

RAPPORT

Keteninitiatief duurzame wissel- verwarming 2023

Versie: 1.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 08-03-2024

Kenmerk: X28-R.A.-HS-RAP-
23001565

Autorisatieblad

Keteninitiatief duurzame wissel-verwarming

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Mieke van Eerten - Jansen	V	27-2-2023
Aangevuld door	Thijs van Duijvenbode	V	07-2-2024
Gecontroleerd door	Ruben van der Ende	V	04-03-2024
Vrijgegeven door	Rinske Schukken	V	08-03-2024

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting

Inhoudsopgave

1	Leeswijzer Algemeen	1
1.1	2010-2016	1
1.2	2016-2020	1
1.3	2021 en 2022	1
1.4	2023 en verder	1
	Deel I – 2016 tot en met 2020	2
2	Inleiding ketenanalyse algemeen	3
2.1	Algemeen	3
2.2	Verschil tussen scope 1, 2 en 3 emissies	3
2.3	Doel ketenanalyse	4
2.4	Categorieën scope 3 emissies	4
2.5	Keuze ketenanalyse 2019	5
2.6	Leeswijzer deel I, II en III	5
3	Inleiding ketenanalyse duurzame wisselverwarming	6
3.1	Algemeen	6
3.2	CO ₂ uitstoot door wisselverwarming	6
3.3	Simulatie door wisselverwarming	7
3.4	Doelstellingen ProRail energiebesparing en CO ₂ -uitstoot keuze	7
3.5	Duurzaamheidsstreven Movares	8
4	Ketenanalyse wisselverwarming	9
4.1	De keten van wisselverwarming	9
4.2	Ketenuitwerking wisselverwarming	9
4.3	Systeemanalyse wisselverwarming	10
5	Voortgaand onderzoek efficiëntere wisselverwarming	12
5.1	Onderzoek internationaal	12
5.2	Kansen voor effectievere wisselverwarming	12
5.3	Resultaten van EEM-simulaties	12
6	Energieverbruik wisselverwarming	14
6.1	Trend in energieverbruik wisselverwarming	14
6.2	Vergelijking van de systemen	14
6.3	CO ₂ -footprint per wisselverwarmingsysteem	16
6.4	Analyse en conclusie	17
7	CO₂-reductieberekening	18
7.1	Identificatie van reductiemogelijkheden	18
7.2	Reductiedoelstelling Movares	18
8	Samenvatting Deel I	20
	Deel II – 2021	1
9	Keteninitiatief: Plan van aanpak realisering reductiedoelstelling	2
9.1	Identificatie ketenpartners	2

9.2	Invloed Movares op keternpartner(s)	3
10	Glijstoelverwarming	4
10.1	De afspraken m.b.t. glijstoelverwarming	4
10.2	De techniek van glijstoelverwarming	4
11	Energieverbruik en CO₂-reductie: Huidige wisselverwarming versus glijstoelverwarming	6
12	Terugblik 2021	10
12.1	Bestaande en nieuwe generatie wissels	10
12.2	Betere aansturing en monitoring	10
12.3	Onderzoek naar effectievere wisselverwarming	10
12.4	Beleidsdocument voor nieuw OVS wisselverwarming	12
12.5	Vooruitblik	12
13	Terugblik 2022	13
13.1	Weersafhankelijke inschakelduur	13
13.2	Glijstoelverwarming	14
13.3	Isolatie van wisselverwarming	14
13.4	CO ₂ -reductiedoelen en -resultaten	14
14	Samenvatting deel II	15
15	Terugblik 2023	16
15.1	Weersafhankelijke inschakelduur	16
15.2	Glijstoelverwarming	16
15.3	Isolatie van wisselverwarming	17
15.4	Samenwerkingskans	17
16	Samenvatting deel II	18
17	Gebruikte literatuur en referenties	19
	Colofon	20

1 Leeswijzer Algemeen

1.1 2010-2016

Dit document geeft een beschrijving weer van het ontwikkelproces van het keteninitiatief 'Wisselverwarming' door Movares. Dit proces is reeds opgestart in 2010 en is beschreven in een eerder document: 'Ketenuitwerking varianten wisselverwarming, Movares, K&I-PB-100029202 - Versie 1.0, 14 december 2010'. Uitgangspunt in het initiatief van 2010 was een techniek die in de periode 2002 tot 2010 was ontwikkeld, gebaseerd op geothermie. Na een aantal succesvolle pilots (Arnhem, Lelystad) is door ProRail toch niet gekozen voor deze duurzame maar complexere oplossing.

1.2 2016-2020

In Deel I van het voorliggende document wordt de voortgang van het proces, dat in 2016 door Movares weer is opgepakt, beschreven en daarbij de technische oplossingen tot eind 2020. De insteek in deze periode was dat veel winst kan worden geboekt met gerichte verwarming waarbij de thermische verliezen drastisch worden gereduceerd. Deze ambitie blijft onverminderd van toepassing.

1.3 2021 en 2022

Aangezien er in januari 2021 in dit proces belangrijke keuzes zijn gemaakt, zowel op inhoud als samenwerking, is er voor gekozen om in deel II de wijzigingen ten aanzien van deel I uit te leggen in plaats van deze keuzes en wijzigingen door het bestaande document te verweven. Op deze manier is de procesontwikkeling van dit keteninitiatief, waarbij Movares als initiatiefnemer duidelijk afhankelijk is van de beslissingen van ProRail, goed zichtbaar.

1.4 2023 en verder

In dit jaar zijn er daadwerkelijk stappen gezet in de concepten. In dit deel wordt beschreven welke drie projecten er lopen, waar dit jaar op gefocust wordt en wat de stappen er zijn gemaakt. Omdat in deel II deze concepten al uitgebreid worden behandeld wordt in Deel III verwezen naar deze stukken. In deel III is te zien dat er eindelijk stappen gezet worden om de CO2 reductie ook in de praktijk te kunnen toetsen. Movares ziet kansen om krachten te bundelen met een ander project van ProRail.

Deel I – 2016 tot en met 2020



2 Inleiding ketenanalyse algemeen

2.1 Algemeen

Bij Movares staat betrokkenheid hoog in het vaandel. Het is een van onze kernwaarden. Onze insteek naar klanten, partners en medewerkers is hier mede op gebaseerd. En richting maatschappij en milieu is betrokkenheid het sleutelwoord. Wij zijn ons bewust van onze verantwoordelijkheid voor een duurzame samenleving voor huidige en toekomstige generaties, beseffen welke rol Movares daarin kan spelen en handelen daarnaar. Allereerst is dit zichtbaar in de projecten die wij uitvoeren.

Als ontwerpende partij zijn wij vaak betrokken bij de vroege fasen van de levenscyclus van een project. In ons marktsegment, de infrastructuur, kunnen wij veel betekenen voor de verduurzaming van (het gebruik van) die infrastructuur. Door, behalve voor onze eigen rol, ook oog te hebben voor de totale keten en daarin de samenwerking met ketenpartners op te zoeken, worden de mogelijkheden tot verduurzaming vergroot. Zo komen oplossingen tot stand die maatschappelijk het grootste nut opleveren.

Een belangrijk onderdeel van onze duurzaamheidsambities is onze positie op de in december 2009 door ProRail gelanceerde CO₂-prestatieladder, waar wij te vinden zijn op trede 5. Een van de onderdelen van deze ladder is het inzicht hebben in de emissies die wij uitstoten. Dit betreft zogenoemde Scope 1, 2 en 3 emissies.

2.2 Verschil tussen scope 1, 2 en 3 emissies

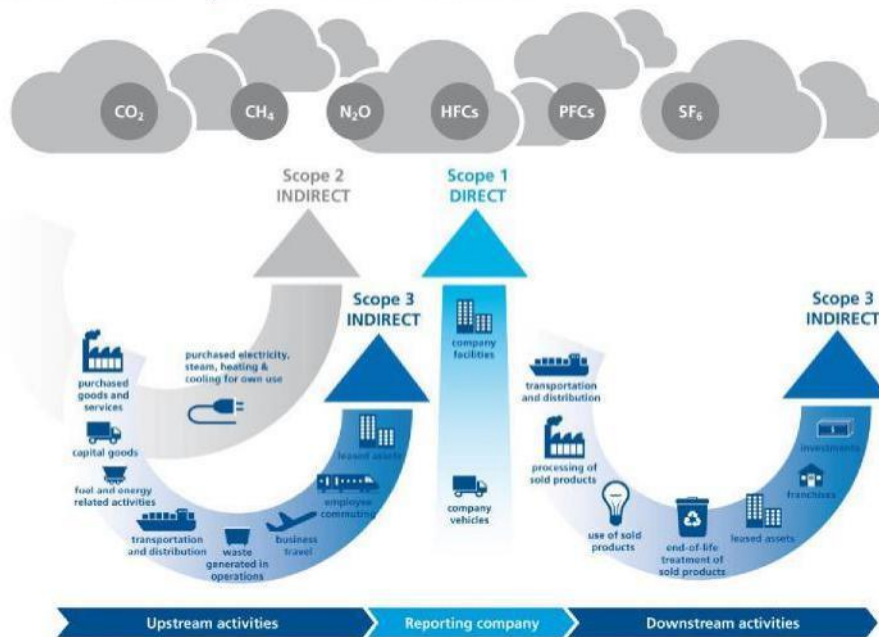
In het zogenaamde *Greenhouse Gas Protocol* wordt onderscheid gemaakt naar de herkomst van de emissies in scope 1, 2 en 3, zie Figuur 1 en Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht en toelichting emissies scope 1, 2 en 3

Scope	Type	Definitie	Voorbeeld
1	Direct	Emissies van activiteiten die beheerd of uitgevoerd worden door het rapporterende bedrijf	Emissies van aardgas in eigen CV-installaties, bedrijfsauto's
2	Indirect	Emissies als gevolg van de productie van ingekochte elektriciteit, stroom, verwarming of koeling die gebruikt wordt door het rapporterende bedrijf	Emissies van ingekochte elektriciteit
3	Indirect	Alle indirecte emissies, welke niet onder scope 2 vallen, die voorkomen in de waardeketen van het rapporterende bedrijf inclusief upstream en downstream emissies.	Productie en transport van ingekochte producten, of het gebruik van verkochte producten

T.b.v. de CO₂-prestatieladder worden de emissies van privéauto's, zakelijk vliegverkeer en zakelijk openbaar vervoer tot scope 2 gerekend. Het GHG protocol rekent deze tot scope 3.

Overview of GHG Protocol scopes and emissions across the value chain



Source: ghgprotocol.org - World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011

Figuur 1 Verdeling scope 1, 2 en 3 emissies

2.3 Doel ketenanalyse

Voor de ketenanalyse zijn de scope 3 emissies belangrijk. Om inzicht te krijgen in de scope 3-emissies op het gebied van CO₂ heeft Movares een analyse uitgevoerd van haar waardeketen. Hierbij zijn alle indirecte CO₂-emissies beschouwd die als gevolg van onze activiteiten worden uitgestoten, maar waar wij niet direct invloed op hebben. Voorbeelden hiervan zijn onze ontwerpprocessen, waarbij onze oplossingen een groot deel van de emissies bepalen, hoewel wij zelf de realisatie van onze oplossingen niet verzorgen.

Doel van deze emissie-analyse is om inzicht te krijgen in onze grootste emissievooroorzakers, zodat daar gericht reductiedoelen op kunnen worden gesteld, die vervolgens ook kunnen worden gemonitord. In dit hoofdstuk wordt enige informatie uit het 'Energiemanagement en CO₂-reductieplan' [8] gegeven zodat de plaats van de voorliggende ketenanalyse (Duurzame wisselverwarming) duidelijk is.

2.4 Categorieën scope 3 emissies

De scope 3 emissies worden in het GHG protocol in verschillende categorieën ingedeeld, in de twee hoofdstromen upstream en downstream, zie ook Tabel 2.

Upstream	Downstream
1. Aangekochte goederen en diensten	9. Downstream transport en distributie
2. Kapitaalgoederen	10. Ver- of bewerken van verkochte producten
3. Brandstof- en energie gerelateerde activiteiten (niet opgenomen in scope 1 of 2)	11. Gebruik van verkochte producten
4. Upstream transport en distributie	12. End-of-life verwerking van verkochte producten
5. Productieafval	13. Downstream geleasete activa
6. Personenvervoer onder werktijd (Business Travel)	14. Franchisehouders
7. Woon-werkverkeer	15. Investerings
8. Upstream geleaste activa	

Tabel 2 *Categorieën scope 3 emissies*

Categorie 6 is doorgehaald, aangezien deze categorie conform de CO₂-prestatieladder onder scope 2 emissies valt. Movares heeft in het 'Energiemanagement en CO₂-reductieplan' [8] beschreven welke upstream- en downstreamemissies in de bedrijfsvoering aanwezig zijn. Hiervoor is ook bepaald welke ProductMarktCombinatie's (PMC's) Movares kent. De 5 PMC's van Movares waar Movares de meeste invloed in heeft zijn:

PMC's Movares	Relatief belang van CO ₂ -belasting van de sector	Invloed van onze activiteiten op deze CO ₂ -emissies	Potentiële invloed Movares op CO ₂ -uitstoot	Rang-orde	Indicatie uitstoot (kton CO ₂)
Rail - tractievoeding	groot	groot	groot	1	159
Rail, wegen en water – kunstwerken	middelgroot	groot	groot	2	80
Rail, wegen en water – overige infrastructuur	groot	groot	klein	3	342
Gebouwen en energie - gebouwen	groot	groot	klein	4	5
Gebouwen en energie – installaties	groot	groot	klein	5	5

Tabel 3 *Meest materiële scope 3-emissies Movares Nederland*

2.5 Keuze ketenanalyse 2019

Movares heeft in 2019 conform het handboek 'CO₂-prestatieladder 3.0' de verplichting om één nieuwe ketenanalyse met bijbehorend keteninitiatief te starten. De bestaande ketenanalyse 'Beton & topologisch ontwerpen' loopt door maar het bestaande keteninitiatief '3kV' kan voorlopig niet bijdragen aan de geplande CO₂-reductie van Movares omdat er op hoog politiek niveau in Nederland besluitvorming over moet plaatsvinden. Het initiatief staat dus 'on hold'. In dit document wordt daarom de nieuwe ketenanalyse inclusief het keteninitiatief 'Duurzame wisselverwarming' en de bijbehorende reductiedoelen beschreven. Deze analyse valt in de PMC Rail (wegen en water) – overige infrastructuur, waar de hoogste CO₂-uitstoot plaatsvindt.

2.6 Leeswijzer deel I, II en III

In dit document worden de ketenanalyse en de reductiedoelstellingen vanuit het keteninitiatief 'Duurzame wisselverwarming' beschreven. In hoofdstuk 2 staat algemene informatie over ketenanalyses. In hoofdstuk 3 vindt u een inleiding op deze specifieke ketenanalyse. Hoofdstuk 4 beschrijft de ketenanalyse van een wisselverwarming. In hoofdstuk 5 beschrijft de soorten wisselverwarming. Hoofdstuk 6 beschrijft het energiegebruik van wisselverwarming en in hoofdstuk 7 is de bijbehorende CO₂ reductiedoelstelling beschreven. Hoofdstuk 8 is een puntsgewijze samenvatting van deel I. Hoofdstukken 9-11 geven inzicht in de doorontwikkeling van het keteninitiatief richting glijstoelverwarming. Hoofdstuk 13 is een puntsgewijze samenvatting van deel II. Hoofdstuk 15-geeft de doorontwikkeling van 2023, opgedeeld in deelonderwerpen. Hoofdstuk 16 geeft een samenvatting van de doorontwikkelingen en in hoofdstuk 16 staat de geraadpleegde literatuur.

3 Inleiding ketenanalyse duurzame wisselverwarming

3.1 Algemeen

Movares is in 2010 een keteninitiatief gestart om wisselverwarming te verduurzamen op basis van bodemwarmte en warmtepomptechnologie. Dit concept is op verschillende locaties ingebouwd en getest en ook effectief gebleken. Niettemin werd deze oplossing door ProRail en de procescontractaannemers (PCA's) als te complex ervaren. Daarom wordt toepassing van deze installaties op bodemwarmte niet gecontinueerd.

Nieuwe installaties zijn gebaseerd op het principe 'elektrisch lint' zoals vastgelegd in OVS00303-V002. Deze nieuwe specificatie leidt niet tot CO₂-reductie, in tegendeel. Vanwege de relatief slechte prestatie van dit systeem, bestaat de neiging om het elektrisch vermogen op te voeren om de beschikbaarheid van het spoor zeker te stellen. Met name negatieve ervaringen in strenge winterperioden dragen hiertoe bij.

Om deze reden is Movares opnieuw op zoek gegaan naar een manier om CO₂-reductie voor wisselverwarming te bewerkstelligen én de prestatie te verbeteren. Hier wordt vanaf hoofdstuk 4 op ingegaan.

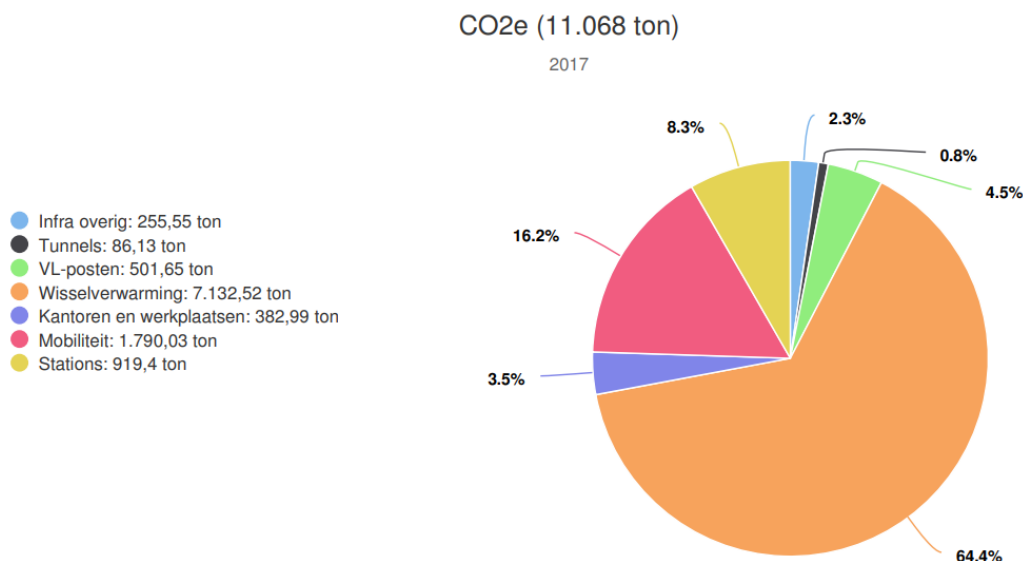
Om de leesbaarheid te bevorderen wordt in dit document af en toe teruggerepen op de ketenanalyse van 2010. Het onderliggende probleem, de CO₂-uitstoot, is namelijk hetzelfde gebleven doordat de eerder bedachte oplossing te complex is gebleken. Belangrijk verschil met het initiatief uit 2010 is dat de beoogde CO₂-besparing wordt gerealiseerd door selectief te verwarmen, daar waar nodig. Dat betekent dat de reductie niet wordt bereikt door inzet van een warmtepomp, maar doordat de hoogwaardige (elektrische) warmtebron effectiever wordt benut. Daarnaast worden mogelijkheden verkend om de inschakelduur te verkorten door een betere regeling van het systeem en door systemen toe te passen die zich beter laten regelen doordat ze een hogere reactiesnelheid hebben.

De warmtepomptechnologie sloot goed aan bij de huidige techniek, omdat in alle gevallen de spoorstaaf wordt verwarmd. Bij een warmtepomp is dit (net als bij een centrale buis systeem) een buis in een lus-vorm langs deze spoorstaaf. Een geothermisch systeem met warmtepomp werkt met een relatief lage vloeistof-temperatuur (ca 50°C) en onttrekt driekwart van de benodigde warmte aan de bodem.

De huidige aanpak gaat uit van elektrische verwarming daar waar deze nodig is om sneeuw en ijs te smelten. Dit is een nieuwe benadering, waarbij verwarming van de spoorstaaf min of meer wordt losgelaten, omdat hiermee veel warmte verloren gaat.

3.2 CO₂ uitstoot door wisselverwarming

Wisselverwarming is verantwoordelijk voor 64% van alle CO₂-uitstoot door ProRail (7.132 ton/jaar, oranje deel in onderstaande grafiek). Omdat nieuwe ontwerpvoorschriften (OVS) meer vermogen voorschrijven dreigt een toename. Efficiëntere wisselverwarming is en blijft daarom prioriteit om het energieverbruik en de CO₂-uitstoot door ProRail met minstens de helft te verminderen (referentie [4]).



Figuur 2. Overzicht CO₂-uitstoot ProRail

De CO₂-uitstoot van de wisselverwarming van ProRail maakt 2% (7.132 ton van 342.000 ton) uit van de totale PMC van Movares waar deze ketenanalyse onder valt.

3.3 Simulatie door wisselverwarming

Computermodellen van Movares [4] laten zien dat de warmteoverdracht van wisselverwarming waarmee sneeuw en ijs worden gesmolten een factor 3 beter kan wanneer gebruik wordt gemaakt van infrarood voor de warmteoverdracht.

Toegepast op de huidige CO₂ uitstoot ProRail zou dat een jaarlijkse reductie betekenen van 4775 ton CO₂.

De simulaties laten ook een ander beeld zien wat nog extra winst oplevert. "Omdat dit concept het hoogste rendement heeft en sneller reageert, is de benodigde tijd waarbij deze aan moet staan om alle sneeuw te smelten minimaal" [4].

Omdat de gesimuleerde oplossing een snellere reactietijd heeft, kan de inschakelduur dus worden verkort wat in totaal naar schatting zou moeten kunnen leiden tot een factor 4 reductie van CO₂-uitstoot. Een besparing van meer dan 5000 ton CO₂ /jaar.

In potentie kan daardoor de CO₂-footprint van ProRail met grofweg helft worden gereduceerd. Deze potentie is in september 2019 gepresenteerd op de Movares duurzaamheidsdag (referentie [1]) waar ook ProRail vertegenwoordigd was.

3.4 Doelstellingen ProRail energiebesparing en CO₂-uitstoot keuze

ProRail *Verbindt, Verbetert en Verduurzaamt* en voert een actief energiebeleid. Voor dit laatste is het Energie-Efficiency-Plan opgesteld [2]. ProRail vindt energiebesparing belangrijk en hanteert hierbij een prioritering van energiebesparingsprojecten volgens de Trias Energetica. De eerste prioriteit is daarbij de reductie van energievraag. Tweede prioriteit is de inkoop van duurzame energie. Als derde tenslotte, het gebruik van apparatuur met een zo hoog mogelijk rendement.

In het kader van de CO₂-prestatieladder, laat ProRail jaarlijks een energieaudit uitvoeren. Uit het rapport over 2014 worden Verlichting en Wisselverwarming genoemd als interessante gebieden. Voor wisselverwarming zijn vooralsnog geen maatregelen genomen anders dan het verminderen van het aantal installaties, als gevolg van de reductie van het aantal wissels [2]. Op haar website zegt ProRail hierover het volgende:

In november 2018 hebben we onze CO₂-voetafdruk over 2017 gepubliceerd. De CO₂-emissie als gevolg van ons energieverbruik is in 2017 gedaald naar 12 kiloton, vergelijkbaar met de uitstoot van circa 1.500 huishoudens. De prognose voor onze voetafdruk 2018 is ruim 13 kiloton. Door deze toename zullen we ons jaardoel van maximaal 12 kiloton niet halen. Oorzaak is een fors hoger

gasverbruik bij wisselverwarming en een hoger gasverbruik bij stations door de lange periode van kou begin 2018. Bovendien waren voor de aanleg van diverse elektrische wisselverwarmingssystemen de aansluitingen op het energienet niet op tijd klaar, waardoor tijdelijk dieselaggregaten nodig waren. (<https://www.jaarverslagprorail.nl/verslag/maatschappeprestatie/duurzaamspoor>)

Voor de CO₂-emissie in de levenscyclus van wisselverwarming zijn het energieverbruik en de levensduur van wisselverwarming maatgevende factoren [2]. Vanaf hoofdstuk 6 wordt hier verder op ingegaan.

3.5 Duurzaamheidsstreven Movares

Movares hecht er aan om haar kennis en ervaring op het gebied van wisselverwarming (net als eerder in 2010) in te zetten voor een duurzaamheidsinitiatief en samen met ProRail en de sector effectievere wisselverwarming mogelijk te maken.

In hoofdstuk 9 is het Plan van Aanpak voor zo'n initiatief beschreven. Niet alleen Movares en ProRail leren van dit initiatief. In de hele sector, zowel nationaal als internationaal, kunnen railbeheerders, metro- en trambedrijven leren en profiteren van dit keteninitiatief wanneer dit in tests succesvol uitpakt en in de praktijk wordt opgepakt. Movares heeft informatie ingewonnen uit onderzoeken verricht door andere partners zoals de Schweizer Bundesbahnen (SBB) en andersom kunnen buitenlandse spoorbeheerders als Infrabel, Deutsche Bahn en SBB weer leren van ons onderzoek en de resultaten.

Movares heeft de afgelopen jaren een tiental innovatieve railproducten ontwikkeld die een gunstig effect hebben op de CO₂- footprint en momenteel een marktdoorbraak beleven in België, Duitsland, Denemarken en Zwitserland *. De verwachting is dat een effectieve en robuuste wisselverwarming uiteindelijk ook door deze landen kunnen worden toegepast. Enkele van deze innovaties zijn gericht op een robuustere wisselaandrijving, waardoor de aanwezigheid van ijs en sneeuw in wissels iets minder kritisch wordt en ook langs deze weg het vermogen van de wisselverwarming omlaag kan.

De ketenanalyse is een aanvulling op de bestaande (gepubliceerde) kennis en inzichten, en draagt zo bij aan het voortschrijdend maatschappelijk inzicht.

**) Het betreft hier producten die door Movares zijn ontwikkeld. Voorbeelden zijn: ShimLift, DeltaSwitch, Tenseq en de Dwarsligger Faunapassage.*

4 Ketenganalyse wisselverwarming

4.1 De keten van wisselverwarming

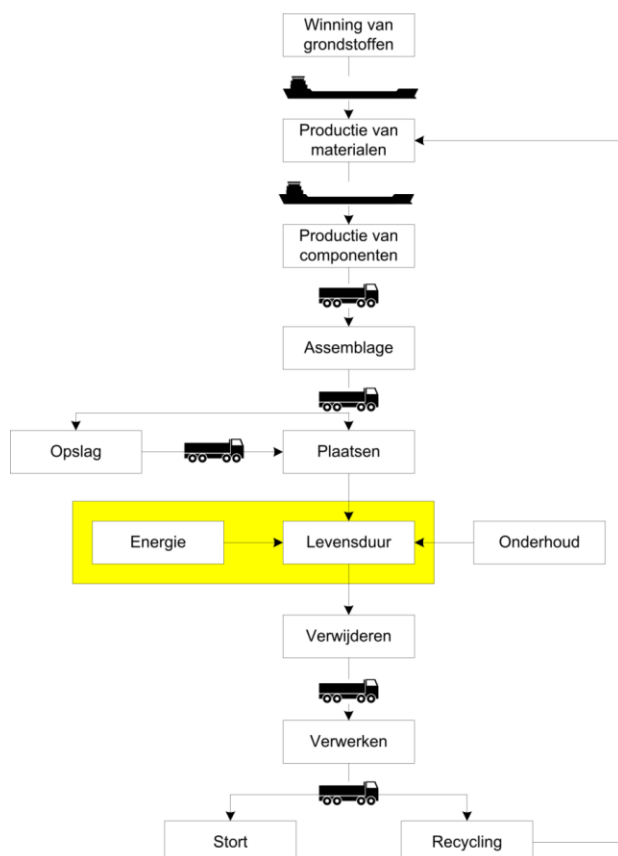
De uitgevoerde stappen in de analyse uit 2010 zijn onder meer:

- In kaart brengen van de keten
- Identificeren partners in de keten
- Kwantificeren van de CO₂-emissie van de keten
- Aandragen van wisselverwarming op basis van bodemwarmte

Om de CO₂-emissies van wisselverwarming gedurende de levenscyclus in kaart te kunnen brengen, is het van belang om de verschillende emissiebronnen te identificeren. Op basis hiervan kunnen de belangrijkste emissiebronnen geselecteerd worden. Deze emissiebronnen vormen de aanknopingspunten voor emissiereductie-opties.

4.2 Ketenuitwerking wisselverwarming

De levenscyclus, zoals weergegeven in Figuur 3, is gebaseerd op een generiek wisselverwarmingssysteem. Zie "CO₂-emissie analyse scope 3 – Document 2: ketenuitwerking varianten wisselverwarming, Movares, K&I-PB-100029202 - Versie 1.0, 14 december 2010 [2]. Afhankelijk van welk systeem wordt toegepast, kunnen bepaalde stappen specifiek worden ingevuld, zoals recycling en winning van grondstoffen.



Figuur 3. Levenscyclus van een wisselverwarmingssysteem

In de spoorsector is het gebruikelijk om te focussen op het energieverbruik tijdens de levensfase, vooral omdat het energieverbruik en de CO₂-emissies tijdens bouw en sloop van wisselverwarming gering zijn ten opzichte van de hoge emissies ten gevolge van het energieverbruik tijdens de levensfase. In de levenscyclus in Figuur 3 is de levensduur met bijbehorend energieverbruik aangegeven middels een geel blok.

Om de aanname dat de CO₂-emissies tijdens de bouw- en sloopfase gering zijn te onderbouwen, volgt hier een vergelijking op basis van elektrisch lint (de huidige keuze voor installaties). Daarbij wordt uitgegaan van een levensduur van 25 jaar.

- Productie, assemblage en plaatsen: 50 kg CO₂/jaar per wissel
- Sloop: 15 kg CO₂/jaar per wissel
- Onderhoud excl. energieverbruik: 53 kg CO₂/jaar per wissel

Het totaal is 118 kg CO₂/jaar per wissel (en omvat dus alle stappen behalve de geel gemarkeerde). Ten opzichte van het energiegebruik van bestaand elektrisch lint van 1024 kg CO₂/jaar per wissel (zie hoofdstuk 6) kan daarom voor deze ketenanalyse worden volstaan met een beschouwing van het energiegebruik omdat de CO₂-uitstoot ten gevolge van het energieverbruik ongeveer 90 procent van de totale CO₂-uitstoot bedraagt. Voor nieuw elektrisch lint (1752 kg CO₂/jr per wissel) is dit zelfs 94%.



Figuur 4. Elektrisch lint systeem

4.3 Systemanalyse wisselverwarming

Voor de ketenanalyse van bestaande wisselverwarmingssystemen wordt uitgegaan van het meest gebruikte systeem: het branderpijpsysteem. Dit systeem bestaat uit de volgende componenten:

- Twee branderpijpen met vonkstekers, die met klemmen aan de rails worden bevestigd.
- Gasvoorziening met bekabeling.
- Optioneel zijn ook meetcomputers e.d. te installeren.



Figuur 5. Branderpijpsysteem



Omdat, afgezien van de gasinfrastructuur, de hoeveelheid materiaal erg beperkt is, is het bij het analyseren van CO₂-reductiemogelijkheden bij wisselverwarming niet relevant om te kijken naar het

gebruik van andere materialen, naar hergebruik van materialen of naar andere manieren van transport. De effecten van deze emissiereducties vallen in het niet bij de hoge emissies tijdens de levensfase. In dit onderzoek focussen wij ons dan ook alleen op het energieverbruik tijdens de levensfase.

5 Voortgaand onderzoek efficiëntere wisselverwarming

Aangezien het eerder genomen initiatief niet praktisch is gebleken in de uitvoering is de toepassing ervan beperkt gebleven tot slechts enkele locaties.

5.1 Onderzoek internationaal

Ook internationaal is er aandacht voor het energieverbruik en CO₂-uitstoot door wisselverwarming. In Zwitserland is in 2014 onderzoek uitgevoerd dat is beschreven in het rapport *Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung* [7]. Uit dit rapport kunnen belangrijke conclusies worden getrokken die ook voor het Nederlandse spoor van belang zijn.

De eerste betreft de gasgestookte wissels. Volgens de opstellers van het rapport wordt buiten Nederland vrijwel nergens nieuwe wisselverwarming op gas aangelegd. In Zwitserland zelf wordt 31% van de wissels met gas verwarmd (stand in 2014). De gasgestookte wissels verbruiken ongeveer twee keer zo veel energie in vergelijking met elektrisch verwarmde. In de Zwitserse situatie (waar veel waterkracht voor handen is) is wisselverwarming op gas verantwoordelijk voor 90% van de CO₂ uitstoot.

Veel aandacht wordt in het rapport besteed aan de verbetering van de energie-efficiëntie van elektrische wissels. Grote winst (ca 50%) is te halen door een goede weersafhankelijke regeling voor de niet-geautomatiseerde wisselverwarming. Dit wordt dan ook gezien als de eerst voor de hand liggende verbetering. Zo'n regeling zal dan ook worden meegenomen bij de nieuwe wisselverwarming op infraroodbasis. Streven hierbij is een zelfregulerend systeem waarbij de energieopname wordt gereguleerd op basis van het benodigd thermisch vermogen dat wordt bepaald door temperatuur, wind en hoeveelheid neerslag (sneeuw).

Internationaal wordt wisselverwarming op basis van Geothermie gezien als kansrijk. Een van de systemen werkt zelfs zonder externe energietoevoer. In Duitsland lopen proeven met dit systeem vanaf 2013. Systemen op aardwarmte zijn overigens wel duurder. Ook bestaat er in Zwitserland daarom wel scepsis ten aanzien van wisselverwarming op aardwarmte.

5.2 Kansen voor effectievere wisselverwarming

In 2015 heeft VolkerRail een aanbesteding voor wisselverwarming op basis van 'Electric Point Heating' (EPH) gewonnen. Bij Movares is toen het vermoeden gerezen dat deze EPH een verre van optimale oplossing was om wissels te verwarmen. Om die reden heeft overleg met VolkerRail plaatsgevonden over verbetering van deze wisselverwarming. Aangezien de EPH de oplossing was waarmee de aanbesteding was gewonnen, was in het kader van deze aanbesteding geen wijziging van dit concept mogelijk (op straffe van ontbinding van de overeenkomst tussen VolkerRail en ProRail). Uiteindelijk is het door Volker ontwikkelde systeem niet door de testfase gekomen.

5.3 Resultaten van EEM-simulaties

Sinds 2016 onderzoekt Movares op welke wijze efficiëntere wisselverwarming kan worden gerealiseerd zonder toepassing van bodemwarmte [4]. Met behulp van computersimulatie is de prestatie van systemen die gebruik maken van infrarood-warmtestraling vergeleken met systemen op basis van het huidige Ontwerpvoorschrift voor Elektrische Wisselverwarming [5].

Zoals in paragraaf 3.3 genoemd, is een efficiencyverbetering van een factor 3 of 4 mogelijk. Uit de simulaties blijkt dat bij bestaande systemen slechts 12,8% van de warmte beschikbaar is voor het smelten van sneeuw en ijs tussen wisseltong en aanslagspoorstaaf. Bij een geoptimaliseerd systeem met Infraroodstraler kan dat verbeterd worden tot ca. 40% en wellicht nog veel meer wanneer de

warmte uitsluitend wordt gericht op de glijstoelen; we hebben het dan over optimalisatie exclusief zelfregulatie en exclusief weersafhankelijkheid. Dit betekent dat het energieverbruik, en dus ook de CO2 uitstoot van wisselverwarming tenminste met een factor 3 en mogelijk zelfs 4 omlaag kan.

6 Energieverbruik wisselverwarming

Zoals in hoofdstuk 3.2 is genoemd, komt ongeveer 2/3e van het jaarlijkse energieverbruik van ProRail voor rekening van wisselverwarming. Uitgedrukt in CO₂-uitstoot is dit ruim 7000 ton per jaar.

In het keteninitiatief van 2010 heeft Movares ingezet op het vervangen van de huidige branderpijpsystemen door systemen met een warmtepomp op basis van bodemwarmte. Dit initiatief borduurde voort op ervaringen met proefinstallaties in Arnhem, Lelystad en Utrecht met in totaal ongeveer 50 wissels. Hoewel de bereikte CO₂-reductie door deze installaties hoog is (ca 80 % minder dan een branderpijpsysteem), zijn deze complexer in aanleg en onderhoud. Om deze reden worden bodemwarmtesystemen niet meer in wisselverwarming toegepast.

In Nederland worden verschillende methoden van wisselverwarming toegepast zoals open branderpijpen die werken op aardgas, eveneens gasgestookte CV-installaties en elektrische wisselverwarming met elektrisch lint. Daarnaast worden dus enkele wissels verwarmd met behulp van bodemwarmte (warmtepomp).

In dit hoofdstuk worden alternatieven beschreven en vergeleken op investeringskosten, exploitatiekosten, energiegebruik en CO₂-emissies.

6.1 Trend in energieverbruik wisselverwarming

In de CO₂-emissie-analyse in 2010 is uitgegaan van 500 branduren per wissel per jaar (vallend in het seizoen van 1 oktober tot 1 april). Voor het vermogen per wissel werd uitgegaan van 4,5 kW voor een (veel toegepast type) 1:9 wissel met standaard elektrisch lint wisselverwarming. De eisen aan het ontwerp van elektrische wisselverwarming zijn de laatste jaren echter gewijzigd. Het huidige PVE in OVS00303-v.002, [5] schrijft sinds 2018 een vermogen voor van 700 W per meter (per halve tongbeweging) voor het genoemde wissel. Bij een wissel 1:9 bedraagt de te verwarmen lengte in totaal 11 meter, zodat het vermogen uitkomt op 7,7 kW. Dit is een stijging van 70% ten opzichte van de situatie in 2010, toen het geïnstalleerd vermogen bij dit type wissel nog 4,5 kW was. Als gevolg hiervan is bij nieuwe wisselverwarmingsinstallaties een fors hoger verbruik te verwachten. (In hoofdstuk 7 worden de huidige en de nieuwe eisen meegenomen in de reductie).

Een bijkomend probleem van een hoog geïnstalleerd elektrisch vermogen vormt de elektrische aansluiting. Vooral bij grotere emplacementen kan een gelimiteerd aansluitvermogen een bottleneck vormen. Ook gaat een hoog aansluitvermogen gepaard met hoge kosten voor aanleg en de vaste leveringskosten (voorheen vastrecht).

Omdat simulaties van wisselverwarming met gerichte warmte(-straling) hebben laten zien dat het vermogen van wisselverwarming flink omlaag kan met behoud van effectiviteit, heeft Movares ingezet op wisselverwarming met infraroodstralers. Later is daar nog een variant aan toegevoegd (zie deel II van dit rapport).

6.2 Vergelijking van de systemen

Om uitwisseling van gegevens eenvoudiger te maken en inzicht te krijgen in de CO₂-footprint van een wisselverwarmingssysteem gedurende zijn levensfase, gefocust op energieverbruik, wordt teruggegrepen op het voorgaande keteninitiatief uit 2010 met wisselverwarming met behulp van bodemwarmte [2]. Movares heeft toen de volgende alternatieven onderzocht:

1. Elektrisch lint: wisselverwarming gevoed door elektriciteit.
2. Centrale buissysteem: CV- met warm water, gevoed door aardgas.

3. Elektrische warmtepomp t.b.v. bodemwarmtesysteem: systeem dat gebruik maakt van bodemwarmte (ondiepe bodemlussen) om een wissel te verwarmen.
4. Gaswarmtepomp t.b.v. bodemwarmtesysteem: analoog als voorgaande, maar met gas als energiebron voor de warmtepomp.
5. Branderpijp: conventioneel, open brandersysteem op aardgas.

Relevant in deze opsomming zijn twee nieuwe varianten:

- 1a) Elektrisch lint verwarming volgens de specificatie van OVS00303.v002 (het vigerend PVE).
- 1b) een eveneens elektrisch systeem dat gebruik maakt van Infraroodstraling.

De belangrijkste kenmerken en verschillen van de systemen worden hieronder kort beschreven:

Ad 1

Elektrisch-lint-verwarming maakt gebruik van verwarmingselementen (geïsoleerde weerstandsdraad in een buis) die tegen de aanslagspoorstaaf worden geklemd.

De kosten van elektrisch-lint-verwarming zijn ondanks de eenvoud van de installatie aan het spoor hoger dan andere systemen. Dat wordt veroorzaakt door de z.g. scheidingstrafo's en het transport van elektrische energie op het emplacement. In de kostenvergelijking van de varianten is rekening gehouden met de sloop van de branderpijpen en de kosten om de werkzaamheden op het spoor veilig te kunnen uitvoeren. Door deze kosten die voor alle varianten gelden is het verschil in prijs tussen de varianten kleiner dan men bij een eerste globale beschouwing zou verwachten.

Elektrisch lint heeft een hoge CO₂-uitstoot door conversieverliezen bij de opwekking van elektriciteit op basis van fossiele energie. Uiteraard is de CO₂-emissie bij gebruik van groene stroom lager, maar dat geldt voor alle elektrische varianten. Bij dit laatste moet de vraag worden geplaatst of voldoende groene stroom beschikbaar is wanneer wisselverwarming het meest noodzakelijk is: in de winter en in de nacht.

Ad 2:

In Nederland wordt naast wisselverwarming met branderpijpen en elektrisch lint gebruik gemaakt van het **centrale buissysteem** waarbij de warmte wordt opgewekt door een CV-ketel. Het maakt gebruik van het bestaande gasnet voor de branderpijpen en heeft een aanzienlijk lager vermogen dan branderpijpen en daardoor ook minder CO₂-emissie dan een branderpijpsysteem.

Ad 3:

Wisselverwarming met bodemwarmte is door Movares geïntroduceerd. Het systeem heeft een laag energieverbruik en CO₂-emissie. Hoewel de warmtepomp en de bodemlus meer geld kosten dan de installatie voor elektrisch lint valt de investering toch lager uit omdat het kabelnet veel goedkoper is door de lagere benodigde vermogens.

Ad 4:

In verband met de hoge aanlegkosten voor de aanvoer van elektrische energie is destijds ook gekeken naar bodemwarmte op basis van een **gaswarmtepomp**. Deze heeft een wat hogere CO₂-emissie dan de elektrische warmtepomp variant, maar de installatiekosten vallen wel lager uit.

Ad 5:

Als referentie wordt tenslotte gebruik gemaakt van het bestaande **branderpijpsysteem**. Het open brandersysteem heeft een laag rendement en een hoger thermisch vermogen dan de andere systemen. Het heeft daardoor een relatief hoge CO₂-uitstoot.

6.3 CO₂-footprint per wisselverwarmingsysteem

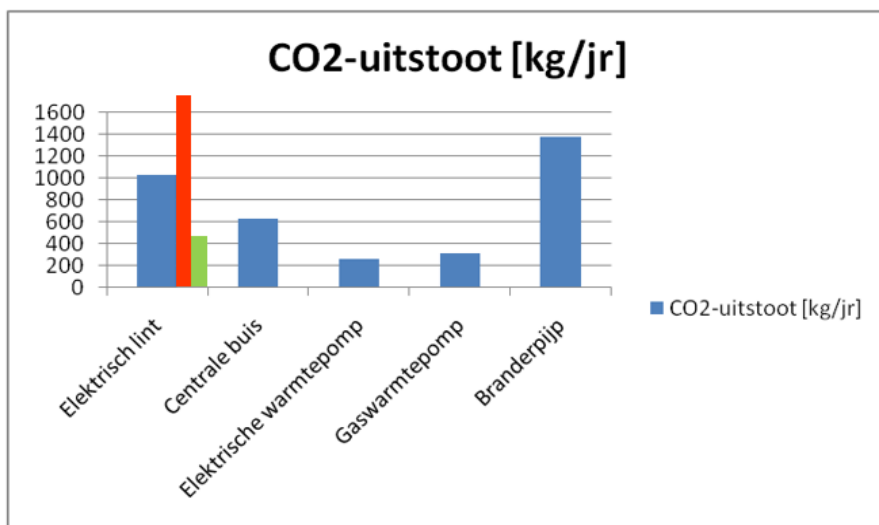
Uitgegaan wordt van een standaard 1:9 wissel. Verdere uitgangspunten voor de berekening zijn 500 branduren per jaar (van 1 oktober tot 1 april) per wissel, met een vermogen van 4,5 kW per wissel voor de referentie situatie.

De energieverbruiksgegevens voor de hierboven genoemde systemen zijn weergegeven in Tabel 4. De CO₂-uitstoot van de diverse systemen is grafisch weergegeven in tabel 5 en Figuur 6. De gehanteerde emissiewaarden zijn 0,455 kg CO₂/kWh en 1,825 kg CO₂/m³ aardgas.

Systeem	Verbruik elektriciteit		CO ₂ -waarde	Verbruik gas		CO ₂ -waarde	CO ₂ -uitstoot
	[kW]	[kWh/jr]	[kg/kWh]	[m ³ /h]	[m ³ /jr]	kg/m ³	[kg/jr]
Elektrisch lint	4,5	2.250	0,455				1024
Elektrisch lint OVS00303v2	7,7	3.850	0,455				1752
Elektrisch, Infrarood	2	1000	0,455				455
Centrale buis				0,69	342	1,825	624
Elektrische warmtepomp	1,1	563	0,455				256
Gaswarmtepomp				0,34	171	1,825	312
Branderpijp				1,51	755	1,825	1378

Tabel 4 Verbruik en CO₂-uitstoot van wisselverwarming

Bron: Movares [2]



Figuur 6 CO₂-emissie per wissel per jaar

Voor de onderzochte systemen zijn de investeringen bij vervanging van de huidige branderpijpsystemen, de energiekosten per jaar en de onderhoudskosten per jaar weergegeven in Tabel 5. De gebruikte kleuren zijn een indicatie van de relatieve score ten opzichte van de alternatieven. (Oplopend van groen – geelgroen – geel – oranje – naar rood).

Systeem	Investering [€]	Energie [€/jr]	Onderhoud [€/jr]	CO ₂ -uitstoot [kg/jr]
1 Elektrisch lint	24.500	222	130	1024
1a Elektr. OVS00303v2	30.000	380	130	1752
1b Elektrisch, Infrarood	20.000	100	195	455
2 Centrale buis	17.500	152	90	624
3 Elektr. warmtepomp	23.000	56	90	256
4 Gaswarmtepomp	20.000	80	90	312
5 Branderpijp	Bestaand	336	310	1378

Tabel 5 Keuzetabel systemen wisselverwarming

Bron: Movares [2]

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de bodemwarmtesystemen relatief goed scoren in vergelijking met de andere de alternatieven. Deze oplossing wordt echter zoals reeds aangegeven, door ProRail als te complex ervaren.

Verder valt op dat het elektrisch lint zoals dat nu in het ontwerpvoorschrift (OVS) is gespecificeerd (rode kolom in Figuur 6), de hoogste energiekosten met zich mee brengt, de hoogste investering vergt en veruit de hoogste CO₂-uitstoot levert.

De door Movares voorgestelde geoptimaliseerde elektrische oplossing (1b) daarentegen levert juist een flinke besparing op energiekosten, is het goedkoopst in aanleg en levert een relatief lage CO₂-uitstoot. Omdat de oplossing nog niet is uitontwikkeld, is er veiligheidshalve van uitgegaan dat deze 1,5 maal meer onderhoud vergt, bijvoorbeeld omdat de elementen waarschijnlijk jaarlijks moeten worden schoongemaakt.

In het bovenstaande is er verder vanuit gegaan dat de investeringskosten voor de nieuwe OVS-oplossing ruim 20% hoger zijn dan voor elektrisch lint eerder berekend, omdat het vermogen van de aansluiting 70% hoger is. Voor de geoptimaliseerde oplossing is een relatief lichte aansluiting voldoende, en hoeft geen boring plaats te vinden voor bodemwarmte. Daarom wordt de investering op ongeveer 20k geschat, iets minder dan voor de elektrische warmtepompoplossing.

6.4 Analyse en conclusie

Bij vervanging van de huidige wisselverwarming met branderpijpen (ca 2500 stuks) is vervanging door verwarming op basis van elektrisch lint conform OVS00303v2 qua duurzaamheid en kosten geen voor de hand liggende keuze. De berekening laat zien dat er veel energie- en CO₂-besparing is te behalen door een alternatief te kiezen. Omdat systemen op basis van bodemwarmte door ProRail worden ervaren als 'een brug te ver', ligt de keuze voor een andere elektrische oplossing waarbij niet de gehele spoorstaaf wordt verwarmd, meer voor de hand.

Op basis van de overwegingen in dit hoofdstuk adviseert Movares dan ook om deze systemen te vervangen door een geoptimaliseerd elektrisch systeem.

7 CO₂-reductieberekening

7.1 Identificatie van reductiemogelijkheden

Het grootste gedeelte van de CO₂-uitstoot van een wisselverwarmingssysteem vindt plaats tijdens de operationele levensduur van het systeem. In het vorige hoofdstuk zijn de verschillende alternatieven onderzocht en heeft Movares de CO₂-reductiepotentie van de verschillende alternatieven aangegeven. (In deel II wordt de reductiepotentie van de glijstoelverwarming getalsmatig toegelicht).

Bij de berekening van de potentiële CO₂-reductie heeft Movares reeds rekening gehouden met aansturing van het systeem op basis van de weersvoorspelling, een maatregel die de efficiëntie verhoogt en CO₂-uitstoot van wissels aanzienlijk verlaagt.

Op basis van de CO₂-emissies van de verschillende systemen adviseert Movares om de huidige systemen om te bouwen naar energiezuinige systemen (infrarood en/of glijstoelverwarming), waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp en bodemwarmte, maar een zuinige oplossing waarbij de energie gericht en gereguleerd, dus slechts daar waar nodig en wanneer nodig, wordt ingezet om sneeuw en ijs te smelten en vastvriezen van het wissel te voorkomen.

7.2 Reductiedoelstelling Movares

Doordat Movares in het verleden het initiatief heeft genomen wisselverwarming te optimaliseren en dit te simuleren, kan met grote zekerheid worden gesteld dat ten opzichte van de huidige standaard in potentie tot 75% wordt gereduceerd. In vergelijking met wisselverwarming conform de nu geldende eisen van OVS00303.v002 is de reductie nog veel groter.

Niet alleen wordt met het initiatief een fikse CO₂-reductie bereikt, ook de investering van deze geoptimaliseerde oplossing valt gunstig uit omdat met een relatief lichte elektrische aansluiting kan worden volstaan.

Als lange termijndoelstelling streeft Movares ernaar om 2500 bestaande branderpijpsystemen om te bouwen naar de geoptimaliseerde oplossing. Per geïnstalleerd systeem levert dat tijdens de levenscyclus (ongeveer 15 jaar) een CO₂-reductie van ongeveer 67% op ten opzichte van branderpijpsystemen. Ten opzichte van de systemen die conform de huidige OVS nieuw worden gebouwd is de besparing nog groter: ca 74%.

De totale reductie voor 2500 systemen staat gelijk aan minimaal $67\% * 7132,52 = 4778,8$ ton CO₂ per jaar. (Voor 500 systemen is dit afgerond 956 ton CO₂).

Tabel 6

Minimale CO2-reductiedoelen	CO2-reductie 2020 tov 2019	CO2-reductie 2021 tov 2019	CO2-reductie 2022 tov 2019	CO2-reductie 2023 tov 2019	CO2-reductie 2024 tov 2019	CO2-reductie 2025 tov 2019	CO2 reductie Totaal tov 2019
Vervangingsjaar branderpijpsystemen							
Geen in 2020	0						
500 stuks in 2021		956	956	956	956	956	4.778
500 stuks in 2022			956	956	956	956	3.821
500 stuks in 2023				956	956	956	2.866
500 stuks in 2024					956	956	1.912
500 stuks in 2025						956	956
						4.778	14.333

Reductiedoelstelling d.m.v. wisselverwarming t/m 2025

ProRail heeft de ambitie in 2050 volledig CO₂-neutraal te zijn. Wisselverwarming op basis van infrarood of glijstoelverwarming levert hier een grote bijdrage aan. De verwachting is, wanneer ProRail ketenpartner wordt, dat er vanaf 2021 ongeveer 500 stuks wisselverwarming per jaar kunnen worden vervangen. Vanaf 2026 levert dat dus de volledige verwachte besparing van 4780 ton CO₂ per jaar op.

Verwacht wordt dat de te ontwikkelen en te testen oplossing ook als olievlekwerking in de omliggende landen Duitsland, België, Denemarken en Zwitserland (waarmee inmiddels banden zijn opgebouwd) zal worden toegepast. Wanneer de reductiepotentie van deze landen wordt meegeteld, kan dit een veelvoud van de genoemde CO₂-besparing opleveren.

Verwacht wordt dat de totale CO₂ reductie – wanneer ook de potentie in het buitenland wordt meegewogen – **een factor 10** groter is dan in dit document genoemd. (alleen de Duitse markt is al een factor 12 groter dan de Nederlandse, met 77.000 i.p.v. 6.500 wissels).

Die Betriebslänge des **DB** Netzes lag Ende 2006 bei 34.019 km bei einer Gleislänge von 62.948 km (322 km weniger als im Vorjahr). Die **Zahl** der **Weichen** ging im Jahresvergleich um 2110 auf 77.080 zurück; mit 1296 **Weichen** entfiel der Großteil davon auf Zugbildungs- und Behandlungsanlagen.

8 Samenvatting Deel I

Conclusies op basis van de huidige kennis:

- Wisselverwarming is verantwoordelijk voor bijna 2/3 van de totale CO₂-uitstoot van ProRail (ofwel 7132 ton CO₂).
- Elektrische wisselverwarming cf. huidig PVE vraagt flink (70%) meer vermogen dan de voorgaande standaard.
- Omschakeling van gas naar elektrisch geeft problemen m.b.t. elektrische aansluitvermogens op grote emplacementen.
- Elektrische wisselverwarming op aardwarmte is weliswaar zuinig maar (te) complex gebleken en wordt daarom niet meer toegepast.
- Movares heeft in 2019 studie gedaan naar een alternatief dat maximaal gebruik maakt van stralingswarmte (Infrarood).
- Bij gebruik van Infrarood wordt geen 13% maar 40% van de warmte effectief benut: dit scheelt een factor 3.
- Infrarood warmte is direct beschikbaar, het kent geen vertraging wat bij geringere inschakelduur de zelfde beschikbaarheid van het wissel oplevert. Geschatte winst: 30%.
- Geschatte CO₂-reductie daardoor: een factor 3 a 4 (reduceert de CO₂-footprint van ProRail met 50%).

Meer voordelen van een effectievere wisselverwarming zijn:

- Geringere investering, lagere kosten vast recht, kleinere installatie
- Sneller bouwen, minder hinder

Op basis van de doelen van ProRail, de berekeningen van Movares en de huidige stappen in het proces is het de ambitie om gezamenlijk met ProRail en andere ketenpartners een hoge CO₂-reductie te bereiken met effectievere wisselverwarming.

Gezamenlijk zal verder onderzoek gedaan worden naar bijvoorbeeld het gemiddeld stroomverbruik en het benodigd installatievermogen voor een volledig wissel, de optimale inschakelduur en relevante elektrotechnische aspecten.

Door leveranciers in de keten te betrekken kan, door het bouwen van een prototype, de mogelijke besparing daadwerkelijk worden aangetoond en daarmee en de haalbaarheid worden getoetst.

De OVS-specificaties voor elektrische wisselverwarming kunnen dan aan de hand van de uitkomsten worden bijgesteld.

Deel II – 2021

9 Keteninitiatief: Plan van aanpak realisering reductiedoelstelling

9.1 Identificatie ketenpartners

Gebaseerd op de analyse van de levenscyclus, zoals uitgevoerd in hoofdstuk Fout! Verwijzingsbron niet gevonden., zijn de partners in de keten van een wisselverwarmingssysteem geïdentificeerd, zie Tabel 7. Zonder ketenpartners is er immers geen sprake van een keteninitiatief.

Tabel 7 Ketenpartners voor wisselverwarmingssysteem

Categorie	Partner
Opdrachtgever	ProRail (systeemkeuze)
Leveranciers	TripleS, Heatpoint; Kampa-International; Conflux; e.a.
Installatie	Volker Stevin e.a.
Energievoorziening	ProRail, VolkerRail e.a.
Onderhoud	Volker Stevin e.a.
Verwijderen	Volker Stevin e.a.

Het voorstel om de huidige wisselverwarming te optimaliseren is op o.a. 20 oktober 2018 met ProRail besproken (Duurzaamheidsdag Movares; R. Gerritsen, InnovatieHub). Daarbij kwam ook aan de orde dat de overgang van gas- naar elektrische wisselverwarming problemen geeft met het aansluitvermogen op grotere emplacementen.

Begin 2019 heeft Movares aan ProRail aangeboden om een gezamenlijke studie naar de besparingsmogelijkheid te starten. ProRail gaf aan dit voorstel interessant te vinden, maar gaf aan eerst te willen focussen op eventuele oplossingen die in een Europees onderzoekstraject (Europoint – Shift2Rail – TU Dresden) worden onderzocht. Desondanks heeft Movares een studie gestart [4]. Nu de resultaten van de interne studie van Movares aangeven dat zeer grote verbetering mogelijk is, heeft opnieuw overleg over dit onderwerp tussen Movares en ProRail plaats gevonden.

Inmiddels is ProRail overtuigd van de potentie van 'doelgerichte' wisselverwarming. Naast Infraroodverwarming heeft Movares in 2020 nog een ander interessant alternatief toegevoegd, waar tot voor kort nog geen nader onderzoek naar was gedaan. Dit betreft verwarming van de glijstoelen, waarop de tongen rusten, door middel van elektrische verwarmingselementen. Door deze glijstoelen direct te verwarmen in plaats van indirect via de aanslagspoorstaaf werd grote winst verwacht.

In februari 2020 is bij Movares een afstudeerproject gestart waarbij deze glijstoelverwarming in afstemming met ProRail is onderzocht. Het resultaat van deze oplossing die in Q1/Q2-2020 door een afstudeerder is gemodelleerd [9], was zelfs nog iets gunstiger dan de Infrarood-oplossing. De oplossing is dus zeer effectief. Er is contact geweest met ProRail waarna is afgesproken dat de resultaten van dit onderzoek worden gedeeld met ProRail. Onze inzet wordt gewaardeerd en meerdere personen met de juiste verantwoordelijkheid en taken bij ProRail zijn enthousiast.

Intussen is Movares gevraagd om voor ProRail een nieuw beleidsplan wisselverwarming op te stellen. Het bestaande plan dateert van 2015. Hierin zal de potentie van efficiëntere wisselverwarming worden meegenomen

Gezamenlijk met ProRail, Kampa en het Zweedse Conflux, is er vanaf 2021 sprake van een keteninitiatief om een hoge CO₂-reductie te bereiken met vernieuwde vormen van wisselverwarming.

Gezamenlijk zal verder onderzoek gedaan worden naar bijvoorbeeld het gemiddeld stroomverbruik en het benodigd installatievermogen, de optimale inschakelduur en relevante elektrotechnische aspecten voor een volledig wissel. Door leveranciers als Kampa en Conflux in de keten te betrekken en een prototype te bouwen, kan de mogelijke besparing daadwerkelijk worden vastgesteld en de realiseerbaarheid worden getoetst.

De oplossingen zullen in opdracht van ProRail in het op te stellen spoorwisselmodel van TU-Dresden worden gesimuleerd en in 2022 in het ProRail spoor worden ingebouwd. Het uiteindelijke doel van deze samenwerking, waarbij marktpartijen een oplossing presenteren die in opdracht van ProRail in theorie en in de praktijk door TU-Dresden wordt getoetst, behelst een significante winst van energiebesparing én CO₂-reductie, terwijl ook de prestatie van de wisselverwarming wordt verbeterd.

Bij succesvolle resultaten zullen de huidige specificaties van wisselverwarming (de OVS) worden aangepast. Die aanpassing moet ervoor zorgen dat de meest efficiënte wisselverwarming wordt toegepast. Dit zal tevens leiden tot het opstellen van een werkelijk functionele specificatie die er toe leidt dat het wissel zo effectief mogelijk wordt verwarmd.

De verwachting van partijen is dat dit een robuuste en tevens duurzame wisselverwarming zal opleveren.

9.2 Invloed Movares op ketenpartner(s)

Met innovatieve producten die door Movares zijn ontwikkeld en door Kampa in binnen- en buitenland op de markt worden gebracht, heeft Movares grote invloed op de implementatie van duurzame producten, waarmee ofwel de levensduur van de assets wordt verlengd en directe CO₂-uitstoot wordt verminderd, ofwel het materiaalgebruik en de daaraan gerelateerde CO₂-uitstoot wordt verminderd.

De verwachting is gerechtvaardigd dat dit eveneens het geval zal zijn wanneer een effectieve en duurzame wisselverwarming op de markt wordt gebracht.

Het aanpassen van standaarden en specificaties vergt een behoorlijke doorlooptijd en Movares heeft hier geen zeggenschap over. Het Plan van Aanpak voor het keteninitiatief vergt dan ook een behoorlijke dosis doorzettingsvermogen van Movares om te voorkomen dat de nu meest inefficiënte wisselverwarming wordt toegepast in nieuwe projecten.

10 Glijstoelverwarming

10.1 De afspraken m.b.t. glijstoelverwarming

Op basis van de onderzoeken en berekeningen is Movares in staat om een zeer efficiënte wisselverwarming te ontwerpen. In een samenwerking met Kampa en het Zweedse Conflux wordt vanaf 2021 gewerkt aan concrete producten op basis van een zelfregulerende glijstoelverwarming. Hierbij wordt een door Conflux ontwikkelde technologie toegepast op basis van materiaal met een z.g. 'positive temperature coefficient' (PTC).

Het daarvoor ontwikkelde verwarmingselement heeft de eigenschap dat meer vermogen wordt geleverd bij een lage temperatuur van de glijstoel. Dit betekent dat het vermogen toeneemt naarmate de temperatuur daalt of wanneer sneeuw moet worden gesmolten, en dat het vermogen zichzelf terug regelt wanneer de temperatuur hoger wordt en minder thermisch vermogen benodigd is.

Deze oplossing zal in het samenwerkingsverband met Kampa/Conflux worden ontwikkeld en geproduceerd en in het spoor worden ingebouwd. Daarbij zullen de resultaten worden vergeleken met computermodellen van de TU-Dresden die momenteel werkt aan een thermisch model voor ProRail-wissels.

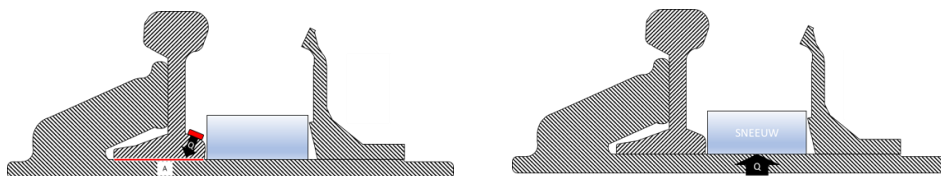
Met de ketenpartners Kampa en Conflux zijn vergaande afspraken gemaakt over het ontwerp en de levering van pilotproducten voor het testen van de effectiviteit van wisselverwarming. Met ProRail is afgesproken om deze in 2021 in het spoor in te bouwen en gelijktijdig zowel in de modellen van TU-Dresden als ook in het testcentrum van TU-Dresden in de praktijk te meten.

In eerste instantie zal hierbij worden uitgegaan van glijstoelverwarming omdat deze op dit moment als meest effectief wordt gezien. Zoals het er in dit stadium uit ziet zal later, ter vergelijking, ook een variant op basis van Infraroodverwarming worden toegevoegd.

10.2 De techniek van glijstoelverwarming

Uit de analyse van de berekende modellen [9] blijkt dat het verwarmen van de spoorstaaf in plaats van de glijstoel een grote rol speelt in het lage rendement van de huidige wisselverwarming (Figuur 7). Van de 500 watt per meter spoorstaaf komt slechts 75 watt in de sneeuw op de glijstoel terecht. Dit betekent dat het rendement slechts 15% bedraagt, hetgeen goed overeenkomt met eerdere simulaties [4].

Dit betekent dat 85% van de ingebrachte energie verloren gaat. Omdat bij de huidige wisselverwarming de warmte in de spoorstaaf wordt ingebracht, fungeert deze als een koelrib die de warmte afgeeft aan de omgeving. De plaatjes in Figuur 7 tonen het verschil tussen de werking van wisselverwarming met elektrisch lint en de variant met glijstoelverwarming.



Figuur 7. Het linker plaatje toont wisselverwarming met elektrisch lint. Dit lint (rood vlakje) verwarmt de spoorstaaf.

De warmte bereikt het sneeuw of ijs (blauw blokje tussen tong en aanslagspoorstaaf) via een omweg. Een groot deel van de warmte wordt via de spoorstaaf aan de lucht afgegeven. De afbeelding rechts betreft glijstoelverwarming, waarbij de warmte in de glijstoel wordt ingebracht en via de kortste weg de sneeuw bovenop de glijstoel bereikt.

Op basis van de uitgevoerde analyse kan geconcludeerd worden dat een zeer gunstig resultaat wordt bereikt wanneer de warmte direct onder de sneeuw ingevoerd wordt.

Om de wissels onder Nederlandse omstandigheden sneeuw- en ijsvrij te houden moet de warmtebron per glijstoel (afstand hart op hart 60 cm) een vermogen van 200 watt hebben, wat neer komt op 333 watt per meter. Volgens de berekening van Spek [9] komt 92% daarvan in de sneeuw terecht. Per meter spoorstaaf is dat 306 watt. Dit is vier keer zo veel nuttige warmte met anderhalf keer minder energie dan de referentie oplossing (elektrisch lint). Dat betekent dat glijstoelverwarming in theorie 6x beter presteert dan verwarming met elektrisch lint. Vooralsnog gaat Movares er van uit dat een factor 4 op het energieverbruik kan worden bespaard. In het volgende hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan.

11 Energieverbruik en CO₂-reductie: Huidige wisselverwarming versus glijstoelverwarming

In hoofdstuk 6 en 7 van deel I zijn het energieverbruik en de CO₂-reductie besproken voor diverse soorten wisselverwarming waaronder de Infrarood-optie die door Movares was doorgerekend. In dit hoofdstuk worden het energieverbruik en de potentiële CO₂-reductie van de glijstoelverwarming getoond en vergeleken met de andere varianten, maar ook met de referentie variant wisselverwarming (elektrisch lint, oude standaard).

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat voor een effectieve wisselverwarming 333 W/m geïnstalleerd vermogen voldoende is. Bij elektrisch lint is dat momenteel 500 W/m. Voor de CO₂-uitstoot is daarnaast nog van belang wat de inschakelduur van de wisselverwarming is. Een belangrijke factor hierbij is de reactietijd. In de genoemde studie [9] is deze gedefinieerd als de tijd die nodig is om de belemmerende sneeuw bij -5 C° te smelten. Bij de huidige wisselverwarming bedraagt deze 48 minuten. Bij glijstoelverwarming is dat slechts 44 seconden!

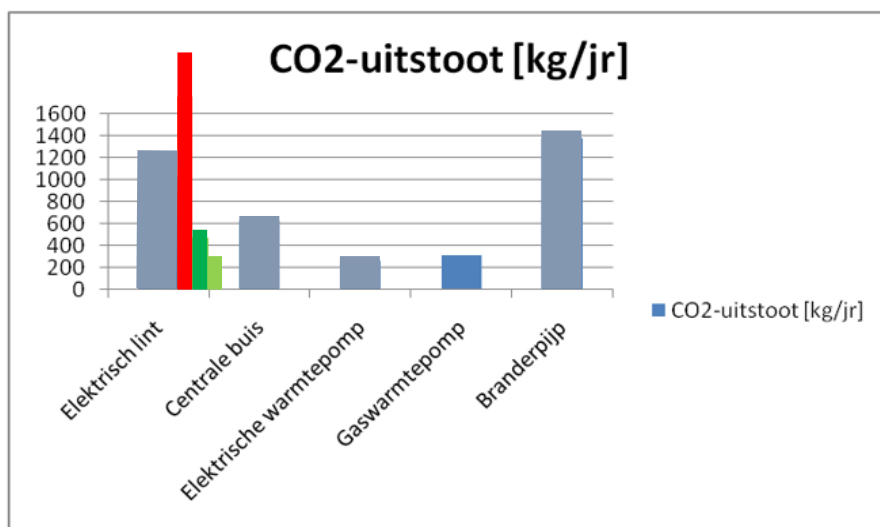
De huidige wisselverwarming wordt ingeschakeld op het moment dat de spoorstaaf een temperatuur van 4 graden Celsius heeft bereikt en weer uitgeschakeld op het moment dat de spoorstaaf een temperatuur heeft van 7 °C. De onderbouwing hiervoor wordt niet vermeld in de ontwerpvoorschriften van ProRail. De voornaamste reden lijkt te zijn dat plotseling omslaande weersomstandigheden voor problemen kunnen zorgen, omdat er in het huidige systeem sprake is van een flinke traagheid [9]. De gemiddelde inschakelduur bedraagt per wissel ongeveer 500 uur per jaar. Omdat glijstoelverwarming ordegrrootte een factor 60 sneller reageert, hoeft deze pas rond het vriespunt in te schakelen en kan deze ook eerder worden uitgeschakeld. Daardoor reduceert de inschakelduur met grofweg een factor 3. Samen met het geringere vermogen (factor 1,5) levert dit een CO₂ reductie van ruim een factor 4.

Evenals dat in hoofdstuk 6.3 is gedaan voor Infrarood verwarming, wordt hier nogmaals de vergelijking gemaakt waaraan glijstoelverwarming (licht groen) is toegevoegd. Deze wordt vergeleken met Infrarood (groen elektrisch lint (referentie, blauw) en met elektrisch lint volgens huidig voorschrift (OVS00303, rood) [5]. Deze berekening is gemaakt met de nieuwste kengetallen voor elektriciteit (0,523 kg CO₂/kWh) en aardgas (2,085 kg CO₂/m³) conform [Home | CO2 emissiefactoren](#).

Tabel 8. Vergelijking CO₂-uitstoot verschillende typen wisselverwarming.

Systeem	Verbruik elektriciteit		CO ₂ -waarde	Verbruik gas		CO ₂ -waarde	CO ₂ -uitstoot
	[kW]	[kWh/jr]	[kg/kWh]	[m ³ /h]	[m ³ /jr]	kg/m ³	[kg/jr]
Elektrisch lint *) = ref.	4,5	2.250	0,523				1176
Elektrisch lint OVS00303v2 *)	7,7	3.850	0,523				2014
Elektrisch, Glijstoel *)	3	563	0,523				295
Elektrisch, Infrarood *)	3	1000	0,523				523
Centrale buis				0,69	342	2.058	704
Elektrische warmtepomp	1,1	563	0,523				295
Gaswarmtepomp				0,34	171	2.058	356
Branderpijp				1,51	755	2.058	1554

*) Uitgangspunten: 1:9 wissel, verwarmde lengte 2x 6,5 m



Figuur 8. Vergelijking CO₂-uitstoot van verschillende typen wisselverwarming, waarbij in het 'Elektrisch lint' de linker groene balk 'Elektrisch, infrarood' voorstelt en de rechter groene balk 'Elektrisch, glijstoel'.

Tabel 9. Overzicht van investeringskosten, energiekosten, onderhoudskosten en de CO₂-uitstoot van verschillende typen wisselverwarming.

Systeem	Investering [€]	Energie [€/jr]	Onderhoud [€/jr]	CO ₂ -uitstoot [kg/jr]
1 Elektrisch lint	24.500	222	130	1176
1a Elektr. OVS00303v2	30.000	380	130	2014
1b Elektrisch, Glijstoel	17.500	56	90	295
1b Elektrisch, Infrarood	20.000	100	195	523
2 Centrale buis	17.500	152	90	704
3 Elektr. warmtepomp	23.000	56	90	295
4 Gaswarmtepomp	20.000	80	90	356
5 Branderpijp	Bestaand	336	310	1554

Uit het voorgaande blijkt dat glijstoelverwarming het meest positief scoort op alle vlakken. Daarom wordt ingezet op het testen van de glijstoelverwarming.

Ervaringen uit het verleden leert dat het langer duurt dan eerder voorspeld om verduurzaming van wisselverwarming door te voeren. Daarnaast is ProRail ook nog niet eenduidig in zijn visie hoe ze wisselverwarming wil bewerkstelligen: middels glijstoelverwarming en/of infrarood verwarming. Op basis van deze ervaringen baseren we onze CO₂-reductiedoelstellingen daarom niet op type wisselverwarming en aantallen wissels dat wordt aangepast, want die invloed ligt bij ProRail zelf. Als Movares hebben wij echter wél invloed dat wij – met onze ketenpartners – de huidige manier van wisselverwarming verduurzamen met CO₂-reductie als gevolg, ongeacht of dit via glijstoelverwarming of infrarood is.

Daarom stellen wij onze CO₂-reductiedoelstellingen bij en baseren onze nieuwe CO₂-reductiedoelstellingen op het volgende:

- Het zal nog ten minste één jaar vergen voordat ProRail, TU-Dresden en Movares met ketenpartners Kampa en Conflux voldoende (praktijk)data hebben vergaard om duurzamere wisselverwarming toe te passen.
- We weten niet wélk type duurzame wisselverwarming ProRail wenst toe te passen, maar nemen aan dat de duurzame wisselverwarming zo'n 1300 kg CO₂/jaar bespaart (gemiddelde van infrarood en glijstoelverwarming).
- Wisselverwarming heeft een gemiddelde levensduur van 15 jaar, dus elk jaar kan ongeveer 1/15^e van de wisselverwarming vervangen worden. ProRail heeft 5500 wisselverwarmingsinstallaties in gebruik [11]. We streven er naar dat in 2025 50% van de vrijkomende wissels is verduurzaamd. We achten het niet reëel dat ProRail direct grootschalig onze duurzamere wisselverwarming gaat toepassen, omdat ze recent begonnen zijn met het vervangen van wisselverwarming door elektrisch lint-wisselverwarming (OVS000303v2).

Tabel 10. Aangepaste CO₂-reductiedoelstellingen voor keteninitiatief Duurzame Wisselverwarming.

	2021	2022	2023	2024	2025
Aandeel van vrijkomende wisselverwarmingsinstallaties dat wordt verduurzaamd*	0%	5%	10%	20%	50%
Aantal wisselverwarmingsinstallaties dat is verduurzaamd**	0	18	55	128	312
CO ₂ -reductie (ton CO ₂)	0	23,4	71,5	166	406

* 1/15^e van 5500 wissels = 367 vrijkomende wisselverwarmingen per jaar, waarbij wij streven in 2025 50% van deze vrijkomende wisselverwarmingen te verduurzamen.

** Elk jaar neemt het aantal wisselverwarmingsinstallaties dat wordt verduurzaamd toe, vooral ook om dat verduurzaamde wisselverwarmingsinstallaties uit voorgaande jaren meetellen en continue CO₂ reduceren.

Uitgaande van 7132 ton CO₂ voor wisselverwarming (2017) komen we tot de CO₂-reductiedoelstellingen als genoemd in Tabel 10. Met onze CO₂-reductiedoelstelling voor 2025 zouden we een reductie van 6% van de CO₂-uitstoot van wisselverwarming ten opzichte van de uitstoot in 2017 realiseren. In deze berekening nemen we niet de CO₂-uitstoot mee van mensen die wegens wisselverwarmingsproblemen met de auto in plaats van het spoor reizen, omdat we dit niet betrouwbaar kunnen berekenen. In het geval we ProRail overtuigd krijgen álle wisselverwarmingen te verduurzamen, dan kan de CO₂-reductie oplopen tot wel 50%. De tests die in de loop van dit jaar worden uitgevoerd zullen uitwijzen of dit in praktijk ook haalbaar is!

12 Terugblik 2021

In 2021 is de keten uitgebreid met Voest Alpine en is het keteninitiatief voortgezet waarbij ProRail heeft ingezet op effectievere wisselverwarming langs twee wegen:

- Betere aansturing en monitoring van de installaties
- Onderzoek naar effectievere verwarming

In dit hoofdstuk zijn de activiteiten van het afgelopen jaar weergegeven en wordt het beoogde pad geschetst om ProRail te helpen een zo efficiënt mogelijke wisselverwarming te realiseren en uit te rollen bij nieuwe generatie en bestaande generatie wissels.

12.1 Bestaande en nieuwe generatie wissels

De bestaande generatie wissels van ProRail zijn opgebouwd uit bewerkte spoorstaven. Daardoor hebben de wisseltongen dezelfde hoogte als de spoorstaaf waaruit deze zijn gemaakt. Sinds enkele jaren past ProRail de z.g. nieuwe generatie (NG) wissels toe met lage tongen. Het betreft hier langere wissels voor hogere snelheden. Van het totale areaal wissels is het aandeel tot nu toe beperkt, maar in de toekomst zal dit aandeel toenemen. Ook de kortere wissels zullen op termijn naar verwachting worden uitgerust met de lagere tongen.

Dit onderscheid wordt hier genoemd, omdat voor NG-wissels met lage tongen mogelijk nog een optie aanwezig is om het energieverbruik te verminderen. Concreet gaat het dan om de toepassing van zelfregulerende rubber warmtelinten die door Kampa/Conflux worden geleverd. Door deze op de voet van de spoorstaaf - onder de lage tong - te plaatsen, kan sneeuw bij deze wissels effectief worden bestreden. In Scandinavische landen is hiermee inmiddels enige ervaring opgedaan. In het onderzoeksproject dat thans door de TU Dresden in opdracht van ProRail wordt uitgevoerd, wordt deze zelfregulerende optie meegenomen. Mogelijk is deze zelfregulerende techniek ook in glijstoelen toe te passen. Deze optie wordt in het onderzoek meegenomen.

12.2 Betere aansturing en monitoring

Het is bekend dat op dit moment veel energie verloren gaat (en dus veel CO₂ wordt uitgestoten) doordat wisselverwarming langer dan nodig is ingeschakeld. Overigens komt het ook voor dat wisselverwarming niet is ingeschakeld als dat wel is vereist.

Om hier een eind aan te maken, werkt Movares thans met ProRail samen aan een systeem om wisselverwarming op afstand te kunnen monitoren (en bedienen, mocht dat nodig zijn). Daardoor wordt ook het energieverbruik zichtbaar gemaakt, hetgeen nu nog niet goed mogelijk is.

Een betere regeling is een eerste stap naar energiebesparing, maar biedt ook de mogelijkheid om de inschakelduur verder te verkorten zodra wisselverwarming beschikbaar komt waarvan de reactietijd veel korter is.

Bij deze nieuwe regeling wordt gekeken naar de lokale omstandigheden en de noodzaak tot verwarmen. Bij lage temperaturen zonder neerslag kan de wisselverwarming worden afgeschakeld zodra het wissel droog is. Ook hiermee kan energie worden bespaard.

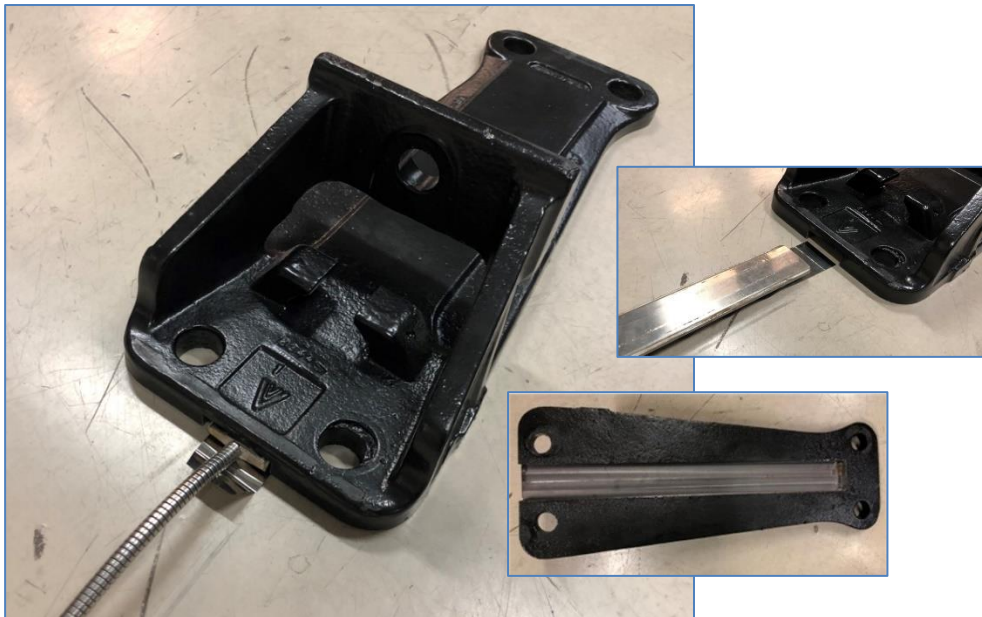
Uiteindelijk is het beoogde doel om zo te komen tot een zo klein mogelijke inschakelduur. De thans gangbare 500 uur per jaar, kan wellicht worden teruggebracht tot de helft of een derde.

12.3 Onderzoek naar effectievere wisselverwarming

In het onderzoek door de TU Dresden wordt ingezoomd op de modelvorming en simulatie van verschillende typen wisselverwarming die door Movares zijn voorgesteld in combinatie met de wisselconstructies zoals die binnen ProRail worden toegepast. Doel is om te bepalen welk type verwarming het meest effectief is, oftewel hoe de bedienbaarheid van de wissels gewaarborgd kan worden met zo min mogelijk energie c.q. CO₂-footprint voor de wisselverwarming. De verwachting is dat glijstoel-verwarming goed gaat scoren. Daarom gaat gekeken worden naar verschillende

uitvoeringsvormen van glijstoelverwarming, zoals verwarmingspatronen in boorgaten in de glijstoel, inductiespoelen in een ingefreesde ruimte onder de glijstoel, folies onder de glijstoel om warmtelek naar beneden tegen te gaan etcetera. Ook zelfregulerende verwarmingselementen (zoals die van Conflux) zullen worden onderzocht.

Hieronder staan enkele foto's van het eerste prototype van een z.g. glijstoel waar de wisseltong overheen schuift bij het omleggen. Het warmte-element wordt hierbij in een sparing in de bodem van de glijstoel geschoven en geklemd.



De volgende foto toont een Zweeds wissel dat met minimale energie sneeuwvrij wordt gehouden doormiddel van zelfregulerende elektrische verwarmingslinten van Conflux. Dat hier minimale energie wordt verspild is af te leiden uit het feit dat er niet veel meer sneeuw is gesmolten dan nodig is en het feit dat hier verwarming wordt toegepast waarvan het vermogen wordt terug geregeld zodra de sneeuw is gesmolten en het smeltwater is verdwenen. Met name voor nieuwe generatie wissels met lage tongen is dit een veelbelovende oplossing.



12.4 Beleidsdocument voor nieuw OVS wisselverwarming

In samenwerking met ProRail wordt door Movares thans een begin gemaakt met een beleidsdocument waarin de duurzaamheid en betrouwbaarheid van wisselverwarming wordt vastgelegd voor de periode tot 2040. Aan de hand van de hierin genoemde uitgangspunten wordt ook een nieuw ontwerpvoorschrift (OVS) voor wisselverwarming opgesteld. Bij het opstellen van deze documenten wordt gebruik gemaakt van de door Movares ontwikkelde kennis van en ervaring met de proeven die thans in opdracht van ProRail door TU Dresden worden uitgevoerd.

12.5 Vooruitblik

Het onderzoek van TU Dresden en ProRail is breed opgezet, neemt alle ontwikkelsuggesties van Movares en ketenpartners mee en dekt alle onderzoeksvragen die we hebben. We verwachten met de uitkomsten daarvan stappen in verdere verduurzaming van wisselverwarming te kunnen gaan maken. De studie is begonnen in oktober 2021 en zal naar verwachting duren tot december 2022.

ProRail heeft aangegeven om het komende jaar niet nog meer onderzoek met betrekking tot alternatieve wisselverwarming in de markt te gaan zetten. Movares en de andere ketenpartners wachten echter niet af en zullen alle mogelijkheden aangrijpen om bijdragen te leveren aan onze gezamenlijke doelstelling. Zo zal Movares met ketenpartners Voestalpine en Kampa praktijkproeven met glijstoelverwarming van wissels uitvoeren om de genoemde productontwikkelingen in de praktijk te testen en de resultaten delen met ProRail.

13 Terugblik 2022

In de KIWA-audit van april 2022 werd aangegeven dat onze doelen te ambitieus gesteld zijn. Daarnaast dienden we in 2022 concrete CO₂-reducties te laten zien en niet alleen de potentie van ons keteninitiatief. Die feedback hebben we ter harte genomen en hieronder ziet u het resultaat over 2022.

Zoals aangegeven focussen we ons in ons keteninitiatief in de meest brede zin op energiereductie van wisselverwarming door:

- Verminderen energieverbruik in bestaande installaties → weersafhankelijke inschakelduur (paragraaf 13.1) en isolatieblokken voor wisselverwarming (paragraaf 13.3)
- Alternatieve manier van wisselverwarming → innovatieve glijstoelverwarming met vloeistof (paragraaf 13.2)
- Duurzame energiebronnen voor wisselverwarming, bv. bodemwarmte → in 2022 geen focus op geweest

13.1 Weersafhankelijke inschakelduur

Normaliter staat wisselverwarming aan tussen 15 oktober en 15 april. Tot op heden liet ProRail de wisselverwarming tussen oktober en april stand-by staan, om de kans op storingen door winters weer (met name bij sneeuw en ijzel) te minimaliseren. Kwam de temperatuur onder de 3 graden, dan sloeg de verwarming aan. Pas als de temperatuur weer boven de 7 graden Celsius uitkwam, ging de verwarming weer uit.

De temperaturen van rond de drie graden tot het vriespunt komen vaak voor in de winter, waardoor veel gaswisselverwarmingsinstallaties lange periodes achter elkaar stoken. In tijden van energieschaarste, prijsstijgingen en in de wetenschap dat we wereldwijd in rap tempo de uitstoot van onder meer CO₂ moeten terugdringen, maakt ProRail nu een andere afweging. Dit is zowel van toepassing op elektrische als gasgestookte wissels.

Door weersvoorspellingen te integreren in het OBI (Operationeel Besturingscentrum Infra) kan er flink op elektraverbruik worden gereduceerd, zonder een extra risico op storingen, en dus veiligheid. Movares adviseerde ProRail over weersafhankelijke inschakelduur van wisselverwarming, en berekende hiervan de CO₂-reductie.

ProRail werkt met weerbureau Weerplaza. Dit bureau doet acht dagen vooruit een weersvoorspelling, speciaal voor de spoorbranche. Op basis van die voorspelling bepalen experts of de wisselverwarming aan moet. Bij meer dan 10 procent kans op winters weer (sneeuwval of ijzel), gaat de knop om. Echter, deze weersvoorspellingen gaan nog steeds over landelijke weersdata, terwijl er grote regionale verschillen kunnen zijn.

Movares heeft ProRail daarom ook geadviseerd over regionale weersafhankelijke inschakelduur van wisselverwarming, waarbij het spoor in regio's wordt verdeeld en de inschakelduur wordt afgestemd op de weerstations in deze gebieden. Het in- en uitschakelen kan geheel automatisch op het OBI door data in te lezen in het platform op het OBI. De software stuurt dan automatisch regionaal de wisselverwarming ter plaatse aan. Natuurlijk blijft de optie handmatige bediening over, wel of niet ondersteund door expertise.

Met een 13kVA gemiddeld vermogen per wisselverwarming en 500 branduur/jaar (bij regeling 3°C-7°C), verbruikt één wisselverwarming normaliter 6500 kWh/wissel per jaar. Uitgaande dat dit voor 50% van alle wisselverwarmingsinstallaties wordt toegepast, komt dit neer op 17,9 MWh aan energieverbruik per jaar.

Door gebruik van regionale weerdata én gebruik van OBI-software voor automatische inschakeling kan 70% energiebesparing worden gerealiseerd. Dat komt neer op 12,5 MWh elektrische energie, wat gelijk staat aan 6500 ton CO₂-reductie.

Momenteel is ProRail bezig om weersafhankelijke inschakelduur te integreren in zijn processen. De moeilijkheid hierbij is dat het gekoppeld moet worden aan het OBI, de software die de objecten in het spoor aanstuurt. Voorspellingen van Movares-expert Ed Kawka, in contact met ProRail-expert Gaby van Mechelen, geeft aan dat dat een langdurig proces is en zo maar 2-3 jaar kan duren. In dit keteninitiatief zullen we de voortgang blijven rapporteren.

13.2 Glijstoelverwarming

De resultaten van TU Dresden zijn nog niet bekend. Maar we zitten in de tussentijd niet stil. ProRail en Movares zijn voornemens samen een project te starten voor het verwarmen van glijstoelen door middel van vloeistof middels een 3-traps raket: modelleren, proof-of-concept en praktijktest. We hebben voor dit project al conceptschetsen en handberekeningen gemaakt (die kunnen vanwege vertrouwelijkheid niet worden gedeeld in dit rapport). Er ligt momenteel een offerte bij ProRail die goedgekeurd moet worden, maar er is nog discussie over het eigendomsrecht. Met glijstoelverwarming kunnen CO₂-reducties tot wel 80% worden bereikt t.o.v. elektrisch lint-wisselverwarming volgens de nieuwste OVS (zie hoofdstuk 11).

13.3 Isolatie van wisselverwarming

In onze samenwerking met ProRail omtrent het verduurzamen van wisselverwarming hebben we een offerte verstuurd voor het adviseren van ProRail over het toepassen van isolatieblokken bij wisselverwarmingen. Het gaat om een bestaand prototype van leverancier Heatpoint die het heeft laten onderzoeken bij TU Eindhoven, maar wat nog niet is toegepast in de praktijk. In het project voor ProRail zullen wij als onafhankelijke partij een EEM berekening gaan maken om zo de uitkomsten van de leverancier te valideren. Heatpoint geeft aan 50% minder energie nodig te hebben, wat dus neerkomt op zo'n 50% CO₂-reductie.

13.4 CO₂-reductiedoelen en -resultaten

In de KIWA-audit van 2022 werd aangegeven dat onze doelen te ambitieus zijn (zie Tabel 10). Echter, ervaring dit jaar leert dat het heel lastig blijft om voorspellingen te doen over hoe snel onze innovaties worden toegepast in het spoor. Spoorse innovaties moeten allerlei goedkeuringstrajecten door en worden geborgd in de standaard werkprocessen. Vanwege de hoge veiligheidseisen in het spoor, duurt dit vaak wel jaren.

Ook werd in de KIWA-audit van 2022 aangegeven dat we wel concrete resultaten moeten laten zien, meer dan alleen modelmatige potenties. We zijn trots dat dit jaar te kunnen laten zien:

- Weersafhankelijke inschakelduur van wisselverwarming wordt daadwerkelijk geïmplementeerd – al zal dat ook nog jaren duren – en levert dan tot wel 70% CO₂-reductie op, wat neerkomt op 6500 ton CO₂-eq.

Daarnaast laten we met nieuwe initiatieven samen met ProRail zien dat het keteninitiatief nog steeds actueel en relevant is:

- Innovatieve manier van glijstoelverwarming met vloeistof: potentieel 80% CO₂-reductie t.o.v. wisselverwarming met elektrisch lint conform de nieuwste OVS-norm
- Isolatieblokken voor wisselverwarming: potentieel 50% CO₂-reductie t.o.v. wisselverwarming met elektrisch lint conform de nieuwste OVS-norm

Ondanks dat we dus geen concrete voorspellingen kunnen doen, laten we in dit keteninitiatief wel zien dat we concreet voortgang boeken – samen met ProRail.

14 Samenvatting deel II

Conclusies op basis van de huidige kennis:

- Voor de vergelijking wisselverwarming wordt Elektrisch lint (oude standaard tot 2017) als referentie aangehouden (1024 kg CO₂/jr voor een standaard wissel). Wisselverwarming volgens de nieuwe standaard stoot meer CO₂ uit.
- Bij gebruik van Infrarood wordt geen 13% maar 40% van de warmte effectief benut: dit scheelt een factor 3. Snellere reactietijd reduceert 1/3^e. Potentiële reductie meer dan factor 4.
- Bij glijstoelverwarming is theoretisch een factor 6 verbetering mogelijk. Met dit optimistische getal wordt echter niet gerekend omdat met iets meer vermogen wordt gerekend om ijs en sneeuw onder Nederlandse omstandigheden effectief te kunnen smelten.
- Warmte is direct beschikbaar, geen vertraging: minder inschakelduur en toch hogere beschikbaarheid van het wissel. Geschatte winst: 30%
- Reële CO₂-reductie daardoor: minimaal een factor 3 (reductie footprint 50% !)
- Ondanks proactief optreden van Movares en ProRail die nog steeds welwillend tegenover verduurzaming van wisselverwarming staat, duurt het implementeren van duurzamere wisselverwarming langer dan beoogd.
- Movares werkt intensief samen met marktpartijen Kampa, Conflux en sinds 2021 Voest Alpine om tot een prototype glijstoelverwarming te komen en deze te testen in het spoor, waarbij resultaten worden gedeeld met ProRail en TU Dresden.
- CO₂-reductiedoelstellingen blijken lastig te formuleren, maar we boeken aantoonbaar voortgang op CO₂-reductie door in te zetten op reductie energieverbruik, innovatieve manieren van glijstoelverwarming en duurzame energiebronnen.

Op basis van de doelen van ProRail, de berekeningen van Movares en de huidige stappen in het proces, gezamenlijk met ProRail, Kampa, Conflux en Voest Alpine, is er vanaf 2021 sprake van een keteninitiatief om een hoge CO₂-reductie te bereiken met vernieuwde wisselverwarming op basis van glijstoelverwarming. Gezamenlijk zal verder onderzoek gedaan worden naar bijvoorbeeld het gemiddeld stroomverbruik en het benodigd installatievermogen voor een volledig wissel, de optimale inschakelduur en relevante elektrotechnische aspecten. In 2022 is hier partner Heatpoint aan toegevoegd.

Door leveranciers als Kampa, Conflux en Voest Alpine in de keten te betrekken willen we, door het bouwen van een prototype, de mogelijke besparing daadwerkelijk vaststellen en de realiseerbaarheid toetsen. De OVS-specificaties voor elektrische wisselverwarming kunnen aan de hand van de uitkomsten worden bijgesteld.

15 Terugblik 2023

In 2022 is breed verkend naar alle oplossingsmogelijkheden die mogelijk zijn voor de wisselverwarming. Er zijn veel ideeën en mogelijkheden gegenereerd waar in 2023 geconvergeerd wordt naar de meest reële opties voor de wisselverwarming. In hoofdstuk 13 zijn een drietal oplossingen bedacht. Het weersafhankelijk inregelen van de installatie, het toepassen van glijstoelverwarming en het toepassen van isolatie bij wisselverwarming. In dit hoofdstuk blikken we terug op de glijstoelverwarming die is afgefallen en de voortgang van de isolatie wisselverwarming. Ook wordt kort gekeken naar de ontwikkelingen van het weersafhankelijk inschakelen.

15.1 Weersafhankelijke inschakelduur

Zoals in hoofdstuk 13.1 uitgebreid is beschreven wordt er ieder jaar verwarmd tussen Oktober en April. In dit stookseizoen wordt de verwarming stand-by gehouden en geactiveerd bij temperaturen onder de 3 graden Celsius. Uitschakeling gebeurt boven de 7 graden Celsius.

Een betere en slimmere manier is het lokaal kijken naar de weersvoorspellingen en het toepassen van automatische slimme software om zo een energiebesparing tot 70% te realiseren. In 2023 is dit concept verder ontwikkeld. Er zit bij ProRail momenteel een team op die een app aan het ontwikkelen is. Met deze app kan de wisselverwarming op afstand in en uitgeschakeld worden. Deze ontwikkeling is vol op bezig en komt later in dit hoofdstuk nog even aan bod.

15.2 Glijstoelverwarming

Zoals in hoofdstuk 13.2 beschreven lag er een offerte bij ProRail voor een verder onderzoek naar glijstoelverwarming. Tegelijkertijd lag er ook een offerte voor de isolatie wisselverwarming. Ondanks dat het rendement van de glijstoelverwarming hoger ligt dan de isolatie wisselverwarming is er gekozen te focussen op de isolatie wisselverwarming. Dit heeft de volgende redenen.

- De isolatieblokken zijn een bestaand concept en zijn al in seriegrootte geproduceerd. Dit betekent dat de analyse en prototype fase overgeslagen kan worden wat veel tijd bespaard;
- De glijstoelverwarming is echt een andere manier van verwarmen. Dit betekent dat bestaande wisselverwarmingen compleet vervangen moeten worden. Dit in tegenstelling tot isolatieblokken die op de bestaande situatie geplaatst kunnen worden.
- Naast dat glijstoelverwarming een andere manier van verwarmen is, is het ook een complexere manier van verwarmen die uit meerdere componenten bestaat. Dit betekent dat faalkans van een wisselverwarming groter is wat het minder aantrekkelijk voor ProRail maakt om dit concept te kiezen.
- Tot slot streeft ProRail naar weersafhankelijk inschakelen. Hiervoor willen ze het systeem ook een "boost" kunnen geven. Dit houdt in dat als ze slecht weer aan zien komen ze de wissels sneller willen kunnen verwarmen. Het toepassen van isolatieblokken is een makkelijke optie om dit te realiseren.

Aan de hand van deze punten heeft Movares samen met ProRail gekozen dit idee voor nu te laten voor wat het is. Door de focus te leggen op een bestaand product wat makkelijker toe te passen is verwacht Movares dat er sneller daadwerkelijk CO2 reductie te realiseren is bij de wisselverwarming.

15.3 Isolatie van wisselverwarming

In onze samenwerking met ProRail omtrent het verduurzamen van wisselverwarming is er in 2022 een offerte verstuurd voor het adviseren van ProRail over het toepassen van isolatieblokken bij wisselverwarmingen. Het gaat om een bestaand prototype van leverancier Heatpoint die het heeft laten onderzoeken bij TU Eindhoven, maar wat nog niet is toegepast in de praktijk. In het project voor ProRail zullen wij als onafhankelijke partij een EEM berekening gaan maken om zo de uitkomsten van de leverancier te valideren. Heatpoint geeft aan 50% minder energie nodig te hebben, wat dus neerkomt op zo'n 50% CO₂-reductie. Kijkend naar de totale jaarlijkse uitstoot van wisselverwarming (7.132 ton, zie Figuur 2) komt dit neer op een potentiële CO₂-reductie van 3.566 ton per jaar.

In 2023 zijn er diverse stappen gezet. Zo is er een EEM berekening gemaakt door Movares die terug te vinden is in de bijlage. Uit deze EEM berekening is gebleken dat het rendement 27% is. Dit rendement is een stuk lager dan het Rendement van 50% maar dat komt ook door de strenge parameters die gebruikt zijn in de berekening. 27% is nog steeds een dusdanig hoog rendement dat we samen met ProRail hebben besloten de volgende fase in te gaan. Oorspronkelijk was het idee om een business case te maken en daarna door te gaan naar een pilot.

Tijdens het maken van de offerte van de business case is geconstateerd dat de impact dusdanig opweegt tegen de risico's dat we met ProRail hebben besloten gelijk door te gaan naar de pilot. Deze Pilot is opgedeeld in vier fases waar we een x aantal wissels gaan monitoren. Een deel van deze wissels zal voorzien worden van wisselverwarming zonder isolatie en een ander deel wordt wel voorzien van isolatie. Op deze manier kan gemonitord worden hoeveel energie de wissels gedurende een stookseizoen gebruiken en kan de energiebesparing getoetst worden.

De offerte van de Pilot ligt momenteel bij ProRail. Wanneer deze voor April wordt goedgekeurd is de verwachting we in het stookseizoen van 2024 de pilot kunnen uitvoeren en half 2025 de resultaten van deze pilot hebben.

15.4 Samenwerkingskans

Tijdens het ophalen van informatie over de tussenstand van het weerafhankelijk inschakelen van de wissels (Hoofdstuk 13.1) is geconstateerd dat dit onderzoek ook komende winter een pilot willen uitvoeren. Naast dat deze app op afstand kan in en uit schakelen kan de app ook laten zien hoeveel energie de wissels gebruiken. Wanneer we een deel van de wissels isoleren kan de app voor de wisselverwarmingen getest worden en kan dit project meeliften op de data die verkregen wordt over het energieverbruik van de wissels.

16 Samenvatting 2023

Conclusies op basis van de huidige kennis:

- Afgelopen zijn Movares en ProRail gaan focussen op het isoleren van de wissels. Hier liggen momenteel de beste en snelst haalbare kansen.
- Heatpoint geeft aan 50% minder energie nodig te hebben, wat dus neerkomt op zo'n 50% CO₂-reductie. Dit resulteert in een potentiële CO₂-reductie van 3.566 ton per jaar.
- Volgens de EEM berekening is er een energiebesparing van 27% haalbaar. Dit ligt lager dan de resultaten van Heatpoint.
- Naast het onderzoek van de isolatie wisselverwarming loopt er ook een onderzoek naar het slimmer in en uitschakelen van de wissels.
- Er ligt momenteel een offerte bij ProRail voor een pilot waar we isolatie gaan testen en monitoren bij een x aantal bestaande wissels.
- Door recent contact met ProRail is er door Movares een kans gezien om de pilot van de wisselverwarmingen en de app voor het in en uitschakelen te combineren.

Al met al, is er in 2023 een concretiseringslag gemaakt door het afvallen van de optie Glijstoelverwarming. Hierdoor zal in het vervolgde focus liggen op de weersafhankelijke inschakelduur en de isolatie van wisselverwarming. Movares gaat verder in 2024 volop inzetten op het realiseren van een pilot van deze alternatieven zodat de potentiële besparing getoetst kan worden en omgezet wordt naar daadwerkelijke CO₂-reductie.

17 Gebruikte literatuur en referenties

1. Presentatie 'Betere en duurzamere wisselverwarming' 17sep19, Jelte Bos
2. CO₂-emissie analyse scope 3 – Document 2: ketenuitwerking varianten wisselverwarming, Movares, K&I-PB-100029202 - Versie 1.0, 14 december 2010
3. Energie-efficiency plan 2017-2020, ProRail, 12 mei 2017
4. Eindverslag Stageopdracht verbeteren wisselverwarming, F.J. Wiesman, Movares, juli 2019
5. Ontwerpvoorschrift Elektrische Wisselverwarming, OVS 00303 v.002, ProRail, 2 maart 2018
6. <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2010/01/wisselverwarming-kan-veel-effectiever-en-zuiniger-10147757>
7. Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung, SBB, Dr. A. Grüniger, September 2014
8. Movares Nederland B.V. (2017), Energiemanagement en CO₂-reductieplan Movares Nederland - Doelstellingen en maatregelen scope 1, 2 en 3 [2017-2021]
9. Onderzoek naar een alternatief voor de huidige wisselverwarming – onderzoek naar een milieuvriendelijk alternatief, Afstudeerrapport Marinus Spek, Hanze Hogeschool, Groningen, 30 juni 2020
10. Energiemanagement en CO₂-reductieplan 2014-2019 Movares Nederland
11. Aantal wisselverwarmingsinstallaties in gebruik ProRail, [Project vervanging wisselverwarming vertraagd | SpoorPro.nl](#), 25 maart 2021
12. Rapportage isolatie wisselverwarming.

Colofon

OPDRACHTGEVER

UITGAVE Movares Europe B.V.

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

TELEFOON +31 6 53 43 48 69

ONDERTEKENAAR Ende RA van der (Ruben)
ruben.vd.ende@movares.nl

PROJECTNUMMER

KENMERK X28-R.A.-HS-RAP-23001565

© 2023, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

 **Movares** samen werkt het