

Circulair wegmeubilair van de toekomst

Onderzoeksrapport



Circulair wegmeubilair van de toekomst

Rapport/ Verslag

Onderzoeksrapport | Afstudeerstage

Auteur

Naam	Marijs, Diego
Geb. datum	23-09-1995, te Vlissingen
Adres	Zwinweg 3, 4437ND Ellewoutsdijk
Telefoon	+31 652586833
Email	Mari0029@hz.nl diegomarijs@hotmail.com

Uitgave

Plaats uitgave	Vlissingen
Versie nummer	1
Voltooing	14 juni 2022

CONTACTGEGEVENS

BEDRIJF

Afstudeerbedrijf**Rijkswaterstaat Zee & Delta**

Poelendaelesingel 18
4435 JA Middelburg
088 – 797 46 00

Bedrijfsbegeleider**Kees Sanderse**

Functie: Expert Vastgoed en Infrastructuur
Kees.sanderse@rws.nl
+31 651660528

AFSTUDEERDER

Afstudeer student**Diego Marijs**

Student Engineering, Design & Innovation
Student nr. 67070
mari0029@hz.nl
0652586833

OPLEIDING

Opleiding**HBO Engineering, Design & Innovation**

Studiejaar 4, Semester 2

Onderwijsinstelling**HZ University of Applied sciences**

Edisonweg 4
4382NW Vlissingen

Stage docent**F. Ijsseldijk**

Femke.ijsseldijk@hz.nl

2^e examiner**R.E. van Ingen**

Ramon.van.ingen@hz.nl

Afstudeercoördinator**W. Haak**

w.haak@hz.nl

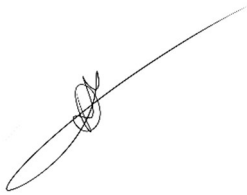
VOORWOORD

Dit onderzoeksrapport is samengesteld in het kader van mijn afstudeeronderzoek binnen de opleiding Engineering, Design & Innovation met als afstudeerrichting Product Engineering aan HZ University of Applied Sciences te Vlissingen. Het afstudeeronderzoek valt binnen de richtlijnen van de opleiding en de afstudeerrichting en is uitgevoerd bij Rijkswaterstaat Zee & Delta in Middelburg.

Dit onderzoeksrapport heeft geresulteerd in een conceptvoorstel en is hiermee te classificeren als een ontwerpgericht onderzoek. Tijdens het ontwerpproces is gericht onderzoek gedaan naar verduurzaming van wegmeubilair wat resulteert in een nieuw circulair hectometer-/ reflectorpaaltje. De resultaten van dit afstudeeronderzoek dragen bij aan het in beeld brengen van milieubewustere alternatieven voor bestaand wegmeubilair en daarnaast laat het zien dat het ontwerp van een product een bijdrage kan leveren in milieubelastingverlaging.

Hierbij wil ik een aantal mensen bedanken die ervoor gezorgd hebben dat dit onderzoek succesvol is voltooid. Het eerste dankwoord gaat uit naar Kees Sanderse die mij begeleid heeft tijdens het gehele afstudeeronderzoek. Ook wil ik ook mijn stagedocent Femke Ijsseldijk bedanken voor haar begeleiding vanuit HZ University of Applied Sciences. Daarnaast wil ik de volgende personen binnen RWS bedanken voor het beschikbaar stellen van informatie die ik nodig had tijdens het onderzoek; Anneke van Leeuwen, Elwin Wagelmans, Antoine Giezen, Sabine van Eijkeren – de Ridder en Richella Sinke.

Met vriendelijke groet,

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'D' followed by a long, sweeping horizontal line that curves upwards at the end.

Diego Marijs

Middelburg, 14 juni 2022

SAMENVATTING

Doordat de primaire grondstoffen van de aarde steeds verder uitgeput raken en er steeds meer CO₂ in de lucht terecht komt, dient er nagedacht te worden over het gebruik van circulaire materialen die niet verloren gaan als het product gerecycled wordt.

Als grote opdrachtgever van infraprojecten heeft RWS de ambitie om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken, met hoogwaardig hergebruik van alle materialen en halvering van het gebruik van primaire grondstoffen. RWS redeneert daarmee vanuit de impact op de aarde. De inhoudelijke speerpunten van RWS die als motor fungeren achter haar handelen zijn: Energie & klimaat, Circulaire economie en Duurzame gebiedsontwikkeling. (Duurzame leefomgeving, 2022)

De hoofdzaak van dit afstudeeronderzoek bestaat uit een aangedragen oplossing voor het probleem dat het huidige wegmeubilair niet tot nauwelijks recyclebaar is en dat het veel energie kost om het te vervangen. RWS is al geruime tijd bezig om het wegmeubilair te verduurzamen, maar nog niet alles is hierbij gerealiseerd.

Voor het herontwerpen van wegmeubilair die een bijdrage levert aan circulaire economie, is gebruik gemaakt van de ontwerpmethodes Oskam in combinatie met Timmers & van der Waals. Dit is een methodische aanpak waarbij de integralen mens, milieu, markt en techniek centraal staan. Middels deze ontwerpmethodes in combinatie met het integrale zonmodel worden alle aspecten van een ontwerp meegenomen in het proces.

In het theoretisch kader staat de literatuur die gebruikt is voor het behalen van het eindresultaat. Uit de analysefase van dit onderzoek is naar voren gekomen dat er kansen zijn om een circulair hectometer-/ reflectorpaaltje te ontwerpen. Vervolgens is er een pakket van eisen en wensen ontstaan in combinatie met de ontwerpvisie.

In de ideefase zijn drie integrale ideeën ontstaan die voortgekomen zijn uit de conclusies van de analysefase. Doormiddel van het pakket van eisen in combinatie met de ontwerpvisie zijn de twee beste integrale ideeën gekozen en verder uitgewerkt tot twee concepten. De twee concepten voor dit afstudeeronderzoek bestaan uit een variant met als hoofdmateriaal bio-plastic en een variant van bamboe in combinatie met beton.

Beide concepten zijn verder uitgewerkt in de conceptfase. Door beide concepten te wegen aan het pakket van wensen, is het gekozen concept verder uitgewerkt aan de definitieve ontwerpspecificaties. De variant van bio-plastic formuleert het antwoord op de onderzoeksvraag.

Door het beantwoorden van de deelvragen en het trekken van de conclusie is de onderzoeksvraag beantwoord. In het hoofdstuk discussie is de relatie van het onderzoek met het theoretisch kader en de relatie van het conceptontwerp in combinatie met Oskam uitgewerkt. Uit de discussie volgen de aanbevelingen voor het optimaliseren van het hectometer-/ reflectorpaaltje en de mogelijkheden voor het doen een vervolgonderzoek.

FIGURENLIJST

Figuur 1: Kaart wegenbeheer Rijkswaterstaat	12
Figuur 2: Conceptueel model (D. Marijs)	15
Figuur 3: 10R-model (CB23, Framework Circulair Bouwen).....	16
Figuur 4: Planetaire grenzen van de aarde (Stockholm Resilience Centre)	17
Figuur 5: Vlindermodel. Hoe werkt circulaire economie (Ellen MacArthur Foundation)	18
Figuur 6: Weergave schaduwkosten (ecochain)	19
Figuur 7: Schematische weergave onderzoeksmodel	22
Figuur 8: Integraal zonmodel	24
Figuur 9: Sectie pakket van eisen & wensen	30
Figuur 10: Sectie morfologisch overzicht	31
Figuur 11: Integraal idee 1	31
Figuur 12: Integraal idee 2	32
Figuur 13: Integraal idee 3	32
Figuur 14: Sectie keuzematrix a.d.h.v. pakket van eisen	32
Figuur 15: Concept 1	33
Figuur 16: Klikvingers	34
Figuur 17: Grond anker	34
Figuur 18: Concept 2	34
Figuur 19: Bamboe beton anker	35
Figuur 20: Tabel – totaalscore concept toetsing.....	35
Figuur 21: 3D CAD-model hectometerpaal	36
Figuur 22: 3D CAD-model reflectorpaal	36
Figuur 23: Definitief ontwerp.....	40
Figuur 24: Vergrote versie kaart wegenbeheer Rijkswaterstaat.....	47
Figuur 25: Stadium van innovatie.	48
Figuur 26: Berekening milieuweging verkeersborden.	53
Figuur 27: MKI waardes verkeersborden.....	53
Figuur 28: Tabel aantal hectometerborden A58 tussen Vlissingen en Bergen op Zoom.....	58
Figuur 29: Plaatsing hectometerborden afwijkende snelheid	59
Figuur 30:Plaatsing hectometerborden en reflectorpalen, lengterichting	60
Figuur 31: Plaatsing reflectorpalen, dwarsrichting	60
Figuur 32:Plaatsing reflector	60
Figuur 33: Afmetingen hectometerborden.....	61
Figuur 34: Verankering hectometerpaal	62
Figuur 35: Verankering reflectorpaal	62

Figuur 36: Functieboom	63
Figuur 37: Procesboom	64
Figuur 38: Pakket van eisen en wensen	65
Figuur 39: Ideeschetsen materiaalkeuze	66
Figuur 40: Ideeschetsen bevestiging	66
Figuur 41: Ideeschetsen grondverankering	67
Figuur 42: Ideeschetsen modulariteit	67
Figuur 43: Ideeschetsen aanrijdingsveiligheid	68
Figuur 44: Morfologisch overzicht	69
Figuur 45: Vergrote versie integraal idee 1	70
Figuur 46: Vergrote versie integraal idee 2	71
Figuur 47: Vergrote versie integraal idee 3	72
Figuur 48: Tabel resultaten keuzematrix	73
Figuur 49: Keuzematrix a.d.h.v. Pakket van eisen	74
Figuur 50: Vergrote versie concept 1	75
Figuur 51: Vergrote versie concept 2	76
Figuur 52: Toetsingsmatrix concepten a.d.h.v. pakket van wensen	77
Figuur 53: Resultaat simulatie windbelasting	79
Figuur 54: Render hectometerpaal	80
Figuur 55: Exploded view hectometerpaal	81
Figuur 56: Render reflectorpaal	82
Figuur 57: Exploded view reflectorpaal	83
Figuur 58: Detailview permanente klikvingers en passingsgeleiders	84
Figuur 59: Detailview niet permanente klikvingers	85
Figuur 60: Detailview materiaal verzwakking	86
Figuur 61: Tabel resultaten Solidworks gewicht analyse	87
Figuur 62: Kostprijs per onderdeel	87
Figuur 63: Kostprijs berekening hectometerbord en reflectorpaal	87
Figuur 64: Gewicht analyse schroef anker	88
Figuur 65: Gewicht analyse afdekplaat	88
Figuur 66: Gewicht analyse verticale staander	89
Figuur 67: Gewicht analyse hectometerbord houder	89
Figuur 68: Gewicht analyse reflector houder	90
Figuur 69: Hoofdmaten hectometerpaal	91
Figuur 70: Hoofdmaten reflectorpaal	92
Figuur 71: Hoofdmaten hectometerbord houder	93
Figuur 72: Hoofdmaten reflector houder	94

Figuur 73: Hoofdmaten verticale staander	95
Figuur 74: Hoofdmaten afdekplaat	96
Figuur 75: Hoofdmaten schroef anker	97

INHOUDSOPGAVE

Inleiding.....	10
1. Probleemstelling	11
1.1. Kennisgebied	11
1.2. Probleemanalyse	11
1.3. Scopebepaling	12
1.4. Doelstelling	13
1.5. Deliverables	13
1.6. Onderzoeksvraag (centrale vraag).....	13
1.7. Deelvragen.....	13
1.8. Relevantie	14
2. Theoretisch kader	15
2.1. Conceptueel model.....	15
2.2. Literatuuronderzoek en Deskresearch	16
2.2.1. Circulaire economie	16
2.2.2. Prestatiecontract.....	18
2.2.3. Voorwaarden RWS	19
2.2.4. Opdrachtgevers/opdrachtnemers relatie tussen RWS en de markt	20
2.3. Conclusies theoretisch onderzoek.....	21
3. Onderzoeksmethode.....	22
3.1. Keuze methodiek	23
3.2. Fases Oskam	24
3.3. Onderzoeksinstrumenten.....	26
4. Onderzoeksresultaten.....	28
4.1. Oriëntatiefase	28
4.2. Analysefase.....	29
4.2.1. Ontwerpvisie	30
4.2.2. Pakket van eisen en wensen	30
4.2.3. Gedetailleerde probleemstelling.....	30
4.2.4. Zoekvelden	30
4.3. Ontwerp (ideefase).....	31
4.3.1. Morfologisch overzicht.....	31
4.3.2. Integrale ideeën	31
4.3.3. Keuzematrix.....	32
4.4. Ontwerp (conceptfase).....	33
4.4.1. Uitwerking integraal idee tot concept.....	33

4.4.2.	Beschrijving en haalbaarheid concepten	33
4.4.3.	Toetsing concepten	35
4.5.	Definitieve ontwerpspecificaties	35
4.5.1.	Sterkte berekening door de wind.....	36
4.5.2.	Eind CAD model.....	36
4.5.3.	Kostprijs schatting	36
4.5.4.	2D documentatiepakket.....	37
4.6.	Samenvatting onderzoeksresultaten	37
5.	Conclusie, discussie & aanbevelingen.....	38
5.1.	Conclusies	38
5.1.1.	Herhaling onderzoeksvraag & ontwerpvisie	38
5.1.2.	Beantwoording deelvragen	38
5.1.3.	Beantwoording onderzoeksvraag	39
5.1.4.	Overall conclusie onderzoek	40
5.2.	Discussie	41
5.2.1.	Relatie van onderzoek met theoretisch kader	41
5.2.2.	Relatie van conceptontwerp i.c.m. oskam	41
5.2.3.	Betrouwbaarheid, bruikbaarheid en validiteit	42
5.2.	Aanbevelingen	43
6.	Referenties	44
Bijlage 1:	Kaart wegenbeheer RWS.....	47
Bijlage 2:	Antwoorden onderzoeksvragen praktijkonderzoek	48
Bijlage 3:	Antwoorden specifiekevragen praktijk vervolgonderzoek.....	58
Bijlage 4:	Functieboom.....	63
Bijlage 5:	Procesboom.....	64
Bijlage 6:	Pakket van eisen en wensen.....	65
Bijlage 7:	Ideeschetsen.....	66
Bijlage 8:	Morfologisch overzicht	69
Bijlage 9:	Integrale ideeën.....	70
Bijlage 10:	Keuzematrix integrale ideeën.....	73
Bijlage 11:	Concept 1.....	75
Bijlage 12:	Concept 2.....	76
Bijlage 13:	Keuzematrix Concepten	77
Bijlage 14:	Sterkte berekening door wind.....	78
Bijlage 15:	CAD Model.....	80
Bijlage 16:	Kostprijs schatting	87
Bijlage 17:	2D Documentatiepakket.....	91

INLEIDING

" Circulair wegmeubilair van de toekomst"

Rijkswaterstaat (RWS) is de uitvoeringsorganisatie van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Min. IenW) en werkt dagelijks aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland (Onze organisatie, 2022).

Met ruim 200 jaar kennis van de inrichting van het land weten de medewerkers van RWS dat dit meer dan het technisch uitvoeren van projecten aan weg en water behelst. Het gaat daarbij ook om de balans tussen alle aanwezige belangen: economie, milieu en woongenot (Onze organisatie, 2022)

Als grote opdrachtgever van infraprojecten heeft RWS de ambitie om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken, met hoogwaardig hergebruik van alle materialen en halvering van het gebruik van primaire grondstoffen. RWS redeneert daarmee vanuit de impact op de aarde. De inhoudelijke speerpunten van RWS die als motor fungeren achter haar handelen zijn: Energie & klimaat, Circulaire economie en Duurzame gebiedsontwikkeling (Duurzame leefomgeving, 2022).

RWS is gelet op bovenstaande de komende jaren bezig om het wegmeubilair langs rijkswegen te vervangen door milieuvriendelijkere varianten. Dit onderzoek heeft zich gericht de mogelijkheden van een herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is.

In het eerste hoofdstuk is de probleemstelling van het onderzoek beschreven waarin het kennisgebied, de probleemanalyse, de scope, de doelstelling en deliverables van het onderzoek aan bod komen. Belangrijk bij het uitvoeren van een onderzoek is om de achtergrond van het probleem te doorgronden. Vervolgens is er een hoofdvraag opgesteld waarbij deelvragen beantwoording van de hoofdvraag hebben ondersteunt. Ten slotte is de relevantie van het onderzoek gerelateerd aan een praktijkprobleem geduid.

Het tweede hoofdstuk bestaat uit een theoretisch kader met daarin een conceptueel model verwerkt. De veronderstelde belangrijkste begrippen voor dit onderzoek zijn theoretisch uiteengezet en vormen een kader stellend frame welke bij het herontwerp in acht genomen is.

Vervolgens is in het derde hoofdstuk de methodiek beschreven met een uiteenzetting en nadere duiding van alle instrumenten die ingezet zijn. De onderzoeksinstrumenten met bijbehorende resultaten zijn aan de hand van de gekozen methode beschreven in het vierde hoofdstuk.

Het laatste hoofdstuk bevat de conclusie en discussie over de resultaten van het onderzoek. Hierna zijn ook de aanbevelingen beschreven voor een eventueel vervolg onderzoek en voor het product ontwerp.

1. PROBLEEMSTELLING

1.1. KENNISGEBIED

Rijkswaterstaat (RWS) is de uitvoeringsorganisatie van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Min. IenW) en werkt dagelijks aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland (Onze organisatie, 2022).

Binnen RWS zijn er verschillende organisatieonderdelen die ofwel verantwoordelijk zijn voor landelijke taakuitvoering van RWS (landelijke dienst) ofwel voor het beheer en onderhoud van de assets die aan een bepaalde regio zijn toebedeeld op basis van geografische indeling (regionale dienst). Het areaal van RWS wordt, naast de indeling in regionale en landelijke diensten, ook gesplitst in drie netwerken, te weten: Hoofdwegennet, Hoofdvaarwegennet en Hoofdwatersysteem.

Dit onderzoek en ontwerpproject is uitgevoerd bij regionale dienst Zee en Delta (ZD). ZD zorgt ervoor dat vervoer over de Noordzee, Zeeuwse wateren en wegen mogelijk is. Ook zorgt dit regionale onderdeel dat het vervoer vanaf de Noordzee goed aansluit op het land en water. In de Zeeuwse regio worden waterkeringen verbonden met wegen, bruggen en natuur (Zee en Delta Rijkswaterstaat, 2022).

Het onderdeel Zee en Delta van Rijkswaterstaat borgt de toegang tot de belangrijke havens van Rotterdam, Amsterdam en Antwerpen. Internationaal is dit organisatieonderdeel gesprekspartner en kennisspecialist als het gaat om 's werelds drukst bevaren zee. Daartoe behoort ook het nautisch beheer van het zeegebied in Caribisch Nederland rond de eilanden Bonaire, Saba en St. Eustatius en de kustlijn zorg. Ook beheert ZD de wereldberoemde deltawerken om Nederland tegen het water te beschermen (Zee en Delta Rijkswaterstaat, 2022).

Binnen de verschillende RWS-onderdelen is ZD aangemerkt als een voornamelijk "natte dienst". Dit betekent dat haar areaal meer betrekking heeft op het Hoofdvaarwegennet en Hoofdwatersysteem dan het Hoofdwegennet. Dit bijvoorbeeld in tegenstelling tot de regionale dienst Midden-Nederland waar het Hoofdwegennet de hoofdrol speelt.

1.2. PROBLEEMANALYSE

Als grote opdrachtgever van infraprojecten heeft RWS de ambitie om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken, met hoogwaardig hergebruik van alle materialen en halvering van het gebruik van primaire grondstoffen. RWS redeneert vanuit de impact op de aarde. De inhoudelijke speerpunten van RWS die als motor fungeren achter haar handelen zijn: Energie & klimaat, Circulaire economie en Duurzame gebiedsontwikkeling (Duurzame leefomgeving, 2022).

Deze ambities kan RWS alleen bereiken als de organisatie samenwerkt met de markt (aannemers). RWS wil een betrouwbare, professionele en zichtbare partner zijn binnen de duurzaamheidstransitie van Nederland. Met andere publieke opdrachtgevers bundelen ze daarom de krachten voor meer impact, het ontwikkelen van kennis- en het aanjagen van innovatie. Vanuit haar rol als opdrachtgever en inkoper werkt RWS samen met marktpartijen om aanleg, onderhoud en gebruik van infrastructuur te verduurzamen (Duurzame leefomgeving, 2022).

RWS vindt het belangrijk om vanuit het maatschappelijk belang duurzaam te opereren en wil daartoe onder andere gebruik maken van circulaire economie. RWS wil duurzaam en circulair werken, maar heeft haar uitvoeringstaak uitbesteed aan diverse marktpartijen. RWS vindt het belangrijk om de kennis en visie kenbaar te maken zodat een volgende opdrachtnemer precies weet welke opties er openliggen ten aanzien van het hergebruik van de bestaande materialen.

RWS is gelet op bovenstaande de komende jaren bezig om het wegmeubilair langs rijkswegen te vervangen door milieuvriendelijkere varianten. Hiervoor is onderzoek uitgevoerd naar bestaande milieuvriendelijkere varianten en is er één uitgelicht waarbij de mogelijkheid bestaat om deze milieuvriendelijker te herontwerpen.

1.3. SCOPEBEPALING

Niet alle wegen in Nederland worden beheerd door RWS. Ze beheert de meeste snelwegen (A-wegen) en ook een aantal autowegen (N-wegen). De overige wegen zijn in handen van andere wegbeheerders zoals Provincie, waterschap, gemeenten en overige (Wegbeheer in Nederland, 2022).

Om tot een selectie van een weg te komen, is eerst gekeken naar de beschikbare wegen binnen ZD aangezien dit de organisatie is waarbinnen het onderzoek heeft plaatsgevonden. Op de kaart (Figuur 1) “wegbeheer” op de website van RWS staan alle wegen van Nederland, waaronder ook de wegen die onder verantwoordelijkheid van ZD vallen (Wegbeheerders, 2022). Vergrote versie van Figuur 1 is te vinden in Bijlage 1: Kaart wegenbeheer RWS. Binnen het areaal van ZD vallen de A58, de N61 en de N57. De A58 wordt aangemerkt als autosnelweg en de N57 en N61 zijn autowegen. De grootste verschillen hiertussen zijn de maximumsnelheid en de vormgeving van de wegen. Momenteel worden er binnen ZD voorbereidingen getroffen om vast- en variabel onderhoud aan de A58 uit te voeren en deze werkzaamheden opnieuw te contracteren in een prestatiecontract. Dit biedt de kans om te bezien of verduurzaming van het wegmeubilair rond de A58 vanuit het blikveld van circulaire economie tot de mogelijkheden behoort. Dit onderzoek kan later ook van toepassing zijn op andere (auto)snelwegen binnen en buiten het areaal van ZD.



Figuur 1: Kaart wegenbeheer Rijkswaterstaat

Het wegmeubilair dat ten behoeve van dit onderzoek onderzocht is:

- Voertuig geleiderail (in de volksmond vangrail genoemd);
- Bebakening, bebording en bewegwijzering (verschillende verkeersborden);
- Bewegwijzering constructie (constructie van verkeersborden naast de weg);
- Verkeerskundige draagconstructie (constructie voor verkeersborden, verkeerslichten, matrixborden etc. boven de weg);
- Verlichting (lantaarnpalen met verlichting langs de weg);
- Stof- en Geluid beperkende constructie (constructie langs de weg om stof en geluid te verminderen voor gebouwen dicht langs de snelweg);
- Hemelwaterafvoer (afvoer om regenwater af te voeren);
- Wegkantsysteem (elektriciteitskast lang de weg met bediening voor evt. verlichting, elektronische verkeersborden);
- Raster (rastering langs de snelwegen dicht bij een natuurgebied zodat wild hier niet kan oversteken en een gevaar kan vormen voor het wegverkeer);
- Diversen (meubilair van een verzorgingsplaats; banken, afvalbakken, prullenbakken, toiletten enz.).

1.4. DOELSTELLING

Het hoofddoel van dit afstudeeronderzoek is om de opdrachtgever RWS ZD te voorzien van een concept ontwerp voor een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is. Daartoe is er in beeld gebracht welke milieuvriendelijkere wegmeubilair-varianten er al bestaan en wat de kenmerken zijn van deze varianten. Daarnaast is er doormiddel van een methodische aanpak een ontwerpvoorstel gedaan om een onderdeel van het wegmeubilair met circulariteit als hoofddoel te verduurzamen. Hierbij is haalbaarheid van het ontwerp de belangrijkste factor. In dit onderzoeksrapport bevindt zich een ontwerp onderzoek waarbij er een concept is uitgewerkt in 3D CAD en ook antwoord geeft op de hoofdvraag gerelateerd aan de gestelde probleemstelling.

Het onderzoek is geslaagd als er een concept herontwerp gegenereerd is dat bestaat uit circulair materiaal, zorgt voor een verlaging van de milieubelasting en de opdrachtgever tevreden is met het resultaat van het onderzoek. Het daadwerkelijke ontwerp en eventueel mogelijk vervolgonderzoek is niet meegenomen in dit onderzoek.

1.5. DELIVERABLES

Aan het einde van het afstudeeronderzoek zijn de volgende onderdelen opgeleverd:

- Onderzoeksrapport;
- 3D CAD-concept model van een onderdeel milieuvriendelijk wegmeubilair;
- 2D tekenpakket van het concept.

1.6. ONDERZOEKSVRAAG (CENTRALE VRAAG)

Om de doelstelling van het onderzoek te behalen is een centrale vraag geformuleerd die afgeleid is van de aanleiding, probleemformulering en scopebepaling. De centrale vraag luidt als volgt;

Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is?

1.7. DEELVRAGEN

Ter beantwoording van de onderzoeksvraag (centrale vraag) zijn er deelvragen afgeleid en geformuleerd die tezamen de input leveren ter beantwoording van de onderzoeksvraag. De deelvragen vormen daarmee de rode draad binnen dit onderzoek. De deelvragen luiden als volgt:

1. Welk onderdeel heeft de meeste potentie om verbeterd te worden binnen de tijd van het ontwerp onderzoek?
2. Wat zijn de eisen en wensen die bij het ontwerp horen?
3. Wat is de ontwerpvisie die past bij het onderzoek?
4. Wat zijn de beste oplossingen die binnen deze eisen en wensen passen?
5. Wat is een haalbaar concept dat circulair is?

1.8. RELEVANTIE

Als eerste is het belangrijk om aan te geven dat dit onderzoek relevant is voor de uitvoerder van het onderzoek in het kader van het afstuderen voor de opleiding HBO Engineering, Design & Innovation. Met behulp van een ontwerp is een product verbeterd en duurzamer gemaakt.

Het uitgevoerde onderzoek is zowel praktisch als maatschappelijk relevant. Als eerste is het praktisch relevant aangezien het een praktisch probleem binnen ZD adresseert, namelijk wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is? Zoals eerder benoemd wil RWS vanaf 2030 50% minder primaire grondstoffen gebruiken en vanaf 2050 willen ze geen afval meer produceren waardoor alle materialen circulair zijn.

Door een onderdeel van de A58 opnieuw te ontwerpen op een circulaire manier draagt dit bij aan het verminderen van gebruik van primaire grondstoffen doordat circulaire producten volledig recyclebaar zijn. Er zijn dan niet tot nauwelijks nog primaire grondstoffen nodig die steeds gewonnen worden op aarde en die tevens vaak ook nog milieuvervuilend zijn.

Daarnaast is het onderzoek ook nog maatschappelijk relevant aangezien de druk vanuit steeds meer hoeken komt om duurzaam te werken en de aarde te sparen. De uitkomst van dit onderzoek draagt hier eveneens aan bij door een bijdrage te leveren aan de kennis voor een oplossing ten aanzien van circulair wegmeubilair.

2. THEORETISCH KADER

Al meer dan tweehonderd jaar verandert Rijkswaterstaat mee met de omgeving om antwoorden te geven op de vraagstukken van de nieuwe tijd. Een van deze nieuwe vraagstukken is de impact van de mens op de aarde die steeds meer voelbaar wordt. Het klimaat verandert en dit zorgt voor extreme weersomstandigheden zoals droogte, overstromingen en grote stormen. Ook wordt waargenomen dat dieren uitsterven en dat de biodiversiteit sterk afneemt. Uit diverse onderzoeken blijkt dat bovenstaande grotendeel afhankelijk is van de temperatuurstijging op aarde. Veel mensen zijn zich bewust van de opwarming van de aarde en nemen hiertoe actie, zowel particulier als in het bedrijfsleven. Naast het zelf ondernemen van actie groeit ook de druk op de overheid om de juiste acties te ondernemen.

Daarom heeft RWS als grote opdrachtgever van infraprojecten de ambitie om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken, met hoogwaardig hergebruik van alle materialen en halvering van het gebruik van primaire grondstoffen.

2.1. CONCEPTUEEL MODEL

RWS wil duurzaam en circulair werken, maar heeft haar uitvoeringstaak uitbesteed aan diverse marktpartijen. RWS vindt het belangrijk om de kennis en visie kenbaar te maken zodat een volgende opdrachtnemer precies weet welke opties er openliggen ten aanzien van het hergebruik van de bestaande materialen.

Door de opdrachtgever-/opdrachtnemer-relatie die op die manier ontstaat is het belangrijk om de begrippen die hierbij horen nader uit te werken met literatuuronderzoek. Het gaat hierbij specifiek om de begrippen zoals uitgewerkt in Figuur 2 met een conceptueel model. Op die manier is er effectief gezocht naar literatuur die bij deze begrippen past om zo een eventueel kader te bepalen dat mogelijk effect heeft op het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is.

Zoals eerder beschreven in de inleiding werkt RWS met prestatiecontracten, wil ze circulair werken, maar besteed werkzaamheden uit aan de markt. In deze combinatie wil RWS wel de controle behouden hoe het werk uitgevoerd wordt. Hiertoe stelt RWS voorwaarden aan het prestatiecontract die circulaire economie borgen; materialen mogen niet zomaar weggegooid worden en de nieuwe materialen dienen circulair te zijn. Hierbij is het ook van belang dat de opdrachtgever-opdrachtnemer relatie (OG/ON-relatie) goed onderhouden wordt, zodat er een goede samenwerking plaats vindt.



Figuur 2: Conceptueel model (D. Marijs)

Uit bovenstaand conceptueel model weergegeven in Figuur 2 zijn de volgende kadervragen afgeleid:

- I. Wat is circulaire economie?
- II. Wat wordt in de literatuur onder een prestatiecontract verstaan?
- III. Wat zijn de voorwaarden van RWS m.b.t. hergebruik van materiaal?
- IV. Hoe is de Opdrachtgever-Opdrachtnemer relatie (OG-ON relatie) tussen RWS en de markt georganiseerd?

2.2. LITERATUURONDERZOEK EN DESKRESEARCH

In deze paragraaf worden de uitkomsten van het literatuuronderzoek en deskresearch die aan de hand van de opgestelde zoekvragen zijn voortgekomen uit het conceptueel model weergegeven.

2.2.1. CIRCULAIRE ECONOMIE

Wat is circulaire economie

In het rapport 'De Circulaire Economie' geschreven door Prof. Dr. Jan Jonker, Drs. Hans Stegeman en Dr. Ir. Niels Faber staat dat een circulaire economie gebaseerd is op het idee van kringlopen sluiten. Materialen en producten worden zo veel mogelijk hergebruikt en grondstoffen behouden hierdoor zo lang en zo veel mogelijk hun waarde. Circulaire economie brengt meerdere nieuwe ondernemingskansen met zich mee zoals bijvoorbeeld nieuwe markten, een nieuwe vorm van samenwerken en innovatie van diensten en producten. (Jonker, Stegeman, & Faber, 2018)

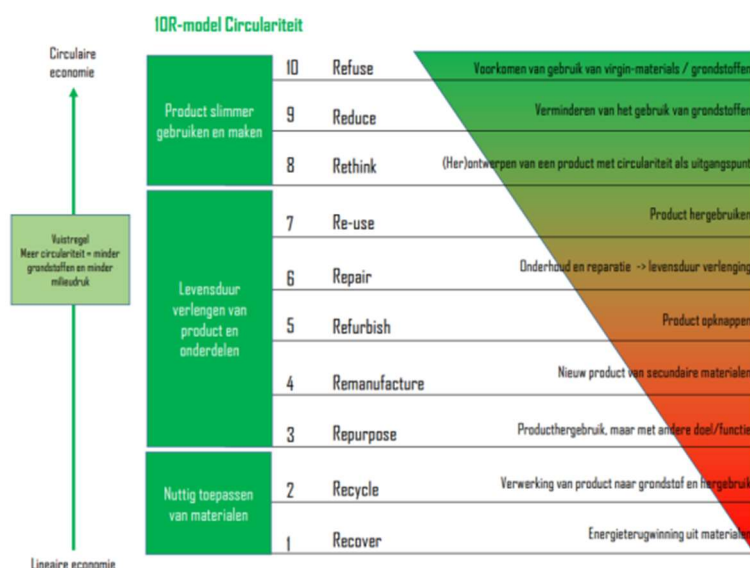
"Een economisch systeem van gesloten kringlopen waarin grondstoffen, onderdelen en producten hun waarden zo min mogelijk verliezen, hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt en systeemdenken centraal staat" (MacArthur, 2015). Is volgens een rapport van de Ellen MacArthur Foundation de definitie van circulaire economie.

10R model circulariteit

Het 10R-model van Jacqueline Cramer van het Utrecht Sustainability Institute bestaat uit 10 verschillende tredes om met grondstoffen en producten om te gaan. De eerste drie tredes leggen de nadruk op een slimmer productontwerp en bevatten; 'Refuse' hiermee wordt gebruik voorkomen bedoelt, 'Reduce' hiermee wordt minder gebruik van primaire grondstoffen bedoelt en 'Rethink' betekent het onwerpen van een nieuw product met circulariteit als uitgangspunt.

De hierop volgende vijf tredes focussen zich op het verlengen van de levensduur van een product. Producten kun je hergebruiken zonder er iets aan te veranderen 'Re-use', eventueel kunnen er kapotte onderdelen vervangen worden 'Repair', ook kunnen producten weer als nieuw gemaakt worden 'Refurbish', het product gebruiken als onderdeel in een ander productieproces van gelijksoortige producten 'Remanufacture' en een product kan nog gebruikt worden voor een andere functie dan waarvoor die bedoelt was 'Repurpose'.

De laatste twee tredes zijn de tredes die het product volledig afbreken en het eventueel gebruiken als grondstof voor een nieuw product 'Recycle' of het wordt gebruikt als grondstof om energie op te wekken 'Recover'. (Framework circulair bouwen, 2022) In Figuur 3 is het 10R-model van Jacqueline Cramer visueel weergegeven.

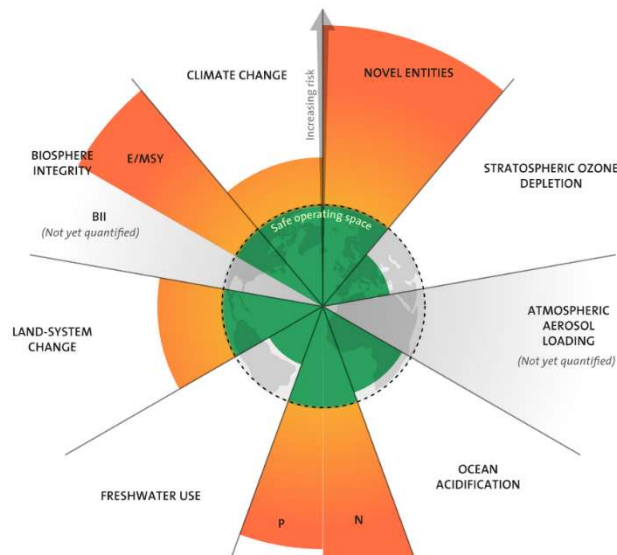


Figuur 3: 10R-model (CB23, Framework Circulair Bouwen)

Waarom is circulaire economie belangrijk?

Circulaire economie is vooral belangrijk vanwege de volgende twee redenen: ten eerste put de mensheid de aarde uit. De gehele wereldbevolking gebruikt nu al iedere jaar meer grondstoffen dan dat de aarde kan bieden. Latere generaties zullen voornamelijk merken dat de grondstoffen uitgeput raken en het daardoor minder goed hebben. Ten tweede is circulaire economie een economie om klimaatveranderingen tegen te gaan. Het produceren van producten waarbij grondstoffen nodig zijn kost energie, waardoor opwarming van de aarde ontstaat. Hoe meer de mensheid consumeert en verbruikt, des te meer de aarde opwarmt. (RIVM, 2022) Voor 2050 is de verwachting dat er 10 miljard mensen op de aarde zijn die allemaal voedsel consumeren en die ook door toenemende welvaart meer producten gaan gebruiken. De manier waarop er momenteel geproduceerd wordt is belastend voor de omgeving. De grenzen van wat de aarde te bieden heeft worden steeds meer benaderd of zijn deels al overschreden. De grenzen die de aarde stelt door het menselijk handelen, de zogenaamde “planetaire grenzen” worden weergegeven in Figuur 4.

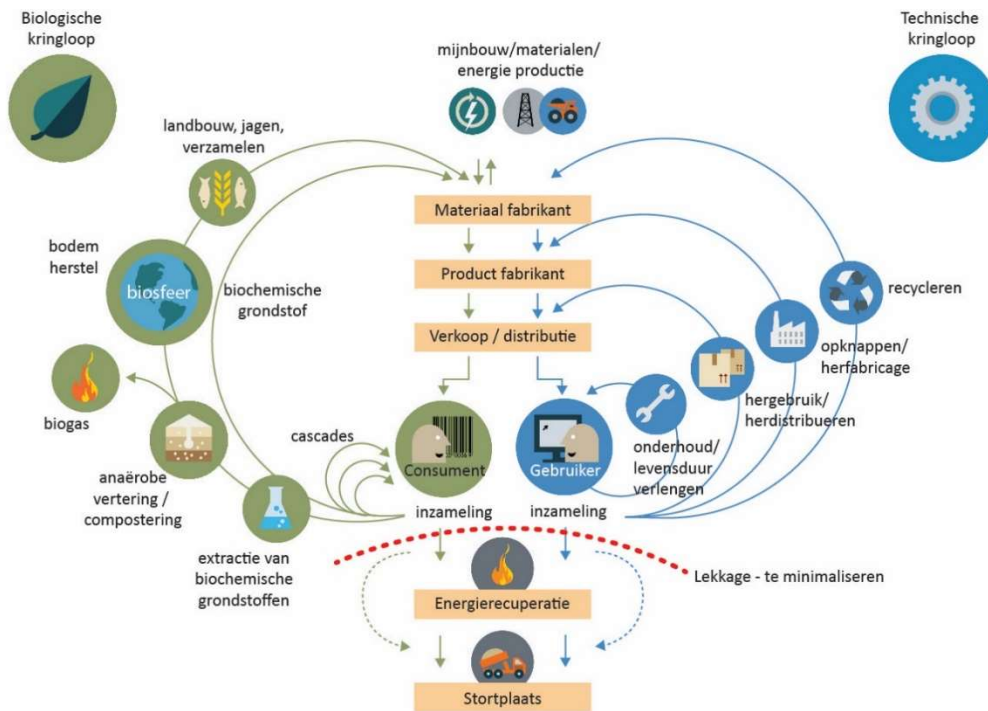
Van deze grenzen zijn er ondertussen al vijf overschreden: biodiversiteit, klimaatverandering, land-systeemverandering, chemische vervuiling en verandering in biochemische cycli zoals stikstof en fosfor. Twee van deze grenzen zijn kern-grenzen volgens wetenschappers. Het gaat hierbij om biodiversiteit en klimaatverandering. Doordat de mens buiten deze grenzen gaat komen, brengt dat het natuursysteem van de aarde naar een nieuwe onbekende staat. Dit wil zeggen dat er effecten gaan komen die we niet kunnen voorzien, wat resulteert in een groot risico voor de economie en de samenleving. (Jonker, Stegeman, & Faber, 2018)



Figuur 4: Planetaire grenzen van de aarde (Stockholm Resilience Centre)

Hoe is circulaire economie te bereiken?

Circulaire economie kan bereikt worden via verschillende wegen. De eerste is door zuiniger om te gaan met grondstoffen; minder gebruik van grondstoffen of gebruik van gerecycled materiaal. (Circulaire economie RWS, 2022). Ten tweede kan het bereikt worden door circulair te ontwerpen, hiermee wordt bedoeld dat er tijdens de ontwerpfase van een nieuw product rekening gehouden wordt met het hergebruik van het product en hiertoe te ontwerpen. (Bakker, den Hollander, van Hinte, & Zijlstra, 2019). Ten derde is het hergebruik van producten; kunnen producten opnieuw gebruikt worden in plaats van nieuwe producten te produceren? De vierde is reparatie en onderhoud; door het repareren van bestaande producten worden de levensduur van het product verlengt. De laatste optie is als materiaal echt niet meer gerecycled kan worden, gebruikt kan worden om energie terug te winnen. (Circulaire economie, 2022). Hieronder in Figuur 5 is het vlindermodel te zien volgens Ellen volgens Ellen MacArthur (MacArthur, 2015). In dit model wordt de werking uitgelegd van circulaire economie die aansluit bij de informatie die in de tekst hierboven is weergegeven.



Figuur 5: Vlindermodel. Hoe werkt circulaire economie (Ellen MacArthur Foundation)

2.2.2. PRESTATIECONTRACT

Wat is een prestatiecontract?

In de literatuur wordt een prestatiecontract gezien als een contract met betrekking tot de prestaties en niet zoals bij een traditioneel contract voor de te leveren inspanning. (Theuws, 2022). Het prestatiecontract is bedoeld op het denken en werken richting het doel en niet in de middelen. Dit levert voor zowel opdrachtgevers als voor de opdrachtnemers een voordeel op. Zo streven opdrachtgevers naar lagere kosten, hogere gebruikstevredenheid en een betere onderhoudskwaliteit. De voordelen voor opdrachtnemers liggen voornamelijk op klantenbinding en continuïteit. (Theuws, 2022). Om dit verhaal te verduidelijken volgt een voorbeeld:

Stel de opdrachtgever wil graag een perfect rond gat in de muur, dan spreekt de opdrachtgever met de opdrachtnemer af in een prestatiecontract dat zij graag een perfect rond gat in de muur wil. In het contract staat niet beschreven hoe deze prestatie geleverd dient te worden waardoor de opdrachtnemer vrij is om zelf te bepalen hoe dit perfecte gat in de muur gemaakt gaat worden. Is dit doormiddel van boren, zagen of doormiddel van een snijbrander? Deze keuzevrijheid wordt bij de opdrachtnemer gelaten zolang de prestatie maar geleverd wordt in overeenstemming met opgave van de opdrachtgever.

Wat wordt bij RWS gezien als een prestatiecontract?

Voor het meerjarig onderhoud aan assets gebruikt RWS-prestatiecontracten. Onder assets verstaat RWS haar objecten c.q. kunstwerken binnen een bepaald areaal of gebied. Te denken valt hierbij aan bruggen, wegen, tunnels, viaducten, sluizen, etc. Binnen een dergelijk prestatiecontract wordt de opdrachtnemer verantwoordelijk gesteld voor het onderhoud van een bepaald gebied en/of asset. De opdrachtnemer dient tijdens de gehele looptijd van het prestatiecontract het functioneren en het presteren van alle assets c.q. objecten binnen een bepaald gebied te garanderen. De staat van het object aan het begin van een prestatiecontract dient tijdens de contractperiode aantoonbaar in stand gehouden te worden. (Prestatiecontracten RWS, 2022)

2.2.3. VOORWAARDEN RWS

Wat zijn de voorwaarden van RWS m.b.t. hergebruik van materiaal?

In het Rijksbrede programma circulaire economie staat dat Nederland in 2050 volledig circulair wil draaien. In 2030 is de doelstelling van het kabinet om 50% minder gebruik te maken van primaire grondstoffen (fossiel, mineraal en metalen) (Rijksoverheid, 2022). Aangezien RWS onderdeel uitmaakt van de Rijksoverheid mag geconcludeerd worden dat RWS dezelfde voorwaarden hanteert als beschreven in het Rijksbrede programma circulaire economie. Als voorwaarde voor de ondernemers stelt RWS dat de milieukostenindicator (MKI) zo laag mogelijk is of dat de CO₂ uitstoot verlaagd wordt. De MKI is een optelling van alle milieueffecten samen in één score en wordt uitgedrukt in euro's. Deze score geeft de schaduwkosten\schaduwprijs weer van een project of product. Schaduwkosten zijn de kosten van een project of product op het milieu uitgedrukt in een euro's. Schaduwkosten worden over het algemeen ook wel maatschappelijke kosten genoemd. Hoe lager de schaduwkosten zijn, des te duurzamer is het product/project (Milieukostenindicator, 2022). Figuur 6 is een weergave van de totale kosten van een nieuw product of project inclusief de schaduwkosten.



Figuur 6: Weergave schaduwkosten (ecochain)

Om de schaduwprijs/schaduwkosten te berekenen dient er een Levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd worden over het product/project. Een LCA bevat de levenscyclus van het product/project, van ontwerp tot aan vernietiging en berekent de milieu-impact van de gehele levenscyclus. De resultaten van de LCA worden verdeeld in 11 verschillende categorieën die impact hebben op het milieu. Om tot de schaduwprijs/schaduwkosten te komen, worden deze verschillende categorieën gekoppeld aan een valuta en naar zwaarte van de impact afgewogen. Deze verschillende waarden worden samengevoegd tot één score en dat worden de schaduwkosten van het product of materiaal (Wat zijn schaduwkosten, 2022).

Deze verschillende categorieën zijn (Impact categorieën LCA overzicht, 2022):

1. Opwarming van de aarde;
 - Opwarming van de aarde als gevolg van emissies van broeikasgassen in de lucht.
2. Uitputting van de ozon;
 - Emissies in de lucht die ervoor zorgen dat de stratosferische ozonlaag vernietigt/verzwakt worden.
3. Verzuuring van bodem en water;
 - Verzuuring van bodems en water door het vrijkomen van gasen zoals stikstofoxiden en zwaveloxiden.
4. Eutrofiëring;
 - Verrijking van het aquatisch ecosysteem met voedingselementen.
5. Fotochemische ozon creatie;
 - Uitstoot van gasen die invloed hebben op de oprichting van smog.
6. Uitputting van abiotische middelen-elementen;
 - Uitputting van natuurlijke niet-fossiele hulpbronnen.
7. Uitputting van abiotische middelen – fossiele brandstoffen;
 - Uitputting van natuurlijke fossiele brandstoffen.
8. Menselijke toxiciteit;
 - Impact op de mens van giftige stoffen die voor het milieu worden uitgestoten.
9. Zoet water aquatische eco-toxiciteit;
 - Invloed op zoetwaterorganismen van giftige stoffen die voor het milieu worden uitgestoten.
10. Mariene aquatische eco-toxiciteit;
 - Impact op zeewaterorganismen van giftige stoffen die voor het milieu worden uitgestoten.
11. Terrestrische eco-toxiciteit.
 - Impact op landorganismen van giftige stoffen die voor het milieu worden uitgestoten.

Wie is RWS als opdrachtgever?

RWS werkt aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland. Dat doen zij samen met zakelijke partners, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en andere overheden. Deze samenwerking is steeds meer van belang; de projecten in Nederland worden steeds complexer en mogelijk stelt de omgeving ook steeds hogere eisen. Dit vraagt om slimme oplossingen, permanente vernieuwing en gedeelde kennis. Opdrachtgever en opdrachtnemer dienen daarom zoveel als mogelijk met elkaar op te trekken met een gezamenlijk doel als professionele partners (Zakendoen met Rijkswaterstaat, 2022). RWS wil een transparante organisatie zijn voor de markt en daarom hanteren ze de Gedragscode Publiek opdrachtgeverschap. In dit document staat beschreven hoe zij willen omgaan met haar opdrachtnemers (Rijkswaterstaat als opdrachtgever, 2022).

Als publieke opdrachtgever streeft RWS met de gedragscode twee doelen na. De eerste is dat RWS helderheid wil geven over de specifieke kenmerken van het publieke opdrachtgeverschap. De tweede is dat RWS een betrouwbare en een integere opdrachtgever wil zijn voor de positie en rol van de potentiële opdrachtnemer. (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022)

RWS wil met deze gedragscode duidelijk maken welke kernwaarden ze hanteert bij de uitoefening van haar publiekelijk opdrachtgeverschap en welke gedragsregels dit meebrengt voor haarzelf en haar opdrachtnemers. De kernwaarden die RWS hanteert voor het publiek opdrachtgeverschap zijn: maatschappelijke verantwoordelijkheid, integriteit, betrouwbaarheid en transparantie. (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022)

Als publieke opdrachtgever heeft RWS een maatschappelijke verantwoordelijkheid en een verantwoordingsplicht aan bestuurders en politiek. Alle afspraken die RWS maakt met opdrachtnemers dienen de toets van doelmatigheid en rechtmatigheid te doorstaan. Dit vereist dat de informatie die RWS krijgt betrouwbaar en controleerbaar is (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022). RWS heeft respect voor de positie van de opdrachtnemers en gaat ervan uit dat zij ook de positie van RWS respecteren en ondersteunen als publieke opdrachtgever. Zo wordt er gestreefd naar geheimhouding tegenover derden betreffende vertrouwelijke bedrijfsaangelegenheden, voor zover dat niet in strijd is met een wettelijke plicht tot publicatie (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022). RWS wekt geen verwachtingen die zij niet kan waarmaken en ze houdt zichzelf aan de gemaakte afspraken. Dit verwachten zij ook van haar opdrachtnemers. RWS verstrekt vooraf alle relevante informatie die ze tot haar beschikking heeft en die nodig is voor het doen van een aanbidding aan een opdrachtnemer. Ze biedt daarom vooraf inzicht in de betrouwbaarheid en kwaliteit van haar gegevens voor zover die relevant zijn voor de aanbidding aan de potentiële opdrachtnemer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022). RWS geeft vooraf duidelijk aan hoe er geselecteerd gaat worden en welke criteria voor de opdracht van belang zijn. Ze geeft duidelijk aan als ze een opdrachtnemer niet aannemen en waarom ze geen gebruik maakt van de aangeboden diensten. RWS kiest contractvormen die passen bij de omvang en de aard van het werk. Ook streeft ze naar helderheid vooraf over de verdeling van risico's. Als er onduidelijkheden en verschillen van inzicht zijn over contractafspraken wordt dit open en zakelijk besproken met elkaar (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2022).

2.3. CONCLUSIES THEORETISCH ONDERZOEK

Circulaire economie betekent dat kringlopen gesloten worden. Materialen en producten worden zo veel mogelijk hergebruikt en grondstoffen behouden hierdoor zo lang en zo veel mogelijk hun waarde. Circulaire economie is belangrijk omdat de mensheid de aarde uitput en om klimaatveranderingen tegen te gaan. Circulaire economie kan bereikt worden door;

- Minder gebruik van grondstoffen en gebruik van gerecycled materiaal;
- Circulair ontwerpen;
- Hergebruik van producten;
- Reparatie en onderhoud;
- Energiewinning.

Een prestatiecontract wordt gezien als een contract met betrekking tot prestaties en niet voor de te leveren inspanning. Het prestatiecontract is bedoeld op het denken en werken richting een doel en niet in de middelen. RWS gebruikt prestatiecontracten voor het meerjarig onderhoud aan assets. De opdrachtnemer dient tijdens de gehele looptijd van het prestatiecontract het functioneren en presteren van alle objecten binnen een bepaald gebied te garanderen.

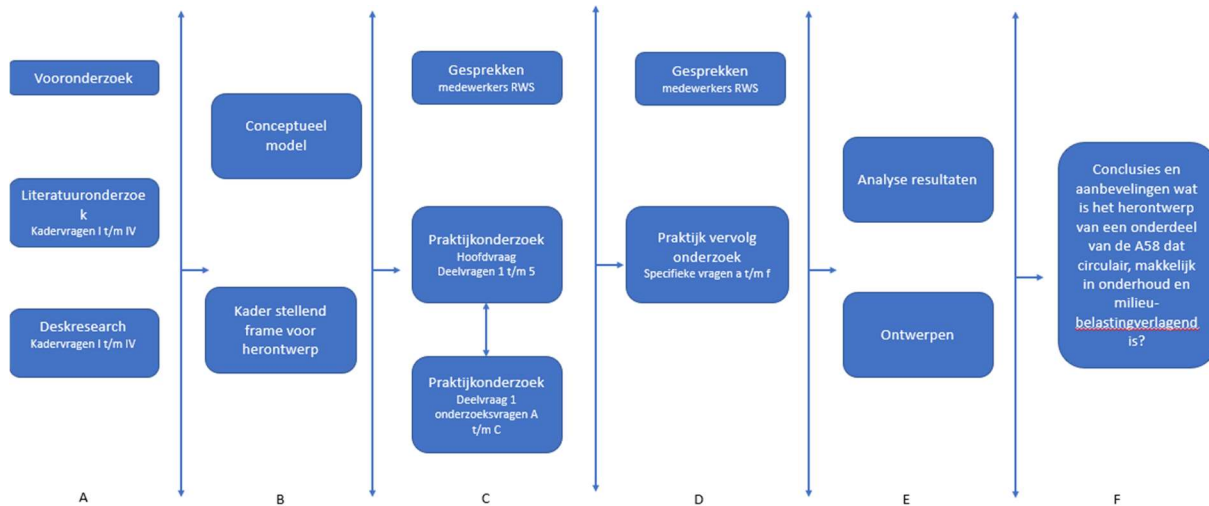
In het Rijksbrede programma circulaire economie staat dat Nederland in 2050 volledig circulair wil draaien. In 2030 is de doelstelling van het kabinet om 50% minder gebruik te maken van primaire grondstoffen. Aangezien RWS onderdeel uitmaakt van de Rijksoverheid mag geconcludeerd worden dat RWS dezelfde voorwaarden hanteert als beschreven in het Rijksbrede programma circulaire economie. Naast deze voorwaarden die RWS stelt aan het hergebruik van materialen is dat de MKI waarde van het product wordt verlaagd of dat de CO₂ uitstoot verlaagd wordt.

RWS werkt aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland. Dat doen zij samen met zakelijke partners, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en andere overheden. RWS wil een transparante organisatie zijn voor de markt en daarom hanteren ze de Gedragscode Publiek opdrachtgeverschap. De kernwaarden die RWS hanteert voor het publiek opdrachtgeverschap zijn: maatschappelijke verantwoordelijkheid, integriteit, betrouwbaarheid en transparantie. Als publieke opdrachtgever heeft RWS een maatschappelijke verantwoordelijkheid en een verantwoordingsplicht aan bestuurders en politiek.

Bovenstaande uitwerking van deze begrippen vormen een kader stellend frame welke bij het herontwerp in acht is genomen.

3. ONDERZOEKSMETHODE

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe het onderzoek is opgebouwd en hoe informatie verzamelt en verwerkt is. Het onderzoek bestaat uit twee delen, namelijk theoretisch- en praktijkonderzoek. Om de doelstellingen van het onderzoek te realiseren is onderstaand onderzoeksmodel Figuur 7 gevolgd:



Figuur 7: Schematische weergave onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel omvat verschillende fasen:

- A) Op basis van vooronderzoek, literatuuronderzoek en deskresearch is een conceptueel model ontwikkeld en een kader stellend frame voor een herontwerp vastgesteld;
- B) Met behulp van dit conceptuele model is inzicht gegeven in de relaties tussen circulaire economie, voorwaarden van RWS voor hergebruik en prestatiecontracten. Meegenomen is de relatie van een prestatiecontract en de OG-ON relatie;
- C) Praktijkonderzoek naar de verschillende soorten bestaand wegmeubilair om hieruit een selectie te kunnen maken welk wegmeubilair de meeste potentie had om verbeterd te worden.
- D) Aan de hand van de gemaakte selectie in het praktijkonderzoek is vervolgens een praktijk vervolgonderzoek uitgevoerd naar het te verbeteren wegmeubilair, namelijk een hectometer-/ reflectorpaaltje. Hiervoor is een procesboom en een functieboom opgesteld, om zo inzicht te krijgen in het proces dat hectometer-/ reflectorpaaltje van de A58 ondergaat en om inzicht te krijgen welke functie deze heeft. Op basis van de uitkomsten hiervan, is het pakket van eisen en wensen opgesteld.
- E) Met behulp van het pakket van eisen en wensen, de procesboom en functieboom is er een ontwerpvisie opgesteld. In de ideeefase zijn er drie verschillende integrale ideeën gegenereerd aan de hand van een morfologisch overzicht. Hierna zijn de drie verschillende ideeën gewogen in een keuzematrix gebaseerd op het pakket van eisen. Hieruit zijn twee integrale ideeën voortgekomen die het beste bij het pakket van eisen en wensen passen. In de conceptfase zijn de twee integrale ideeën verder uitgewerkt waarna ze gewogen zijn in een keuzematrix gebaseerd op het pakket van wensen. Het concept dat hieruit is voortgekomen is het best haalbare concept binnen dit afstudeeronderzoek.
- F) Op basis van de analyse en het conceptontwerp zijn er conclusies en aanbevelingen geformuleerd wat het herontwerp van een onderdeel van de A58 is dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is.

Om de hoofdvraag vraag te beantwoorden zijn een vijftal deelvragen opgesteld die allen beantwoord zijn om zo inzicht te verkrijgen op de vraag wat het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is. Iedere vraag heeft zijn eigen typering en deze bijbehorende typering vraagt verschillende onderzoeksmethoden. De methodieken die in dit hoofdstuk behandeld worden, zijn geplaatst in het kader van dit onderzoek, namelijk het onderzoek “Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is?”.

3.1. KEUZE METHODIEK

Dit onderzoek resulteert in één haalbaar integraal conceptontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is. Als onderzoeksmethode is literatuuronderzoek ingezet om effectief te zoeken naar literatuur die bij de bepaalde begrippen uit het conceptueel model behoren om het mogelijke effect op het herontwerp te bepalen.

Literatuuronderzoek is volgens (Krul, 2022) vooral gericht op het verkrijgen van theoretische kennis over een begrip of onderwerp. Deze onderzoeksmethode is gebruikt als theoretische onderbouwing van de onderzoeksopzet. Het biedt de kaders waarbinnen het onderzoek uitgevoerd is en verzorgt eveneens de begripsafbakening. Om de onderzoeksvragen (deels) te beantwoorden is er gekeken naar al eerder beschreven theorieën en modellen. Deze zijn gebruikt om begrippen te omschrijven en eventuele relaties weer te geven. Alle gebruikte informatiebronnen zijn opgenomen in de literatuurlijst.

Er is literatuuronderzoek gedaan naar de begrippen circulaire economie, prestatiecontract en OG/ON-relatie die tezamen de bouwstenen vormden voor een eventueel kader benodigd ter beantwoording van de hoofdvraag en de deelvragen.

De geraadpleegde bronnen zijn gewaardeerd op basis van auteur (kennisniveau), objectiviteit, actualiteit, referenties en vermelding van gebruik in andere bronnen.

Om de betrouwbaarheid van het onderzoek te waarborgen is er enkel gebruik gemaakt van wetenschappelijke publicaties, uitgegeven boeken met bronvermelding, literatuur uitgegeven door bekende auteurs die expert zijn op een bepaald gebied en ten slotte actuele en niet verouderde informatie (maximaal 10 jaar). Alle verwerkte informatie zijn in meerdere bronnen verwerkt voordat het gebruikt is in dit onderzoek.

Daarnaast is deskresearch ingezet ter beantwoording van de onderzoeksvraag hoe RWS vrijgekomen materialen binnen een bepaald prestatiecontract volgens haar duurzaamheidsprincipes kan hergebruiken.

Deskresearch is gebruikt voor het verzamelen van informatie uit interne bedrijfsstukken, rapportages en interne informatiesystemen zoals Aris en Werkwijzer binnen RWS. Deze informatie biedt naast het literatuuronderzoek de noodzakelijke theoretische kennis om te bepalen welke voorwaarden RWS stelt aan het hergebruik van materialen en zo inzichten en achtergronden te inventariseren.

De informatie vanuit deskresearch zal niet altijd 1 op 1 aansluiten bij de benodigde informatie, maar is wel een betrouwbare informatiebron omdat de informatie direct gelinkt is met de onderzochte organisatie RWS ZD.

Om tot de gekozen methodiek voor het ontwerp onderzoek te komen, is eerst gekeken naar welke methodieken er geschikt zijn voor ontwerpgericht onderzoek dat aansluit bij het probleem. Doordat er verschillende ontwerpmethodieken zijn die geschikt zijn voor dit onderzoek, zijn er een aantal naast elkaar gelegd om te kijken welke het beste aansluit bij dit ontwerp onderzoek. De verschillende ontwerpmethodieken zijn Delfts design guide, Timmers & van der Waals, Oskam en het V-model.

‘Delfts design guide’ is ontwikkeld voor studenten die een bachelor of master volgen richting industrieel ontwerpen, dit boek geeft studenten een handleiding voor het ontwikkelen van producten (Boeijen, 2014).

‘Timmers en van der Waals’ is ontwikkeld door Job Timmers en Mirjam van der Waals en is met name gericht op het integraal product ontwerp. Deze methode is voornamelijk gebaseerd op het zonmodel met de vier kwadranten; mens, milieu, markt en techniek (Timmers & van der Waals, 2009).

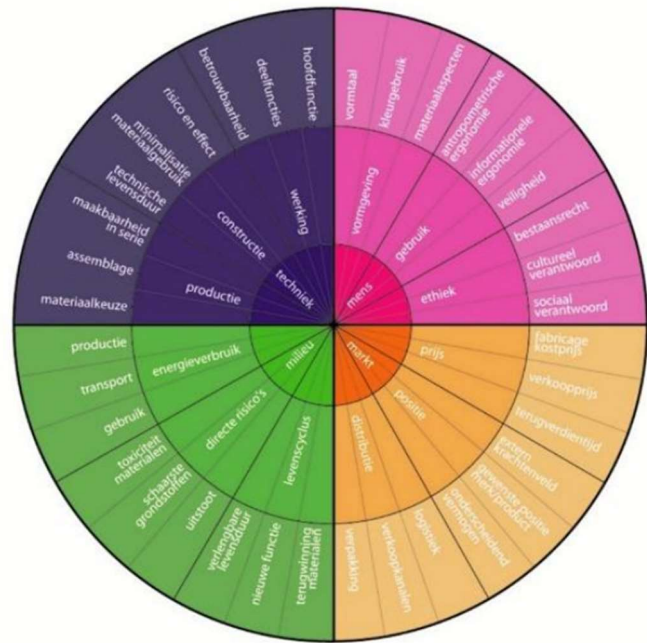
‘Oskam’ is gebaseerd op het ontwerpen van technische innovaties. Het een methode die gericht is op doorlopen van verschillende fases, te weten oriëntatie-, analyse-, ontwerp-, detaillering- en realisatiefase. Na elk van deze fases kan er een deelvraag beantwoord worden (Oskam, 2012).

‘V-model’ is een ontwerpmethode die gericht is op het testen voor validatie. Het is daarom vooral geschikt voor het ontwerpen van systemen (geeksforgeeks, 2022).

De methode die het best aansluit bij het probleem van dit ontwerponderzoek is Oskam omdat met deze methode stapsgewijs het gehele ontwerpproces doorlopen is, zodat passende keuzes gemaakt konden worden. Doordat er van fase naar fase gewerkt is, heeft dit grip tijdens het ontwerpproces geboden. Ook is de onderzoeker al bekend met deze methode waardoor het inzetten van de ontwerpmethode Oskam voor de hand lag.

Om tijdens het gehele ontwerpproces extra grip te verkrijgen, is er eveneens gebruik gemaakt van het zonmodel dat beschreven staat in Timmers & van der Waals. Hierbij is de focus gelegd op de vier kwadranten; mens, milieu, markt en techniek. Deze vier kwadranten zijn verdeeld in drie verschillende niveaus om per kwadrant te kunnen convergeren en dat er zo geen aspect vergeten is tijdens het gehele ontwerpproces. In Figuur 8 is het zonmodel te vinden van Timmers & van der Waals.

Samenvattend is in dit onderzoek gebruik gemaakt van literatuuronderzoek, deskresearch en als ontwerpmethodiek is de keuze gevallen op een combinatie van Oskam en Timmers & van der Waals om zo extra grip te krijgen om tijdens het ontwerpproces. Doordat er tijdens dit ontwerponderzoek een concept is uitgewerkt, zijn de detaillering en realisatiefase niet verder uitgewerkt. Daarbij is de ontwerpfase verdeeld in een ideefase en een conceptfase.



Figuur 8: Integraal zonmodel

3.2. FASES OSKAM

Met behulp van de ontwerpmethode van Oskam is er in verschillende fases gewerkt, namelijk: oriëntatie, analyse, ontwerp, detaillering en realisatiefase. Doordat er tijdens dit ontwerponderzoek een concept is uitgewerkt, zijn de detaillering en realisatiefase niet verder uitgewerkt.

ORIËNTATIE

In de oriëntatiefase is er praktijkonderzoek gedaan naar de verschillende milieuvriendelijkere varianten van het wegmeubilair langs de A58. Hierbij is gekeken welk van deze verschillende varianten een kans had om milieuvriendelijker te worden door het ontwerp aan te passen. Deze fase leverde de selectie welk onderdeel daadwerkelijk het ontwerpproces heeft ondergaan.

De onderzoeksvragen die gehanteerd zijn bij het praktijkonderzoek zijn ondersteunend om te komen tot de daadwerkelijke selectie van het onderdeel dat de meeste potentie heeft om verbeterd te worden binnen de tijd van het gehele onderzoek. De te beantwoorden vragen waren:

- Hoe wordt het stadium van innovatie aangegeven/gemeten?
- Welke onderdelen horen er bij de snelweg A58?
- Welke alternatieven bestaan er voor deze onderdelen?
- Welke conclusie kan er getrokken worden over de milieubewustere producten van de verschillende onderdelen?

ANALYSE

De analysefase was voornamelijk bedoeld om informatie te verzamelen over het geselecteerde onderdeel namelijk, het hectometer-/ reflectorpaaltje. Om deze informatie te verzamelen is gebruik gemaakt van specifieke vragen in combinatie met de kwadranten van het integrale zonnewiel van Timmers & van de Waals:

- a) Wat is de functie van het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- b) Hoeveel van deze hectometer-/ reflectorpaaltjes staan er op de A58 tussen Vlissingen en Bergen op Zoom?
- c) Welke eisen zitten er aan het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- d) Welk onderhoud ondergaat het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- e) Hoe werkt het systeem met betrekking tot vervangen van het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- f) Hoe is het huidige hectometer-/ reflectorpaaltje gemonteerd?

Door de combinatie te maken van specifieke vragen in combinatie met de kwadranten van het integrale zonnewiel van Timmers & van de Waals wordt de betrouwbaarheid van het conceptontwerp vergroot doordat er geen tot weinig ontwerpeisen vergeten zijn. Om deze ontwerpeisen overzichtelijk te krijgen, is er vervolgens een pakket van eisen & wensen opgesteld. Het pakket van eisen & wensen vormde daarmee een duidelijk overzicht van de ontwerpspecificaties van het te ontwerpen product. Verder is er in deze fase een procesboom opgesteld om te bekijken wat het proces is van het van product dat ontworpen is, dus vanaf ontstaan tot aan vernietiging. Tenslotte is er een functieboom opgesteld om te kijken welke functies het product zal vervullen. Dit alles tezamen heeft geresulteerd in een pakket van eisen & wensen, definitieve probleemstelling en een ontwerpvisie op.

ONTWERP (IDEEFASE)

Zoals de titel al impliceert draaide deze fase om het bedenken van verschillende ideeën voor het product. Vanuit de analysefase zijn er genoeg invalshoeken naar voren gekomen om te beginnen met het ontwerpen van het product. Vaak wordt begonnen met het ontwerpen van deelfuncties. Dit is gedaan door op verschillende vellen papier een deelprobleem op te schrijven en hierbij verschillende oplossingen voor dit deelprobleem op te schrijven/tekenen. Het kan daarbij helpen om verschillende creativiteitstechnieken te gebruiken om tot verschillende oplossingen te komen. Hierna is er een morfologisch overzicht opgesteld op basis van deze verschillende deeloplossingen. Door deeloplossingen aan elkaar te verbinden is er een integraal idee samengesteld. Op het moment dat er verschillende integrale ideeën zijn, zijn deze gewogen op basis van het pakket van eisen en zijn hieruit de concepten bepaald.

ONTWERP (CONCEPTFASE)

De concepten die voortgekomen zijn uit de ideefase zijn vervolgens verder uitgewerkt en daarna nogmaals ter controle gewogen aan het pakket van wensen en de ontwerpvisie. Ook is gekeken welk concept het meest realistisch was op basis van eigen inzicht en op advies van de opdrachtgever. Daarna is gekeken welk concept haalbaar was met behulp van modellen. Ook zijn verschillende berekeningen gemaakt om te toetsen of het concept haalbaar was. De volgende berekeningen zijn hiertoe gemaakt: een kostprijs- en sterkteberekening. Tenslotte is in deze fase een tekenpakket opgesteld voor een prototype en zijn delen van het ontwerp getest op werking.

3.3. ONDERZOEKSINSTRUMENTEN

Hieronder zijn de onderzoeksinstrumenten beschreven die gebruikt of onderzocht zijn tijdens het gehele ontwerpproces en nader verdeeld over de verschillende fasen in de ontwerpmethodologie van Oskam.

- **Integrale zonnewiel:** Het integrale zonnewiel is in alle fasen gebruikt als controle-instrument om de ontwerpoplossingen te controleren op basis van haar vier kwadranten mens, milieu, markt en techniek. Om een integraal ontwerp te realiseren kan dit instrument ingezet worden ter controle (Timmers & van der Waals, 2009).

ORIËNTATIEFASE OSKAM

- **Praktijk onderzoek:** Onderzoek naar verschillende milieuvriendelijke varianten van het huidige wegmeubilair. Hiervoor zijn interne documenten geraadpleegd, enkele theoretische aanknopingspunten globaal verkend, zijn er gesprekken gevoerd met medewerkers van het Wegenteam binnen ZD en is de opdrachtgever Kees Sanderse benaderd.
- **LCA:** De levenscyclusanalyse is ingezet om te achterhalen wat de levenscyclus is van een product; dus van het ontstaan tot aan het vernietigen van een product. Er is gekeken vanaf het winnen van de grondstoffen, de productie van het product, het transport, het gebruik en daarna de afvalverwerking (Levenscyclusanalyse, 2022). Om een product milieuvriendelijker te maken, is gekeken of er handelingen verminderd kunnen worden door het ontwerp juist te ontwikkelen.

ANALYSEFASE OSKAM

- **Praktijk vervolgonderzoek:** Onderzoek naar het resultaat dat voortgekomen is uit het praktijkonderzoek namelijk, het hectometer-/ reflectorpaaltje.
- **Procesboom:** Met de procesboom is de levensloop van het product in vier fasen (ontstaan, verspreiden, gebruiken en verdwijnen) beschouwd. De procesboom heeft geholpen om eisen, wensen en problemen voor de probleemstelling te formuleren. (Timmers & van der Waals, 2009)
- **Functieboom:** Een functieboom is gebruikt om de hoofd- en deelfuncties in beeld te brengen. Dit is gedaan door middel van een schema/tabel.
- **Ontwerpvisie:** De ontwerpvisie is verkregen uit de conclusies van het onderzoek, de gewenste situatie van de opdrachtgever en de huidige situatie. De ontwerpvisie geeft een samenvatting van het gehele onderzoek in één à twee zinnen. De ontwerpvisie is leidend gezien in het ontwerpproces en dient aan te sluiten bij de visie van de opdrachtgever (Timmers & van der Waals, 2009).
- **Pakket van eisen & wensen:** Het pakket van eisen & wensen is een instrument dat gebruikt is in alle fasen van het ontwerpproces. De eisen en wensen in dit pakket komen voort uit de conclusies van de onderzoeken in de analysefase. Deze eisen en wensen vormden de basis om iedere deeloplossing te toetsen binnen het ontwerpproces. Het pakket van eisen & wensen is verdeeld in de vier kwadranten markt, milieu, mens en techniek (Timmers & van der Waals, 2009).

ONTWERP (IDEEFASE)

- **Creativiteitstechnieken:** Creativiteitstechnieken zijn gebruikt om alle mogelijke oplossingen voor deelproblemen te genereren. Deze technieken zijn gebruikt aan de start van de ontwerpfasen.
- **Morfologisch overzicht:** Een morfologisch overzicht is een onderzoeksinstrument waarbij een probleem wordt verdeeld in verschillende deelproblemen van het product zelf. Deze deelproblemen staan in de meest linker kolom en daarnaast staan alle mogelijke oplossingen voor dit probleem. Wanneer dit voor alle deelproblemen is gedaan, ontstaat een morfologisch overzicht. Door dit overzicht is het mogelijk om van boven naar beneden per deelprobleem een oplossing te kiezen en zo tot een oplossing van het gehele probleem te komen (Morfologische kaart TU Delft, 2022).

- **Integrale ideeën:** Er zijn in de ontwerpfase drie verschillende integrale ideeën gegenereerd. Hieruit is opgemaakt hoe het product eruit komt te zien, hoe het in gebruik genomen kan worden en hoe het product functioneert. Een integraal idee is het begin richting een concept (Timmers & van der Waals, 2009)
- **Wegingsmatrix a.d.h.v. Pakket van Eisen:** Nadat er een divergerende aanpak is toegepast in de ontwerpfase is er geconvergeerd door een keuze te maken uit de verschillende integrale ideeën. Het kiezen van het beste integrale idee is gedaan aan de hand van het pakket van eisen. Tezamen is dit verwerkt in een wegingsmatrix die gebruik maakt van alle eisen die opgesteld zijn in het pakket van eisen en wensen (Timmers & van der Waals, 2009).

ONTWERP (CONCEPTFASE)

- **Concepten:** Er zijn in de ontwerpfase twee verschillende concepten gegenereerd op basis van de integrale ideeën. De concepten zijn uitgewerkt in tekeningen en tekstueel uitgewerkt waarmee de haalbaarheid en de werking is aangetoond. Ook is de vormgeving, gebruik en veiligheid uitgewerkt (Timmers & van der Waals, 2009).
- **Wegingsmatrix a.d.h.v. Pakket van Wensen:** Nadat er een divergerende aanpak is toegepast in de ontwerpfase, is er geconvergeerd door een keuze te maken uit de verschillende integrale ideeën. Het kiezen van het beste concept is gedaan aan de hand van het pakket van wensen. Tezamen is dit verwerkt in een wegingsmatrix die gebruik maakt van alle wensen die opgesteld zijn in het pakket van eisen en wensen (Timmers & van der Waals, 2009).
- **3D-CAD tekening:** Het beste concept is uitgewerkt in Solidworks voor een 3D-CAD tekening.
- **2D-tekenpakket:** Uit de 3D-CAD tekeningen is in Solidworks een 2D tekenpakket gegenereerd met de afmetingen van het concept.

4. ONDERZOEKRESULTATEN

Voor dit ontwerponderzoek zijn twee onderzoeken uitgevoerd; een praktijkonderzoek om te bepalen welk onderdeel van het wegmeubilair verbeterd kan worden en een praktijk vervolgonderzoek dat betrekking heeft op het daadwerkelijk te verbeteren onderdeel dat voortkomt uit het praktijkonderzoek. Tijdens het praktijkonderzoek heeft de focus gelegen op beantwoording van deelvragen 1 t/m 5. Om deelvraag 1 te beantwoorden zijn additionele onderzoeksvragen A t/m C opgesteld. Vanuit het praktijkonderzoek is een definitieve keuze voor het te herontwerpen onderdeel van de A58 gemaakt, namelijk een hectometer-/ reflectorpaaltje. Om de juiste informatie voor dit te herontwerpen onderdeel te verkrijgen is een praktijk vervolgonderzoek uitgevoerd met beantwoording van specifieke vragen a t/m f. Zie het onderzoeksmodel Figuur 7 op pagina 22.

Tijdens het concept herontwerp zijn de fasen van Oskam in combinatie met Timmers & van de Waals in chronologische volgorde doorlopen. Hierbij is rekening gehouden met de eerdere uitkomsten vanuit het literatuuronderzoek en deskresearch.

4.1. ORIËNTATIEFASE

Gestart is met de oriëntatiefase waarin informatie is verzameld over de verschillende varianten van bestaand wegmeubilair. In deze paragraaf is het resultaat van het praktijkonderzoek beschreven die daarbij gelijk antwoord geeft op de eerst opgestelde deelvraag: Welk onderdeel heeft de meeste potentie om verbeterd te worden binnen de tijd van het ontwerponderzoek? Om deze deelvraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van een aantal selectie vragen:

- A. Hoe wordt het stadium van innovatie aangegeven/gemeten?
- B. Welke onderdelen horen er bij de snelweg A58?
- C. Welke alternatieven bestaan er voor deze onderdelen?

Innovatie wordt aangegeven door Technology Readiness Levels (TRL). De TRL geeft op eenduidige wijze aan in welk stadium de ontwikkeling zich bevindt van innovatie. Hierdoor is het niet alleen inzichtelijk in welk stadium de innovatie zich bevindt, maar er kan ook een inschatting gemaakt worden welke stappen er nog nodig zijn om naar een verder stadium te gaan. Dit betekent hoe hoger het TRL des te meer innovatie zich functioneel en technisch aanwezig is en hoe sneller deze innovatie toepasbaar is. (productenoverzicht cwm)

Bij een snelweg komt meer kijken dan alleen de weg waar de voertuigen zich over verplaatsen. Dit kan verder verdeeld worden in verschillende groepen. Deze groepen zijn verder uitgewerkt in Bijlage 2 waarbij ook direct de mogelijke alternatieven beschreven zijn inclusief de mogelijkheden voor een milieubewustere variant.

De verkregen informatie op bovenstaande selectievragen vormden de input benodigd om deelvraag 1 te beantwoorden.

Deelvraag 1: Welk onderdeel heeft de meeste potentie om verbeterd te worden binnen de tijd van het ontwerponderzoek?

Om te bepalen welk onderdeel de meeste potentie had om verbeterd te worden, was het ook belangrijk om te concluderen waarom de andere onderdelen tijdens dit ontwerponderzoek niet de potentie hadden om verbeterd te worden in de gestelde tijd. Om tot dit antwoord te komen is de input van het selectievragen A t/m C gecombineerd met de resultaten uit het deskresearch en zijn er een aantal gesprekken gevoerd met medewerkers van RWS die experts zijn in hun eigen vakgebied. Uit een gesprek met A. van Leeuwen (coördinerend/specialistisch adviseur van de afdeling kennis- en innovatiemanagement) kwam naar voren dat op het moment dat de geleiderail verbeterd dient te worden, dit meer tijd vergt dan het huidige onderzoek. Hierbij werd een voorbeeld gegeven dat een bedrijf al meer dan twee jaar bezig is met het verbeteren van de

geleiderail voor een snelweg en dat dit nog niet met succes is gelukt. Hierdoor viel een geleiderail verbeteren af.

Als er gekeken wordt naar de verkeersborden is bamboe al een goed milieuvriendelijk alternatief. Dit wordt momenteel al op verschillende plaatsen in Nederland toegepast en het draagt significant bij aan een verlaging van de MKI waarde.

Bij de twee verschillende draagconstructies; bewegwijzering en de verkeerskundige draagconstructie is gekeken naar de huidige modellen die er bestaan. Uit de deskresearch is gebleken dat er voor deze twee onderdelen meer gekeken dient te worden naar welk materiaal er geschikt is en gebruikt gaat worden en niet zozeer naar welk ontwerp er benodigd is. Ook was er in het kader van dit onderzoek te weinig tijd om een nieuw concept van de constructie te ontwerpen die voldeed aan de eisen met betrekking tot veiligheid boven de weg.

Als er wordt gekeken naar de groepen; verlichting, stof- en geluidsbeperkende constructie, hemelwaterafvoer, wegkantsysteem, raster en faunatunnel zijn deze te weinig of niet aanwezig op de A58 van Vlissingen tot aan Bergen op Zoom (areaal van het onderzoek). Hierdoor was het niet interessant voor de opdrachtgever en de onderzoeker om één van deze onderdelen te verbeteren met een nieuw ontwerp.

Omdat bovengenoemde onderdelen niet geschikt waren voor dit onderzoek voor een herontwerp, is gekozen voor een herontwerp van het hectometer-/ reflectorpaaltje. Deze keuze is mede ingegeven door het eerste gesprek met stagebegeleider K. Sanderse die vertelde over de huidige gang van zaken bij het vervangen van een eventueel kapot paaltje. Naar aanleiding van dat gesprek is er een vervolgesprek geweest met E. Wagelmans (Medewerker afdeling Programma's, Projecten en Onderhoud). Naar aanleiding van het tweede gesprek is er duidelijkere en specifiekere informatie ingewonnen met betrekking tot onderhoud van de hectometer-/ reflectorpaaltje. In het ontwerp was er een verbeter slag mogelijk binnen de tijd van dit onderzoek om met een nieuw ontwerp de MKI te verlagen evenals de MKI te verlagen en/of CO₂ reductie binnen het onderhoud van een prestatiecontract.

4.2. ANALYSEFASE

In deze fase is informatie verzameld over het hectometer-/ reflectorpaaltje. Om deze informatie te verzamelen is gebruik gemaakt van specifieke vragen in combinatie met de kwadranten van het integrale zonnewiel van Timmers & van de Waals:

- a) Wat is de functie van het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- b) Hoeveel van deze hectometer-/ reflectorpaaltjes staan er op de A58 tussen Vlissingen en Bergen op Zoom?
- c) Welke eisen zitten er aan het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- d) Welk onderhoud ondergaat het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- e) Hoe werkt het systeem met betrekking tot vervangen van het hectometer-/ reflectorpaaltje?
- f) Hoe is het huidige hectometer-/ reflectorpaaltje gemonteerd?

Hectometerpaaltjes worden geplaatst om een expliciete plaatsbepaling langs de weg aan te geven. Er staan 1241 hectometerpaaltjes op het traject tussen Vlissingen en Bergen op Zoom. Aan dit onderdeel wordt door RWS als uitvoeringsorganisatie eisen gesteld ten aanzien van de plaatsing en afmeting. Het hectometerpaaltje heeft zelf weinig onderhoud, doch de zichtbaarheid wel (maaien van het omgevingsgebied). Vervanging van hectometerpaaltje doorloopt een aantal stappen tussen opdrachtnemer (aannemer) en -gever (RWS). Het hectometerpaaltje wordt in de grond verankerd door twee stalen buizen kruislings dwars door de verticale paal te boren. Het reflectorpaaltje wordt simpelweg in de grond gedrukt. Een uitgebreidere uitwerking is te vinden in Bijlage 3.

4.2.1. ONTWERPVISIE

De ontwerpvisie voor het herontwerp van een circulair hectometer-/ reflectorpaaltje is voortgekomen vanuit het onderzoek dat plaats vond naar aanleiding van de probleemstelling uit de analysefase. De ontwerpvisie luidt:

“Een innoverend, circulair en modulair paaltje dat makkelijk te assembleren is, waarbij geen energie gebruikt wordt met assembleren. Vervanging van kapotte onderdelen dient ter plaatse te kunnen.”

4.2.2. PAKKET VAN EISEN EN WENSEN

De resultaten vanuit theoretisch onderzoek, praktijkonderzoek en praktijk vervolgonderzoek in combinatie met een functieboom (Bijlage 4) en procesboom (Bijlage 5) zijn gebundeld tot een pakket van eisen en wensen. Een sectie van het pakket van eisen & wensen is te zien in Figuur 9.

Nr. Eis/Wens	Omschrijving Eis/Wens	Eis / Wens	Bron
Mens			
1	Het hectometerpaaltje kan op 50cm uit de kant van de wegverharding geplaatst worden.	Eis	Handboek ontwerp wegen
2	De onderkant van het hectometer paaltje bevindt zich minimaal op minimaal 60cm boven het maaiveld.	Eis	Handboek ontwerp wegen
3	De onderkant van de reflector bevindt zich op minimaal 50cm boven het maaiveld.	Eis	Handboek ontwerp wegen
4	De afmetingen van het hectometerbord wijken niet af van de huidige borden.	Eis	Handboek ontwerp wegen
5	De reflectoren hebben een minimaal effectief oppervlak hebben van 4000mm ² .	Eis	Handboek ontwerp wegen
6	De kleur mag niet afleidend zijn voor weggebruikers.	Eis	RWS

Figuur 9: Sectie pakket van eisen & wensen

Het pakket van eisen & wensen wordt gebruikt om te toetsen of het ontwerp voldoet binnen de kaders die gesteld zijn door RWS. Deze zijn overzichtelijk weergegeven in Bijlage 6. Er zijn verschillende bronnen gebruikt voor deze eisen namelijk: handboek ontwerp wegen vastgesteld door RWS (gestoeld op wet- en regelgeving), RWS zelf (vanwege het Rijksbrede programma circulaire economie) en vanuit de onderzoekersrol (ontwerper).

4.2.3. GEDETAILEERDE PROBLEEMSTELLING

Voorafgaand aan de analysefase is er een voorlopige probleemstelling opgesteld met bijbehorende deelvragen. Deze deelvragen zijn beantwoord en aan de hand hiervan is inzicht verkregen op het probleem. De gedetailleerde probleemstelling is ontstaan vanuit de resultaten uit de analysefase:

Doordat RWS vanaf 2030 50% minder primaire grondstoffen wil gebruiken en vanaf 2050 volledig circulair wil zijn, is het van belang nu al na te denken over nieuw wegmeubilair. RWS staat open voor het idee van een circulair hectometer/- reflectorpaaltje die technisch goed functioneert en een professionele uitstraling heeft. Daarnaast dient het nieuwe ontwerp te zorgen voor makkelijk onderhoud aan de berm, waarbij het paaltje niet tot nauwelijks risico loopt tijdens onderhoud aan de berm. Vervolgens is veiligheid een belangrijk aspect dat centraal staat; het paaltje mag geen gevaar vormen voor weggebruikers. Tenslotte zal het paaltje ter plaatse gemonteerd/gedemonteerd kunnen worden.

4.2.4. ZOEKVELDEN

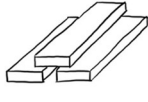
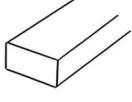
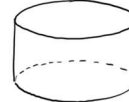
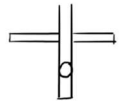
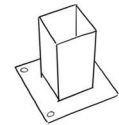
De zoekvelden voor de ideefase zijn voortgekomen uit het pakket van eisen & wensen in de analysefase. De belangrijkste zoekvelden zijn; veiligheid m.b.t. aanrijding, bevestiging van onderdelen, materiaalkeuze en grondverankering. Voor vormgeving en afmetingen zijn geen zoekvelden opgesteld omdat deze zijn vastgesteld door wet- en regelgeving.

4.3. ONTWERP (IDEEFASE)

De derde fase van het ontwerpproces is de ideefase. In de analysefase zijn er zoekvelden opgesteld voor deze fase en beantwoording hiervan vond plaats d.m.v. een creativiteits sessie. Hierbij was het doel om zoveel mogelijk deeloplossingen te creëren voor de deelproblemen, oftewel divergeren. Tijdens deze sessie is gebruik gemaakt van de “hoe kun je” techniek en “brainwrithing”. De ideeën die voortgekomen zijn uit de creativiteits sessie zijn verwerkt tot ideeschetsen en vormden de basis van de deeloplossingen. De ideeschetsen zijn in paragraaf 4.3.2 te vinden. In Bijlage 7 is een vergrote weergave van de afbeeldingen te zien.

4.3.1. MORFOLOGISCH OVERZICHT

De oplossingen die zijn voortgekomen uit de creativiteits sessie die individueel is uitgevoerd, zijn samengevoegd met behulp van de gestelde zoekvelden in een morfologisch overzicht. Per zoekveld zijn de oplossingen in de kaart geplaatst waardoor er een overzicht ontstaan is van alle ideeschetsen. Door verschillende lijnen te trekken tussen de verschillende deeloplossingen is een integraal idee gecreëerd. Een sectie van het pakket van eisen & wensen is te zien in Figuur 10. Het volledig morfologisch overzicht is te vinden in Bijlage 8.

Morfologische kaart							
Diego Marijs	1	2	3	4	5	6	7
Materiaal							
	Staal	Hout	Composiet	Bamboo	Kunstof	Gerecycled Kunstof	Biobased kunstof
Grondbevestiging							
	Schroefdraad	Beton gieten	Kruis verankering	Harpoen verankering	Punt in de grond	Paalframe	Paalframe punt

Figuur 10: Sectie morfologisch overzicht

4.3.2. INTEGRALE IDEEËN

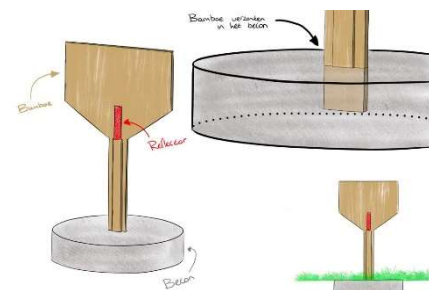
De combinaties van deeloplossingen ontstaan uit het morfologisch overzicht, zijn verwerkt tot drie verschillende integrale ideeën. Deze integrale ideeën zijn vervolgens uitgewerkt in gedetailleerde tekeningen die de werking en vormgeving weergeven. In Bijlage 9 zijn er vergrote weergaven van de integrale ideeën weergegeven.

4.3.2.1. INTEGRAAL IDEE 1

Een hectometer paal gemaakt van bamboe en beton. Het bord met de paal is gemaakt van bamboe.

Voordelen:

- Bamboe heeft een grote opname van CO₂ wat ervoor zorgt dat het een negatieve CO₂ afdruk achterlaat als gebruik van materiaal.
- De voet is gemaakt van recyclebaar beton dat bij breuk verpulverd wordt en zo hergebruikt kan worden voor een nieuwe voet.
- Het beton zorgt er ook voor dat het hectometerpaaltje niet omwaait door de wind.

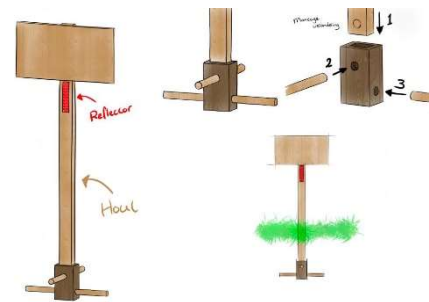


Figuur 11: Integraal idee 1

- Doordat het een grote ronde voet van beton is die net boven het maaiveld uitsteekt, zorgt dit ervoor dat er afstand bewaard kan worden tijdens het machinaal maaien. Hierdoor is er geen extra medewerker nodig die met de bosmaaier langs het paaltje gaat.

4.3.2.2. INTEGRAAL IDEE 2

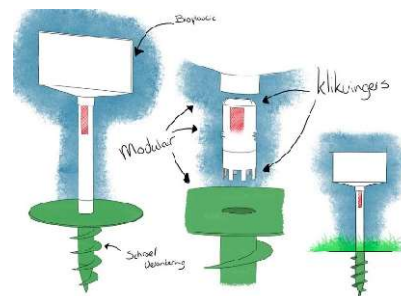
Een hectometerpaal vervaardigd uit hout. Dit idee is gemaakt van hout waardoor er geen primaire grondstoffen gebruikt worden. Het bord wordt bevestigd met RVS-schroeven. De paal zit bevestigd in de grond doormiddel van een grondanker die stapsgewijs in elkaar gezet wordt. Doordat er in het ontwerp rekening is gehouden met bevestiging, is er voor het monteren van het grondanker geen extra materiaal of onderdeel nodig om dit te bevestigen.



Figuur 12: Integraal idee 2

4.3.2.3. INTEGRAAL IDEE 3

Het hectometerpaaltje is volledig gemaakt uit bio-plastic. Doordat de bevestiging gemaakt is met behulp van permanente en niet-permanente klikvingers zijn er geen andere materialen nodig om alles tezamen te assembleren. Door de vormgeving is het mogelijk om het hectometerpaaltje ook te gebruiken als reflectorpaaltje. Hiertoe laat je eenvoudig het hectometerbord eraf. Het paaltje wordt in de grond verankert d.m.v. een schroefanker. Ook is er een afdekplaat.



Figuur 13: Integraal idee 3

4.3.3. KEUZEMATRIX

Uit gesprekken met meerdere medewerkers binnen RWS in combinatie met het theoretisch kader komt naar voren dat circulaire materialen belangrijk zijn. Deze informatie is meegewogen om een keuze te maken tussen de integrale ideeën. Vanuit de keuzematrix zijn er twee integralen ideeën gekozen om verder uit te werken naar concepten d.m.v. een keuzematrix die te vinden is in Bijlage 10. Deze keuzematrix is tot stand gekomen met behulp van het pakket van eisen. Hierbij zijn alle eisen gewogen tussen een score van nul en één. Wanneer een integraal idee volledig voldoet aan een eis dan wordt de score één ingevuld. Wanneer dit niet van toepassing is dan wordt een nul ingevuld. Uit de wegingsmatrix komt naar voren dat integraal idee drie (bio-plastic) het beste scoort op het pakket van eisen en dat integraal idee één (bamboe/beton) en twee (hout) een verschil hebben van één score. Er is gekozen om integraal idee één en drie verder uit te werken tot concept en dit zal verder toegelicht worden in Bijlage 10. Figuur 14 geeft een sectie van de keuzematrix weer.

Nr. Eis/Wens	Omschrijving Eis/Wens	Eis / Wens	Weging	Integraal idee 1		Integraal idee 2		Integraal idee 3	
				Score		Score		Score	
	Mens								
1	Het hectometerpaaltje kan op 50cm uit de kant van de wegverharding geplaatst worden	Eis	0-1		1		1		1
2	De onderkant van het hectometer paaltje bevindt zich minimaal op minimaal 60cm boven het maaiveld.	Eis	0-1		1		1		1
3	De onderkant van de reflector bevindt zich op minimaal 50cm boven het maaiveld.	Eis	0-1		1		1		1
4	De afmetingen van het hectometerbord wijken niet af van de huidige borden.	Eis	0-1		1		1		1
5	De reflectoren hebben een minimaal effectief oppervlak hebben van 4000mm^2.	Eis	0-1		1		1		1
6	De kleur mag niet afleidend zijn voor weggebruikers.	Eis	0-1		1		1		1

Figuur 14: Sectie keuzematrix a.d.h.v. pakket van eisen

4.4. ONTWERP (CONCEPTFASE)

In de conceptfase is een omschrijving van de onderdelen gegeven. Met uitzondering van het materiaal PLA-bermgras voor concept één, wordt enkel gebruik gemaakt van bestaande technieken en materialen. De omschrijving van de onderdelen is opgenomen in onderstaande paragrafen. Tot slot is de conceptbeschrijving weergegeven, waarna de keuze van het beste concept is onderbouwd.

4.4.1. UITWERKING INTEGRAAL IDEE TOT CONCEPT

Aan het eind van de ideefase zijn er drie integrale ideeën gewogen aan het pakket van eisen. Hieruit is gebleken dat integraal idee één en drie als beste uit de test naar voren zijn gekomen. De conceptfase is gestart met het uitwerken van de integrale ideeën. Integraal idee één is uitgewerkt in concept twee en integraal idee drie is uitgewerkt in concept één aan de hand van beschrijvingen en afbeeldingen.

4.4.2. BESCHRIJVING EN HAALBAARHEID CONCEPTEN

4.4.2.1. CONCEPT 1

Een vergrote versie van concept 1 is te vinden in Bijlage 11.

Onderdelen

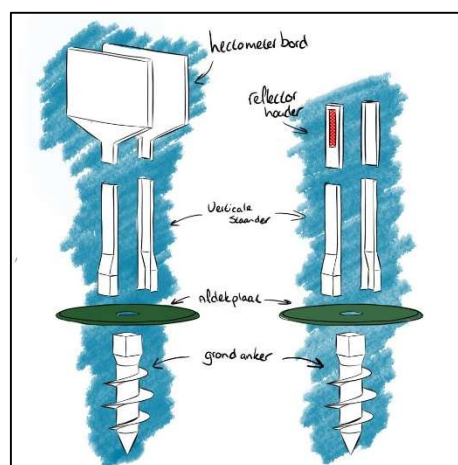
Het concept bestaat uit zes verschillende onderdelen; grondanker, afdekplaat, verticale staander, een hectometer bord, reflector houder, reflectoren en een sticker met de hectometer aanduiding. Doordat er twee verschillende configuraties zijn, kan het zo zijn dat niet alle bovengenoemde onderdelen benodigd zijn, maar slechts een combinatie hiervan. Als een hectometer bord gebruikt wordt, dan zijn de volgende onderdelen van toepassing; grondanker, verticale staander, hectometerbord en sticker. Bij een reflectorpaal zijn de volgende onderdelen nodig; grondanker, verticale staander, reflector houder en reflector.

Materiaal

Het materiaal voor concept één zal volledig vervaardigd worden uit een bio-plastic (buitenom de sticker en reflector). Dit bio-plastic zal bestaan uit een combinatie van polymelkzuur (PLA) en bermgras. De reden dat er voor PLA is gekozen is omdat het een biologisch afbreekbaar plastic is, dit houdt in dat het geen schade aanbrengt aan het milieu.

Naar aanleiding van een gesprek met A. Giezen (senior adviseur Programma's, Projecten en Onderhoud) over nieuwe ontwerpen van een hectometer-/reflectorpaaltje is er gekozen voor een combinatie met bermgras. Uit dit gesprek kwam naar voren dat het wenselijk zou zijn om het gemaaid bermgras te implementeren in het nieuwe ontwerp zodat het afval dat vrij komt tijdens het onderhoud (maaien) hergebruikt kan worden in een nieuw product. Bovenstaande onderschrijft de circulaire gedachte; geen gebruik maken van primaire grondstoffen, maar gebruik maken van een grondstof die telkens opnieuw geoogst kan worden.

Echter is het nog niet vastgesteld of PLA gecombineerd kan worden met bermgras. Er bestaat al wel een vergelijkbaar materiaal genaamd Hemcell. Hemcell is een bio-plastic soort en ook de naam van het bedrijf dat gevestigd zit in Middelburg. Zij produceren PLA vervaardigd met palmbladen zodat de eigenschappen van het PLA veranderd en het beter bestand is tegen hitte (Hemcell, 2022). Echter bestaat Hemcell uit PLA en palmblad, waarbij palmblad erg vezelig is. De vraag is wel of bermgras hetzelfde effect geeft op PLA als dat palmblad dit

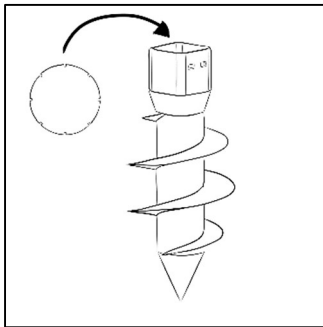


Figuur 15: Concept 1

doet. Er zal dus nog een vervolgonderzoek benodigd zijn naar de combinatie van PLA met bermgras. Dit is tevens ook in de aanbevelingen beschreven.

Bevestiging

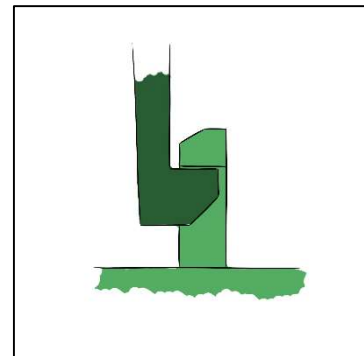
Doordat het concept volledig zal bestaan uit hetzelfde materiaal is de verbinding hiervan ook van dit materiaal. Er zal gebruikt gemaakt worden van verschillende klikvingers, permanente en niet permanente klikvingers. Permanente klikvingers worden gebruikt wanneer twee onderdelen niet uit elkaar gehaald hoeven te worden bij demontage of vervanging van dit onderdeel. Niet permanente klikvingers worden gebruikt wanneer onderdelen wel demonteerbaar moeten zijn voor vervanging door bijvoorbeeld breuk.



Grond verankering

Om er voor te zorgen dat het hectometer-/ reflectorpaatje niet uit de grond komt, is er gebruik gemaakt van een schroefanker. Hierbij wordt het grondanker in de grond gedraaid waardoor deze zichzelf borgt in de grond. Hierbij is nog wel een hulp gereedschap nodig dat helpt bij het bevestigen van het grondanker in de grond. Dit kan eventueel machinaal of met de hand. Aan de binnenkant van het grondanker zitten ribben waar het hulpgereedschap grip kan krijgen om het zo de grond in te draaien.

Figuur 17: Grond anker



Figuur 16: Klikvingers

4.4.2.2. CONCEPT 2

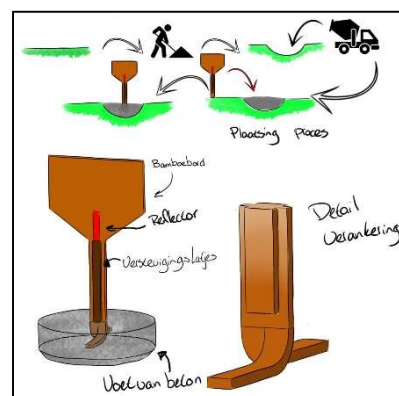
Een vergrote versie van concept 2 is te vinden in Bijlage 12.

Onderdelen

Het concept bestaat uit vijf verschillende onderdelen; voet van beton, verticale staander met bord van bamboe, verstevigingslatjes van bamboe, sticker met hectometer aanduiding en reflectoren.

Materiaal

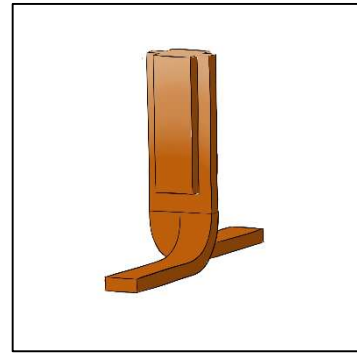
Het materiaal voor het concept zal bestaan uit bamboe en gerecycled beton (buitenom de sticker en de reflector). Tijdens de analysefase is naar voren gekomen dat bamboe (meer dan hout) veel CO₂ opneemt. Dit zorgt ervoor dat het een negatieve CO₂ achterlaat kijkend naar het materiaal. Het beton dat gebruikt wordt, zal komen uit de sloop van kunstwerken langs de snelweg of uit de sloop van gebouwen.



Figuur 18: Concept 2

Bevestiging

De bevestiging van de verticale staander aan het beton zal doormiddel van een voetanker gebeuren. De staander is zo geperst dat er een anker aan de onderkant van de staander zit waar het beton omheen gestort wordt. De verstevigingslatjes van bamboe worden gelijmd aan de staander zodat de staander zelf een verdikking heeft van het materiaal wat meer stijfheid genereert t.o.v. een enkele lat bamboe. Doordat de bamboe verstevigingslatten net boven de betonnen voet zitten en deze daar dunner zijn, zal dit ook het breekpunt zijn bij een aanrijding aangezien het materiaal daar zwakker is.



Figuur 19: Bamboe beton anker

Grond verankering

De verankering van het bord in de grond zal d.m.v. een voet van beton gedaan worden. Door het gewicht van het beton zal het bord niet uit de grond komen bij de weersomstandigheden in Nederland. De betonnen voet zal ter plaatse gegoten worden, aangezien het gewicht van de voet hoger ligt dan 23 kg. In de ARBO wet staat dat een werknemer dit niet mag tillen waardoor er machinale hulp benodigd is bij het plaatsen van de borden. Dit zorgt voor meer uitstoot van schadelijke stoffen tenzij dit elektrisch uitgevoerd kan worden. Het hectometerbord wordt ter plaatse in het beton gegoten.

4.4.3. TOETSING CONCEPTEN

Nadat de concepten zijn uitgewerkt en de haalbaarheid aangetoond is, zijn beide concepten getoetst aan de hand van de wensen in het pakket van eisen & wensen (Bijlage 6). Uit deze toets is naar voren gekomen dat concept één als beste uit de test is gekomen. Dit heeft er voornamelijk mee te maken dat concept één veel hoger scoort op het kwadrant “milieu” van het zonmodel door de mogelijk betere materiaalkeuze van concept één ten opzichte van concept twee. Er wordt namelijk geen gebruik gemaakt van fossiele grondstoffen wat een belangrijke eis en doelstelling van RWS is.

In Bijlage 13 is de totale score van de concepten weergegeven en in Figuur 20 staat de totaalscore concept toetsing.

Totaal score	Concept 1	9	Concept 2	5
---------------------	-----------	---	-----------	---

Figuur 20: Tabel – totaalscore concept toetsing

Naast de toetsing aan het pakket van wensen is er uit meerdere gesprekken met werknemers van RWS naar voren gekomen dat beton recyclen arbeidsintensief is wat hogere kosten met zich meebrengt t.o.v. recyclen van het materiaal bij concept één. Doordat concept één modulair is qua onderdelen en doeleinden scoort deze beter dan concept twee.

4.5. DEFINITIEVE ONTWERPSPECIFICATIES

Hierbij is het concept verder uitgewerkt, getest en geoptimaliseerd. Het hectometer-/ reflectorpaatje is gedetailleerd vastgelegd in een 3D CAD-model. In deze paragraaf wordt de doorbuiging door windbelasting berekend, optimalisaties beschreven, dimensionering en het realiseren van het ontwerp weergegeven.

4.5.1. STERKTE BEREKENING DOOR DE WIND

Er is een in Solidworks simulatie uitgevoerd, waarbij er gekeken is wat de doorbuiging van het hectometerbord zal zijn onder de meest extreme weersomstandigheden in Nederland. Extreme weersomstandigheden kan gedefinieerd worden als windkracht 12 op de schaal van Beaufort.

Om de simulatie uit te voeren, dient er eerst berekend te worden wat windkracht 12 voor kracht uitoefent op het hectometerbord. Uit de berekening en simulatie is naar voren gekomen dat er een maximale doorbuiging is van 6 millimeter op het hoogste punt van het bord. De berekening en simulatie zijn te vinden in Bijlage 14.

4.5.2. EIND CAD MODEL

Tijdens het uitwerken van het 3D CAD model zijn er meerdere optimalisatieslagen gemaakt. Er is gekeken op het gebied van productietechniek en constructie naar optimalisatie en verbetering. Deze aanpassingen zijn binnen de opgestelde eisen van de opdrachtgever en onderzoeker uitgevoerd. De eindresultaten van het 3D CAD model zijn te vinden in Bijlage 15. Tijdens het maken van het 3D CAD model is er rekening gehouden met het productieproces spuitgieten. Hierbij is ervan uit gegaan dat de spuitgietmal bestaat uit twee delen zonder toevoegingen bewegende delen. Hiermee wordt bedoeld dat het bestaat uit een boven- en onderkant. Er wordt geen gebruik gemaakt van inserts.



Figuur 22: 3D CAD-model reflectorpaal



Figuur 21: 3D CAD-model hectometerpaal

4.5.3. KOSTPRIJS SCHATTING

Allereerst is het gewicht van de verschillende onderdelen bepaald door een analyse in Solidworks die weergeeft wat het gewicht is van het desbetreffende onderdeel. Doordat de gekozen materiaalsamenstelling van PLA en bermgras nog niet bestaat is er in solidworks gebruik gemaakt van het materiaal PLA. Dit materiaal komt het dichtst bij het materiaal PLA en bermgras. Daarna is via 247plastics (247plastics, 2022) een tool gebruikt waarmee de kostprijs is bepaald bij een oplage van 10.000. De mogelijke kostprijs voor de hectometerpaal bedraagt €38,92 en voor de reflector paal €26,90.

De kostprijs schatting (excl. Sticker en reflectoren) van het gekozen concept is geschat en nader uitgewerkt in Bijlage 16.

4.5.4. 2D DOCUMENTATIEPAKKET

Van het 3D CAD model is een 2D documentatiepakket gemaakt van de onderdelen. Hierin zijn de hoofmaten van het hectometer- en reflectorpaaltje weergegeven. Het hectometerpaaltje heeft maximale breedte van 700 mm (door de afmeting van de afdekplaat) en een hoogte is 939 mm vanaf grondniveau gemeten. De breedte van het hectometerpaaltje zonder afdekplaat is 622 mm. De dikte het hectometerbord zal 50 mm bedragen. Voor de reflectorpaal is de maximale breedte tevens 700 mm (ook door het formaat van de afdekplaat) en de hoogte is 707 mm vanaf grondniveau gemeten. De breedte van het reflectorpaaltje zonder afdekplaat is 100 mm. De dikte van het reflectorpaaltje is ook 50 mm net als dat van het hectometerbord. Dit komt om de modulariteit van het ontwerp te waarborgen. Daarnaast zijn de hoofmaten van de het hectometer-/ reflectorpaal weergegeven in het 2D documentatiepakket in Bijlage 17. Er zijn alleen hoofmaten weergegeven in het 2D documentatiepakket omdat deze maten van belang zijn voor de eisen die er gesteld zijn door RWS aan de afmetingen van de twee ontwerpen.

4.6. SAMENVATTING ONDERZOEKSRESULTATEN

Om circulair wegmeubilair te ontwikkelen is er een ontwerp gerealiseerd van een circulair en modulair hectometer-/ reflectorpaaltje. Doormiddel van permanente en niet-permanente klikvingers is er geen ander materiaal nodig om het paaltje te assembleren. Het paaltje is ook zo ontworpen dat de eerste onderdelen in een sociale werkplaats geassembleerd kunnen worden, waarna het hectometer-/ reflectorpaaltje ter plaatse volledig geassembleerd kan worden.

Doordat er in het ontwerp rekening is gehouden met onderhoud aan de berm, is er een afdekplaat rond de paal gekomen. Hierdoor is er na het maaien geen nabehandeling (werknemer met een handmaaier) nodig om het hectometer-/ reflectorpaaltje grasvrij te maken. Ook zorgt deze afdekplaat ervoor dat de machinale maaier niet te dicht langs de paal kan gaan, waardoor er minder kans is dat de maaier tegen het paaltje aankomt tijdens het maaien waardoor schade aan het paaltje kan optreden.

Uit een krachtberekening van de wind blijkt dat het hectometerpaaltje bestand is tegen windkracht 12 op de schaal van Beaufort. Hierbij heeft het uiterste puntje van de paal een verplaatsing van 6,6 millimeter. Deze berekening is te vinden in Bijlage 14.

Het materiaal van het ontwerp zal indien mogelijk volledig bestaan uit bio-plastic waarbij de samenstelling bestaat uit PLA en bermgras. Hierdoor is het paaltje circulair en kan het vervaardigd worden uit het restmateriaal welke tijdens het maaien van de berm vrij komt. Doordat PLA recyclebaar is, kan het gebruikt worden voor een nieuw paaltje als het onderdeel kapot is. Hierdoor is het hectometer-/ reflectorpaaltje volledig circulair. Het hectometerpaaltje heeft een gewicht van 5425 gram en het reflectorpaaltje heeft een gewicht van 3763 gram.

De schatting van de kostprijs van een hectometerbord komt uit op €38,92 en die van een reflectorpaal op €26,90 (prijzen zijn excl. Sticker/reflectoren). Deze prijzen zijn berekend bij een oplage van 10.000 stuks van alle onderdelen.

5. CONCLUSIE, DISCUSSIE & AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk bevinden zich de antwoorden op de hoofd- en deelvragen aan de hand van de resultaten die zijn voortgekomen uit de onderzoeksresultaten. De betrouwbaarheid, bruikbaarheid en validiteit van dit onderzoek is vervolgens geanalyseerd in de discussie waar vervolgens de aanbevelingen uit volgen voor een vervolgonderzoek en product optimalisatie.

5.1. CONCLUSIES

In deze paragraaf zijn de deelvragen beantwoord die input vormden ter beantwoording van de onderzoeksvraag. In een korte samenvatting zijn de voorlopige ontwerpspecificaties omschreven, welke oplossingen zijn getoetst aan het pakket van eisen & wensen en wat de definitieve ontwerpspecificaties zijn van het concept.

5.1.1. HERHALING ONDERZOEKSVRAAG & ONTWERPVISIE

De centrale vraag binnen dit onderzoek luidt:

“Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is?”

De ontwerpvisie binnen dit onderzoek luidt:

“Een innoverend, circulair en modulair paaltje dat makkelijk te assembleren is, waarbij geen energie gebruikt wordt met assembleren. Vervanging van kapotte onderdelen dient ter plaatse te kunnen.”

5.1.2. BEANTWOORDING DEELVRAGEN

Om de centrale vraag te beantwoorden zijn er deelvragen afgeleid en geformuleerd die tezamen de input leveren ter beantwoording van de centrale vraag.

5.1.2.1. WELK ONDERDEEL HEEFT DE MEESTE POTENTIE OM VERBETERD TE WORDEN BINNEN DE TIJD VAN HET ONTWERPONDERZOEK?

Deze deelvraag zorgt ervoor dat er een onderdeel van het A58 gekozen kon worden om te herontwerpen. Dit om later de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden. Deze deelvraag was bepalend voor het gehele ontwerpproces, want zonder deze vraag is er geen onderwerp waar onderzoek naar gedaan kon worden. Om deze vraag te beantwoorden is er praktijkonderzoek gedaan waarbij de onderzoeksvragen A t/m C zijn beantwoord (Bijlage 2). Het onderdeel dat de meeste potentie heeft gehad om verbeterd te worden binnen de tijd van het ontwerponderzoek is een herontwerp van een hectometer-/ reflectorpaal binnen de beschikbare tijd voor uitvoering van het onderzoek.

5.1.2.2. WAT ZIJN DE EISEN EN WENSEN DIE BIJ HET ONTWERP HOREN?

Om bij te dragen aan de beantwoording van de onderzoeksvraag, gaf deze deelvraag handvaten om de rest van het onderzoek te doorlopen. Aan de hand van de onderzoeksvragen die opgesteld zijn in het praktijkonderzoek en het praktijk vervolgonderzoek is er informatie en kennis opgedaan. De conclusies van beide onderzoeken in combinatie met de functieboom (Bijlage 4) en procesboom (Bijlage 5) zijn vertaald in het pakket van eisen & wensen (Bijlage 6). Het pakket van eisen & wensen is ingezet om te kijken of het uiteindelijke concept voldoet aan de opdracht.

5.1.2.3. WAT IS DE ONTWERPVISIE DIE PAST BIJ HET ONDERZOEK?

Aan de hand van het praktijkonderzoek en praktijk vervolgonderzoek in combinatie met het pakket van eisen & wensen is de ontwerpvisie gevormd. Het pakket van eisen & wensen kan gezien worden als voorlopige ontwerpspecificaties. De ontwerpvisie voor het herontwerp van een circulair hectometer-/ reflectorpaaltje luidt;

“Een innoverend, circulair en modulair paaltje dat makkelijk te assembleren is en waarbij geen energie gebruikt wordt met assembleren. Vervanging van kapotte onderdelen dient ter plaatse te kunnen.”

5.1.2.4. WAT ZIJN DE BESTE OPLOSSINGEN DIE BINNEN DEZE EISEN EN WENSEN PASSEN?

De beste oplossingen die voldoen binnen de opgestelde eisen en wensen zijn integraal idee één, een hectometer-/ reflectorpaaltje van bamboe/beton en integraal idee drie, een hectometer-/ reflectorpaaltje van bio-plastic. Hiertoe is gekomen met behulp van een keuzematrix waarbij de oplossingen gescoord zijn t.o.v. het pakket van eisen samen met de ontwerpvisie.

5.1.2.5. WAT IS EEN HAALBAAR CONCEPT DAT CIRCULAIR IS EN DAT VERTAALD IS IN EEN TOTAALOPLOSSING?

Het concept dat haalbaar, circulair is en vertaald in een totaaloplossing is concept één, een hectometer-/ reflectorpaaltje van PLA-bermgras. De redenering waarom dit concept beter scoort dan concept twee, een hectometer-/ reflectorpaaltje van bamboe/beton is omdat deze beter scoort in de keuzematrix t.o.v. het pakket van wensen samen met de ontwerpvisie. Dit heeft er voornamelijk mee te maken dat concept één veel hoger scoort op het kwadrant “milieu” van het zonmodel door de mogelijk betere materiaalkeuze.

5.1.3. BEANTWOORDING ONDERZOEKSVRAAG

“Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58. Dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is?”

In dit onderzoek is gezocht naar antwoord op de vraag: “Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58. Dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is”.

Het resultaat van dit onderzoek is een hectometer-/ reflectorpaaltje dat vervaardigd is uit een mogelijk bio-plastic namelijk; PLA in combinatie met bermgras. Doordat PLA een milieuvriendelijk en recyclebaar plastic is en bermgras een afval product is tijdens het onderhoud aan de berm, kan dit als circulair bestempeld worden. Het ontwerp is slim ontworpen doormiddel van modulaire onderdelen die geassembleerd kunnen worden. Door middel van klikvingers kan het evt. voor-geassembleerd worden in een sociale werkplaats en later op locatie af-geassembleerd worden. De afdekplaat zorgt ervoor dat het onderhoud makkelijker uitgevoerd kan worden en verlaagd het risico dat er machinaal schade aangebracht wordt aan het paaltje. Door het gebruik van modulariteit, klikvingers en de optie om het ter plaatse te assembleren, kan worden bespaar op CO₂ uitstoot door het aantal ritten te beperken die nodig zijn om een paaltje te vervangen of te repareren. Het ontwerp is visueel weergegeven in Figuur 23. Vergrote weergaves van het ontwerp zijn opgenomen in Bijlage 15.



Figuur 23: Definitief ontwerp.

5.1.4. OVERALL CONCLUSIE ONDERZOEK

Voor de volledigheid staan onderstaand nogmaals de centrale vraag en de ontwerpvisie opgenomen:

“Wat is het herontwerp van een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is?”

“Een innoverend, circulair en modulair paaltje dat makkelijk te assembleren is, waarbij geen energie gebruikt wordt met assembleren. Vervanging van kapotte onderdelen dient ter plaatse te kunnen.”

Vanuit het theoretisch kader is er tijdens het ontwerpen vooral rekening gehouden met circulaire economie. In het ontwerp wordt er gebruik gemaakt van: minder gebruik van grondstoffen en gebruik van gerecycled materiaal. Er is circulair ontworpen, met eventueel hergebruik van onderdelen en er is zo ontworpen dat reparatie en onderhoud makkelijk uitgevoerd kunnen worden. Doordat er bij het ontwerpen rekening is gehouden met het feit dat reparatie en onderhoud makkelijk uitgevoerd kan worden, zorgt dit ervoor dat de aannemer die het prestatiecontract aangaat met RWS minder CO₂ uitstoot; ze hoeven minder vaak voor een reparatie langs te komen doordat tijdens het inspectie rondje het hectometer/- reflectorpaaltje direct ter plaatse vervangen of gerepareerd kan worden. Ook wordt het onderhoud aan de berm vergemakkelijkt door het toevoegen van een afdekplaat. Hierbij is er tijdens het maaien van de berm niet een extra handeling nodig om met een handmaaier langs het paaltje te maaien, maar kan dit in één keer machinaal gedaan worden.

Het opgeleverde concept ontwerp draagt bij aan het hoofddoel van dit afstudeeronderzoek, namelijk om de opdrachtgever RWS ZD te voorzien van een concept ontwerp voor een onderdeel van de A58 dat circulair, makkelijk in onderhoud en milieubelasting verlagend is. Er is in beeld gebracht welke milieuvriendelijkere wegmeubilair- varianten er al bestaan en wat de kenmerken zijn van deze varianten. Daarnaast is er doormiddel van een methodische aanpak een ontwerpvoorstel gedaan om een onderdeel van het wegmeubilair met circulariteit als hoofddoel te verduurzamen. Hierbij is haalbaarheid van het ontwerp de belangrijkste factor geweest.

5.2. DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden de overeenkomsten en de verschillen tussen het theoretisch kader en de conclusies van het ontwerp onderzoek beschreven ten opzichte van elkaar. Daarnaast wordt op basis van het theoretisch kader en het onderzoek volgens de methodologie de validatie van dit onderzoek meegenomen

5.2.1. RELATIE VAN ONDERZOEK MET THEORETISCH KADER

Aan de hand van het conceptueel model zijn er kadervragen opgesteld die de basis hebben gelegd voor een theoretisch kader. De samenhang van het theoretisch kader met het onderzoek is evenredig met elkaar en is terug te zien in het productontwerp waaronder ook het gehele ontwerpproject. Circulaire economie is de rode draad geweest in het gehele ontwerpproces en daarom ook terug te zien in het ontwerp van het hectometerpaaltje. Ook is er tijdens het ontwerpproces rekening gehouden met de prestatiecontracten, doordat in het ontwerp rekening is gehouden dat assemblage eenvoudig uitgevoerd kan worden en er rekening is rekening gehouden met onderhoud van de berm. Het ontwerp is dus zo ontworpen dat het onderhoud tijdens prestatiecontracten vergemakkelijkt.

De volgende keuzes en oplossingen staan ter discussie van het theoretisch kader;

- Het ontwerp is op basis van circulaire materialen ontworpen zoals de basis van het theoretisch kader beschrijft. De materialen die hiervoor gebruikt zijn theoretisch volledig circulair.
- Het ontwerp is zo ontworpen dat het onderhoud tijdens prestatiecontracten vergemakkelijkt. Het is echter niet in de praktijk getest aangezien het hier gaat over een concept ontwerp.
- In het theoretisch kader wordt uitgelegd wat MKI waarde betekend. Het staat echter nog ter discussie of het productontwerp ook een daadwerkelijk een lagere MKI waarde heeft dan de huidige hectometerpalen aangezien de combinatie van het materiaal PLA-bermgras nog niet bestaat. De schatting is dat de het productontwerp een lagere MKI waarde heeft, aangezien de MKI een optelling is van alle milieueffecten samen in één score en wordt uitgedrukt in euro's. Eén van de milieueffecten betreft opwarming van de aarde als gevolg van emissies van broeikasgassen in de lucht. In de huidige situatie kost het vijf ritten om een hectometer-/ reflectorpaaltje te vervangen, in de toekomstige situatie zou dat met dit ontwerp gereduceerd kunnen worden tot twee à drie ritten.

5.2.2. RELATIE VAN CONCEPTONTWERP I.C.M. OSKAM

Volgens de gekozen methode is de kwaliteit van het gehele ontwerpproces gewogen aan het pakket van eisen en wensen. De eisen en wensen die in het pakket staan, zijn voortgekomen uit de onderzoeken die zijn uitgevoerd tijdens de analysefase en deze zijn in het gehele ontwerpproces aangepast en bijgewerkt. Het toetsen van de ontwerpen aan het pakket van eisen en wensen vond plaats in de ideefase en conceptfase. Hierbij is rekening gehouden dat de ontwerpen dienen te voldoen aan de eisen. Voor de wensen is dit minder van toepassing, maar hierbij geldt wel aan hoe meer wensen het ontwerp voldoet des te beter. De huidige ontwerp specificaties van een technisch haalbaar hectometerpaaltje zijn voortgekomen uit de conceptfase en deze geven antwoord op de onderzoeksvraag. Aan het begin van het ontwerpproces is er gesteld dat er een concept opgeleverd gaat worden met een 3D CAD model. Hierdoor is er geen materialisatiefase uitgevoerd waardoor het ontwerp niet getest is aan de eisen door de onderzoeker. Het hectometerpaaltje is hierdoor nog niet klaar om in productie genomen te worden.

5.2.3. BETROUWBAARHEID, BRUIKBAARHEID EN VALIDITEIT

5.2.3.1. BETROUWBAARHEID

De betrouwbaarheid van dit onderzoek is vooral gericht op stabiliteit en navolgbaarheid. Een controle voor de stabiliteit is herhaling van het onderzoek. Een letterlijke kopie is meestal niet mogelijk omdat er tijdens de creativiteits sessie andere integrale ideeën uit voort kunnen komen. Dit onderzoek is wel betrouwbaar als er gekeken wordt naar het pakken van eisen & wensen, want er zijn geen andere eisen en/of wensen die gekozen kunnen worden met de verkregen informatie in dit onderzoek. Daarnaast kan er tussen verschillende bronnen wel een kopie van het onderzoek plaatsvinden. Als de resultaten laten zien dat de uitkomsten gelijk zijn aan het onderzoek kan er gesteld worden dat er een betrouwbaar onderzoek heeft plaatsgevonden. Om de betrouwbaarheid van het onderzoek te waarborgen is er enkel gebruik gemaakt van wetenschappelijke publicaties, uitgegeven boeken met bronvermelding, literatuur uitgegeven door bekende auteurs die expert zijn op een bepaald gebied en ten slotte actuele en niet verouderde informatie (maximaal 10 jaar). Alle verwerkte informatie zijn aan meerdere bronnen getoetst voordat het gebruikt is in dit onderzoek. Ook door de combinatie te maken van specifieke vragen in combinatie met de kwadranten van het integrale zonnewiel van Timmers & van de Waals wordt de betrouwbaarheid van het conceptontwerp vergroot doordat er geen tot weinig ontwerpeisen vergeten zijn

5.3.3.2. BRUIKBAARHEID

Dit onderzoek is bruikbaar omdat de opdrachtgever RWS tevreden is met het resultaat van het onderzoek. De resultaten uit dit onderzoek worden door RWS gebruikt om met een opdrachtnemer een handboek op te stellen waarmee er gekeken kan worden naar verdere verduurzaming van de A58.

5.3.3.3. VALIDITEIT

Doordat er gewerkt is met de methode Oskam i.c.m. Timmers & van der Waals kunnen er geldige uitspraken gedaan worden over dit onderzoek. Doordat er na iedere fase van Oskam een deelvraag beantwoord is en hierbij duidelijk te zien is hoe de resultaten tot stand zijn gekomen, kan er gesproken worden over een valide resultaat.

5.2. AANBEVELINGEN

Aan de hand van de conclusie en de discussie zijn er in dit hoofdstuk aanbevelingen beschreven gericht aan ZD. Er zijn aanbevelingen gedaan voor het ontwerp van het hectometerpaaltje en voor een vervolgonderzoek

Voor productontwerp hectometer-/ reflectorpaaltje

Optimalisatie in het materiaalgebruik m.b.t. materiaaldikte kan gedaan worden doormiddel van krachtberekeningen en prototypes testen. Ook zal er ook nog gekeken dienen te worden naar het ontwerp van de klikvingers en of deze ook daadwerkelijk werken. Hiertoe kan de constructie en het materiaal berekend en getest worden, waardoor er een definitieve maatvoering kan ontstaan. Ook dient het ontwerp nog uitgewerkt te worden, zodat het geschikt is om met de productietechniek spuitgieten geproduceerd kan worden. Daarna kan er een nauwkeurigere kostprijs berekend worden van het definitieve ontwerp. Hiertoe dienen er van alle spuitgietonderdelen een offerte aangevraagd te worden bij verschillende leveranciers om te kijken welke het beste voor de hand ligt.

Voor vervolgonderzoek

- Vervolgonderzoek of het mogelijk is om PLA te combineren met bermgras om zo een circulair materiaal genereren.
 - Doordat PLA i.c.m. bermgras een nog niet bestaand product is, maar er wel een vergelijkbaar materiaal is, genaamd Hemcell (PLA-palmblad) dient er nog een vervolgonderzoek plaats te vinden waarin bewezen kan worden of PLA-bermgras een geschikt materiaal is voor het ontwerp.
- Vervolgonderzoek of de MKI waarde verlaagd wordt door het ontwerp.
 - Doordat er nog geen zekerheid bestaat over de opties van het materieel PLA-bermgras, is nog niet bewezen of dit ook daadwerkelijk de MKI waarde verlaagt.
- Vervolgonderzoek hoeveel CO₂ verlaagd wordt door het ontwerp.
 - Uit dit onderzoek blijkt dat de CO₂ uitstoot verlaagd wordt, maar doordat dit ontwerp nog niet getest is in het veld kan er alleen voorspeld worden dat er CO₂ bespaard wordt tijdens onderhoud aan het hectometer-/ reflectorpaaltje maar niet de hoeveelheid CO₂ uitstoot.
- Vervolgonderzoek of het hectometer-/ reflectorpaaltje geschikt is voor ingebruikname.
 - Doordat er geen tijd is geweest in dit onderzoek om het paaltje in het veld te testen is er nog geen zekerheid of de aannames die gedaan zijn in dit onderzoek ook daadwerkelijk zo zullen werken als dat beschreven is.

6. Referenties

- 247plastics. (2022, Mei 11). Opgehaald van 247plastics: <https://247plastics.com/nl/247plastics>
- Agmi. (2022, Maart 3). Opgehaald van Agmi: www.agmi.nl
- Bakker, C., den Hollander, M., van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2019). *Product that Last*. Amsterdam: BIS Publishers.
- Bamboe verkeersborden. (2022, Maart 3). Opgehaald van HR Groep: https://www.hrgroep.nl/Producten/Bamboe_Verkeersborden.html
- Bert Elbersen, R. G. (2022, Maart 3). *Richtlijn Hectomatering*. Opgehaald van regiolab-delft: http://www.regiolab-delft.nl/downloads/Richtlijn_Hectometrering_tcm21-100272.pdf
- Boeijen, A. (2014). *Delft Design Guide*. Amsterdam: BIS Publishers BV.
- Circulaire economie. (2022, Februari 17). Opgehaald van energievergelijk: <https://www.energievergelijk.nl/onderwerpen/circulaire-economie>
- Circulaire economie RWS. (2022, Februari 17). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/duurzame-leefomgeving/circulaire-economie>
- Digitalcanal. (2022, April 12). Opgehaald van Digitalcanal: <http://www.digitalcanal.com/pdf/pdf/Analytical05.pdf>
- Duurzame leefomgeving. (2022, Januari 15). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie/duurzame-leefomgeving>
- Framework circulair bouwen. (2022, Februari 23). Opgehaald van platformcb23: https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Framework_Circulair_Bouwen_Versie_1.0.pdf
- geeksforgeeks. (2022, April 4). Opgehaald van v-model: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-sdlc-v-model/>
- geleiderail. (2022, Maart 3). Opgehaald van Wijma: <https://wijma.com/projecten/projecten-gww/geleiderail/>
- Haalbaarheidstoets Innovatiedoelen en -ambities InnovA58. (2022, Maart 3). Opgehaald van InnovA58: <https://www.innova58.nl/bibliotheek/documenten/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=732412>
- Hectometerborden. (2022, Maart 3). Opgehaald van shop.HRgroep: https://shop.hrgroep.nl/Verkeersveiligheid/Wegbebakening_permanent/Hectometerborden/
- Hemcell. (2022, April 6). Opgehaald van Hemcell: <https://www.hemcell.com/>
- Impact categorieën LCA overzicht. (2022, Maart 23). Opgehaald van Ecochain: <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/impact-categorieen-lca-overzicht/>
- Jonker, J., Stegeman, H., & Faber, N. (2018). *De Circulaire Economie*. Nijmegen.
- Kaart met alle IM wegen en hectometerpalen. (2022, Maart 3). Opgehaald van stichtingimn: <https://www.stichtingimn.nl/101209-kaart-met-alle-im-wegen-en-hectometerpalen-online.php>
- Krul, A. (2022, Mei 31). *Hoe doe je deskresearch*. Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/hoe-doe-je-deskresearch/>

- Levenscyclusanalyse*. (2022, Februari 23). Opgehaald van ecochain:
<https://ecochain.com/nl/knowledge/levenscyclusanalyse-life-cycle-assessment-lca-complete-beginners-guide/>
- MacArthur, E. (2015). *Circular economy. Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation.
- Marijs, D. (2022). *START-document*. Ellewoutsdijk.
- Milieukostenindicator*. (2022, Maart 23). Opgehaald van Ecochain: <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/milieukosten-indicator-mki/>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2022, Februari 21). *Gedragscode publiek opzichtgeverschap*. Opgehaald van Rijkswaterstaat Rapportendatabank:
https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_155020_31/
- Morfologische kaart TU Delft*. (2022, Februari 14). Opgehaald van TU Delft:
https://project.3me.tudelft.nl/2017/wb31/morfologische_kaat.html
- Onze organisatie*. (2022, Januari 6). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie>
- Oskam, I. (2012). *Ontwerpen van technische innovaties*. Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Prestatiecontracten RWS*. (2022, Februari 21). Opgehaald van Intranet RWS:
https://corporate.intranet.rws.nl/Organisatie/Organisatieonderdelen/Programmas_Projecten_en_Onderhoud/Directies_en_afdelingen/Inkoop_en_Contractmanagement/Werkwijze_Inkoop_en_Contractmanagement/Prestatiecontracten/
- Reinigen wegmeubilair*. (2022, Maart 10). Opgehaald van growepa:
<https://www.growepa.eu/index.php/reiniging/reinigen-wegmeubilair>
- Rijksoverheid. (2022, Februari 21). *Rijksbreed programma Circulaire Economie*. Opgehaald van Rijksoverheid:
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/09/14/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050>
- Rijkswaterstaat*. (2022, Januari 6). Opgehaald van rijkswaterstaat: www.rijkswaterstaat.nl
- Rijkswaterstaat als opdrachtgever*. (2022, Februari 21). Opgehaald van Rijkswaterstaat:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/rijkswaterstaat-als-opdrachtgever>
- Rijkswaterstaat onze-organisatie*. (2022, Januari 6). Opgehaald van onze organisatie:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie>
- RIVM. (2022, Februari 17). *circulaire economie*. Opgehaald van RIVM: <https://www.rivm.nl/circulaire-economie>
- Specificaties Houten Lichtmasten*. (2022, Maart 3). Opgehaald van toineadams: https://toineadams.nl/wp-content/uploads/2018/11/Algemene-Specificaties-Houten-Lichtmasten_2018.pdf
- Theuws, G. (2022, Februari 18). *vertrouwen en communicatie bepalen succes prestatiecontract*. Opgehaald van tias.edu: <https://www.tias.edu/item/vertrouwen-en-communicatie-bepalen-succes-prestatiecontract>
- Timmers, J., & van der Waals, M. (2009). *Het ontwerpproces in de praktijk*. Amsterdam: Pearson.

trl niveaus uitgelegd. (2022, Maart 7). Opgehaald van Snn: <https://www.snn.nl/kennisbank/trl-niveaus-uitgelegd>

van Glabbeek, N. (2012). *Succesvol studeren, communiceren en leren*. Amsterdam: Pearson.

Wacerwall. (2022, Maart 3). Opgehaald van Wacerwall: www.wacerwall.com

Wat zijn schaduwkosten. (2022, Maart 23). Opgehaald van Ecochain: <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/wat-zijn-schaduwkosten/>

Wegbeheer in nederland. (2022, Mei 31). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/wegbeheer-in-nederland>

Wegbeheerders. (2022, Mei 31). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/wegbeheerders>

Zakendoen met Rijkswaterstaat. (2022, Februari 21). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat>

Zee en Delta Rijkswaterstaat. (2022, Januari 11). Opgehaald van Zee en Delta: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie/organisatiestructuur/zee-en-delta>



Figuur 24: Vergrote versie kaart wegenbeheer Rijkswaterstaat

A) HOE WORDT HET STADIUM VAN INNOVATIE AANGEGEVEN/GEMETEN?

Innovatie wordt aangegeven door Technology Readiness Levels (TRL). De TRL geeft op eenduidige wijze aan in welk stadium de ontwikkeling zich bevindt van innovatie. Hierdoor is het niet alleen inzichtelijk in welk stadium de innovatie zich bevindt, maar er kan ook een inschatting gemaakt worden welke stappen er nog nodig zijn om naar een verder stadium te gaan. Dit betekent hoe hoger het TRL des te meer innovatie zich functioneel en technisch aanwezig is en hoe sneller deze innovatie toepasbaar is. (productenoverzicht cwm)

De Technology Readiness Levels worden aangeduid in negen levels en in vier fasen onderverdeeld, namelijk:

- De Discovery fase (TRL 1,2 & 3)
- De Development fase (TRL 4,5 & 6)
- De Demonstration fase (TRL 7 & 8)
- De Deployment fase (TRL 9)



Figuur 25: Stadium van innovatie.

TRL 1: Fundamenteel onderzoek

Er wordt onderzoek gedaan naar het innovatieve idee en de basisprincipes hiervan. Hierbij wordt er voornamelijk fundamenteel onderzoek en deskresearch gedaan.

TRL 2: Toegepast onderzoek

Hierbij worden basisprincipes onderzocht en wordt er gekeken naar de formulering van het technologisch concept en de praktische toepassingen hiervan. In deze fase wordt er vooral experimenteel en/of analytisch onderzoek uitgevoerd.

TRL 3: Proof of concept

Er wordt onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van het concept op experimentele basis (experimenteel proof of concept). Er wordt getoetst en gevalideerd naar hypothesen over verschillende componenten van het concept.

TRL 4: Implementatie en test prototype

Hierbij wordt de Proof-of-concept van innovatie op labschaal getest. Het design, de ontwikkeling en testen van de technologische componenten vinden plaats in een lab omgeving. Er worden technische basiscomponenten samengevoegd met elkaar om de werking te garanderen. Een prototype dat in deze fase ontwikkeld wordt kost relatief weinig geld en tijd om te ontwikkelen.

TRL 5: Validatie prototype

Er wordt onderzoek gedaan naar de werking van het concept in een relevante omgeving. Een prototype dat in deze fase wordt ontwikkeld kost relatief veel tijd en geld en komt dicht in de buurt van het uiteindelijke product.

TRL 6: Demonstratie prototype in testomgeving

Het concept gaat uitgebreid worden getest en gedemonstreerd in een testomgeving, Deze testomgeving lijkt op de uiteindelijke omgeving. Het testen vindt plaats na de technische validatie in een relevante omgeving. Het concept geeft inzicht in de werking van alle componenten samen.

TRL 7: Demonstratie prototype in operationele omgeving

In level 7 wordt het concept getest en gedemonstreerd in een gebruikersomgeving om de werking in een operationele omgeving te bewijzen. De demonstratie van het concept in een praktijkomgeving levert nieuwe inzichten op voor de definitieve markttoepassing van de innovatie.

TRL 8: Product/ dienst is compleet en operationeel

In deze fase krijgt de innovatie zijn definitieve vorm. De technologische werking is getest en het is bewezen dat het voldoet aan gestelde eisen, verwachtingen, kwalificaties en normen (certificering). Daarnaast worden er de financiële kaders voor (massa)productie en lancering bepaald.

TRL 9: Marktintroductie product/dienst/procedé

De innovatie is technisch en commercieel gereed.

(trl niveaus uitgelegd, 2022)

B) WELKE ONDERDELEN HOREN ER BIJ DE SNELWEG A58?

Bij een snelweg komt meer kijken dan alleen de weg waar de voertuigen zich over verplaatsen. Dit kan verder verdeeld worden in verschillende groepen. Hieronder staan die groepen verder uitgewerkt:

1. Voertuig geleiderail

Groep 1 is de voertuig geleiderail ook wel de vangrail genoemd. Het doel van de voertuig geleiderail is het afschermen van gevaren op bruggen en in de bermen. De bedoeling van een geleiderail is dat als er een voertuig van de weg geraakt, deze terug wordt geleid naar de weg. De geleiderail is dus een veiligheidsregel om een voertuig terug te krijgen naar de weg.

2. Bebakening, bebording en bewegwijzering

In deze groep bevinden zich de borden die gebruikt worden op en om de snelweg heen. De grote borden boven de weg, hectometerborden, bewegwijzering en verkeersborden. Maar ook de reflectorpaaltjes langs de snelweg en de informatieborden op verzorgingsplaatsen horen bij deze groep.

3. Bewegwijzering constructie

In deze groep bevinden zich de staanders en de palen langs de weg waar de bewegwijzeringsborden uit productgroep 2 aan hangen.

4. Verkeerskundige draagconstructie

Onder deze groep vallen de portalen die boven de weg hangen. Aan deze portalen hangen de grote verkeersborden uit productgroep 2. De meeste van deze portalen worden uitgevoerd als vakwerkportaal omdat er tijdens het ontwerp van een dergelijk portaal aandacht wordt besteed aan een eenvormig wegbeeld.

5. Verlichting

In deze groep bevindt zich alle verlichting die langs de snelweg staat inclusief alle verlichting op verzorgingsplaatsen. Het betreft alle onderdelen van de verlichting: de lampen, de palen, de bedrading en ook de armatuur.

6. Stof- en geluid beperkende constructie

In deze groep behoren de geluidschermen en luchtschermen. Geluidschermen zijn de schermen die langs de weg staan om huizen te beschermen tegen geluidsoverlast van de auto's op de snelweg. Luchtschermen zijn schermen om fijnstof vervuilde lucht tegen te gaan.

7. Hemelwaterafvoer

In deze groep bevinden zich regenbuizen, rioleringsystemen en kolken om regenwater af te voeren. Dit zodat de weg droog genoeg blijft om veilig over de weg te kunnen blijven rijden.

8. Wegkantsysteem

Met wegaktsystemen worden de elektriciteitskasten bedoeld die ervoor zorgen dat de verlichting en de elektronische verkeersborden bestuurd kunnen worden. Deze elektriciteitskasten staan in de berm naast een portaal.

9. Raster

Dit is het hekwerk dat ervoor zorgt dat fauna vanuit de gebieden rond de snelweg niet op de snelweg terecht kan komen. Denk hierbij aan herten of everzwijnen.

10. Diversen

Onder deze groep bevinden zich bermen, maar ook onderdelen van een verzorgingsplaats. Hierbij valt te denken aan banken, afvalbakken, prullenbakken, toiletten.

C) WELKE ALTERNATIEVEN BESTAAN ER VOOR DEZE ONDERDELEN?

1. Voertuig geleiderail

Huidig: De huidige en meest gebruikte voertuig geleiderail zijn gemaakt van verzinkt staal.

Renorail: Renoveren van de bestaande geleiderail. Hierbij wordt er eerst gecontroleerd of de geleiderail nog geschikt is om te renoveren of dat het beter is te recyclen. Tijdens het renovatieproces wordt de geleiderail ontzinkt en daarna weer voorzien van een nieuwe laag zink. Het voordeel van deze geleiderail is dat er minder primaire grondstoffen, minder afval en minder energie gebruikt wordt. Het nadeel van Renorail is dat zink nog steeds kan uitloggen.	TRL 9
Hout: De geleiderail van hout is ontwikkeld om minder milieu belastend te zijn. De levenscyclus van hout zorgt ervoor dat hout de enige is die als CO ₂ neutraal bouw materiaal beschouwd kan worden. Hout is dus een duurzaam alternatief voor verzinktstaal, kunststof en beton. Het hout dient wel geoogst te worden uit verantwoord beheerde bossen. Het hout dient ook gecertificeerd te zijn om te garanderen dat de herkomst van het hout uit deze beheerde bossen komt en niet verkregen is uit het tropisch regenwoud. Het hout dat voornamelijk gebruikt wordt is Azobe. Dit hout wordt vanwege zijn grote sterkte, duurzaamheid en slijtvastheid al veel gebruikt als constructiehout. (geleiderail, 2022)	TRL 7
Bio composiet: Over dit materiaal voor geleiderail is nog weinig bekend. Wat er al wel bekend is dat het zorgt voor CO ₂ reductie en dat het CO ₂ vastgelegd wordt in een duurzaam product.	TRL 7

Als er wordt gekeken naar de overtuig geleiderail en haar alternatieven daarvan is de renorail voorlopig nog de beste oplossing. Dit omdat er nog weinig alternatieven zijn die voldoen aan de eisen. Na een gesprek met A. van Leeuwen (coördinerend/specialistisch adviseur van de afdeling kennis- en innovatiemanagement) is al vrij snel naar voren gekomen dat als er een nieuw alternatief geleiderail bedacht wordt, deze moet voldoen aan de Nederlandse eisen. Zo mag een voertuig geleiderail niet te stijf zijn, maar dient deze de klap van de botsing op te vangen en het voertuig te vertragen. Op het moment dat de geleiderail te stijf is, wordt het voertuig terug gelanceerd op de weg wat voor meer gevaar kan zorgen.

2. Bebakening, bebording en bewegwijzering

Huidig: De huidige verkeersborden bestaan uit aluminium voorzien met een reflecterende sticker met desbetreffende informatie erop.

Renoveren bestaande borden: Bij deze borden worden de bestaande borden hergebruikt. Hierbij wordt er gekeken naar de staat van een bord en als deze nog goed genoeg kan deze direct gebruikt worden op een nieuwe plek. Als de reflecterende sticker niet meer voldoet aan de eisen wordt deze vervangen voor een nieuwe sticker die wel voldoet aan de eisen. Het voordeel van het renoveren van bestaande borden is een reductie van CO ₂ , minder afval en minder primaire grondstoffen. (Agmi, 2022)	TRL 8/9
Bamboe: Het voordeel van bamboe is dat het een hernieuwbare grondstof is en dat het een negatieve CO ₂ voetafdruk heeft over de gehele levenscyclus. Ook is bamboe volledig recyclebaar en kan het gebruikt worden als brandstof voor een biomassa-energiecentrale. Bamboe verkeersborden gaan even lang mee als de huidige borden van aluminium. (Bamboe verkeersborden, 2022)	TRL 9
Biocomposiet: Nabasco 8010 bestaat uit verschillende natuurlijke vezels, vulmiddel uit reststromen en biobased hars. Dit bio composiet zorgt voor een CO ₂ reductie en door CO ₂ vast te leggen in een duurzaam product. Tevens worden er voor dit materiaal geen primaire grondstoffen gebruikt waardoor er ook minder afval is.	TRL 7

Als er wordt gekeken naar deze groep zijn er al genoeg alternatieven. Zo blijkt dat een refurbished verkeersbord de laagste MKI heeft ten opzichte van een nieuw verkeersbord. Uit Figuur 26 kan gesteld worden dat een refurbished bord 23 keer meer milieubewust is ten opzichte van een nieuw verkeersbord en dat een bamboe bord 3,3/3,4 keer meer milieubewust is. Figuur 26 geeft aan hoeveel keer meer milieu bewust een alternatief verkeersbord is ten opzichte van een nieuw verkeersbord.

Verkeersbord	Vierkant	Rond	Driehoek	Gemiddelde
Coilcoated				
Secundair coilcoated	1,0737	1,0737	1,0738	1,0737
Refurbished	22,9956	23,0011	23,0008	22,9992
Bamboe 10mm	3,2930	3,2949	3,4712	3,3520
Bamboe 20mm	1,6465	1,6474	1,7355	1,6760

Figuur 26: Berekening milieuweging verkeersborden.

De tabel in Figuur 26 met de resultaten van de berekeningen waarbij de MKI waarde van een coilcoated bord is gedeeld door één van de andere borden. De input van deze berekeningen is verkregen vanuit de NMD (Nationale Milieu Database). Per verkeersbord is er van de drie verschillende vormen (vierkant, rond en driehoek) de MKI genoteerd zodat er een gemiddelde berekend kan worden over hoeveel meer milieubewust een alternatief verkeersbord is ten opzichte van een nieuwe. In Figuur 27 zijn de waardes genoteerd die overgenomen zijn vanuit de NMD. Over het bio composiet nabasco 8010 zijn geen MKI gegevens beschikbaar, dus deze zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

	vierkant	rond	driehoek
Coilcoated	5,2108	4,0965	2,8797
Secundair coilcoated	4,853	3,8153	2,6819
Refurbished	0,2266	0,1781	0,1252
Bamboe 10mm	1,5824	1,2433	0,8296
Bamboe 20mm	3,1648	2,4866	1,6593

Figuur 27: MKI waardes verkeersborden.

3. Bewegwijzing constructie

Huidig: De huidige bewegwijzing constructies zijn gemaakt van verzinkt staal.

Hergebruikt constructie: Zolang de constructie nog geschikt is voor hergebruik op een andere plaats levert dit minder afval op en is er ook minder primaire grondstof nodig.	TRL 9
Bio composiet: Bio composiet zorgt voor een CO ₂ reductie door CO ₂ vast te leggen in een het product. Ook worden er voor dit materiaal geen primaire grondstoffen gebruikt waardoor er minder afval is. Het nadeel van bio composiet voor palen van verkeersborden is dat bio composiet maar geschikt is tot een bepaalde hoogte i.v.m. het gewicht van het verkeersbord in combinatie met de wind.	TRL 8

Voor de constructie van de bewegwijzing kan geconcludeerd worden dat op het moment een verzinkte stalen mast de beste optie is voor het dragen van een verkeersbord. Dit omdat de alternatieven voorlopig alleen geschikt zijn voor kleinere verkeersborden lager aan de grond ten opzichte van de verkeersborden langs de snelweg.

4. Verkeerskundige draagconstructie

Huidig: De huidige verkeerskundige draagconstructies zijn gemaakt van staal met een coating erop.

Renoportalen: Bij deze variant worden de bestaande portalen voorzien van een nieuwe coating. De oude coating wordt eerst verwijderd waarna er een nieuwe coating geplaatst kan worden. Het voordeel van deze portalen is dat er geen nieuwe primaire grondstoffen gebruikt worden en dat de portalen weer opnieuw in gebruik kunnen worden genomen.	TRL 9
Hybride (hout met kern van staal): Hierbij wordt er een stalen kern omringt met hout. Met deze constructie verminder je het gebruik van primaire grondstoffen en door het gebruik van het hout reduceer je CO ₂ .	TRL 8
Hout: Hierbij wordt de constructie volledig van hout gemaakt. Het voordeel van een draagconstructie van hout is dat er geen primaire grondstoffen gebruikt. Er is een CO ₂ reductie van 13 ton ten opzichte van de huidige draagconstructies.	TRL 6

Voor de portalen boven de snelweg is een renoportaal de beste uitkomst ter vervanging van een nieuw portaal. Als er wordt gekeken naar de versie van hout ontstaat het probleem dat overspanningslengte beperkt is en niet iedere snelwegbreedte overspannen kan worden. Een houten portaal zou wel geschikt zijn voor een tweebaansnelweg.

5. Verlichting

Huidig: De huidige armaturen en paal worden gemaakt van geleverd staal, aluminium en hout wordt ook al gebruikt.

Hergebruik: Zolang de masten nog geschikt zijn voor hergebruik op een andere plaats levert dit minder afval op en is er ook minder primaire grondstof nodig. Er is een kans dat de masten opnieuw geleverd dienen te worden om zo langer mee te kunnen gaan.	TRL 9
Hout & Bio composiet: Masten van hout kunnen zorgen voor CO ₂ reductie en CO ₂ vastleggen in het product. De reductie van het CO ₂ kan oplopen tot 90% ten opzichte van de metalen masten. Ook zorgt het voor minder gebruik van primaire grondstoffen. Masten van bio composiet dragen bij aan een circulaire economie en hierbij verwachten ze een energie besparing van 60% ten opzichte van de huidige masten. (Specificaties Houten Lichtmasten, 2022)	TRL 5
Circulair herontwerpen: circulair herontwerpen van de lichtmasten kan voor een CO ₂ reductie zorgen en dat het CO ₂ wordt opgeslagen in een duurzaam product. Herontwerpen kan ook nog eens zorgen voor minder afval.	TRL 4

Hergebruik is op dit moment de beste oplossing omdat dit ook de minst milieu belastende oplossing is. Als de masten van hout of bio composiet zijn, is dat een betere oplossing op het moment dat er geen mast hergebruikt kan worden. Echter is het probleem met bio composiet of hout dat het maar tot een beperkte hoogte gebruikt kan worden in verband met de sterkte van het materiaal.

6. Stof- en geluid beperkende constructie

Huidig: De huidige schermen zijn gemaakt van verschillende materialen, hierbij kun je denken aan staal, begroeid beton, glas/staal constructie en hout.

Zigzag scherm: Een zigzag scherm zorgt voor een vermindering van 40% staal, 10% beton en 25% CO ₂ tegenover huidige geluidschermen. De kosten van zigzag schermen zijn 10 tot 20% lager door besparing op materiaal. (Haalbaarheidstoets Innovatiedoelen en -ambities InnovA58, 2022)	TRL 8
Wacerwall: Een Wacerwall zorgt voor 71% minder CO ₂ uitsloot tegenover de standaard modulaire geluidschermen. Ze hebben een levensduur tussen 50 en 100 jaar en scoren 50 tot 70% lager op de MKI-score dan de huidige betonnen geluidschermen. (Wacerwall, 2022)	TRL 9

In deze groep zijn er veel verschillende mogelijkheden terwijl er twee maar zijn uitgewerkt omdat deze echt gericht zijn op het milieu. Bij het plaatsen van een stof- en geluid beperkende constructie moet gekeken worden naar hoeveel ruimte er aanwezig is. An de hand van de situatie kan gekeken worden welk idee het best passend is voor het desbetreffende areaal.

7. Hemelwaterafvoer

Huidig: De huidige waterafvoeren zijn gemaakt van kunststof, beton en PVC.

Gerecycled PVC: Dit bespaart natuurlijke grondstoffen waardoor er minder grondstoffen gewonnen hoeven te worden.	TRL 9
Biobound beton: Biobound beton is gemaakt van ongeveer 80% gerecycled materiaal. Het materiaal gebruikt 30% minder cement en door het toevoegen van het olifanten gras wordt er CO ₂ opgeslagen in het materiaal. Er worden dus minder primaire grondstoffen gebruikt.	TRL 7
Gerecycled/ hergebruikt beton: Dit bespaart natuurlijke grondstoffen waardoor er minder grondstoffen gewonnen hoeven te worden.	TRL 9

Biobound beton is het meest milieu vriendelijke vanwege dat het van gerecycled materiaal is gemaakt en door de toevoeging van olifanten gras wordt er ook nog eens CO₂ in opgeslagen. Biobound beton wordt nog niet veel toegepast, dus er is nog veel aan te verbeteren. Daarnaast wordt gerecycled/ hergebruikt beton al veel toegepast en is er ook veel bekend over de milieuwinst ten op zicht van biobound beton.

8. Wegkantsysteem

Huidig: De huidige systemen hebben een behuizing van geverfd metaal.

Hergebruik: Zolang de kast nog geschikt is voor hergebruik op een andere plaats levert dit minder afval op en is er ook minder primaire grondstof nodig. Er is een kans dat de kast opnieuw geverfd dient te worden om zo langer mee te kunnen gaan.	TRL 9
Biobased composiet: biobased composiet bestaat uit verschillende natuurlijke vezels, vulmiddel uit reststromen en biobased hars. Dit biobased composiet zorgt voor een CO ₂ reductie en door CO ₂ vast te leggen in een duurzaam product. Ook worden er voor dit materiaal geen primaire grondstoffen gebruikt en ontstaat minder afval. Het is nog niet duidelijk of biobased composiet gebruikt mag worden voor de elektriciteitskasten in verband met brandveiligheid.	TRL 8

Doordat er veel eisen zitten aan het materiaal van een wegwagentje zijn veel alternatieven nog niet geschikt. Op het moment dat er een duidelijke wetgeving is met betrekking tot het materiaal voor een wegwagentje, zijn er meer milieu vriendelijkere mogelijkheden om de huidige te vervangen.

9. Raster

Huidig: De huidige rasters worden uitgevoerd in metalen palen met metaal vlechtwerk.

Biobased composiet: Biobased composiet bestaat uit verschillende natuurlijke vezels, vulmiddel uit reststromen en biobased hars. Dit bio composiet zorgt voor een CO ₂ reductie en door CO ₂ vast te leggen in een duurzaam product. Ook worden er voor dit materiaal geen primaire grondstoffen gebruikt en ontstaat minder afval.	TRL 9
Hout: Door lokaal hout te gebruiken uit het areaal treedt er een CO ₂ reductie op en wordt er CO ₂ opgeslagen in het materiaal waardoor de milieubelasting minder wordt.	TRL 9
Hergebruik: Zolang het raster nog geschikt is voor hergebruik op een andere plaats levert dit minder afval op en is er ook minder primaire grondstof nodig.	TRL 9

Als er wordt gekeken naar de palen van het raster zijn er al meerdere MKI verlagende oplossingen. Alle drie de verschillende alternatieven besparen op primaire grondstoffen en hout/biobased composiet slaan tevens ook CO₂ op in het materiaal.

10. Diversen

Huidig: Verschuillend.

Biobased bermen: Biobased bermen zorgen voor de productie van grondstof voor biobased materialen. Dit zorgt voor een CO ₂ reductie in plaats van het gebruik van fossiele brandstof. Het maaisel dat afkomstig is van bermen kan als grondstof dienen.	TRL 9
Bio diverse bermen: bio diverse bermen zijn goed voor bijen en andere insecten. Doordat niet alles in één keer gemaaid wordt in mei/juni maar dit te faseren, heeft het als voordeel dat er langer bloei is in de bermen voor deze insecten.	TRL 9
Biobased composiet: Biobased composiet bestaat uit verschillende natuurlijke vezels, vulmiddel uit reststromen en biobased hars. Dit bio composiet zorgt voor een CO ₂ reductie en door CO ₂ vast te leggen in een duurzaam product. Ook worden er voor dit materiaal geen primaire grondstoffen gebruikt en ontstaat minder afval.	TRL 9
Hout: Door lokaal hout te gebruiken uit het areaal treedt er een CO ₂ reductie op en wordt er CO ₂ opgeslagen in het materiaal waardoor de milieubelasting minder wordt.	TRL 9
Biobound beton: Biobound beton is gemaakt van ongeveer 80% gerecycled materiaal. Het materiaal gebruikt 30% minder cement en door het toevoegen van het olifanten gras wordt er CO ₂ opgeslagen in het materiaal. Er worden dus minder primaire grondstoffen gebruikt.	TRL 7

Als er in deze groep gekeken wordt, kan er gesteld worden dat deze in twee groepen te verdelen is namelijk: bermen en meubilair van een verzorgingsplaats. Ten aanzien van de bermen valt er te concluderen dat er gekeken kan worden naar het bestemmingsplan van de berm. Wilt RWS de bermen gebruiken als grondstof voor biobased materialen of willen ze hem gebruiken voor het behoud van flora & fauna. Als er gekeken wordt naar het meubilair van de verzorgingsplaats zijn er verschillende oplossingen mogelijk. Daarbij dient ook meegenomen te worden in het ontwerpproces het uiterlijk van het meubilair. Het dient namelijk wel esthetisch verantwoord te zijn om het in bepaalde gebieden te plaatsen. Al kan het nog zo milieu vriendelijk zijn, als het niet esthetisch verantwoord is dan komen er alsnog klachten uit voort.

A) WAT IS DE FUNCTIE VAN EEN HECTOMETERPAALTJE?

Hectometerpaaltjes worden geplaatst om een expliciete plaatsbepaling langs de weg aan te geven. De plaatsbepaling heeft zowel een functie voor het melden van ongevallen/incidenten als een administratieve functie. De administratieve functie is het gemakkelijk verwijzen aan een unieke cijfercode die de exacte locatie langs een weg aangeeft. Voorbeelden hiervan zijn:

- locaties te bepalen bij beheer en onderhoud;
- Registratie van verkeersongevallen;
- Onderzoek, analyse, koppeling aan verkeersintensiteiten en wegkenmerken.

Ook zo belangrijk is de functie van hectometercijfer bij het melden van ongevallen en incidenten aan hulpdiensten en politie. Voordat er mobiele telefoons bestonden gebeurde dit vooral via een praatpaal, politie en wegininspecteurs. Tegenwoordig wordt het grootste deel van de meldingen gedaan per mobiele telefoon. Echter zijn ze niet nauwkeuriger geworden qua aanduiding van de exacte locatie. Daarom is de leesbaarheid en duidelijkheid van hectometerpaaltjes voor weggebruikers van groot belang. (Bert Elbersen, 2022)

Hoeveel hectometerpaaltjes staan er op de A58 tussen Vlissingen en Bergen op Zoom?

Om te weten hoeveel hectometerpaaltjes staan op het traject van Bergen op Zoom naar Vlissingen dient er berekend te worden hoeveel paaltjes er op de hoofdweg staan en hoeveel erop de op- en afritten staan. Dit resulteert in de volgende berekening:

	Aantal paaltjes		Aantal paaltjes
Traject Vlissingen - Bergen op Zoom	519	Traject Bergen op Zoom - Vlissingen	519
Op- en afrit Ritthem	7	t Scheld	5
Op- en afrit Middelburg	6	Op- en afrit Rilland	10
Op- en afrit Nieuw- en Sint Joosland	6	BP A58 Vliete	9
Op- en afrit Arnemuiden	4	Afrit Kruiningen	2
Knooppunt Stelleplas	4	Op- en afrit Yerseke	7
Op- en afrit Heinkenszand	12	Afrit Smokkelhoek	5
Total Vliedberg	8	Op- en afrit Kapelle	7
Op- en afrit Goes-Zuid	11	Op- en afrit Goes-Zuid	6
Op- en afrit Kapelle	7	Op- en afrit Heinkenszand	10
Oprit Smokkelhoek	4	Knooppunt Stelleplas	12
Op- afrit Yerseke	2	Tango Snelnisse	8
Oprit Kruiningen	2	Op- en afrit Arnemuiden	4
BP A58 Voetpomp	8	Op- en afrit Nieuw- en Sint Joosland	7
Op- en afrit Rilland	8	Op- en afrit Middelburg	8
Het Rak	8	Op- en afrit Ritthem	6
Totaal	616	Totaal	625
Totaal 1241			

Figuur 28: Tabel aantal hectometerborden A58 tussen Vlissingen en Bergen op Zoom

De gegevens in Figuur 28 zijn verkregen van een wegenkaart van Stichting Incident Management Nederland. (Kaart met alle IM wegen en hectometerpalen, 2022) Met behulp van de kaart is er geteld hoeveel hectometerpaaltjes zijn bij op- en afritten, knooppunten en verzorgingsplaatsen. Voor het traject Vlissingen – Bergen op Zoom en Bergen op Zoom – Vlissingen is er uitgerekend hoeveel hectometerpaaltjes er staan d.m.v. de uiterste paaltjes van elkaar af te trekken en te vermenigvuldigen keer tien aangezien er per kilometer tien hectometerpaaltjes nodig zijn.

B) WELKE EISEN ZITTEN ER AAN EEN HECTOMETERPAALTJE?

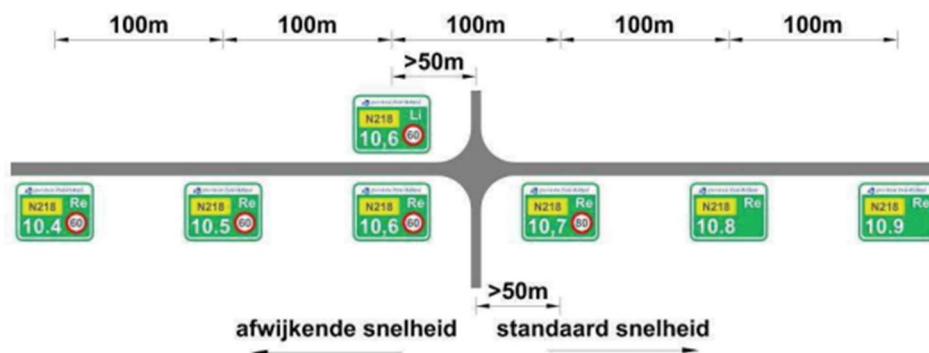
Op gebiedsonsluitingswegen (GOW) type II¹ worden rechts van de hoofdrijbaan in oplopende richting hectometerborden geplaatst zonder Li of Re aanduiding. Bij GOW type I² worden de hectometerborden aan beide zijden van de weg geplaatst met Li of Re aanduiding. Op de hectometerborden is de volgende informatie te vinden:

- Hectometeraanduiding;
- Wegnummer;
- Provinciaal logo;
- Aanduiding maximumsnelheid³ ;

Bij GOW type I de aanduiding 'Re' wanneer de borden aan de rechterzijde van de weg zijn geplaatst (kijkend in de richting van oplopende hectometering) en 'Li' wanneer de borden aan de linkerzijde van de weg zijn geplaatst;

- Altijd op het eerste hectometerbord na een kruispunt;
- Op alle hectometerborden op wegen waar de maximumsnelheid afwijkt van de standaard. (50 km/u binnen bebouwde kom (bibeko) en 80 km/u buiten bebouwde kom (bubeko)).

Figuur 29 geeft een weergave van hectometer borden met snelheidsaanduiding.



Figuur 29: Plaatsing hectometerborden afwijkende snelheid

Hectometerborden worden op een afstand van minimaal 0,50 m uit de kant van de verharding geplaatst óf op 1 m afstand, gerekend vanaf de binnenkant van de kantstreep. De onderkant van het hectometerbord bevindt zich op 0,60 m boven de grond.

Programma van eisen reflectorpalen:

Langs wegvakken worden aan beide zijden van de rijbaan reflectorpalen geplaatst. Het betreft smalle verticaal staande paaltjes met een witte kleur waarop rode en witte reflectoren zijn aangebracht. Hierbij komt de rode

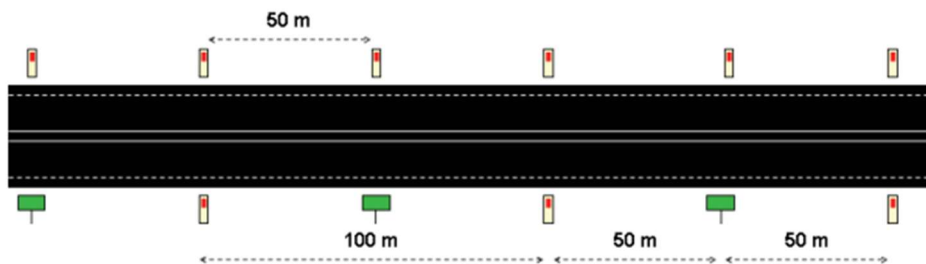
¹ GOW type II is het meest voorkomend en bestaat uit één rijbaan met daarop voor beide rijrichtingen één rijstrook.

² GOW type I bestaat uit 2 rijbanen met ieder 2 rijstroken.

³ Hectometerborden worden in principe zonder snelheidsaanduiding geplaatst. In de volgende situaties worden de hectometerborden wel voorzien van een snelheidsaanduiding:

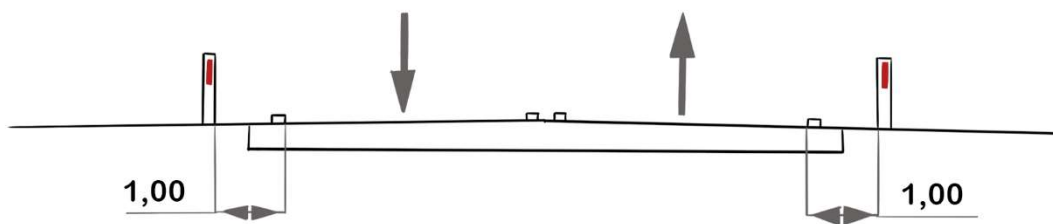
reflector rechts van de rijbaan en de witte aan de linkerkant. De plaatsing van de reflectorpalen wordt hierbij afgestemd op de plaats van de hectometerpalen, zodanig dat aan beide zijden van de hectometerpaal de afstand tot de reflectorpaal 50 m bedraagt. Zie hiervoor Figuur 30. Staan er geleiderails, dan kunnen de reflectoren daarop aangebracht worden en zijn paaltjes niet nodig.

In het geval van verlichte wegdelen kunnen reflectorpalen weg gelaten worden, mits de rijstroken en redresseerstroken breed genoeg zijn. In geval van bochten en discontinuïteiten dienen er altijd reflectorpalen aanwezig te zijn, ook als er openbare verlichting aanwezig is.

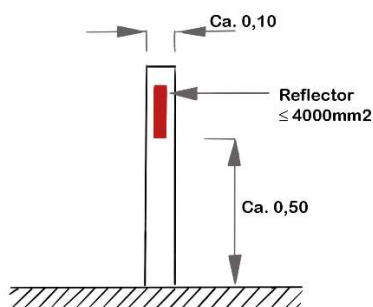


Figuur 30: Plaatsing hectometerborden en reflectorpalen, lengterichting

Reflectorpalen worden op een afstand van minimaal 0,50 m uit de kant van de verharding geplaatst óf op 1 m afstand, gerekend vanaf de binnenkant van de kantstreep. Zie Figuur 31. De onderkant van de reflector bevindt zich op 0,50 m boven de grond. Zie Figuur 32



Figuur 31: Plaatsing reflectorpalen, dwarsrichting



Figuur 32: Plaatsing reflector

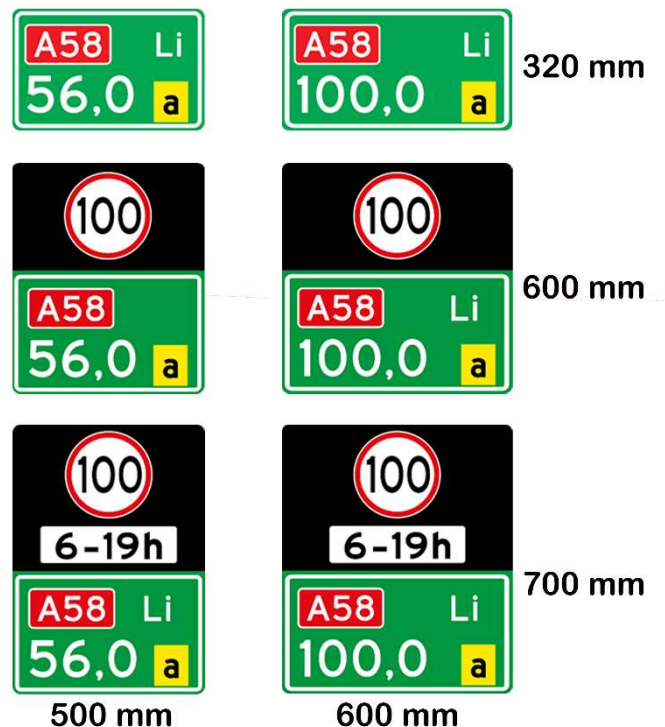
C) WELKE AFMETINGEN HEEFT EEN HECTOMETERBORD?

Er is voor een hectometerbord geen vast afmeting. Dit heeft te maken met dat er verschillende borden zijn die verschillende informatie weergeven. Er zijn twee verschillende soorten breedtes van een bord:

1. 500 mm voor borden met een kilometergetal van twee cijfers voor de komma;
2. 600 mm voor borden met een kilometergetal van drie cijfers voor de komma.

Ten aanzien van de hoogte zijn ook verschillende afmetingen:

1. 320mm voor borden die alleen de snelwegaanduiding en het kilometergetal aangeven;
2. 600mm voor borden die ook nog eens de snelheid aangeven die gereden mag worden;
3. 700mm voor borden die dan ook nog eens de tijdzone aangeven waarin de snelheid gereden mag worden.



In Figuur 33 zijn de verschillende hectometerborden te zien met bijbehorende afmetingen.

Figuur 33: Afmetingen hectometerborden

(Hectometerborden, 2022)

D) WELK ONDERHOUD ONDERGAAT EEN HECTOMETERPAALTJE?

Een hectometer paaltje heeft weinig onderhoud nodig. Eens in de zoveel tijd komt er een schoonmaakwagen langs die het hectometerbord reinigt met twee roterende borstels. (Reinigen wegmeubilair, 2022) Ook kan er bekeken worden qua onderhoud of het hectometerpaaltje en/ of bord aan vervanging toe is en wordt deze zo nodig vervangen. Daarnaast zal er ook nog gemaaid worden langs het hectometerpaaltje. Hiervoor wordt een zitmaaier ingeschakeld en een hovenier met een bosmaaier om zo het gras te verwijderen rond het paaltje zelf omdat de zitmaaier niet zo dicht tegen het paaltje aan kan om te maaien.

E) HOE WERKT HET SYSTEEM MET BETREKKING TOT VERVANGEN VAN EEN HECTOMETERPAALTJE

Uit een gesprek met E. Wagelmans, een medewerker van RWS die gespecialiseerd is op het gebied van onderhoud, blijkt dat voor het vervangen van een hectometerpaaltje een aantal stappen benodigd zijn voordat een hectometerpaaltje vervangen of gemaakt wordt. De volgende stappen zijn van toepassing:

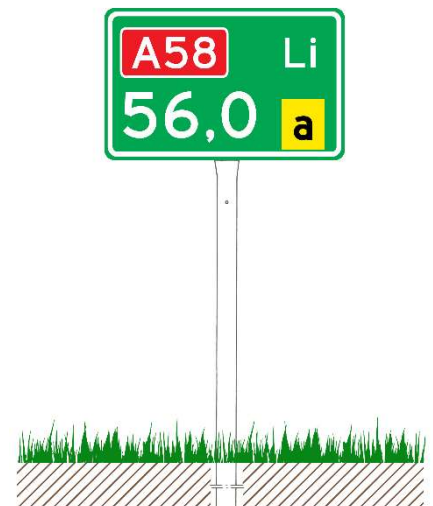
1. Weginspecteur van RWS rijdt over de snelweg en constateert dat er een hectometer paaltje kapot is;
2. Opdrachtnemer controleert naar aanleiding van RWS of het paaltje kapot is en welke benodigheden er nodig zijn om het paaltje te vervangen of te maken;
3. Opdrachtnemer gaat naar het kapotte paaltje toe en vervangt of repareert deze;
4. Opdrachtnemer controleert of het paaltje inderdaad vervangen of gerepareerd is;
5. Weginspecteur van RWS controleert of het paaltje is vervangen na bericht van opdrachtnemer dat het paaltje is vervangen.

Voor het vervangen van een hectometerpaaltje zijn dus in totaal vier of vijf ritten benodigd om het te vervangen en te controleren. Opdrachtnemer controleert niet altijd meer na of het paaltje vervangen is, maar geeft dit dan wel door aan RWS.

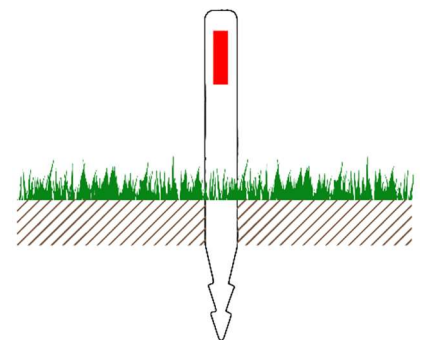
F) HOE ZIJN DE HUIDIGE HECTOMETERBORDEN EN REFLECTORPAALTJES IN DE GROND GEBORGD?

Bij het plaatsen van hectometerborden in wegbermen wordt er gebruik gemaakt van stalen palen met een diameter van ± 38 mm en een lengte van 1200 mm. De palen worden in de grond verankerd door twee stalen buizen kruislings dwars door de verticale paal te boren. Afhankelijk van plaatselijke omstandigheden en grondgesteldheid mag er een afwijkend type verankering worden toegepast, als er aan de met hiervoor gestelde eisen met betrekking tot veiligheid kan worden voldaan. Zie Figuur 34

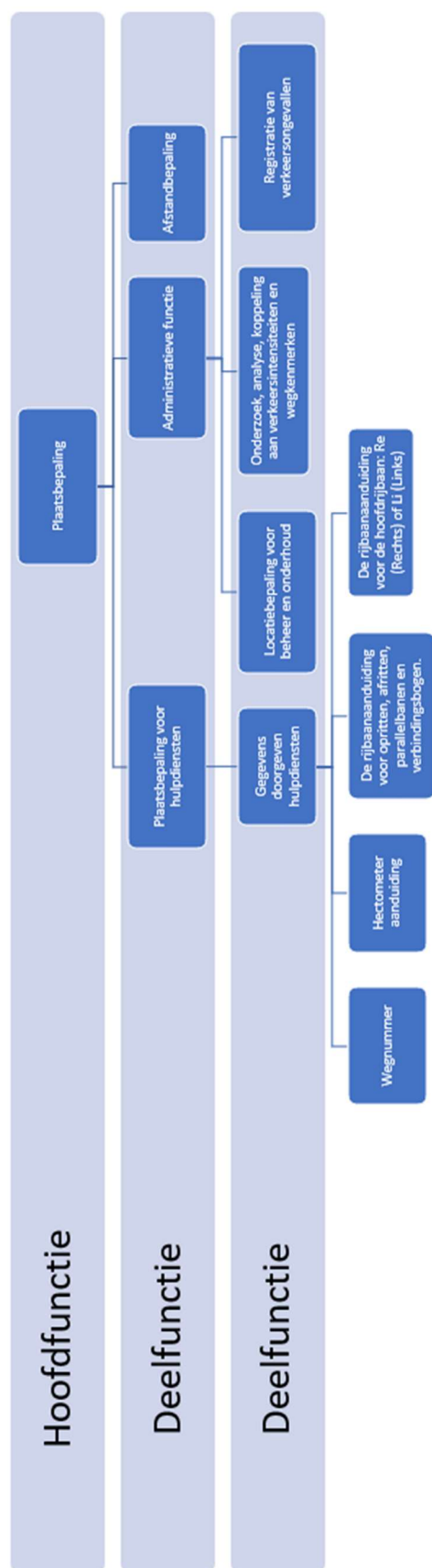
Bij het plaatsen van een reflectorpaaltje wordt het paaltje in de grond gedrukt. Door de vorm van een harpoen waarbij de haken in de grond verankeren en door het aanstampen van de grond rond het paaltje verankert het paaltje zichzelf in de grond waardoor het in de grond geborgd blijft. Zie Figuur 35



Figuur 34: Verankering hectometerpaal



Figuur 35: Verankering reflectorpaal



Figuur 36: Functieboom

BIJLAGE 5: PROCESBOOM

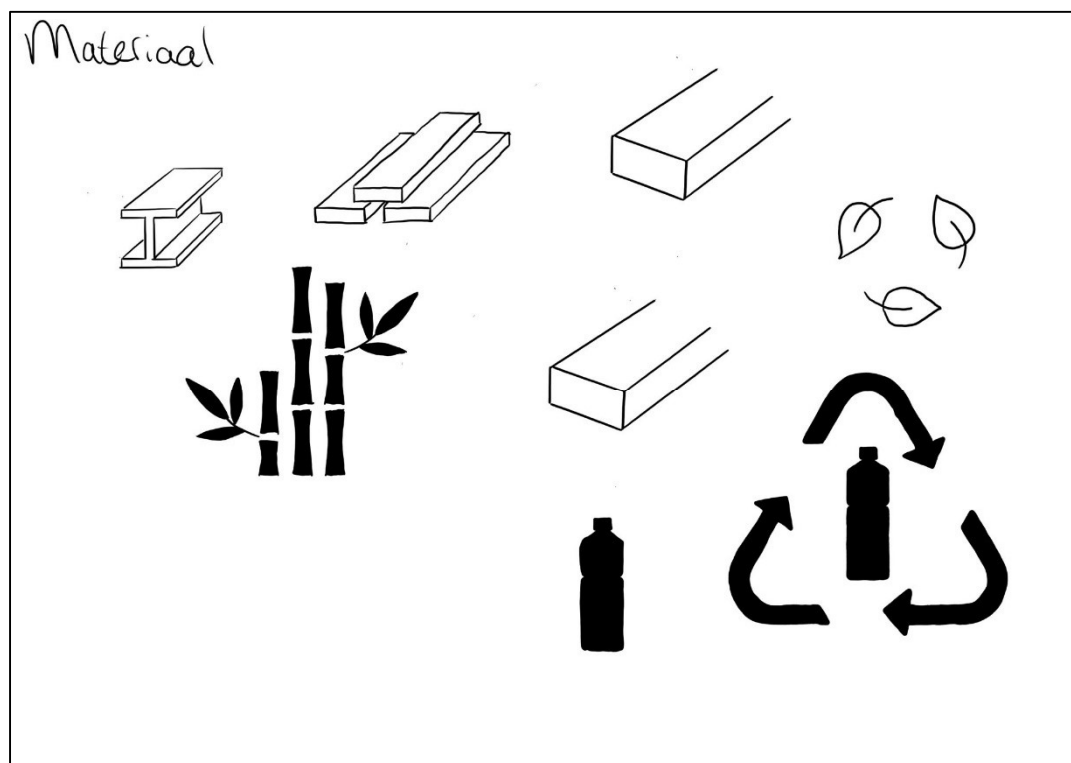
Levensfase	Activiteit	Specificatie	Aantekeningen
Ontstaan	Ontwerpen	Het ontwerp zal ontstaan d.m.v. een afstudeeronderzoek uitgewerkt door D. Marijs.	Onderzoek doen naar een hectometerpaal/bermpaal.
	Productierijp maken	Toekenen van afmetingen d.m.v. 2D-tekenpakket.	Ontwerpen van afmetingen.
	Produceeren	Het produceren van het prototype zal eventueel gedaan worden na de onderzoeksperiode.	D.m.v. 2D-tekenpakket kan het prototype geproduceerd worden.
	Testen	Het prototype zal getest worden op en locatie of die werkt zoals bedoeld is.	Er zal een testlocatie gezocht worden door RWS.
	Verpakken	Het hectometerpaaltje zal verpakt worden per pallet.	Het wordt niet los verpakt omdat het met grote getalen besteld besteld gaat worden.
Verspreiden	Prijs vaststellen	En kostprijs zal berekend worden.	Dit zal gerealiseerd worden na het onderzoek.
	Vervoeren	Het product moet geschikt zijn voor elektrisch vervoer.	Doordat de focus ligt op reduceren milieubelasting wordt het product elektrisch vervoerd.
Gebruik	Opbergen/plaatsen	De onderdelen van het hectometer paaltje worden opgeslagen bij de aannemer.	Aannemer voert het onderhoud uit aan het areaal dus het is de bedoeling dat die de opslag op zich neemt.
		Het hectometerpaaltje moet eenvoudig geplaatst kunnen worden.	Aannemer helpt mee te bedenken wat zij verstaan onder eenvoudig plaatsen.
	In gebruik nemen	Het hectometerpaaltje zal tijdens een prestatiecontract in gebruik genomen worden.	Tijdens een nieuw contract zal opgenomen moeten worden dat het hectometerpaaltje in gebruik genomen wordt.
	Repareren	Repareren van een onderdeel is nodig om materiaal te besparen.	In het kader van circulaire economie is repareren vaak de meest duurzame manier van besparing op grondstoffen.
	Onderhoud	Het hectometer paaltje moet schoongemaakt kunnen worden.	Door schoonmaken van het paaltje kan je de levensduur verlengen.
Verdwijnen	Hergebruik	Het hectometer paaltje moet volledig hergebruikt kunnen worden.	Hectometer paaltje moet demonteerbaar zijn om onderdelen die niet kapot zijn te hergebruiken.
	Recyclen	Als het hectometerpaaltje niet meer hergebruikt kan worden moet het gerecycled worden.	Deze optie alleen als er niets meer mogelijk is.
	Vernietigen	Het hectometerpaaltje kan niet vernietigd worden.	Bij circulaire economie is er geen afval aanwezig in het proces

Figuur 37: Procesboom

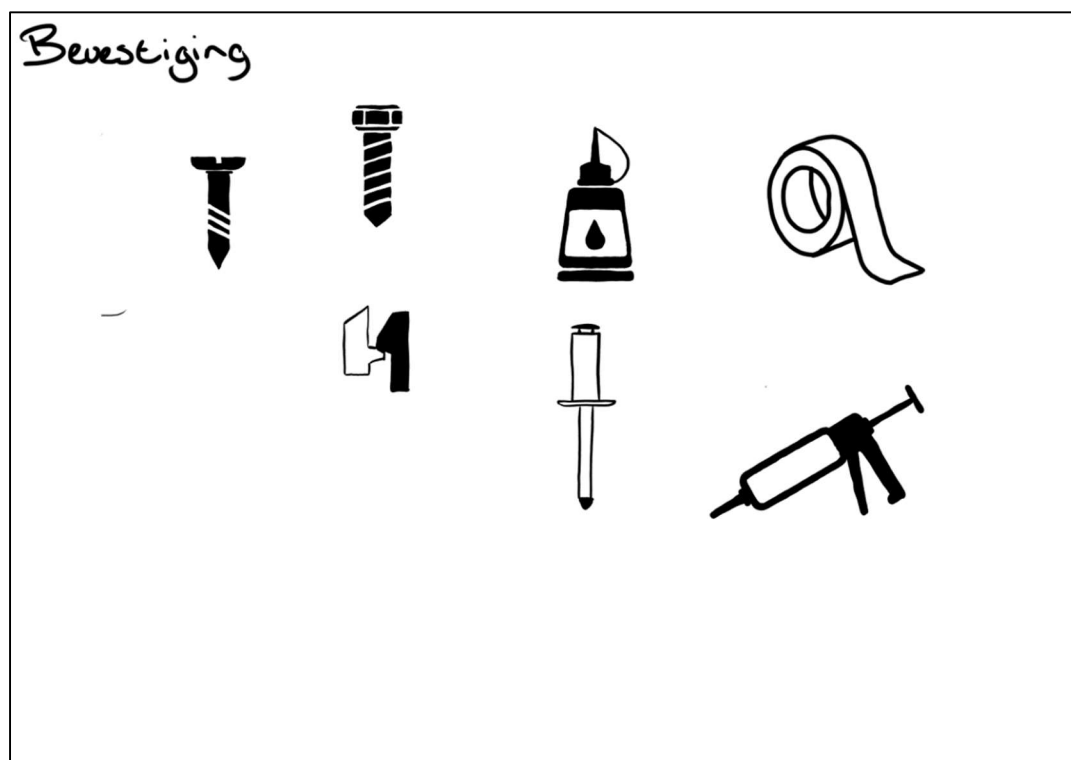
BIJLAGE 6: PAKKET VAN EISEN EN WENSEN

Nr. Eis/Wens	Omschrijving Eis/Wens	Eis / Wens	Bron
Mens			
1	Het hectometerpaaltje kan op 50cm uit de kant van de wegverharding geplaatst worden.	Eis	Handboek ontwerp wegen
2	De onderkant van het hectometer paaltje bevindt zich minimaal op minimaal 60cm boven het maaiveld.	Eis	Handboek ontwerp wegen
3	De onderkant van de reflector bevindt zich op minimaal 50cm boven het maaiveld.	Eis	Handboek ontwerp wegen
4	De afmetingen van het hectometerbord wijken niet af van de huidige borden.	Eis	Handboek ontwerp wegen
5	De reflectoren hebben een minimaal effectief oppervlak hebben van 4000mm ² .	Eis	Handboek ontwerp wegen
6	De kleur mag niet afleidend zijn voor weggebruikers.	Eis	RWS
7	Het materiaal heeft een gladde afwerking hebben.	Eis	Ontwerper
8	Er wordt rekening gehouden met de maten van een menselijke hand zodat assemblage gedaan kan worden zonder speciale gereedschappen voor kleine onderdelen.	Eis	RWS/Ontwerper
9	Het wordt zo ontworpen dat het intuïtief in elkaar geassembleerd kan worden.	Eis	Ontwerper
10	Het mag geen scherpe randen hebben.	Eis	RWS
11	Het bord mag bij aanrijding niet los raken van de paal.	Eis	RWS
12	Het bord mag bij aanrijding niet versplinteren.	Eis	RWS
13	Het bord mag niet bedekt worden door sneeuw ophoping.	Eis	RWS
14	Kan geassembleerd worden in een sociale werkplaats.	Wens	Ontwerper
Markt			
15	Is geschikt voor de Nederlandse markt.	Eis	RWS
16	Is geschikt voor de Europese markt.	Wens	Ontwerper
17	Het straalt kwaliteit uit.	Eis	Ontwerper
18	Het is volledig circulair.	Eis	RWS
Milieu			
19	Het verbruikt zelf geen energie.	Eis	RWS/Ontwerper
20	Het materiaal is milieu vriendelijk.	Eis	RWS
21	Het materiaal is niet schadelijk voor mensen.	Eis	RWS
22	Het materiaal is niet schadelijk voor flora en fauna.	Eis	RWS
23	Het materiaal zorgt niet voor bodemverontreiniging.	Eis	RWS
24	Het materiaal zal weinig milieu belasting opleveren.	Eis	RWS
25	Er zullen zo min mogelijk fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Eis	RWS
26	Er zullen geen fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Wens	Ontwerper
27	Het zal geen schadelijke gassen uitsloten.	Eis	RWS
28	Tijdens de productie van het hectometerpaaltje zullen er geen schadelijke stoffen vrij komen.	Eis	RWS
29	Door modulariteit kan de levensduur van onderdelen verlengd worden.	Eis	Ontwerper
30	Het ontwerp heeft een toepassing voor sensoren.	Wens	Ontwerper
31	Veel materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Eis	RWS
32	Alle materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Wens	RWS
Techniek			
33	Plaatsbepaling voor weggebruikers.	Eis	Handboek ontwerp wegen
34	Bebakening van wegen.	Eis	Handboek ontwerp wegen
35	Het is bestand tegen grondzetting.	Eis	RWS
36	Het is bestand tegen gladheidsbestrijding.	Eis	RWS
37	Het is bestand tegen nederlands weersomstandigheden.	Eis	RWS
38	Er wordt zo min mogelijk materiaal gebruikt. (product optimalisatie)	Eis	Ontwerper
39	Het materiaal gaat minimaal 15 jaar mee	Eis	RWS
40	Het kan gemaakt worden in massaproductie.	Eis	RWS
41	Het kan ter plaatse geassembleerd worden.	Wens	Ontwerper
42	Het is modulair opgebouwd.	Wens	Ontwerper
43	Het materiaal is deels vanuit de natuur	Wens	RWS
44	Het materiaal is circulair.	Eis	RWS
45	Het is te gebruiken tussen -30°C en 60°C.	Eis	RWS
46	Het is te gebruiken tussen -50°C en 80°C.	Wens	Ontwerper

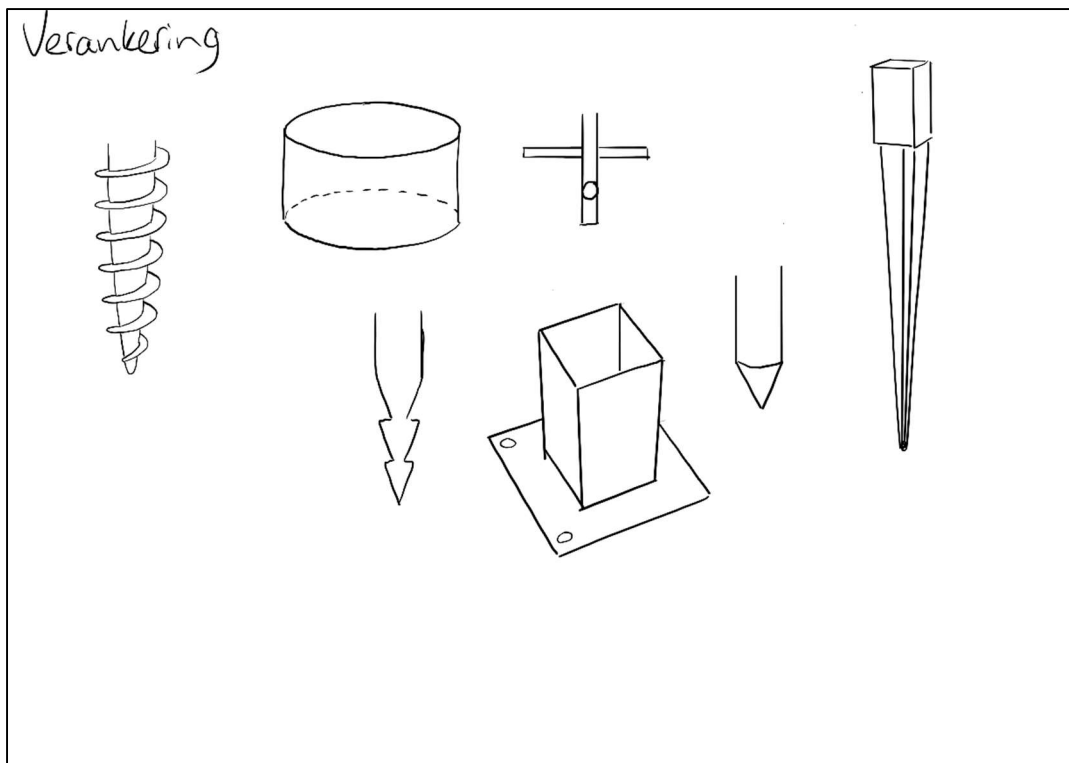
Figuur 38: Pakket van eisen en wensen



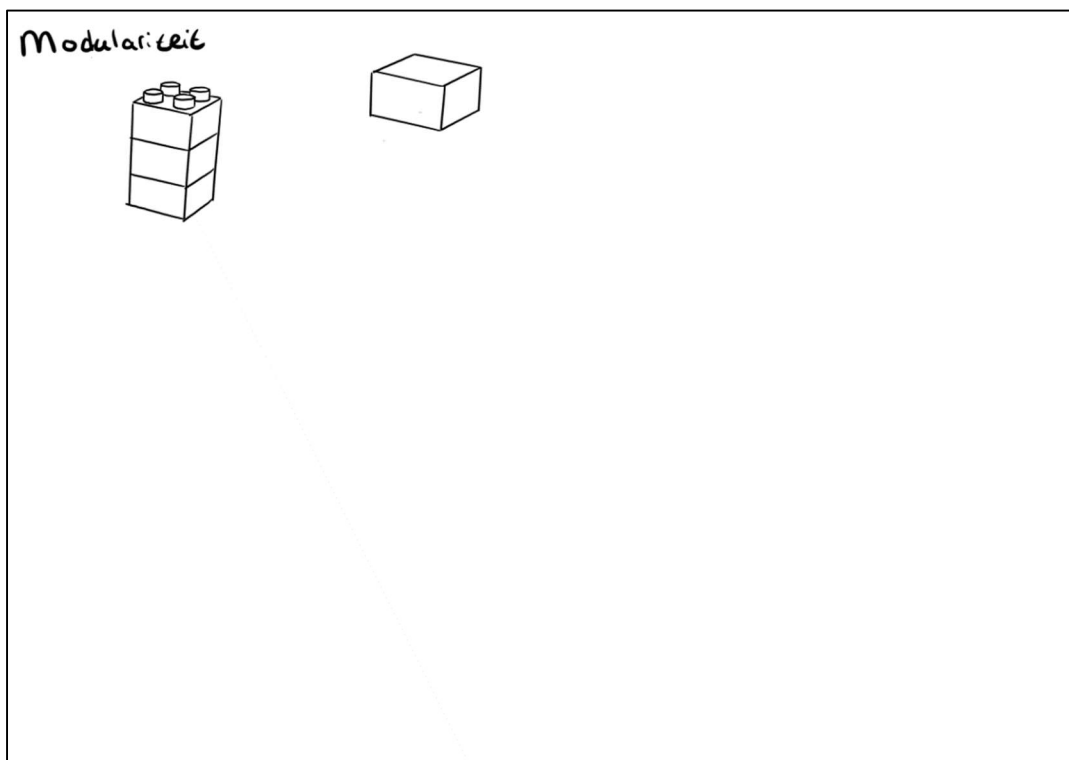
Figuur 39: Ideeschetsen materiaalkeuze



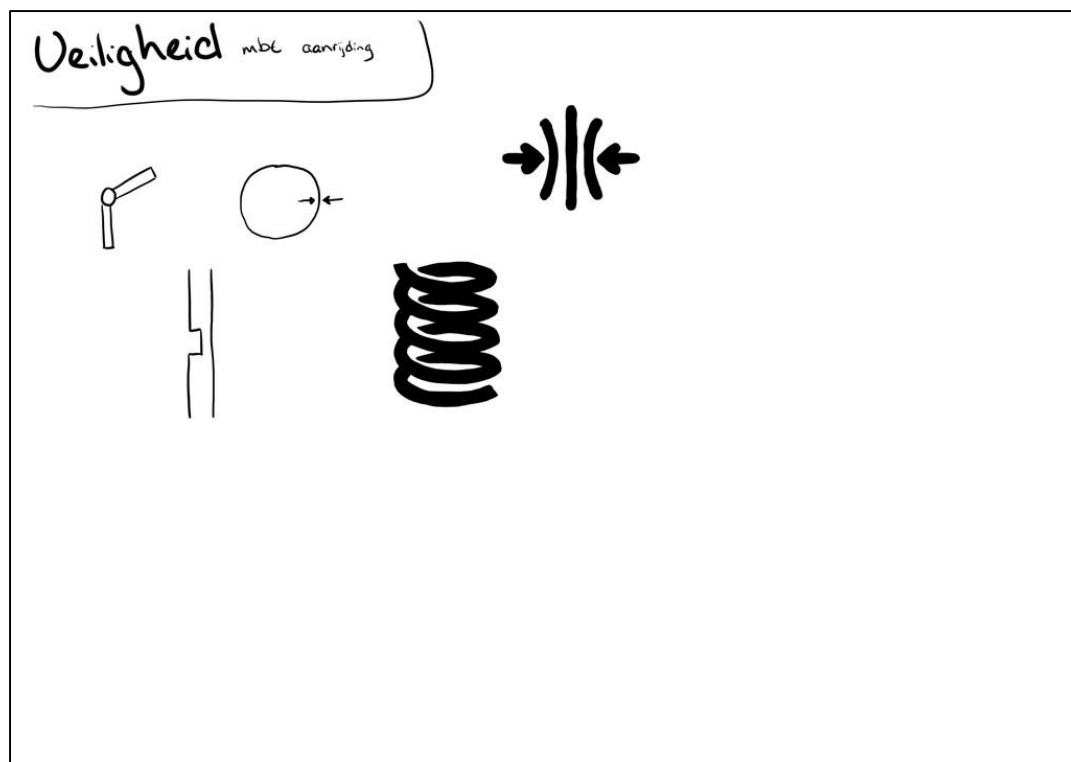
Figuur 40: Ideeschetsen bevestiging



Figuur 41: Ideeschetsen grondverankering

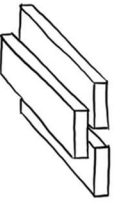
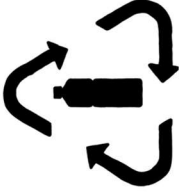
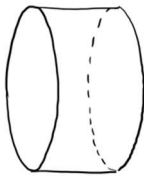
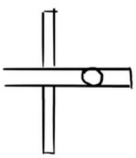
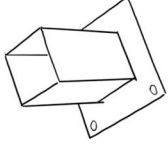
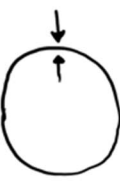
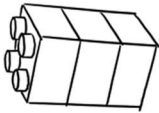


Figuur 42: Ideeschetsen modulariteit

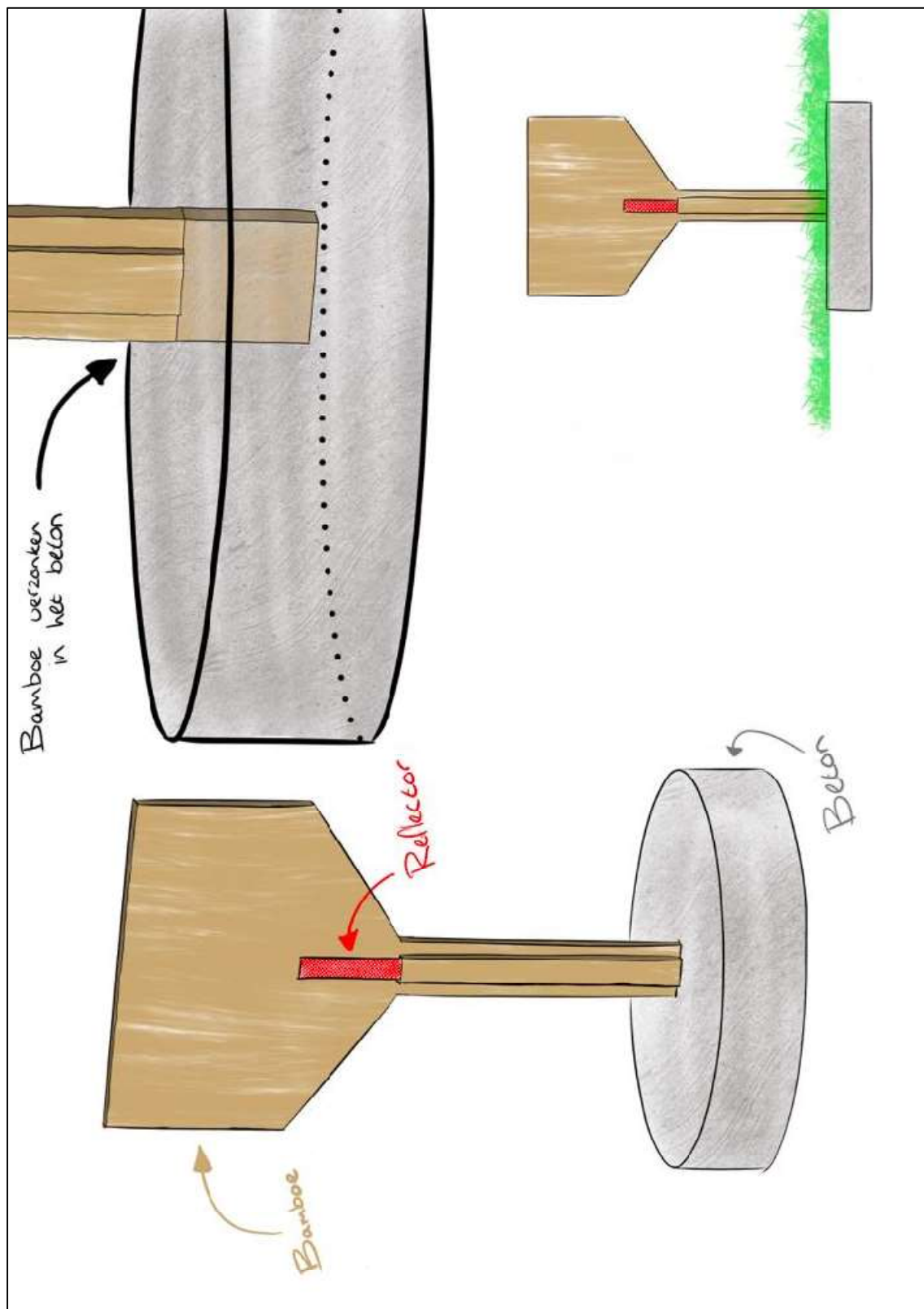


Figuur 43: Ideeschetsen aanrijdingsveiligheid

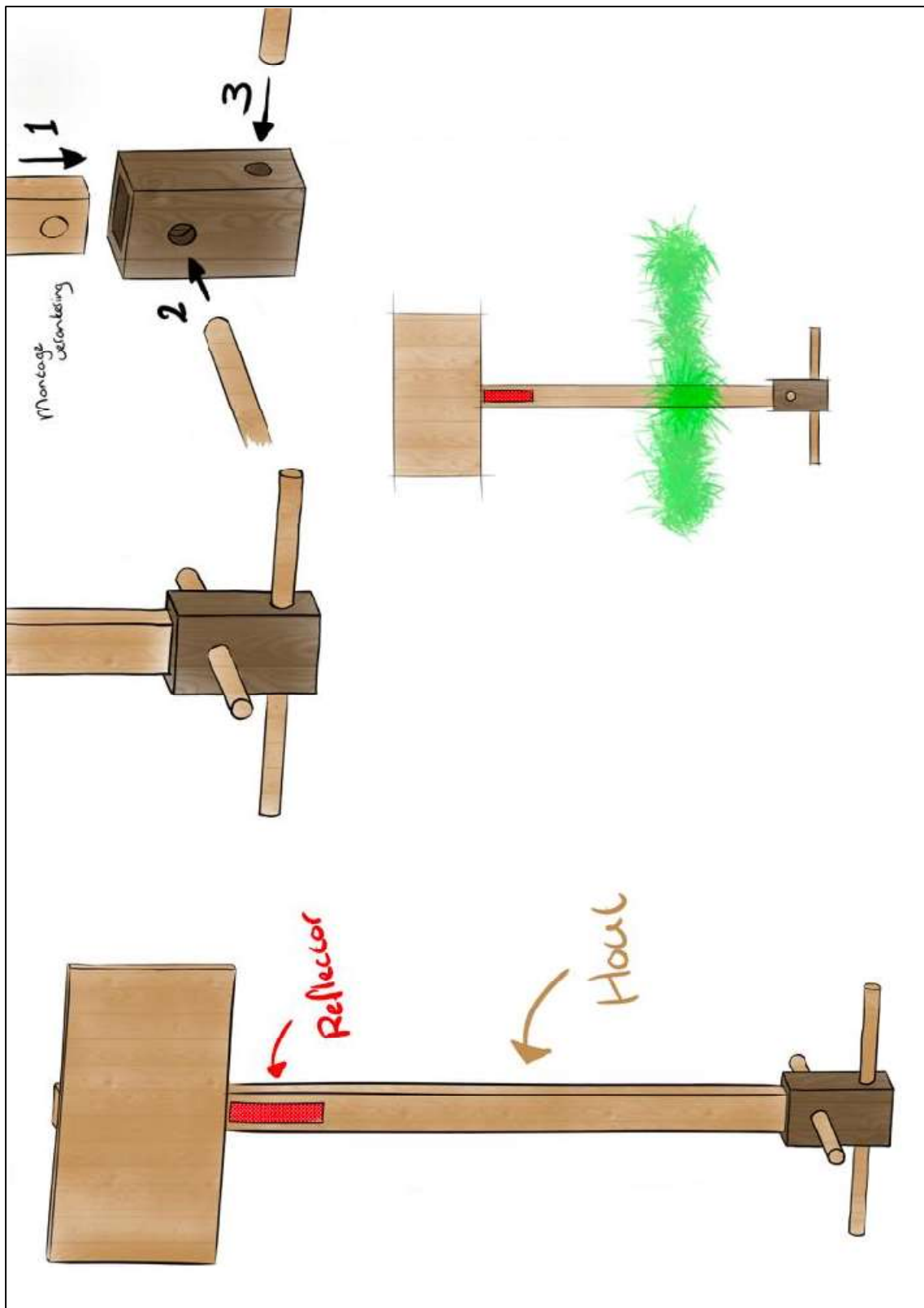
BIJLAGE 8: MORFOLOGISCH OVERZICHT

Morfologische kaart		1	2	3	4	5	6	7
Diego Marijs								
Materiaal								
	Staal	Hout	Composiet	Bamboo	Kunststof	Gerecycled Kunststof	Biobased kunststof	
Grondbevestiging								
	Schroefdraad	Beton gieten	Kruis verankering	Harpoen verankering	Punt in de grond	Paalframe	Paalframe punt	
Bevestiging								
	Schroef	Bout	Lijm	Tape	Klikvinger	Popnagel	Kit	
Veiligheid mtb aanrijding								
	Scharnier	Dun materiaal	Elastisch materiaal	Materiaal verdunning	Veer in verwerkt			
Modulariteit								
	Modular	Niet-modular						

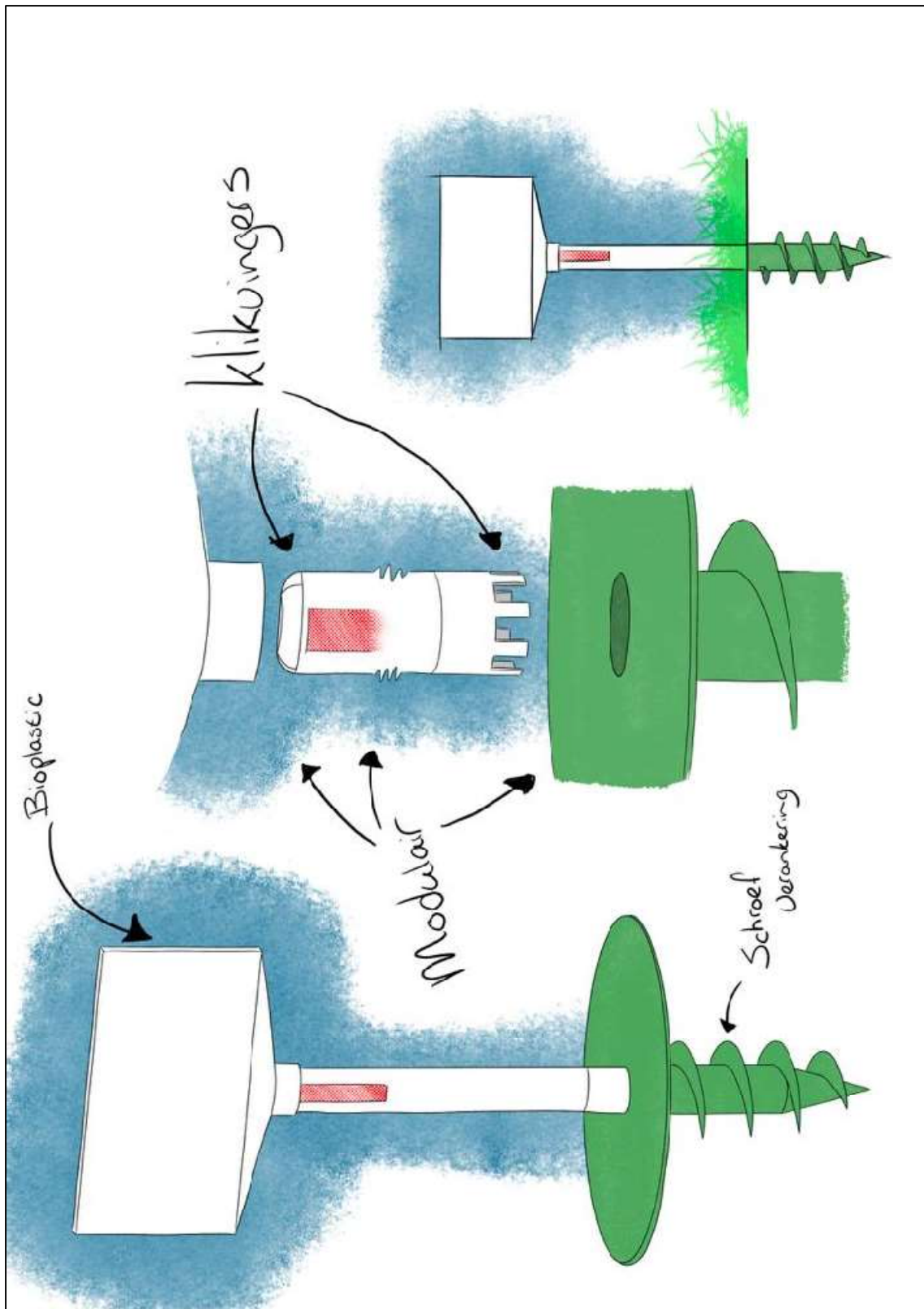
Figuur 44: Morfologisch overzicht



Figuur 45: Vergrote versie integraal idee 1



Figuur 46: Vergrote versie integraal idee 2



Figuur 47: Vergrote versie integraal idee 3

BIJLAGE 10: KEUZEMATRIX INTEGRALE IDEEËN

Om van de ideefase naar de conceptfase over te kunnen gaan, dienen er twee integrale ideeën gekozen te worden die verder uitgewerkt worden in de concept fase. Een wegingsmatrix aan de hand van het pakket van eisen is een geschikt onderzoeksinstrument om dit uit te voeren. Een wegingsmatrix vorm een integrale en sterke basis waarop de keuze wordt gebaseerd. Uit de resultaten van de keuzematrix (Figuur 48: Tabel resultaten keuzematrix) zijn de volgende scores gekomen:

Totaal score	Idee1	28	Idee 2	27	Idee 3	38
---------------------	-------	----	--------	----	--------	----

Figuur 48: Tabel resultaten keuzematrix

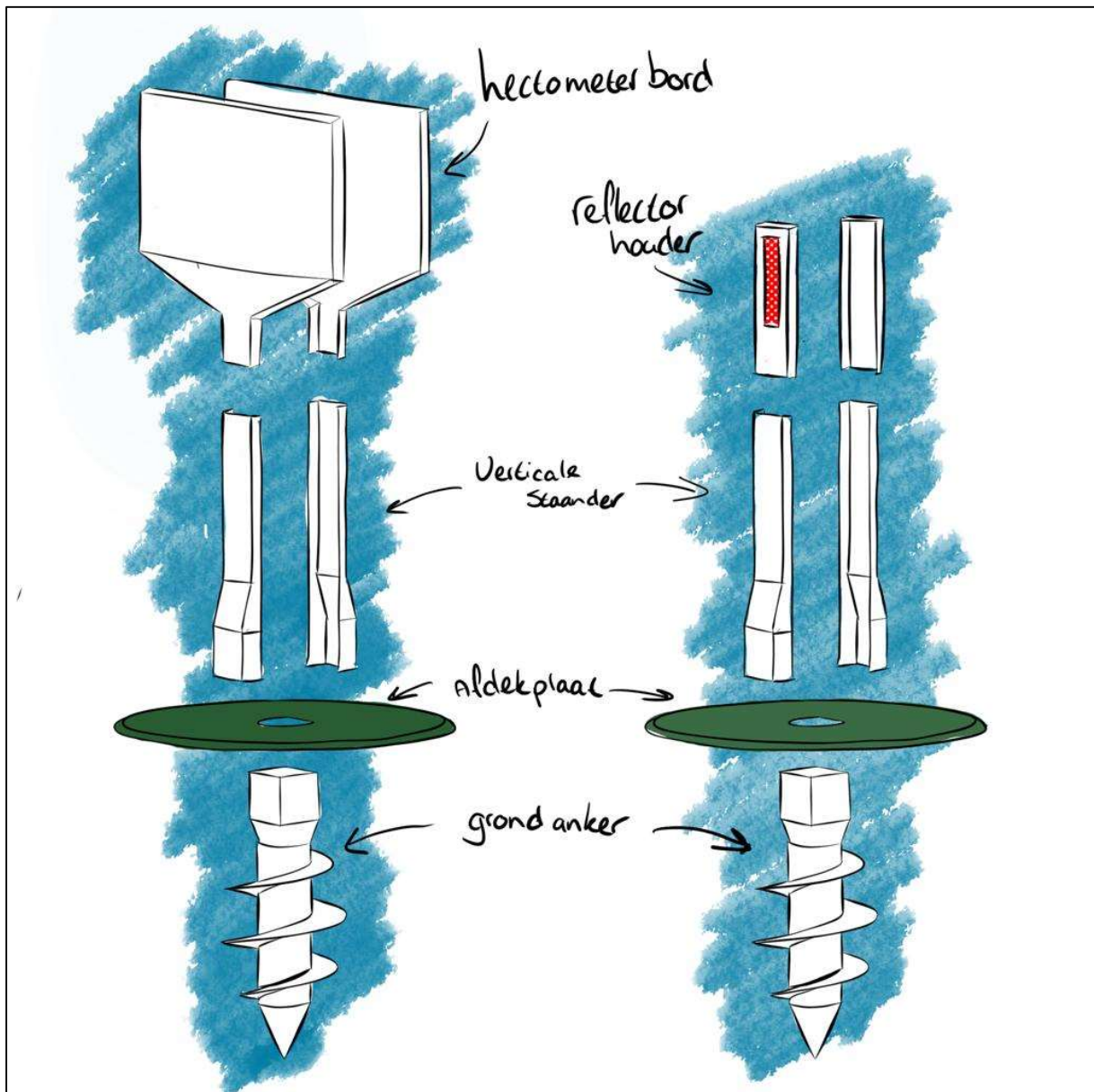
Uit de resultaten komt naar voren dat integraal drie de beste score heeft en dat de andere twee ideeën een verschil van één punt heeft. Hierin heeft integraal idee één de hoogste score. Aangezien het verschil maar één punt bedraagt, is onderstaand nog nader onderbouwd waarom integraal idee één beter geschikt is dan idee twee.

Doordat integraal idee twee bestaat uit hout scoort dit lager dan integraal idee twee met bamboe en beton. Hout is duurzaam als het gaat om CO₂ opname en milieubelasting. Echter is het wel dat het hout geïmporteerd wordt vanuit het buitenland, omdat het Nederlandse hout niet geschikt is voor gebruik als hectometerbord. Het Nederlandse hout dient behandeld te worden doormiddel van beitsen of verven wat als milieuvervuilend gezien kan worden als het loogt in de bodem waardoor bodemverontreiniging kan optreden. Ook is het geïmporteerde hout beter geschikt, maar doordat het geïmporteerd wordt uit het buitenland worden er meer schadelijke stoffen uitgestoten tijdens het vervoeren van het hout over zee naar Nederland.

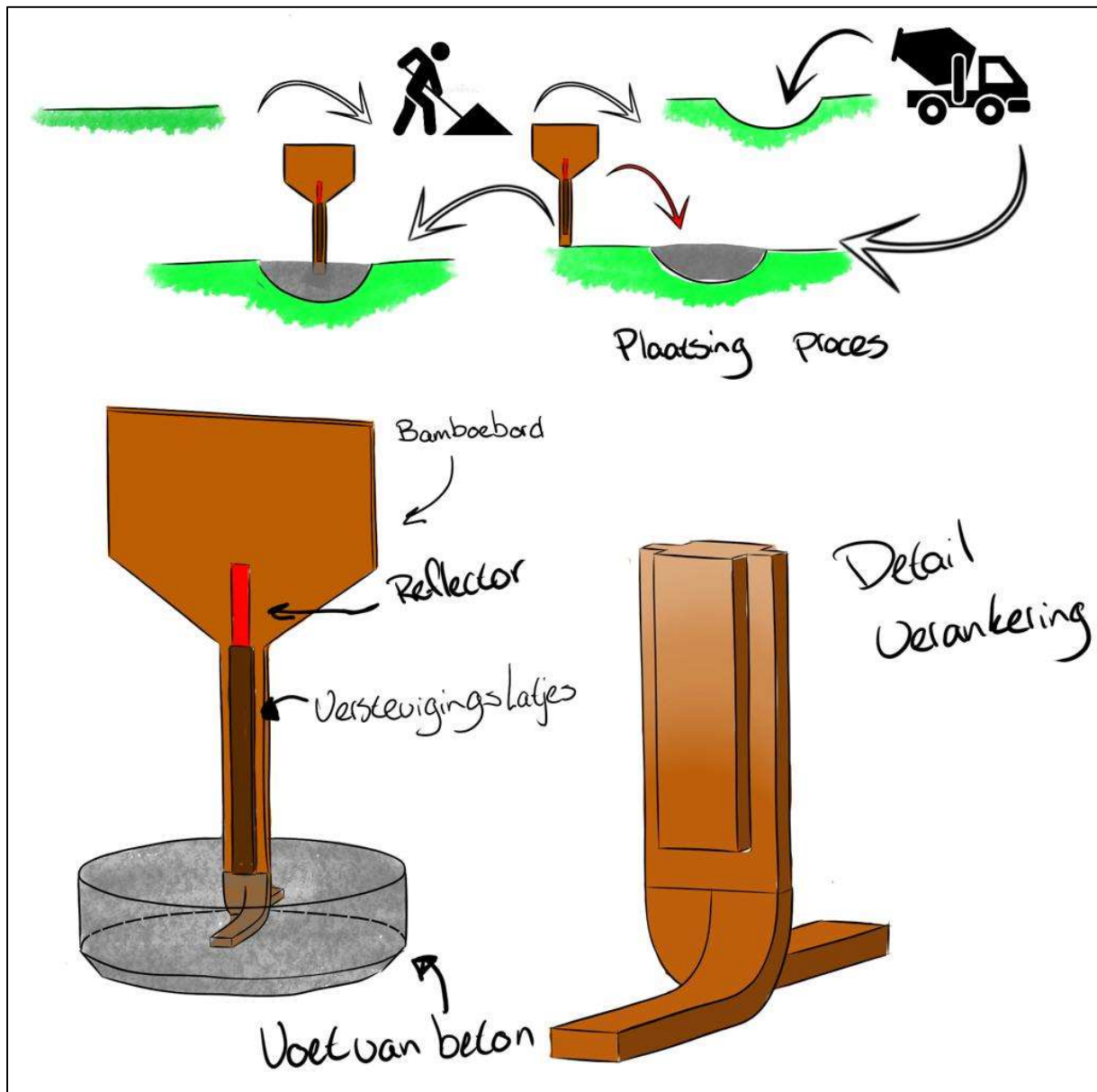
Hieronder in Figuur 49 zijn de resultaten van de keuzematrix te vinden getoetst aan het pakket van eisen.

Nr. Eis/Wens	Omschrijving Eis/Wens	Eis / Wens	Weging	Integraal idee 1		Integraal idee 2		Integraal idee 3	
				Score		Score		Score	
	Mens								
1	Het hectometerpaaltje kan op 50cm uit de kant van de wegverharding geplaatst worden	Eis	0-1		1		1		1
2	De onderkant van het hectometer paaltje bevindt zich minimaal op minimaal 60cm boven het maaiveld.	Eis	0-1		1		1		1
3	De onderkant van de reflector bevindt zich op minimaal 50cm boven het maaiveld.	Eis	0-1		1		1		1
4	De afmetingen van het hectometerbord wijken niet af van de huidige borden.	Eis	0-1		1		1		1
5	De reflectoren hebben een minimaal effectief oppervlak hebben van 4000mm^2.	Eis	0-1		1		1		1
6	De kleur mag niet afleidend zijn voor weggebruikers.	Eis	0-1		1		1		1
7	Het materiaal heeft een gladde afwerking.	Eis	0-1		0		0		1
8	Er wordt rekening gehouden met de maten van een menselijke hand.	Eis	0-1		1		1		1
9	Het wordt zo ontworpen dat het intuïtief in elkaar geassembleerd kan worden.	Eis	0-1		1		0		1
10	Het mag geen scherpe randen hebben.	Eis	0-1		0		0		1
11	Het bord mag bij aanrijding niet los raken van de paal.	Eis	0-1		1		0		1
12	Het bord mag bij aanrijding niet versplinteren.	Eis	0-1		0		0		1
13	Het bord mag niet bedekt worden door sneeuw ophoping.	Eis	0-1		1		1		1
14	Kan geassembleerd worden in een sociale werkplaats.	Wens	0-1						
		Score Mens		Idee 1	10	Idee 2	8	Idee 3	13
	Markt								
15	Is geschikt voor de Nederlandse markt.	Eis	0-1		1		1		1
16	Is geschikt voor de Europese markt.	Wens	0-1						
17	Het straalt kwaliteit uit.	Eis	0-1		1		0		1
18	Het is volledig circulair.	Eis	0-1		0		1		1
		Score Markt		Idee 1	2	Idee 2	2	Idee 3	3
	Milieu								
19	Het verbruikt zelf geen energie.	Eis	0-1		1		1		1
20	Het materiaal is milieu vriendelijk.	Eis	0-1		0		1		1
21	Het materiaal is niet schadelijk voor mensen.	Eis	0-1		1		1		1
22	Het materiaal is niet schadelijk voor flora en fauna.	Eis	0-1		1		1		1
23	Het materiaal zorgt niet voor bodemverontreiniging.	Eis	0-1		1		0		1
24	Het materiaal zal weinig milieu belasting opleveren.	Eis	0-1		1		1		1
25	Er zullen zo min mogelijk fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Eis	0-1		0		1		1
26	Er zullen geen fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Wens	0-1						
27	Het zal geen schadelijke gassen uitsloten.	Eis	0-1		0		1		1
28	Tijdens de productie van het hectometerpaaltje zullen er geen schadelijke stoffen vrij komen.	Eis	0-1		0		1		1
29	Door modulariteit kan de levensduur van onderdelen verlengt worden.	Eis	0-1		0		0		1
30	Het ontwerp heeft een toepassing voor sensoren.	Wens	0-1						
31	Veel materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Eis	0-1		1		1		1
32	Alle materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Wens	0-1				0		1
		Score Milieu		Idee 1	6	Idee 2	9	Idee 3	12
	Techniek								
33	Plaatsbepaling voor weggebruikers.	Eis	0-1		1		1		1
34	Bebakening van wegen.	Eis	0-1		1		1		1
35	Het is bestand tegen grondzetting.	Eis	0-1		1		1		1
36	Het is bestand tegen gladheidsbestrijding.	Eis	0-1		1		1		1
37	Het is bestand tegen nederlands weersomstandigheden.	Eis	0-1		1		1		1
38	Er wordt zo min mogelijk materiaal gebruikt. (product optimalisatie)	Eis	0-1		1		1		1
39	Het materiaal gaat minimaal 15 jaar mee	Eis	0-1		1		1		1
40	Het kan gemaakt worden in massaproductie.	Eis	0-1		1		0		1
41	Het kan ter plaatse geassembleerd worden.	Wens	0-1						
42	Het is modulaair opgebouwd.	Wens	0-1						
43	Het materiaal is deels vanuit de natuur	Wens	0-1						
44	Het materiaal is circulair.	Eis	0-1		1		0		1
45	Het is te gebruiken tussen -30°C en 60°C.	Eis	0-1		1		1		1
46	Het is te gebruiken tussen -50°C en 80°C.	Wens	0-1						
		Score Techniek		Idee 1	10	Idee 2	8	Idee 3	10
		Totaal score		Idee1	28	Idee 2	27	Idee 3	38

Figuur 49: Keuzematrix a.d.h.v. Pakket van eisen



Figuur 50: Vergrote versie concept 1



Figuur 51: Vergrote versie concept 2

BIJLAGE 13: KEUZEMATRIX CONCEPTEN

Nr. Eis/Wens	Omschrijving Eis/Wens	Eis / Wens	Weging	Concept 1		Concept 2	
				Score	Score	Score	Score
	Mens						
1	Het hectometerpaaltje kan op 50cm uit de kant van de wegverharding geplaatst worden.	Eis	0-1				
2	De onderkant van het hectometer paaltje bevindt zich minimaal op minimaal 60cm boven het maaiveld.	Eis	0-1				
3	De onderkant van de reflector bevindt zich op minimaal 50cm boven het maaiveld.	Eis	0-1				
4	De afmetingen van het hectometerbord wijken niet af van de huidige borden.	Eis	0-1				
5	De reflectoren hebben een minimaal effectief oppervlak hebben van 4000mm^2.	Eis	0-1				
6	De kleur mag niet afleidend zijn voor weggebruikers.	Eis	0-1				
7	Het materiaal heeft een gladde afwerking.	Eis	0-1				
8	Er wordt rekening gehouden met de maten van een menselijke hand.	Eis	0-1				
9	Het wordt zo ontworpen dat het intuïtief in elkaar geassembleerd kan worden.	Eis	0-1				
10	Het mag geen scherpe randen hebben.	Eis	0-1				
11	Het bord mag bij aanrijding niet los raken van de paal.	Eis	0-1				
12	Het bord mag bij aanrijding niet versplinteren.	Eis	0-1				
13	Het bord mag niet bedekt worden door sneeuw ophoping.	Eis	0-1				
14	Kan geassembleerd worden in een sociale werkplaats.	Wens	0-1		1		0
		Score Mens		Concept 1	1	Concept 2	0
	Markt						
15	Is geschikt voor de Nederlandse markt.	Eis	0-1				
16	Is geschikt voor de Europese markt.	Wens	0-1		1		1
17	Het straalt kwaliteit uit.	Eis	0-1				
18	Het is volledig circulair.	Eis	0-1				
		Score Markt		Concept 1	1	Concept 2	1
	Milieu						
19	Het verbruikt zelf geen energie.	Eis	0-1				
20	Het materiaal is milieu vriendelijk.	Eis	0-1				
21	Het materiaal is niet schadelijk voor mensen.	Eis	0-1				
22	Het materiaal is niet schadelijk voor flora en fauna.	Eis	0-1				
23	Het materiaal zorgt niet voor bodemverontreiniging.	Eis	0-1				
24	Het materiaal zal weinig milieu belasting opleveren.	Eis	0-1				
25	Er zullen zo min mogelijk fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Eis	0-1				
26	Er zullen geen fossiele grondstoffen gebruikt worden.	Wens	0-1		1		0
27	Het zal geen schadelijke gassen uitsloten.	Eis	0-1				
28	Tijdens de productie van het hectometerpaaltje zullen er geen schadelijke stoffen vrij komen.	Eis	0-1				
29	Door modulariteit kan de levensduur van onderdelen verlengd worden.	Eis	0-1				
30	Het ontwerp heeft een toepassing voor sensoren.	Wens	0-1		1		0
31	Veel materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Eis	0-1				
32	Alle materialen zijn te recycelen voor hergebruik.	Wens	0-1		1		1
		Score Milieu		Concept 1	3	Concept 2	1
	Techniek						
33	Plaatsbepaling voor weggebruikers.	Eis	0-1				
34	Bebakening van wegen.	Eis	0-1				
35	Het is bestand tegen grondzetting.	Eis	0-1				
36	Het is bestand tegen gladheidsbestrijding.	Eis	0-1				
37	Het is bestand tegen nederlands weersomstandigheden.	Eis	0-1				
38	Er wordt zo min mogelijk materiaal gebruikt. (product optimalisatie)	Eis	0-1				
39	Het materiaal gaat minimaal 15 jaar mee	Eis	0-1				
40	Het kan gemaakt worden in massaproductie.	Eis	0-1				
41	Het kan ter plaatse geassembleerd worden.	Wens	0-1		1		1
42	Het is modulair opgebouwd.	Wens	0-1		1		0
43	Het materiaal is deels vanuit de natuur	Wens	0-1		1		1
44	Het materiaal is circulair.	Eis	0-1				
45	Het is te gebruiken tussen -30°C en 60°C.	Eis	0-1				
46	Het is te gebruiken tussen -50°C en 80°C.	Wens	0-1		1		1
		Score Techniek		Concept 1	4	Concept 2	3
		Totaal score		Concept 1	9	Concept 2	5

Figuur 52: Toetsingsmatrix concepten a.d.h.v. pakket van wensen

BIJLAGE 14: STERKTE BEREKENING DOOR WIND

Om te simuleren in Solidworks wat de doorbuiging is door de wind, dient er eerst berekend te worden wat de kracht is van de wind die op het hectometerpaaltje staat.

Om de windbelasting te berekenen is de volgende formule van toepassing; $F = A * P * C_d$

Hierbij geldt:

- F = kracht van windbelasting in Newton
- A = frontaal oppervlak in m^2
- P = Winddruk in N/m^2
- C_d = weerstandcoëfficiënt

Om het frontaal oppervlak te berekenen zijn er in Solidworks de gegevens opgevraagd van het hectometerpaaltje. Hieruit blijkt dat het frontaal oppervlak 286602, 11 mm^2 is wat omgerekend **0,2866 m^2** is.

Om de winddruk te berekenen is de volgende formule van toepassing; $P = 0,613 * V^2$

Hierbij geldt:

- Hierbij is 0,613 het resultaat van een berekening op basis van typische waarden voor de dichtheid van de lucht en gravitatieversnelling. (Digitalcanal, 2022)
- V = snelheid in meter per seconde.
 - Uitgaande van het ergste is windkracht 12 op de schaal van Beaufort. Hierbij is de windsnelheid 32,6 m/s.

$$P = 0,613 * V^2$$

$$P = 0,613 * 32,6^2$$

$$P = 0,613 * 1062,76$$

$$P = 651,472 \text{ N/m}^2$$

De weerstandcoëfficiënt voor het ontwerp is tussen de 1,4 en de 2,0. Hierdoor is er uit gegaan van een coëfficiënt van **1,7**.

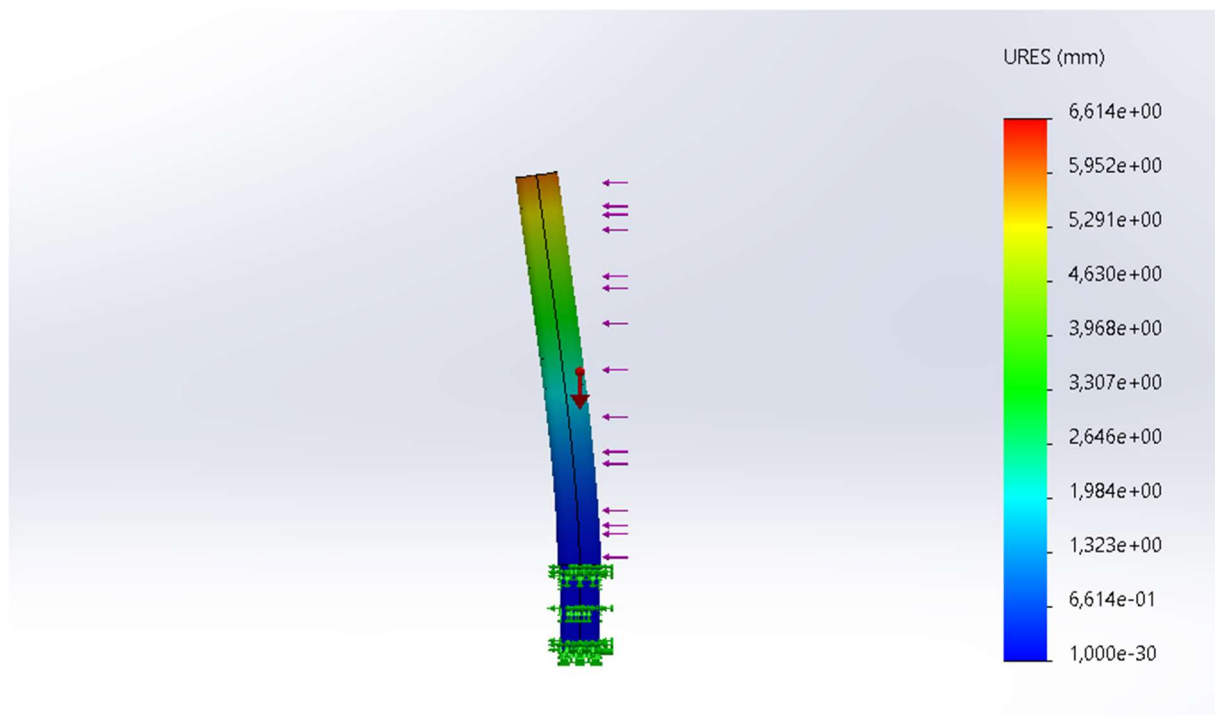
Door bovenstaande resultaten kan de formule voor de kracht van de windbelasting beantwoord worden;

$$F = A * P * C_d$$

$$F = 0,2866 * 651,472 * 1,7$$

$$F = 317,5 \text{ N}$$

Door krachtbelasting van de wind in te voeren in Solidworks is het resultaat naar voren gekomen dat de maximale verplaatsing van het bovenste punt 6,6 mm is. Dit is te zien in Figuur 53: Resultaat simulatie windbelasting.



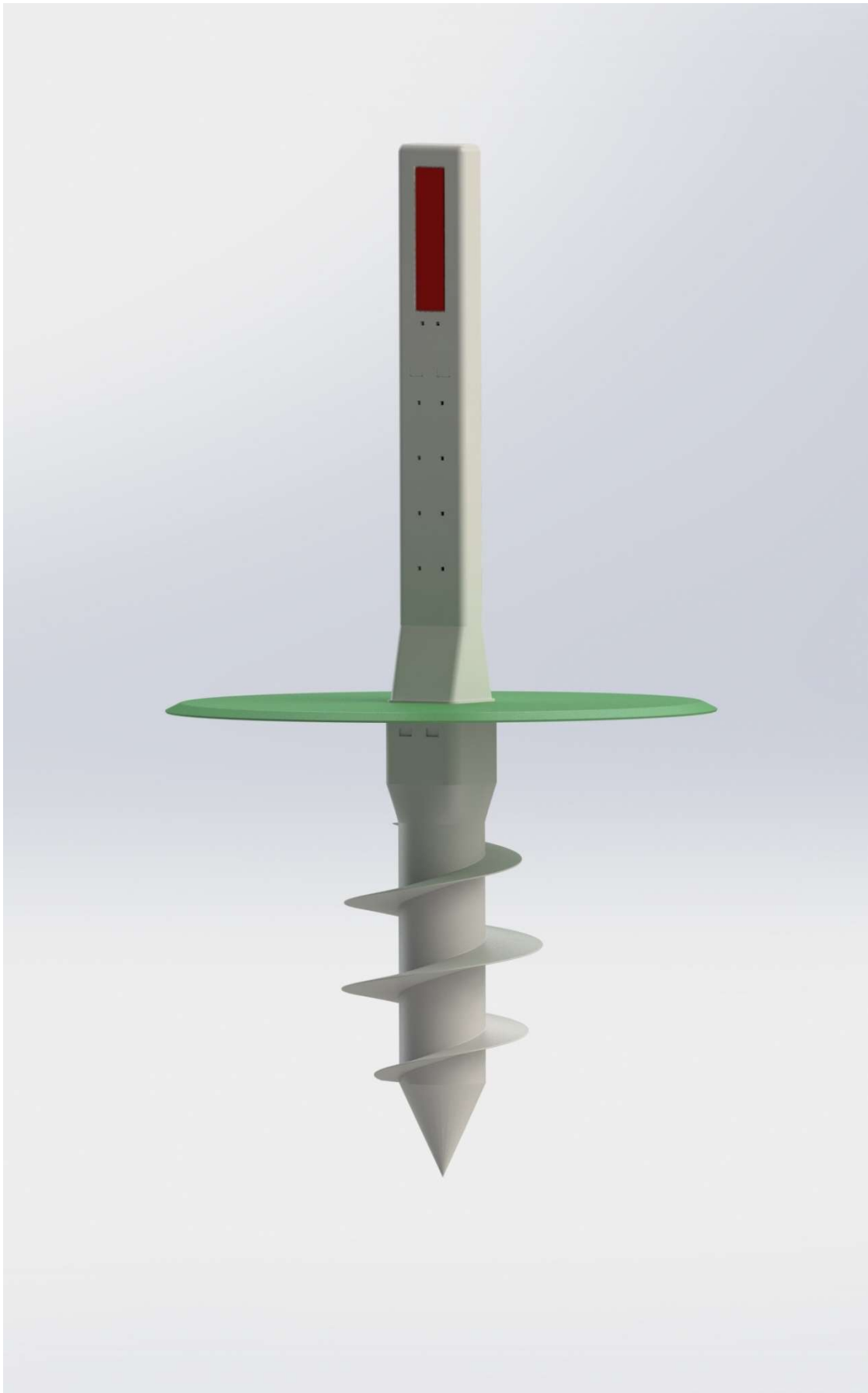
Figuur 53: Resultaat simulatie windbelasting



Figuur 54: Render hectometerpaal



Figuur 55: Exploded view hectometerpaal



Figuur 56: Render reflectorpaal



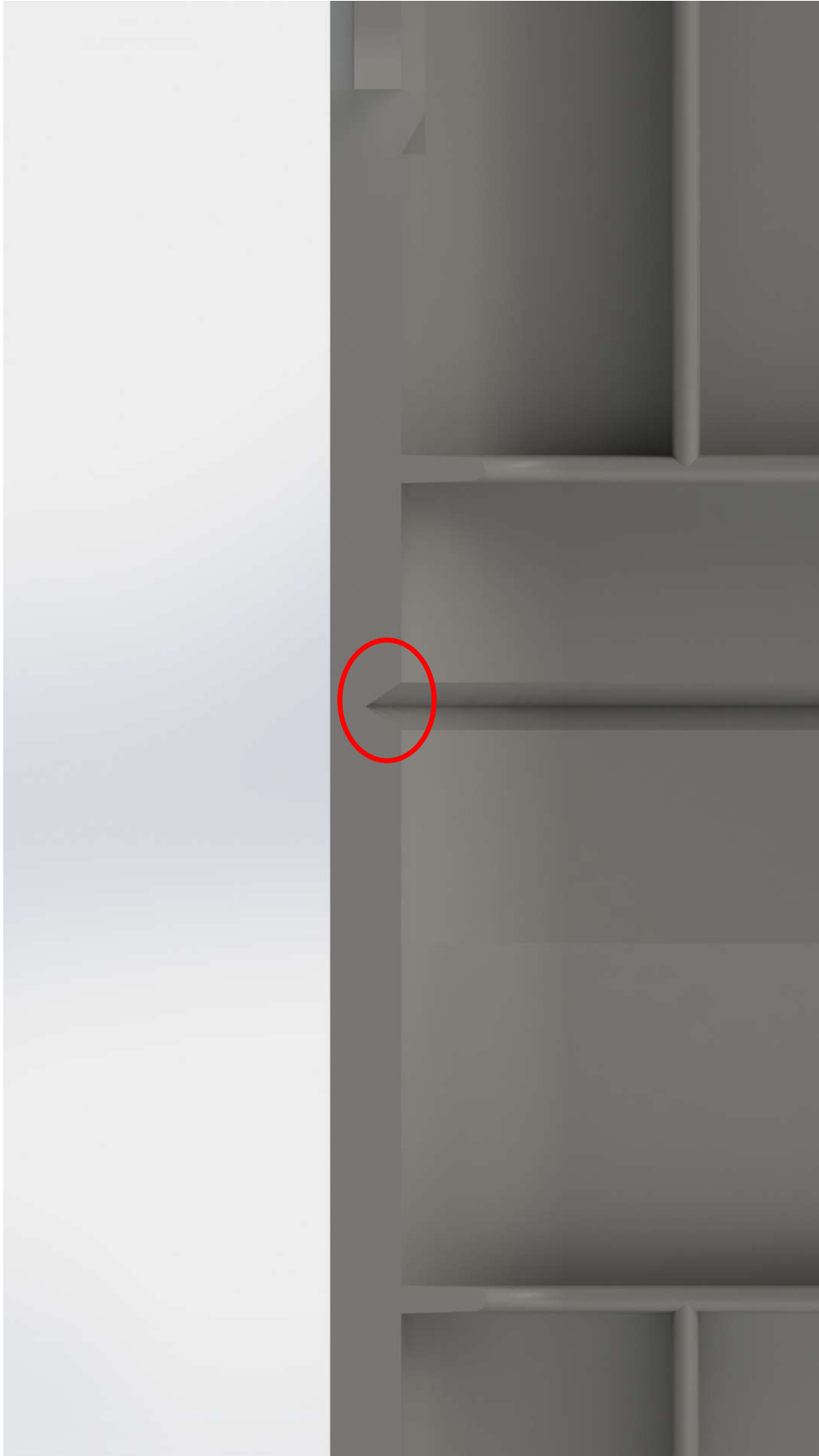
Figuur 57: Exploded view reflectorpaal



Figuur 58: Detailview permanente klikvingers en passingsgeleiders



Figuur 59: Detailview niet permanente klikvingers



Figuur 60: Detailview materiaal verzwakking

BIJLAGE 16: KOSTPRIJS SCHATTING

Om de kostprijs te berekenen van het hectometer-/ reflectorpaaltje dient als eerst het gewicht bepaald te worden van de verschillende onderdelen. Dit is gebeurd doormiddel van een analyse in Solidworks. Doordat de gekozen materiaalsamenstelling van PLA en bermgras nog niet bestaat is er in solidworks gebruik gemaakt van het materiaal PLA. Dit materiaal komt het dichtst bij het materiaal PLA en bermgras. De resultaten van de analyse voor het gewicht zijn te vinden in Figuur 64 tot en met Figuur 68. In Figuur 61 is de samenvatting te zien van deze analyses.

Onderdeel	Gewicht (gram)
Schroef anker	1765.27
Afdekplaat	1134.78
Verticale staander	279.52
Hectometerbord houder	982.94
Reflectorhouder	151.83

Figuur 61: Tabel resultaten Solidworks gewicht analyse

Door de gegevens in Figuur 61 is er met de tool van 247plastics (247plastics, 2022) een schatting van de kostprijs aangevraagd per onderdeel. In Figuur 62 zijn de resultaten te zien van de mogelijke kostprijs per onderdeel volgens 247plastics.

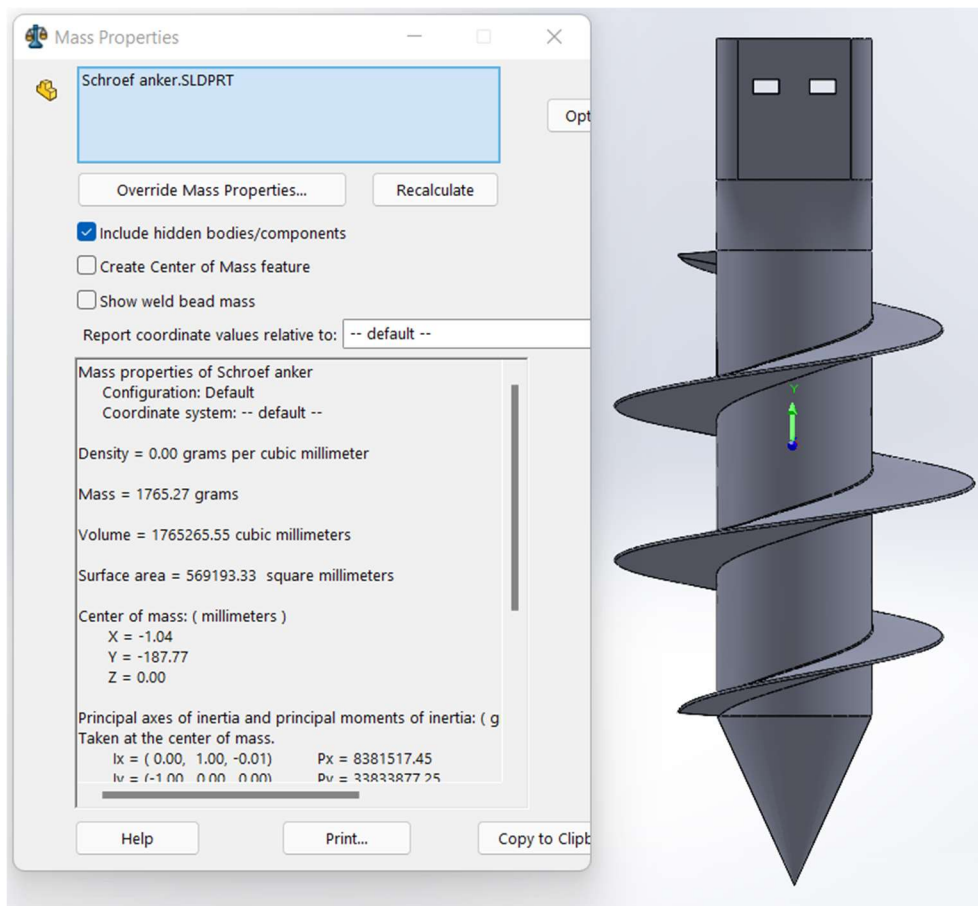
Onderdeel	Prijs in euro €
Schroef anker	11,66
Afdekplaat	6,34
Verticale staander	2,87
Hectometerbord houder	7,59
Reflectorhouder	1,58

Figuur 62: Kostprijs per onderdeel

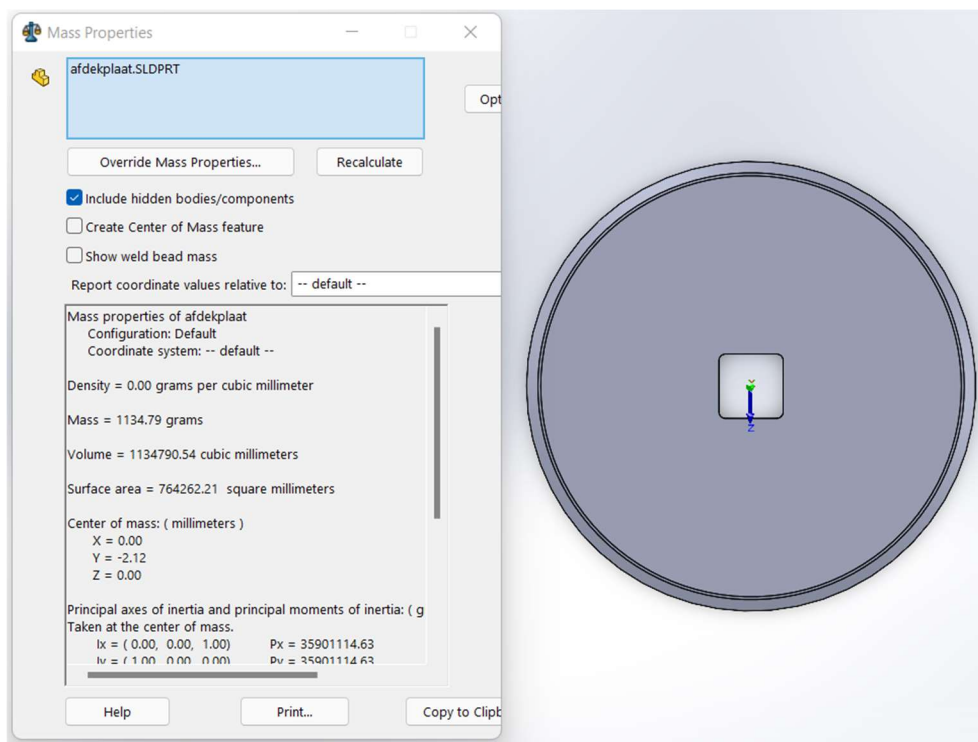
Door de resultaten uit Figuur 62 kan de mogelijke kostprijs voor de hectometerpaal en voor het reflector paal bepaald worden. Dit is berekend in Figuur 63.

Hectometerbord		Reflectorpaal	
Onderdeel	Prijs in euro €	Onderdeel	Prijs in euro €
Schroef anker	11,66	Schroef anker	11,66
Afdekplaat	6,34	Afdekplaat	6,34
Verticale staander (2x)	5,74	Verticale staander (2x)	5,74
Hectometerbord houder (2x)	15,18	Reflectorhouder (2x)	3,16
TOTAAL	38,92	TOTAAL	26,90

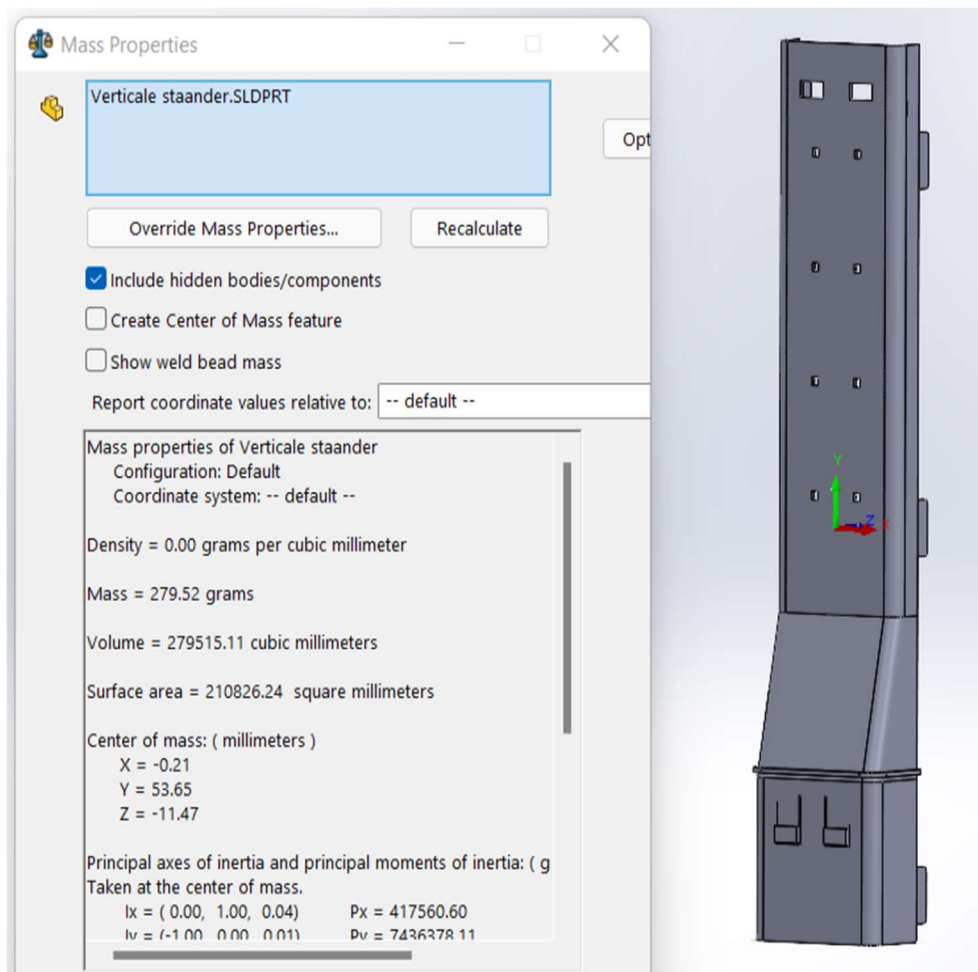
Figuur 63: Kostprijs berekening hectometerbord en reflectorpaal



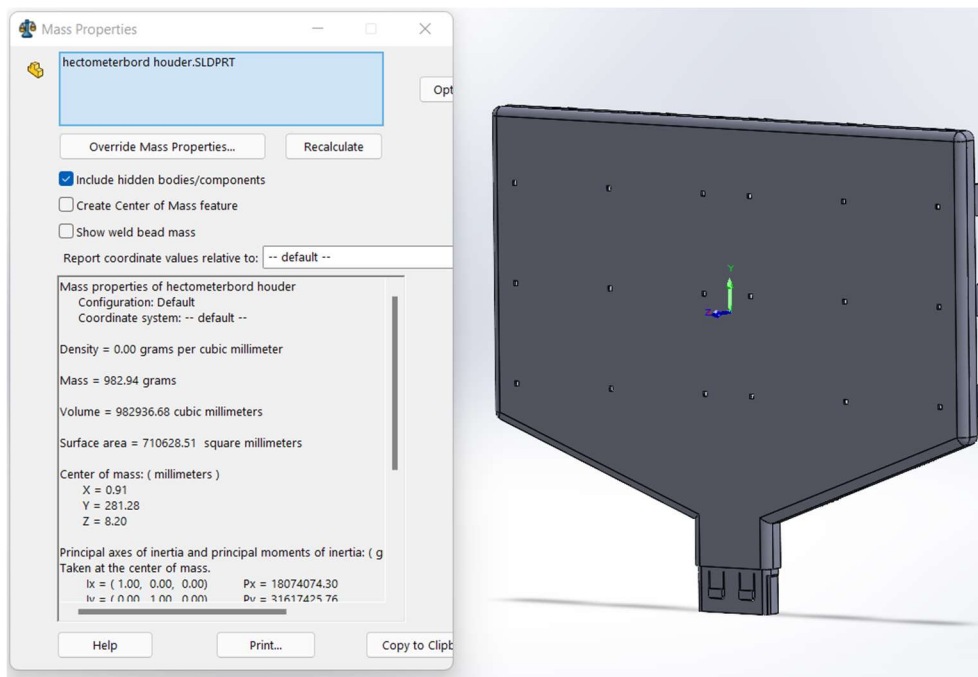
Figuur 64: Gewicht analyse schroef anker



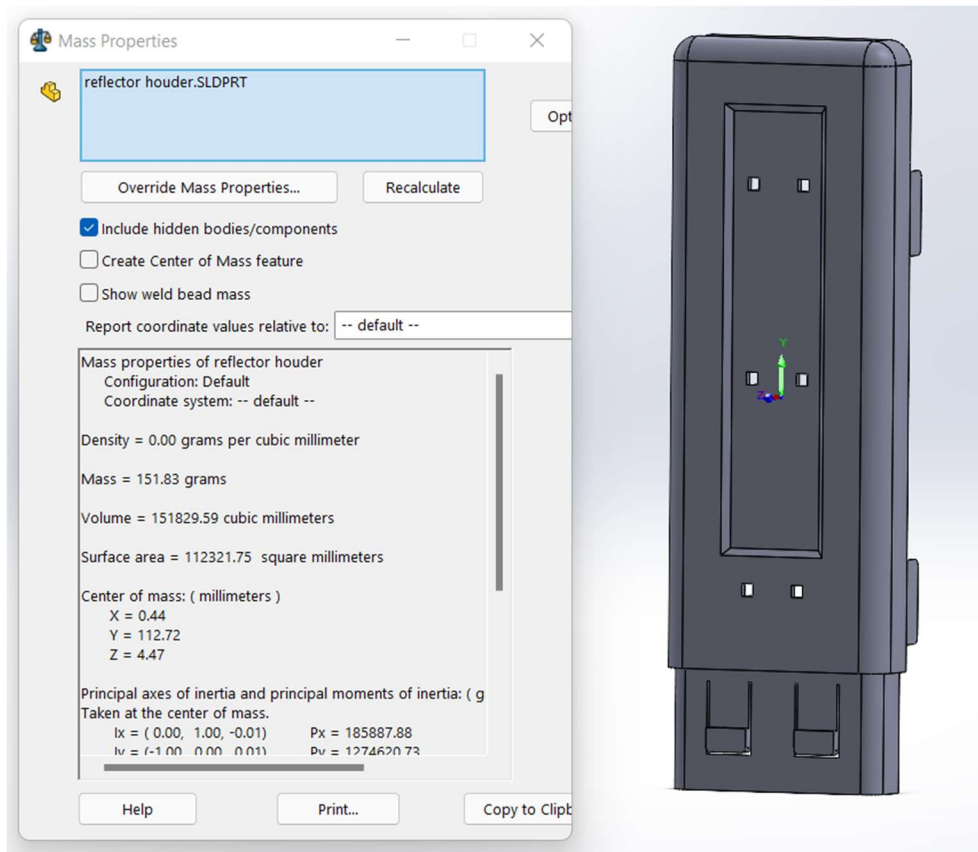
Figuur 65: Gewicht analyse afdekplaat



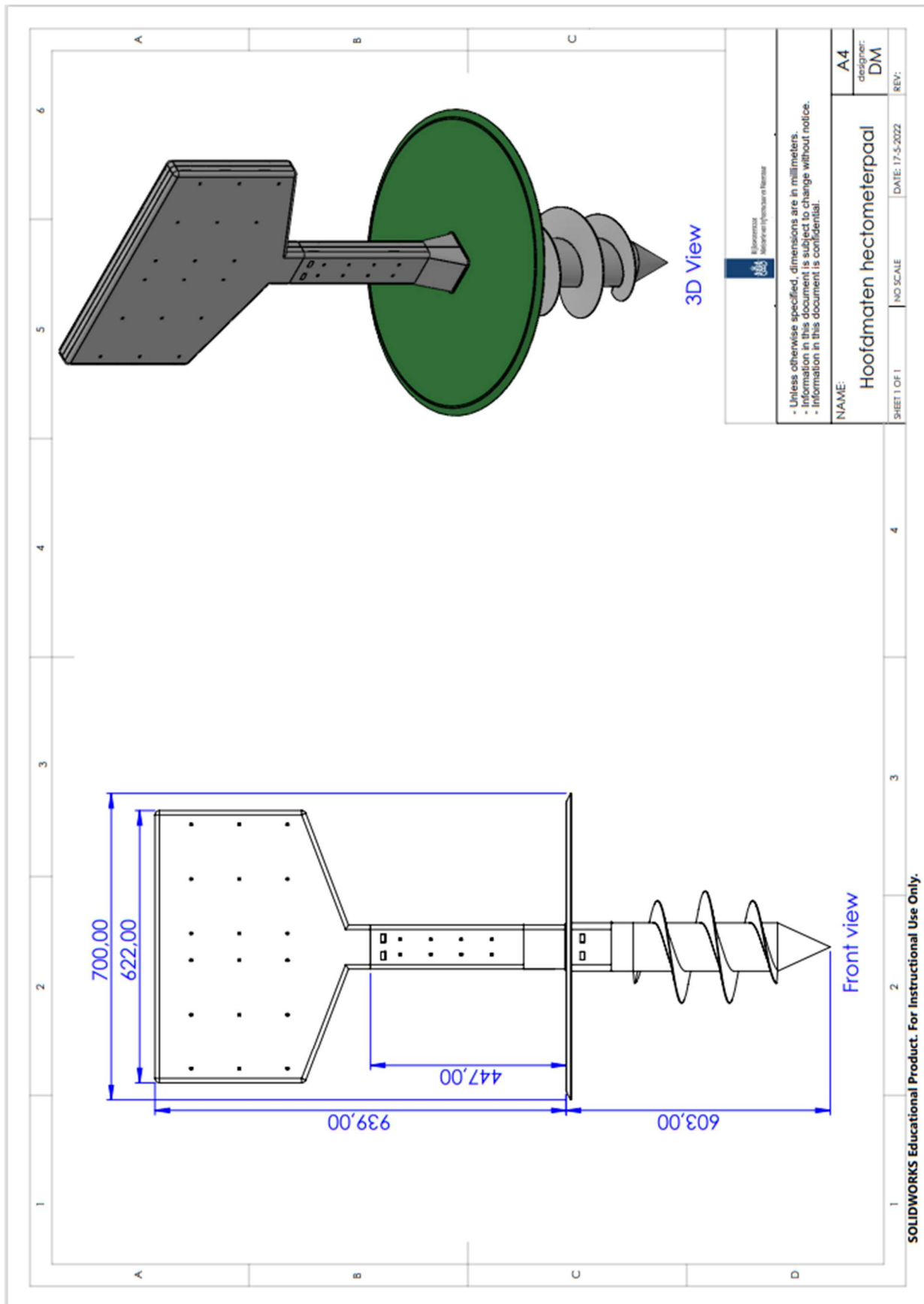
Figuur 66: Gewicht analyse verticale staander



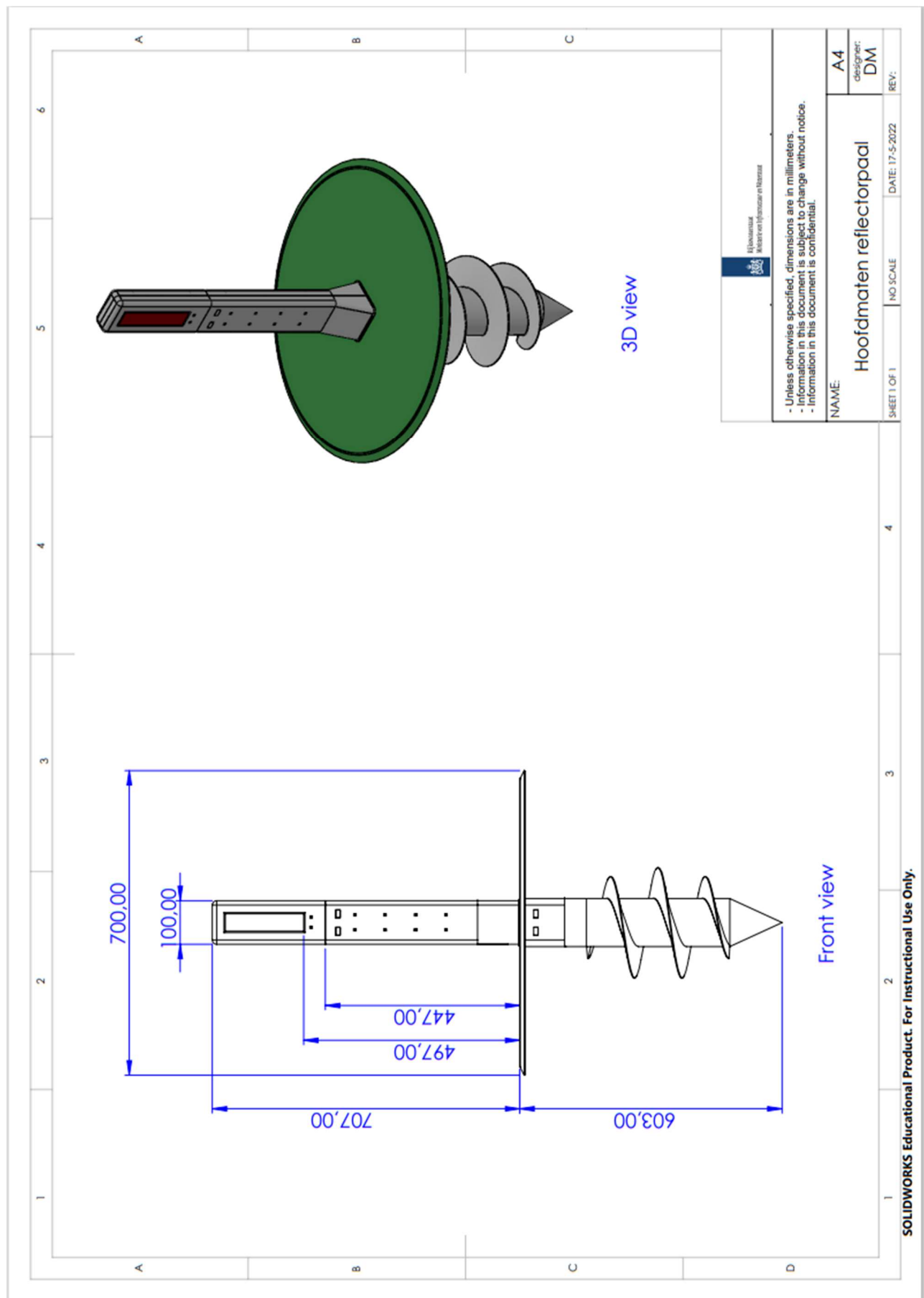
Figuur 67: Gewicht analyse hectometerbord houder



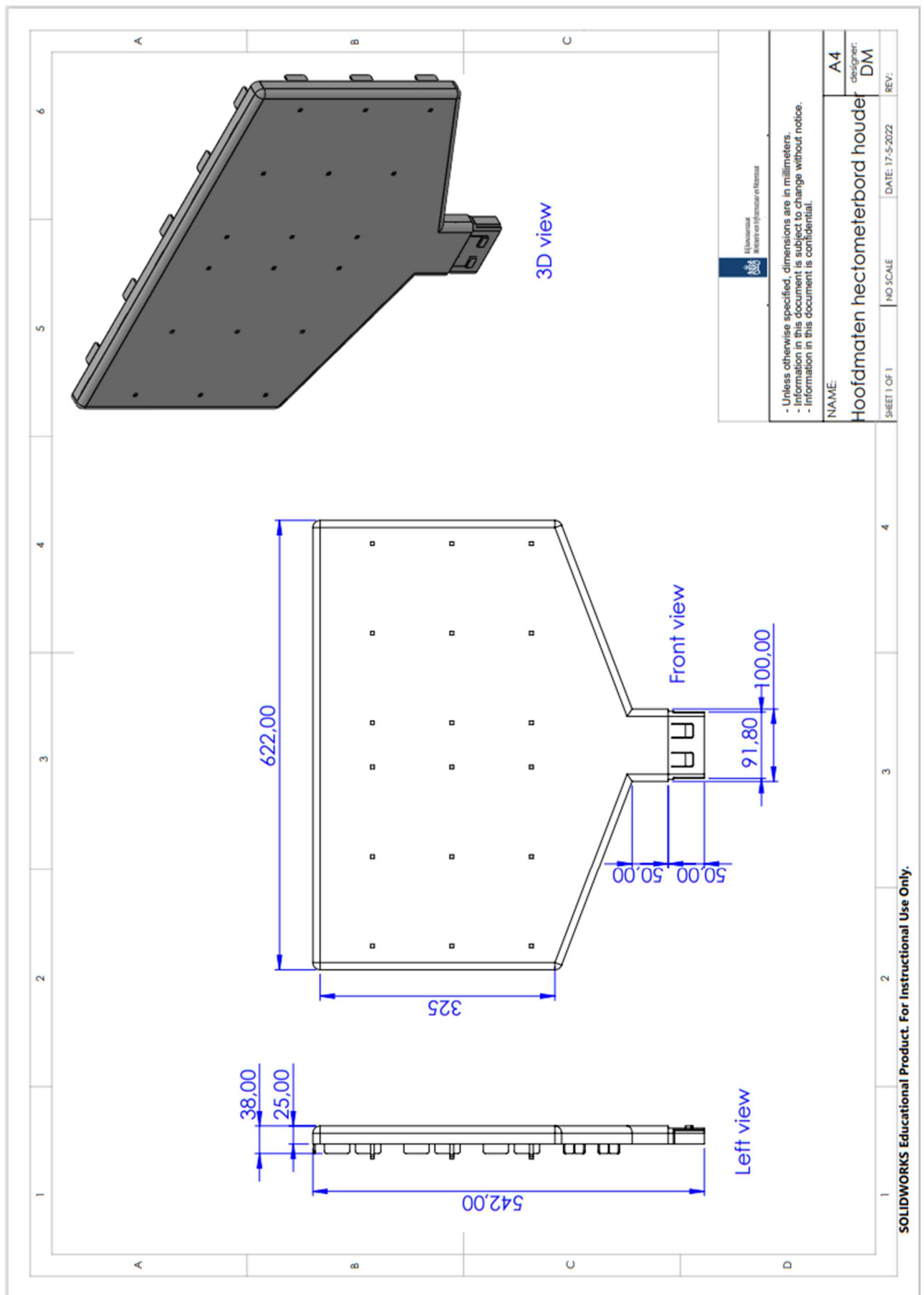
Figuur 68: Gewicht analyse reflector houder



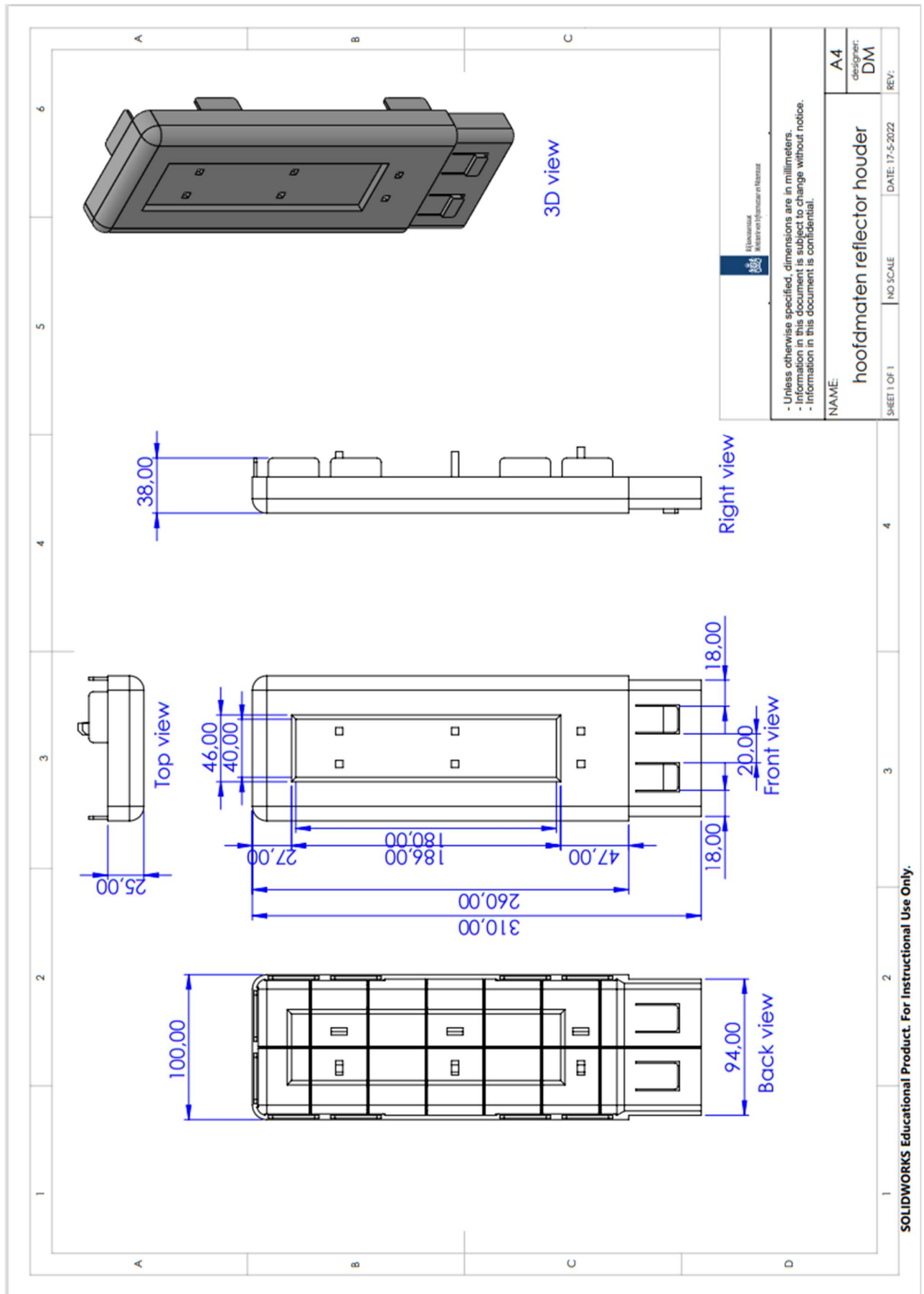
Figuur 69: Hoofdmaten hectometerpaal



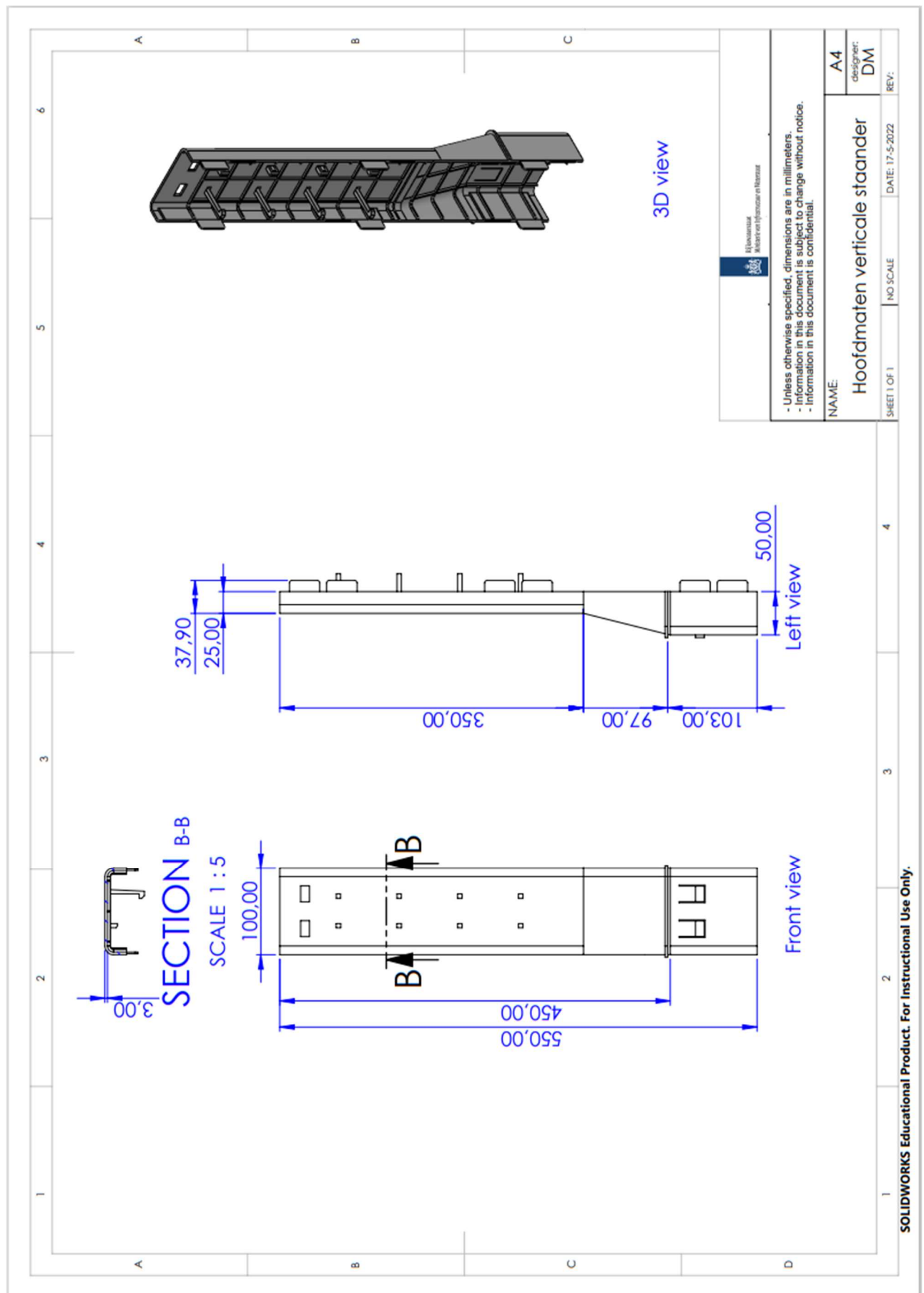
Figuur 70: Hoofdmaten reflectorpaal



Figuur 71: Hoofdmaten hectometerbord houder

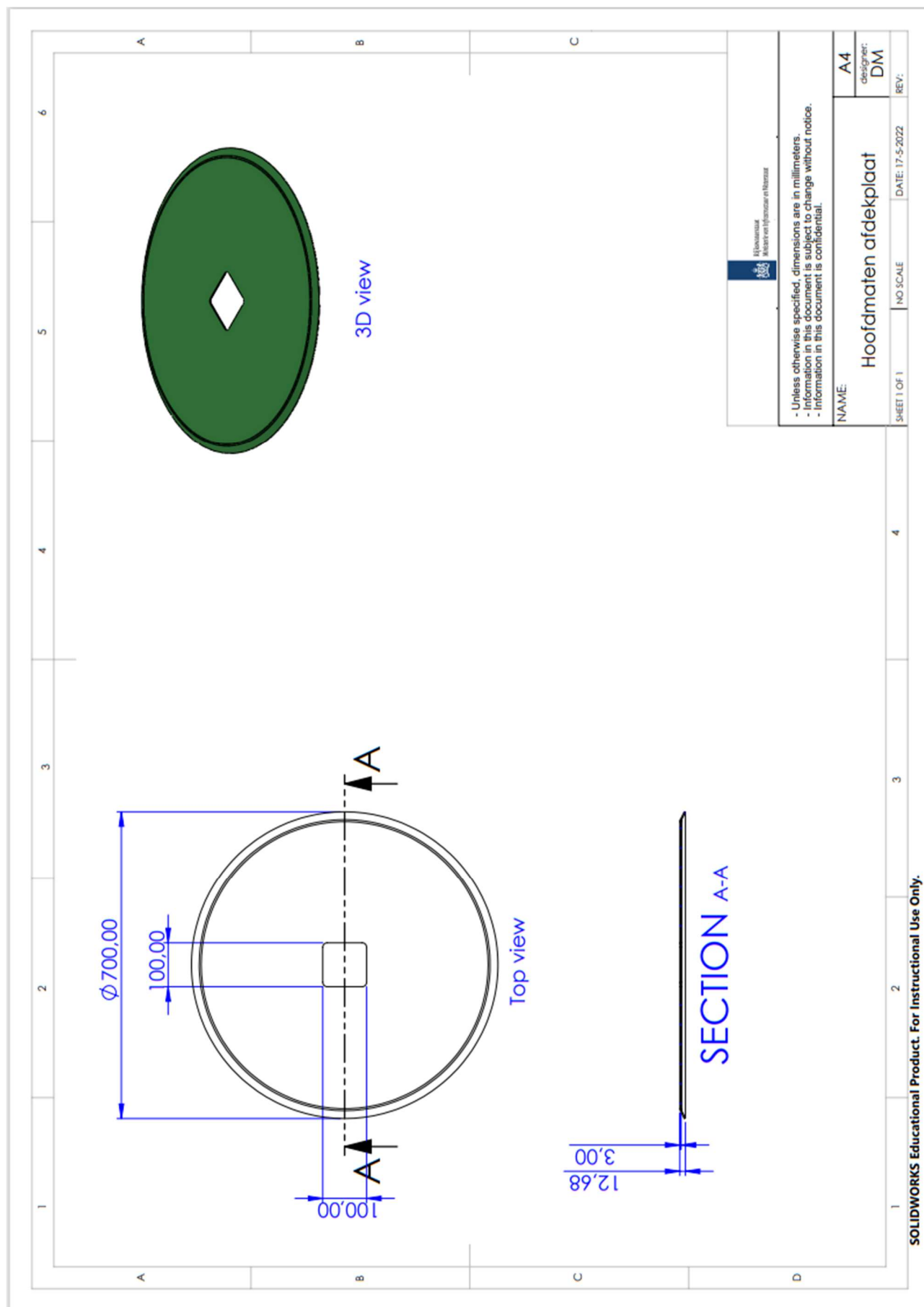


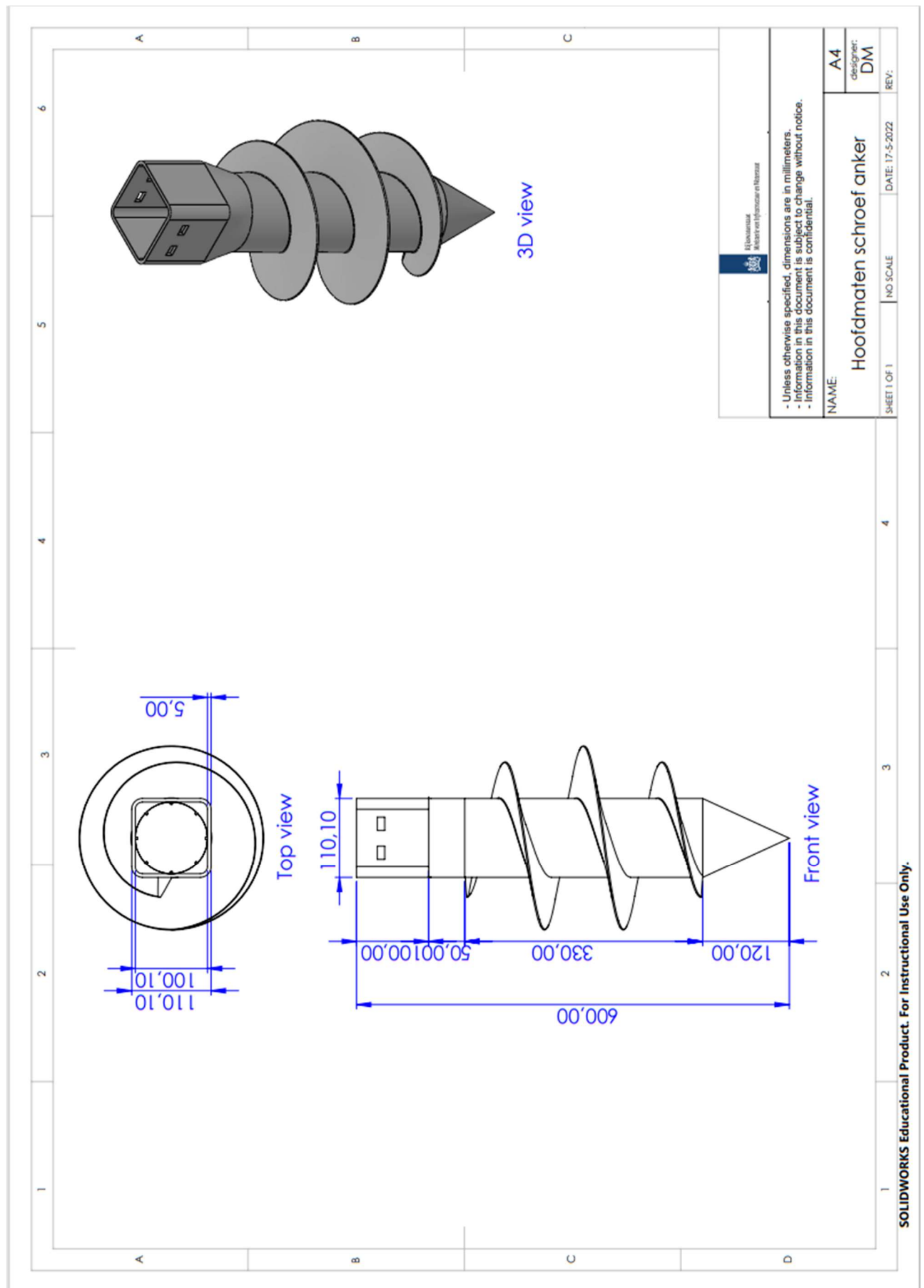
Figuur 72: Hoofdmaten reflector houder



Figuur 73: Hoofdmatten verticale staander

Figuur 74: Hoofdmaten afdekplaat





Figuur 75: Hoofdmatten Schroef anker

*Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd, opgeslagen in een automatisch gegevensbestand of
openbaar gemaakt in enige vorm of wijze, hetzij elektronisch, mechanisch,
door fotokopieën of op enige andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de auteur. © Copyright 2022*