersnelheid = 7,9 stuks / minuut

**Dichtheid = 4 / m<sup>2</sup>**

2528/4 = 632 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

632 / 0,25 = 2528 keer verplaatsen, in werkelijkheid is dit geschat 1/3 minder -> 1685

1685 x 3 seconden = 5055 seconden = 84 minuten verplaatsingstijd apparaat (46,4 % v.d. tijd)

Aantal keer verplaatsen wagen = 632 / 25 = 26 keer

26 x 30 seconden = 780 seconden = 13 minuten verplaatsingstijd wagen (7,2 % v.d. tijd)

Verwijdertijd = 8 seconden / m<sup>2</sup> = 8 x 632 = 5064 seconden = 84 minuten verwijdertijd (46,4 % v.d. tijd)

Totale tijd = 181 minuten, 44 % langzamer dan concept 2. Verwijdersnelheid = 14,0 stuks / minuut

**Dichtheid = 8 / m<sup>2</sup>**

2528/8 = 316 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

316 / 0,25 = 1264 keer verplaatsen, in werkelijkheid is dit geschat 1/4 minder -> 948

948 x 3 seconden = 2844 seconden = 47 minuten verplaatsingstijd apparaat

Aantal keer verplaatsen wagen = 316 / 25 = 13 keer

13 x 30 seconden = 390 seconden = 7 minuten verplaatsingstijd wagen

Verwijdertijd = 16 seconden / m<sup>2</sup> = 16 x 316 = 5064 seconden = 84 minuten verwijdertijd

Totale tijd = 138 minuten. Verwijdersnelheid = 18,3 stuks / minuut

**Dichtheid = 12 / m<sup>2</sup>**

2528/12 = 211 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

211 / 0,25 = 844 keer verplaatsen

844 x 3 seconden = 2532 seconden = 42 minuten verplaatsingstijd apparaat (32,2 % v.d. tijd)

Aantal keer verplaatsen wagen = 211 / 25 = 9 keer

9 x 30 seconden = 270 seconden = 4,5 minuten verplaatsingstijd wagen (3,4 % v.d. tijd)

Verwijdertijd = 24 seconden / m<sup>2</sup> = 24 x 211 = 5064 seconden = 84 minuten verwijdertijd (64,4% v.d. tijd)

Totale tijd = 130,5 minuten, 33 % langzamer dan concept 2. Verwijdersnelheid = 19,4 stuks / minuut

**Dichtheid = 24 / m<sup>2</sup>**

2528/24 = 105 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

105 / 0,25 = 420 keer verplaatsen

420 x 3 seconden = 1260 seconden = 21 minuten verplaatsingstijd apparaat

Aantal keer verplaatsen wagen = 105 / 25 = 5 keer

5 x 30 seconden = 150 seconden = 2,5 minuten verplaatsingstijd wagen

Verwijdertijd = 48 seconden / m<sup>2</sup> = 48 x 105 = 5064 seconden = 84 minuten verwijdertijd

Totale tijd = 107,5 minuten. Verwijdersnelheid = 23,5 stuks / minuut

**Dichtheid = 30 / m<sup>2</sup>**

2528/30 = 84 m<sup>2</sup> gereinigd oppervlak

84 / 0,25 = 336 keer verplaatsen

336 x 3 seconden = 1008 seconden = 17 minuten verplaatsingstijd apparaat (16,5 % v.d. tijd)

Aantal keer verplaatsen wagen = 84 / 25 = 4 keer

4 x 30 seconden = 120 seconden = 2 minuten verplaatsingstijd wagen (1,9 % v.d. tijd)

*Verwijdertijd = 60 seconden / m<sup>2</sup> = 60 x 84 = 5064 seconden = 84 minuten verwijdertijd (81,6% v.d. tijd)*

Totale tijd = 103 minuten, 14 % langzamer dan concept 2. Verwijdersnelheid = 24,5 stuks / minuut