

Productgroepanalyse Klimaatinstallaties

TNO Publiek › TNO 2026 - 17158
27 augustus 2026



TNO 2026 - 17158 – 27 augustus 2026

Productgroepanalyse Klimaatinstallaties

Auteurs	E. Bouman, T. Rep, G. Broekhuijsen, J. Lennartz, C. van Oppen, G. Aartsma
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Aantal pagina's	217 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	4
Project nummer	060.61198

Verantwoording

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie. Dit werkprogramma is een samenwerkingsverband van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML), het Centraal Planbureau (CPB), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RVO.nl, Rijkswaterstaat, TNO en de Universiteit Utrecht (UU) onder leiding van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het kabinet streeft naar een volledig circulaire economie in 2050. Het doel van het werkprogramma is om de door het kabinet uitgezette koers naar 2050 te kunnen monitoren en te evalueren en de overheid te voorzien van de kennis die nodig is voor de vormgeving of bijsturing van beleid. Meer informatie over het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie is te vinden op <https://www.pbl.nl/monitoring-circulaire-economie>.

De totstandkoming van het rapport is een samenwerking geweest tussen: • Evert Bouman, Jelmer Lennartz, Arjan van Horssen, Raphael Elbing, Sjoerd Herlaar, Aaradhya Bansal, Remko Zuidema, TNO • Tomas Rep, Matthijs Janssen, Simona Negro, Universiteit Utrecht • Gerben Broekhuijsen, Cecile van Oppen, Gwen Aartsma, Copper8 • Frieke Heens, RIVM, en met input van Atze Boerstra, TU Delft, en Nicole Schaffroth, RVO.

Wij hebben dankbaar gebruik gemaakt van de begeleiding en review van: • Mattheus van de Pol, Min EZ, • Esther 't Hoen, Min. BZK-VRO • Carly Relou, Min I&W • Vincent Gruis, TU Delft • Jeroen Bart, Techniek NL • Marc Kooij, SPIE • Eva Gobits, Stichting Open • Natascha Spanbroek, RIVM • Marc Pruijn, Rijkswaterstaat • Kees Schotten, Melchert Reudink, Steven van Polen, PBL • Jeanette Levels, LBP|Sight • Erlend Deckers, Martijn Kamps, Gerard van der Laan, TNO

De tekst in deze rapportage en achtergrondrapporten is de verantwoordelijkheid van de auteurs. De achtergrond rapporten zijn opgesteld en vrijgegeven door de organisaties zelf.

Gebruik van generatieve AI-tools.

Voor deze opdracht is gebruikgemaakt van een Generatieve AI-tool (M365 Copilot) ter ondersteuning van het redigeren van de rapporttekst en verwerken van reviewcommentaar. De output is handmatig gecontroleerd en waar nodig aangepast. De tekst in deze rapportage is de verantwoordelijkheid van de auteurs.

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Samenvatting

De verduurzaming van de gebouwde omgeving leidt tot een sterke verandering in de productgroep klimaatinstallaties. Waar de warmtevoorziening in woningen historisch vooral werd gedomineerd door aardgasgestookte hr-ketels en middeltemperatuursystemen, verschuift de markt richting warmtepompen, hybride systemen, ventilatie-oplossingen, laagtemperatuurafgifte en ondersteunende regeltechniek. Deze ontwikkeling is noodzakelijk voor de energietransitie, maar heeft ook een keerzijde: een groeiende materiaalvraag, meer elektronische componenten, meer kritieke materialen, een grotere rol voor koudemiddelen en een toenemende druk op inzameling, verwerking en hergebruik.

Deze productgroepanalyse onderzoekt hoe de keten van klimaatinstallaties zich ontwikkelt richting 2050, welke materiaal- en milieueffecten daarmee samenhangen, welke circulaire strategieën de grootste bijdrage kunnen leveren, welke systeembelemmeringen opschaling remmen en welke beleidsmatige aangrijpingspunten hieruit volgen. De analyse combineert een materiaalstroom- en milieueffectmodel met een toekomstverkenning, een missiegedreven innovatiesysteemanalyse en een beleidsanalyse.

Hoofdbevindingen

De belangrijkste conclusie is dat circulariteit bij klimaatinstallaties niet los kan worden gezien van andere ontwikkelingen zoals de energietransitie en woningbouwopgave. Het huidige beleid stuurt sterk op energieprestatie, elektrificatie, bouweisen en kosten, maar nog beperkt op materiaalgebruik, levensduur, waardebehoud en hoogwaardige verwerking van materialen. Daardoor bestaat het risico dat de verduurzaming van de gebouwde omgeving operationele emissies verlaagt, maar tegelijk leidt tot meer materiaalgebruik, hogere materiaalgebonden milieu-impact en nieuwe afhankelijkheden van kritieke grondstoffen.

De grootste reductie in materiaalgebruik en milieu-impact wordt bereikt door vroeg in de keten in te grijpen: minder installaties waar mogelijk, installatie-arme ontwerpen, collectieve oplossingen, minder overdimensionering en lagere materiaalintensiteit per product. Levensduurverlenging, hergebruik, substitutie met secundaire of alternatieve materialen en hoogwaardige verwerking blijven noodzakelijk, maar leveren vooral effect wanneer zij onderdeel zijn van een samenhangend beleids- en ketenarrangement.

Huidige keten en materiaalgebruik

Klimaatinstallaties bestaan uit een brede verzameling producten en componenten voor verwarming, koeling, ventilatie, distributie, afgifte en regeling. In deze analyse zijn onder meer warmtepompen, airco's, hr-ketels, hybride systemen, ventilatieboxen, luchtdistributie, laagtemperatuur- en middeltemperatuurafgiftesystemen meegenomen. De productgroep is materiaalintensief en bevat onder meer ferrometalen, koper, aluminium, kunststoffen, elektronica, koudemiddelen en kleinere hoeveelheden waardevolle of kritieke materialen.

De materiaalinstroom wordt in massa vooral gedomineerd door staal, ijzer, koper en kunststoffen. Middeltemperatuurdistributie- en afgiftesystemen, zoals radiatoren en leidingen, vormen daarbij een belangrijke materiaalstroom. Tegelijkertijd neemt het belang toe van materialen die in kleine hoeveelheden voorkomen maar strategisch belangrijk zijn, zoals edelmetalen in elektronica en zeldzame aardmetalen in permanente magneten. Deze

materialen zijn vaak moeilijk te vervangen en kennen risico's op het gebied van leveringszekerheid.

De analyse laat zien dat de uitstroom van materialen momenteel lager is dan de instroom, doordat veel installaties een lange levensduur hebben en de voorraad in gebruik groeit. Voor warmtepompen en airco's is de huidige uitstroom nog beperkt, omdat veel systemen recent zijn geïnstalleerd. De uitstroom zal echter in de komende decennia toenemen wanneer deze groeiende voorraad het einde van de gebruiksduur bereikt.

Milieueffecten en zeer zorgwekkende stoffen

De milieu-impact van klimaatinstallaties ontstaat niet alleen tijdens productie, maar ook bij gebruik, onderhoud en eindelevensverwerking. In deze analyse is het energieverbruik tijdens de gebruiksfase niet meegenomen, maar wel de materiaalgerelateerde impact, productie-impact, verwerking en emissie van koudemiddelen tijdens gebruik. Hierdoor wordt zichtbaar dat de milieu-impact steeds sterker verschuift naar materiaalproductie en eindelevensverwerking naarmate de gebouwde omgeving verder elektrificeert.

Koudemiddelen vormen een relatief kleine materiaalstroom in massa, maar kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan klimaatimpact en andere milieueffecten. Emissies kunnen optreden tijdens gebruik, onderhoud, demontage en verwerking. Een zorgvuldige omgang met koudemiddelen is daarom van belang gedurende de gehele levenscyclus van klimaatinstallaties. Naast de aandacht voor broeikasgasemissies uit synthetische koudemiddelen, wijst de ZZS-analyse op mogelijke aandachtspunten rond nieuwe generaties koudemiddelen en hun afbraakproducten, zoals trifluorazijnzuur (TFA). De F-gassenverordening en mogelijke PFAS-restricties stimuleren de ontwikkeling en toepassing van alternatieve koudemiddelen, waarbij ook aandacht nodig blijft voor veiligheid, technische prestaties en correcte inzameling en verwerking.

Ontwikkeling richting 2050

In het business-as-usual scenario groeit de voorraad klimaatinstallaties richting 2050 verder en verandert de samenstelling sterk. De rol van hr-ketels neemt af, terwijl warmtepompen, hybride systemen, airco's en laagtemperatuursystemen toenemen. Dit leidt tot een verschuiving in materiaalgebruik: traditionele stromen zoals staal en koper blijven relevant, maar kunststoffen, elektronica, koudemiddelen en kritieke materialen worden belangrijker.

De uitstroom volgt met vertraging. Richting 2040 en 2050 komen grotere hoeveelheden oude systemen vrij, met name door de uitfasering van hr-ketels en middeltemperatuursystemen. Tegelijkertijd komt de uitstroom van warmtepompen en airco's pas later op gang. Hierdoor ontstaat een tijdsverschil tussen de groeiende vraag naar secundaire materialen en het moment waarop voldoende materiaal uit de eigen productgroep beschikbaar komt.

In het BAU-scenario verbeteren inzameling en terugwinning enigszins, maar blijven belangrijke verliezen bestaan. Ferrometalen en koper worden relatief goed teruggewonnen, terwijl kunststoffen, kritieke materialen, magneten en specifieke elektronische componenten veel minder goed worden teruggewonnen. Zonder aanvullende maatregelen blijft een aanzienlijk deel van de potentiële waarde verloren gaan.

Circulaire oplossingsruimte

Het rapport onderzoekt vier circulaire strategieën: vermindering, levensduurverlenging, substitutie en hoogwaardige verwerking.

Vermindering heeft het grootste potentieel, omdat deze strategie voorkomt dat materiaalgebruik ontstaat. Het gaat onder meer om installatie-arm ontwerp, passieve maatregelen, collectieve oplossingen, minder overdimensionering en lagere materiaalintensiteit. Deze strategie kan zowel materiaalinstroom als milieu-impact substantieel verlagen. Tegelijkertijd vraagt vermindering om integrale doelen, aangepaste rekenmethoden, andere comfortverwachtingen en betere afstemming tussen gebouwontwerp, installatietechniek en gebiedsoplossingen.

Levensduurverlenging behoudt productwaarde door onderhoud, reparatie, revisie, refurbishment en hergebruik. Het kwantitatieve effect op totale materiaalinstroom is kleiner dan bij vermindering, maar de strategie is belangrijk om vervanging uit te stellen, productwaarde te behouden en afvalstromen te verminderen. De effectiviteit wordt beperkt door gebrekkige repareerbaarheid, korte softwareondersteuning, onvoldoende onderhoud bij particulieren, onduidelijkheid over aansprakelijkheid, beperkte beschikbaarheid van onderdelen en een afvalketen die vooral op verwerking is ingericht.

Substitutie richt zich op vervanging van primaire, fossiele, kritieke of zorgwekkende materialen door secundaire, biobased of minder risicovolle alternatieven. De grootste bijdrage ligt bij toepassing van recyclaat, mits voldoende kwaliteit en aanbod beschikbaar zijn. Voor biobased materialen zijn de toepassingsmogelijkheden vooralsnog beperkter door technische eisen en beperkte beleidsmatige aandacht. Substitutie is geen vanzelfsprekende circulariteitswinst: alternatieve materialen moeten integraal worden beoordeeld op levensduur, repareerbaarheid, veiligheid en recyclingkwaliteit.

Hoogwaardige verwerking is noodzakelijk voor producten en componenten die niet langer kunnen worden gebruikt of gerepareerd. De huidige verwerking is sterk gericht op massa, kosten en bulkmetalen. Dat werkt redelijk voor staal, ijzer en koper, maar onvoldoende voor kunststoffen, kritieke materialen, edelmetalen, magneten en specifieke componenten. Hoogwaardige verwerking vraagt om betere inzameling, schadevrije demontage, productinformatie, digitale productpaspoorten, sorteertechnologie, schaalgrootte en stabiele vraag naar secundaire materialen.

De strategieën versterken elkaar, maar kunnen ook spanning veroorzaken. Minder materiaalgebruik kan terugwinning van bepaalde waardevolle materialen economisch lastiger maken. Levensduurverlenging vertraagt de beschikbaarheid van secundaire materialen. Substitutie is afhankelijk van hoogwaardige verwerking. Recycling kan op gespannen voet staan met hergebruik wanneer de afvalketen vooral op snelle bulkverwerking is ingericht. Daarom is een integrale benadering nodig.

Systeembelemmeringen

De MIS-analyse laat zien dat de belangrijkste knelpunten niet primair technisch zijn, maar voortkomen uit systeemdynamieken in beleid, markt, ketenorganisatie en kennisontwikkeling. Vier overkoepelende knelpunten keren telkens terug.

Ten eerste ontbreken onderontwikkelde integrale doelen en kaders. Energieprestatie, comfort, woningbouwtempo en kosten zijn sterker verankerd dan materiaalbesparing, levensduur en circulariteit. Hierdoor optimaliseren partijen op deeldoelen en blijven circulaire oplossingen vaak optioneel.

Ten tweede zijn kosten, baten en verantwoordelijkheden versnipperd over de keten. De partij die investeert in circulair ontwerp, onderhoud of demontage is niet altijd de partij die profiteert van lagere kosten, langere levensduur of restwaarde. Hierdoor ontbreekt vaak een sluitende businesscase.

Ten derde bestaan onzekerheid, kennisgebrek en risicomijdend gedrag. Opdrachtgevers en installateurs kiezen vaak voor bewezen oplossingen, mede doordat prestaties, comforteffecten, restwaarde, aansprakelijkheid en kwaliteit van hergebruikte of gereviseerde producten onvoldoende bekend zijn.

Ten vierde is de businesscase voor circulariteit nog onvoldoende aantrekkelijk. Nieuwe producten en primaire materialen zijn vaak goedkoper en eenvoudiger beschikbaar dan circulaire alternatieven. Arbeid voor reparatie, demontage en sortering is relatief duur. Bovendien is de klantreis voor hergebruik, revisie of hoogwaardige verwerking vaak complexer dan voor nieuwe verkoop en lineaire verwerking.

Beleidsanalyse

Het huidige beleidslandschap bevindt zich in een overgangsfase. Energie- en klimaatbeleid zijn sterk ontwikkeld en sturen op energiebesparing, elektrificatie en uitfasering van aardgas. Circulariteit is beleidsmatig aanwezig via het Nationaal Programma Circulaire Economie en Europese ontwikkelingen, maar is nog beperkt vertaald naar concrete verplichtingen, prestatie-eisen, financiële prikkels en uitvoeringspraktijk. Een belangrijk inzicht is dat circulariteit vaak niet het startpunt is van bestaand beleid, maar later is toegevoegd aan energie-, bouw- en afvalkaders. Daardoor zijn circulaire doelen minder ver uitgewerkt, minder bekend en minder stevig verankerd in normen, rekenmethoden en uitvoeringspraktijk.

Belangrijke Europese ontwikkelingen in wet- en regelgeving bieden aanknopingspunten voor verdere verduurzaming en circulariteit van klimaatinstallaties, waaronder de EPBD IV, de Ecodesign for Sustainable Products Regulation, de Construction Products Regulation, de Critical Raw Materials Act, de F-gassenverordening en de herziening van de WEEE-richtlijn. Deze ontwikkelingen kunnen circulariteit, levensduur, repareerbaarheid, productinformatie en terugwinning sterker verankeren. De nationale vertaling is echter bepalend voor de impact in de Nederlandse bouw-, installatie- en afvalketen. Een korte-termijnopgave is daarom om Europese regelgeving niet alleen juridisch of technisch te implementeren, maar ook te vertalen naar handelingsperspectief voor producenten, installateurs, opdrachtgevers, vastgoedeigenaren en verwerkers.

Op basis van de systeemknelpunten uit de MIS-analyse en de daarop voortbouwende beleidsanalyse worden vijf hoofdbelemmeringen onderscheiden die de toepassing van circulaire strategieën in de klimaatinstallatiesector beperken: onderontwikkelde doelen, ontbrekende of tegenstrijdige sturing, wet- en regelgeving die niet altijd aansluit op circulariteit, risicomijdendheid door onbekendheid en een nog onvoldoende aantrekkelijke businesscase. Deze belemmeringen versterken elkaar en vragen daarom om een samenhangende instrumentenmix.

Aanbevelingen

De aanbevelingen richten zich op mogelijke beleidsknoppen voor de Rijksoverheid. De uiteindelijke prioritering en vormgeving van interventies ligt bij de overheid, maar uitvoering vraagt om samenwerking met producenten, installateurs, opdrachtgevers, vastgoedeigenaren, verwerkers, kennispartijen en uitvoeringsorganisaties.

De Rijksoverheid kan circulariteit gelijkwaardiger maken aan energieprestatie, comfort, kosten en bouwtempo; installatie-arm bouwen en renoveren volwaardig meenemen in regelgeving, normering en subsidies; normen, indicatoren en rekenmodellen aanpassen zodat overdimensionering en materiaalgebruik worden tegengegaan; de UPV herontwerpen zodat hergebruik en waardebehoud expliciet worden beloond; de milieu-impact van installaties beter stuurbaar maken via betere productdata, MPG/WLC-GWP en kwaliteitsborging; publiek opdrachtgeverschap inzetten om vraag naar circulaire installaties te creëren; en reparatie, onderhoud, hergebruik en prestatie- of servicemodellen financieel aantrekkelijker maken.

Daarbij is substitutie een aanvullende strategie. Omdat ontwerp, componentproductie en materiaalkeuze grotendeels internationaal zijn georganiseerd, ligt directe nationale sturing op substitutie minder voor de hand dan bij vermindering, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking. Binnen Nederland kan substitutie vooral worden ondersteund via vraagsturing, aanbestedingscriteria, productinformatie en toepassing van secundaire materialen waar dit technisch haalbaar is.

Tot slot

De circulaire transitie van klimaatinstallaties vraagt om meer dan betere recycling. Recycling blijft noodzakelijk, maar de grootste winst ligt bij het voorkomen van onnodige materiaalvraag en het langer behouden van productwaarde. De energietransitie maakt klimaatinstallaties belangrijker, maar vergroot tegelijk de materiaalopgave. Daarom moet circulariteit onderdeel worden van de manier waarop gebouwen, installaties en ketens worden ontworpen, beoordeeld, gefinancierd en beheerd.

Een effectief beleid voor circulaire klimaatinstallaties combineert integrale doelen, scherpere prestatiekaders, betere informatie, aangepaste financiële prikkels, ketensamenwerking, handhaving en publiek opdrachtgeverschap. Alleen dan wordt circulariteit geen aanvullende ambitie naast energie-, comfort- en kostencriteria, maar onderdeel van de manier waarop gebouwen, installaties en ketens worden ontworpen, beoordeeld, gefinancierd en beheerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Afkortingen	9
1 Inleiding.....	11
1.1 Aanleiding & Doel	11
1.2 Afbakening	12
1.3 Structuur van dit rapport	13
2 De huidige keten in beeld	15
2.1 Keten in beeld	15
2.2 Beleid en Doelen	20
2.3 Materiaalgebruik in de keten.....	22
2.4 Milieueffecten van de huidige keten.....	31
2.5 ZZS huidige keten	34
3 Toekomstverkenning	37
3.1 Scenario Business as Usual	38
3.2 Verkenning circulaire oplossingsruimte	47
3.3 Samenvattende bevindingen toekomstscenario's	55
4 Belemmeringen & Kansen	57
4.1 Structuur analyse.....	59
4.2 Missie Arena.....	61
4.3 Functionele analyse: systeemdynamiek en knelpunten	67
4.4 Overkoepelende dynamieken, interventiepunten en overzicht bevindingen	83
5 Beleidsanalyse	92
5.1 Huidig en toekomstig beleidslandschap.....	92
5.2 Hoofdbelemmeringen voor effectief beleid.....	94
5.3 Beleidsanalyse per circulaire strategie	97
5.4 Samenhang tussen beleidsinstrumenten	110
6 Synthese en conclusie	112
6.1 Synthese	112
6.2 Conclusie en aanbevelingen.....	119
Ondertekening.....	123
Bijlagen	
Bijlage A: Methodologie	125
Bijlage B: Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) in klimaatinstallaties	160
Bijlage C: MIS analyse	169
Bijlage D: Onderbouwing beleidsanalyse	180

Afkortingen

Afkorting	Omschrijving
AEEA	Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparatuur
ARBO	Arbidsomstandigheden (wetgeving / eisen)
BAU	Business as usual (referentiescenario)
BBL	Besluit Bouwwerken Leefomgeving
BENG	Bijna Energieneutrale Gebouwen
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CML	Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden
CO₂	Koolstofdioxide
CPB	Centraal Planbureau
CRMA	Critical Raw Materials Act
CRM	Critical Raw Material(s) (kritieke grondstof(fen))
CPR	Construction Products Regulation
DSM	Dynamic Stock Model(ing) (dynamisch voorraadmodel / -modellering)
dMFA	dynamic Material Flow Analysis (dynamische materiaalstroomanalyse)
DPP	Digitaal productpaspoort (Digital Product Passport)
EEA	Elektrische en elektronische apparatuur
EPC	Energieprestatiecoëfficiënt
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ESPR	Ecodesign for Sustainable Products Regulation
EU	Europese Unie
EVOA	Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen
F-gassen	Gefluoreerde gassen
GPP	Green Public Procurement
GWP	Global Warming Potential
HFK	Hydrofluorocarbon(s)
HFO	Hydrofluoro-olefin(s)
HR	Hoogrendement (bijv. HR-ketel)
ICER	Integrale Circulaire Economie Rapportage
ICT	Informatie- en communicatietechnologie
KEV	Klimaat- en Energieverkenning
LCA	Life Cycle Assessment (levenscyclusanalyse)
MFA	Material Flow Analysis (materiaalstroomanalyse)
MKI	Milieukostenindicator
MIS	Missiegedreven Innovatie System
MPG	Milieuprestatie Gebouwen
NPCE	Nationaal Programma Circulaire Economie
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PGA	Productgroepanalyse

PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
PVGO	Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving
REACH	Registratie, Evaluatie, Autorisatie en Restrictie van Chemische stoffen
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
RWS	Rijkswaterstaat
TCO	Total Cost of Ownership
TFA	Trifluorazijnzuur
TU	Technische Universiteit
UU	Universiteit Utrecht
UPV	Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment (richtlijn)
wlc-gwp	Whole Life Cycle Global Warming Potential
Wgiw	Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie
ZZS	Zeer Zorgwekkende Stoffen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding & Doel

De productgroepanalyses (PGAs) zijn opgezet om meer inzicht te krijgen waar kansen liggen om transitie naar een circulaire economie te versnellen en worden uitgevoerd op productgroepen waar de productie-consumptieketens een meer dan gemiddelde impact hebben op klimaatverandering, biodiversiteitsverlies of milieuvervuiling, tezamen met aanzienlijke leveringsrisico's.

In Nederland wordt een groot deel van de warmtevraag voor de gebouwde omgeving nog steeds ingevuld via aardgasverbranding. De verduurzamingsopgave vereist een verschuiving richting elektrische oplossingen zoals warmtepompen en collectieve systemen zoals warmtenetten. De EPBD IV¹ stelt eisen aan de CO₂ voetafdruk van gebouwen. Daarnaast verplicht deze richtlijn om in nieuwbouw automatiserings- en controlesystemen toe te passen die het energieverbruik analyseren, de werking van installaties bewaken, en kunnen reageren op externe signalen. De verdergaande elektrificatie vergroot de afhankelijkheid van kritieke materialen en vergt innovaties in ontwerp, productie en hergebruik van klimaatinstallaties.

Klimaatinstallaties leveren essentiële diensten zoals verwarming, koeling en ventilatie, en bevatten hoogwaardige en steeds meer kritieke materialen. Deze materialen zijn cruciaal voor het functioneren van de installaties en kennen een beperkte winning en opwerking binnen Europa, mede door het ontbreken van een significante mijnbouwsector. De afhankelijkheid van import maakt toegang tot deze materialen strategisch relevant, zeker in het licht van geopolitieke spanningen en toenemende vraag door elektrificatie.

Tegelijkertijd is het nationale doel om in 2050 volledig circulair te zijn vastgelegd en richt het beleid voor 2035 zich op drie doelen: behouden van grondstoffen, vervangen van grondstoffen, en besparen van grondstoffen (NPCE 2025).

Voor klimaatinstallaties geldt dat deze niet alleen sterk bijdrage aan de impact van de gebouwde omgeving, maar de productgroep kent ook extra complexiteit door lange waardeketen, diverse toepassingscontexten en een sterke verwevenheid met andere gebouwfuncties en infrastructuren.

Deze PGA voor klimaatinstallaties beoogt daarom inzicht te geven in de huidige stand van zaken, belemmeringen en kansen, oplossingsrichtingen te formuleren, en te komen tot aangrijpingspunten voor beleid die bijdragen aan een versnelling van de transitie naar een circulaire economie. De analyse draagt ook bij aan kennis voor de circulaire aanpak via productgroepen in het algemeen en het behalen van de beleidsdoelen zoals geformuleerd in het NPCE.

¹ Energy Performance Building Directive – 4e herziening, de Europese richtlijn voor de energieprestatie van gebouwen.

1.2 Afbakening

Voor het afbakenen van de keten productgroep klimaatinstallaties gaan we uit van de omschrijving in de routekaart Circulaire Installaties². Klimaatinstallaties worden hier omschreven als systemen voor ventilatie, en voor de opwekking, distributie en afgifte van warmte en koude in gebouwen, inclusief aansturing van de installaties. Deze productgroepanalyse richt zich primair op klimaatinstallaties in de woningbouw. Klimaatinstallaties in de utiliteitsbouw zijn niet afzonderlijk geanalyseerd. Wel is in analyse aandacht besteed aan ontwikkelingen, actoren en beleidsinstrumenten die zowel relevant zijn voor de woningbouw als voor de utiliteitsbouw.

De betrokken ketenactoren omvatten organisaties die zich bezighouden met het ontwerpen, inkopen en installeren van klimaatinstallaties in gebouwen, evenals producenten van installaties en componenten, partijen die verantwoordelijk zijn voor onderhoud en reparatie, en organisaties die zich richten op de verwerking van toestellen en componenten aan het einde van hun levensduur.

Er is een overlap tussen de productgroep klimaatinstallaties, en de productgroep elektronica, aangezien klimaatsystemen ook vallen onder de AEEA-richtlijn³, en de Nederlandse implementatie daarvan via de UPV. De distributiesystemen en afgiftesystemen zoals leidingen en radiatoren vallen niet onder deze richtlijn, maar zijn wel opgenomen in de PGA Klimaatinstallaties. In overeenstemming met de PGA Elektronica, vallen mobiele (niet-gebouwgebonden) klimaatinstallaties zoals een mobiele airconditioning unit, binnen de scope van de PGA klimaatinstallaties.

1.2.1 Afbakening producten en materialen

De PGA bouwt op een combinatie van kwalitatieve (bijvoorbeeld voor de inventarisatie van knelpunten) en kwantitatieve onderzoeksmethodes (bijvoorbeeld kwantificering van materiaalstromen door middel van modellering). Concreet wordt een Missiegedreven Innovatie Systeem (MIS) analyse, gecombineerd met resultaten uit een massastroom en milieueffect model, en een beleidsanalyse bestaande uit literatuuronderzoek en interviews.

Expliciet buiten de onderzoeksscope van het kwantitatieve model is een uitweiding van alternatieven die van invloed zijn op de bovenliggende diensten verwarmen, koelen en ventileren. Hierbij valt te denken aan de infrastructuur voor stadsverwarming, warmtenetten of nutsvoorzieningen buiten het gebouw. Materiaal dat nodig is voor passieve maatregelen binnen gebouwen die invloed hebben op het gebruik, aanwezigheid, en de noodzakelijkheid van gebouw gebonden klimaatinstallaties, zoals betere isolatie, natuurlijke ventilatie, en het gebruik van zonwering en andere reflecterende materialen voor het verminderen van de warmteabsorptie worden niet meegenomen.

Deze product- en ketenafbakening maakt het mogelijk om de onderlinge afhankelijkheden en potentiële tegenstellingen tussen installatietypen te analyseren en cijfermatig te onderbouwen, zonder uit te weiden naar bredere systeeminterventies die buiten de directe productgroep vallen.

² <https://circulairemaakindustrie.nl/documenten/routekaart-circulaire-klimaatinstallaties/> Boerstra, A, R Zonnevrijle, and M Kerssen. 2025. Routekaart Circulaire Klimaatinstallaties. Voorlopige Versie Opgesteld Door de Productgroep Circulaire Klimaatinstallaties van de Circulaire Maakindustrie En Circulaire Bouweconomie. <https://circulairemaakindustrie.nl/app/uploads/2025/03/Voorlopige-versie-Routekaart-circulaire-klimaatinstallaties-CKI-mrt-2025.pdf>.

³ Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparatuur

De bovenstaande keten en productafbakening heeft met name betrekking op de kwantitatieve uitwerking van materiaalgebruik, materiaalstromen en milieueffecten van deze studie. Voor de MIS en beleidsanalyse kunnen trends en oplossingsrichtingen zoals stadsverwarming en passieve maatregelen wel kwalitatief worden meegenomen, met daarbij de kanttekening dat de kwantitatieve effecten op materiaal en milieueffecten niet volledig zijn meegenomen. Als voorbeeld, zal het inzetten op stadsverwarming minder materiaalgebruik binnen de productgroep klimaatinstallaties tot gevolg hebben, maar het extra materiaalgebruik van de stadsverwarmingsinfrastructuur valt buiten de scope van dit project.

1.2.2 Tijdshorizon

Klimaatinstallaties zijn producten met een relatief lange levensduur van over 15 jaar, en kunnen veelal langer gebruikt worden tot wel 50 jaar. De tijdshorizon voor deze studie is gesteld op 2050. Dit betekent dat resultaten gepresenteerd worden tot 2050. Het is daarbij van belang dat de levenscyclus van klimaatinstallaties die tegen het einde van deze periode geïnstalleerd worden, ook ná 2050 in gebruik zullen zijn, en dat de componenten en materialen daarvan pas ná 2050 beschikbaar zullen zijn voor circulaire activiteiten.

1.3 Structuur van dit rapport

Dit rapport volgt de opbouw van een productgroepanalyse⁴ en bestaat uit 5 hoofdonderdelen. In hoofdstuk 2 wordt de huidige situatie voor klimaatinstallaties beschreven. Dit omvat de beleidsdoelen, de waardeketen, het materiaalgebruik, de milieueffecten en de aanwezigheid van ZZS. Op basis van de huidige situatie zijn twee scenario's in beeld gebracht in hoofdstuk 3 – Toekomstverkenning. In dit hoofdstuk verkennen we een business-as-usual scenario en de circulaire oplossingsruimte. Aan de hand van het Missiegedreven Innovatie System (MIS) raamwerk zijn kansen en belemmeringen voor de ontwikkeling van de vier circulaire strategieën in de transitie naar een circulaire keten in beeld gebracht in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt het huidige beleid geëvalueerd, worden aanvullende beleidsopties uitgewerkt langs de vier circulaire strategieën op basis van het beeld van de huidige situatie, de toekomstscenario's en de kansen en belemmeringen geïdentificeerd in de voorgaande hoofdstukken. In het afsluitende hoofdstuk, hoofdstuk 6 Synthese en conclusie, vatten we de inzichten uit de voorgaande hoofdstukken samen in de belangrijkste conclusies en aangrijpingspunten voor beleid.

⁴ Leidraad t.b.v. productgroepanalyse, 13 januari 2025, Natascha Spanbroek, Lise de Boer (RIVM) Remi Elzinga, Simona Negro (UU)

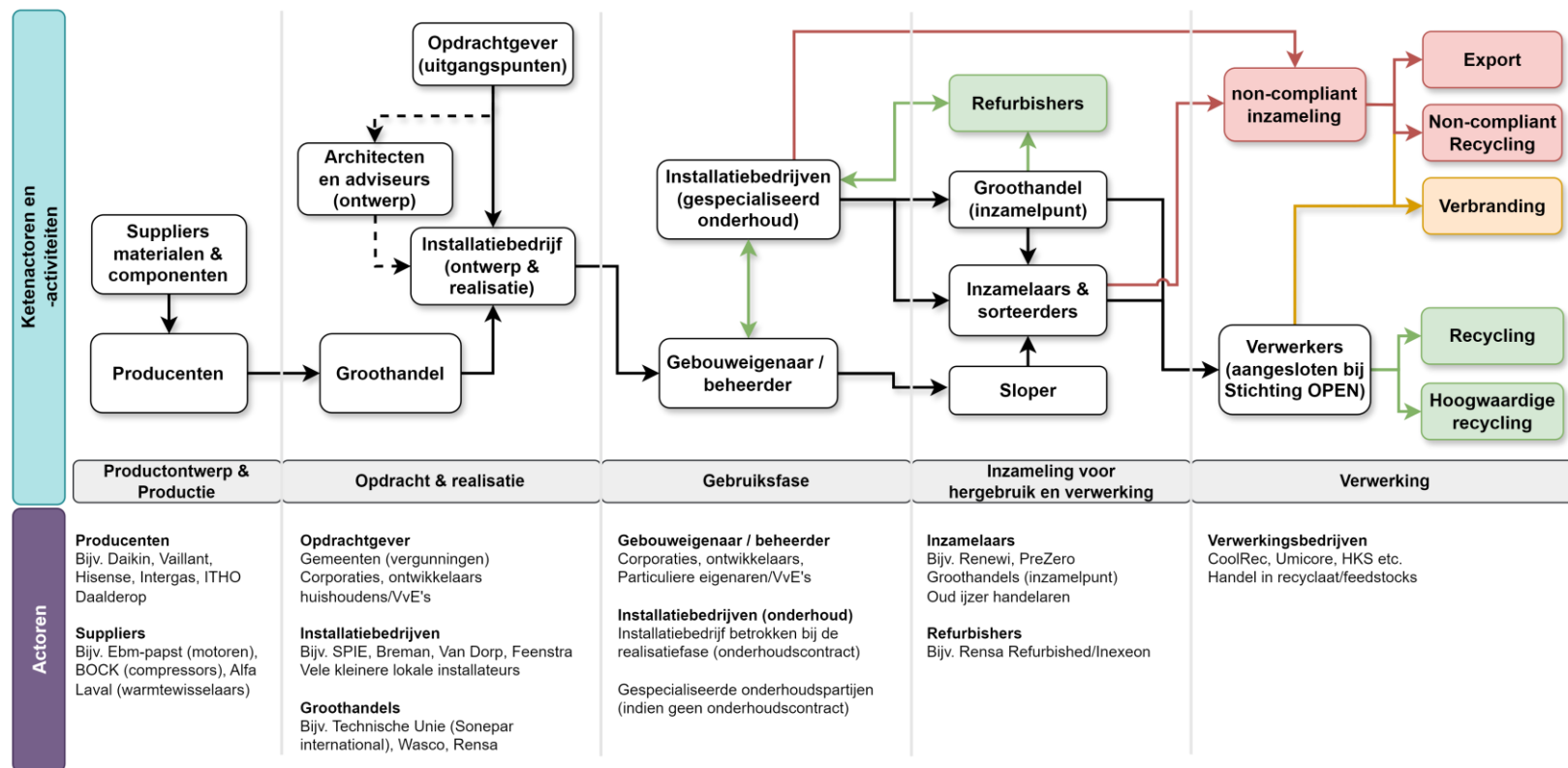


2 De huidige keten in beeld

Om aangrijpingspunten voor beleid te identificeren is het gewenst een goed overzicht te hebben van de keten voor de productgroep klimaatinstallaties en hoe deze functioneert vanuit verschillende perspectieven. In sectie 2.1 wordt de waardeketen beknopt beschreven. Hierna beschrijven we een overzicht van de beleidsdoelen in sectie 2.2, waarna we een overzicht geven van het huidige materiaalgebruik in de keten en de daarmee geassocieerde milieueffecten in sectie 2.3 en 2.4. Speciale aandacht aan zeer zorgwekkende stoffen, bijvoorbeeld de koelmiddelen in warmtepompen, wordt besproken in sectie 2.5.

2.1 Keten in beeld

Een startpunt voor de productgroepanalyse is het in kaart brengen van de ketenstructuur en -activiteiten die hierbinnen plaatsvinden. Een beknopt schematisch overzicht is weergegeven in Figuur 2.1, waar de ketenactoren en activiteiten zijn verdeeld over vijf verschillende ketenfasen. In deze sectie geven we een korte toelichting per fase. De ketenbeschrijving is verder uitgewerkt in hoofdstuk 4 waar dit overzicht is uitgebreid met voorbeelden van actoren en een beschrijving van instituties en infrastructuur om tot een structuuranalyse te komen.



Figuur 2.1: Ketenstructuur en -activiteiten verdeeld over vijf verschillende ketenfasen. Roodgekleurde activiteiten zijn waardeverminderend. Groene activiteiten kunnen worden beschouwd als waardebehoudend en/of circulair.

Productontwerp en productie

Een klimaatinstallatie betreft een systeem bestaande uit verschillende producten die door een samenspel van opwekking, distributie, afgifte en regeling voorziet in de beheersing van het binnenklimaat. Fabrikanten van componenten leveren de materialen input voor producenten en systeembouwers om klimaatinstallaties te maken.

Een klimaatinstallatie vervult de specifieke klimaatbeheersingsbehoefte van het desbetreffende gebouw. Deze behoefte hangt af van de combinatie van de fysische (bouwkundige) eigenschappen van het gebouw en de eisen die gesteld worden aan het leefklimaat binnen het gebouw. Eisen kunnen volgen uit het Besluit Bouwwerken Leefomgeving ⁵(BBL), of kunnen aanvullend gesteld zijn vanuit opdrachtgever of architect en ontwerpteam. In beiden speelt een grote rol of het nieuwbouw of renovatie betreft, zowel wat betreft de typische isolatiegraad als de eisen die gesteld worden aan het leefklimaat - bij kleinschalige renovatie blijven de eisen gelden die ten tijde van de bouw van het gebouw golden, bij grootschalige renovatie gelden nieuwbouweisen.

De installatieadviseur werkt technologische ontwerpkeuzes uit waarmee aan de klimaatbeheersingsbehoefte en gestelde eisen kan worden voldaan. Hoe specifiek en meer afwijkend de vraagspecificatie, hoe meer maatwerk en dus ook meer betrokkenheid van installatieadviseurs en ingenieurbureaus. Bij woningbouw is de ontwerpvraag vaak relatief eenvoudig op basis van de oppervlakte en isolatiegraad, en wordt zodoende het ontwerp direct voor rekening genomen door de installateur.

De technische ontwerpkeuzes moeten niet alleen voldoen aan eisen rond leefklimaat, maar in geval van nieuwbouw ook op gebouwniveau voldoen aan energieprestatienormen (vanaf 1995 EPC-normen, sinds 2021 BENG-normen) en aan milieuprestatienormen (MPG, sinds 2018). De wet schrijft geen middelen/technologieën voor, maar prestaties. Een uitzondering hierop is de uitfasering van aardgas. De Nederlandse invulling van het klimaatakkoord is onder andere dat sinds 2018 nieuwbouwwoningen niet met gasaansluiting mogen worden opgeleverd. Er is momenteel geen wet die concreet stelt wanneer huidige woningen van het gas af moeten zijn – een verplichting van hybride warmtepompen bij vervanging van CV ketels is echter (weer) in te maak.

Opdracht & realisatie

In de realisatie spelen installatiebedrijven de hoofdrol. De producten die zij nodig hebben om het systeem te bouwen (opwekking, distributie, afgifte, regeling) krijgen zij veelal geleverd van een installatie groothandel. Vanuit wettelijke bepalingen (o.a. rond veiligheid) en om te kunnen voldoen aan het garantiebeleid van producenten, dient de installatie (aanleg en inregeling) volgens voorschriften plaats te vinden (bijv. BRL 6000). Er zijn grote installatiebedrijven die complexe en grootschalige opgaven doen, en kleinere installatiebedrijven die meer de lokale (particuliere) markt bedienen.

Gebruiksfase

Wanneer er sprake is van een onderhoudscontract, wordt na oplevering het onderhoud verricht door hetzelfde installatiebedrijf dat bij realisatie betrokken was. Niet in elk geval wordt een onderhoudscontract afgesloten, met name particulieren willen hiermee wel eens kosten (denken te) besparen. Tijdens de gebruiksfase monitort het installatiebedrijf het functioneren van de klimaatinstallatie, bij voorkeur op basis van sensoren en data, maar in het klassieke geval van cv-ketels middels (periodieke) onderhoudscontroles en interventies bij acute

⁵ <https://www.bblonline.nl/docs/wet/bbl>

foutmeldingen. Om garantie te behouden op installaties dient het onderhoud volgens door producenten voorgeschreven methoden te gebeuren.

Voor het verlenen van garantie op het functioneren van het systeem is de installateur verantwoordelijk. Wanneer een defect binnen de garantie gegeven door de producent optreedt, verhaalt de installateur de kosten op de producent/importeur (fabrieksfout), waarbij wel aangetoond moet kunnen worden dat het niet om een installatiefout gaat (verkeerde inregeling, verkeerde dimensionering etc.).

Inzameling voor hergebruik en verwerking

Omdat klimaatinstallaties uit verschillende onderdelen bestaan met verschillende verwachte levensduren, gebeurt het tijdens de levensduur van een installatie dat onderdelen vervangen worden. Wanneer onderdelen vervangen worden, dienen deze via bedrijfsafval te worden afgevoerd. Dit kan bijvoorbeeld bij B2B afvaldiensten zoals Renewi⁶, maar ook middels het inleveren bij groothandels (waarvan sommigen bepaalde producten ter refurbishing sturen, zie paragraaf 'verwerking & hergebruik'). Particulieren die geen contract met een onderhoudspartij hebben leveren klimaatinstallaties in bij de milieustraat.

Wanneer een (onderdeel van een) klimaatinstallatie van eigenaar wisselt (wordt afgedankt), of in geval van particulieren bij de milieustraat is ingenomen, wordt het wettelijk gezien afval, en geldt vanaf dat moment dat de verwerking enkel volgens strikte wettelijk bepaalde route mag plaatsvinden. Niet alle inzameling vindt volgens de correcte paden plaats, hetgeen verder besproken wordt in volgende hoofdstukken.

Verwerking

Stichting OPEN is in Nederland aangewezen om de UPV te vervullen voor elektrische en elektronische apparatuur. Zij hebben een grote bijdrage voor het behalen van de nationaal gestelde inzamel- en verwerkingsdoelstellingen. De Regeling AEEA verplicht bedrijven om ingezamelde elektronica te onderwerpen aan 'passende verwerking'. Dit betekent dat de verwerking van AEEA moet voldoen aan de CENELEC-normen. Alle Nederlandse klimaatinstallaties moeten hierom worden (ingezameld en) verwerkt worden door CENELEC gecertificeerde partijen.

Ideaal gezien worden herbruikbare producten uit de stroom gehaald voordat ze in de afvalfase terechtkomen. Sommige groothandels hebben revisie/refurbishing lijnen – een voorbeeld hiervan is groothandel Rensa die onder Rensa Refurbished diverse onderdelen reviseert en met garantie weer verkoopt. Er zijn ook initiatieven van installateurs die bij vervanging van onderdelen deze zelf weer innemen en bij de producent inleveren ter revisie.

Bij afvalverwerking vindt eerst sortering plaats. Verschillende installaties en onderdelen moeten op andere manieren verwerkt worden, bijvoorbeeld warmtepompen die koudemiddelen bevatten, of wanneer er anderszijds ZZS aanwezig zijn. Vanuit de CRMA is ook EU-wetgeving op komst die verplicht dat onderdelen in EEA met permanente magneten apart verwerkt moeten worden. Vervolgens worden apparaten zo nodig gedemonteerd en vervolgens worden middels recycling processen materialen teruggewonnen. In geval van klimaatinstallaties zit vaak een flink deel van de waarde in de metalen behuizing.

In de huidige recyclingprocesgang kunnen vaak niet alle materialen worden teruggewonnen, de rest worden dan vaak verbrand of eindigen in slakken. Dit compliceert met name bij complexe geïntegreerde elektronische componenten de terugwinbaarheid van het scala aan

⁶ Inzamelaars moeten gecertificeerd zijn door Stichting OPEN.

toegepaste materialen. De materialen die verbrand worden vormen vaak samen 'slakken', samengesmolten restmaterialen die niet meer te transformeren zijn naar zuivere stromen, waardoor ze hooguit nog geschikt zijn als bijvoorbeeld stabilisatiepuin onder nieuwe snelwegen. Dit is een voorbeeld van down-cycling (waardeverlies bij recycling). Gewenster is 'hoogwaardige recycling'. Hiervan is nog geen heldere definitie op productgroep niveau, maar de algemene redenering is dat hoogwaardige recycling betekent dat materiaal specifiek teruggewonnen worden, en toegepast worden in een product van gelijkwaardige kwaliteit. Dit hoeft niet closed-loop te zijn, maar mag dus tussen sectoren plaatsvinden. Vanuit materiaalbehoud-perspectief is de minst waardevolle verwerkingsmethode het verbranden van materiaal (tijdens recycling proces of in een Afval Verwerkings Installatie), hetgeen onder huidige wetgeving echter wel als 'nuttige toepassing' wordt gerekend, indien er sprake is van warmteterugwinning.

2.2 Beleid en Doelen

Vanuit het Parijs-akkoord en het nationale klimaatakkoord volgen noodzakelijke maatregelen op het energieverbruik van de gebouwde omgeving. Vanuit de energietransitie zien we de noodzaak voor nieuwe installaties en aanpassingen aan bestaande installaties. De materialen die nodig zijn voor de energietransitie hebben ook een milieu-impact. Een circulaire economie is daarbij essentieel om de klimaatdoelstellingen te behalen. Vanuit Europees en Nationaal beleid wordt er in toenemende mate gestuurd op circulariteit van klimaatinstallaties – bijvoorbeeld in de Kaderverordening voor Ecodesign waarin eisen worden gesteld aan circulair ontwerp, en de AEEA-richtlijn waarin eisen worden gesteld aan de end-of-life-verwerking. Hierdoor raken de energieprestatie en materiaalprestatie steeds meer verweven en vraagt het realiseren van nieuwe gebouwen en het verduurzamen van bestaande gebouwen een integrale aanpak.

Het NPCE heeft dan ook klimaatinstallaties als impactvolle productgroepen aangeduid en specifiek beleid ontwikkeld voor klimaatinstallatieketen. Het effectdoel vanuit het NPCE⁷ (NPCE, 2023) wat wordt nagestreefd is een lagere MKI (25%) voor klimaatinstallatiesystemen in 2030 t.o.v. 2016. Waarbij het doel is om voor alle installaties te komen tot een gemiddelde reductie van 25% inclusief de gebruiksfase. Om dit doel te realiseren wordt er aanvullend ingezet op het verlengen van de functionele levensduur in 2030 van klimaatinstallaties met 50% t.o.v. 2016 en wordt in 2030 100% van de componenten en toestellen hoogwaardig gerecycled of hergebruikt na einde leven.

Doelen vanuit gebouwperspectief

Met de Milieuprestatiegebouwen (MPG) en Milieukosten Indicator (MKI) wordt er gestuurd op de milieuimpact van materialen die gebruikt worden voor nieuwe gebouwen. Aanvullend daarop gaat de herziening van de Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) IV de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van het gebouw integraal afwegen tegenover de energieprestaties, en dit heeft consequenties voor klimaatinstallaties. Dit gaat alleen gelden voor nieuw te realiseren gebouwen. Voor energierenovaties wordt er niet gestuurd op de materialen die nodig zijn om de energieprestatie te halen.

Doelen vanuit productperspectief

Aanvullend worden er eisen gesteld op productniveau om invulling te geven aan de Europese klimaatdoelen (Fit for 55) en om een geharmoniseerde markt voor duurzamere producten te ondersteunen. Met regelgeving zoals de Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) en de Construction Products Regulation (CPR) worden (onderdelen van) klimaatinstallaties duurzamer en wordt de circulariteit van producten versterkt. De ESPR stelt het kader voor productspecifieke ecodesign-eisen, met aandacht voor onder andere repareerbaarheid, upgradebaarheid, demontage, revisie en recycleerbaarheid. Ook wordt via digitale productpaspoorten (naar verwachting vanaf 2026–2027 voor geselecteerde productgroepen) meer productinformatie ontsloten over materialen, componenten en instructies voor onderhoud, reparatie en demontage. In productspecifieke ecodesign-verordeningen (o.a. voor opwekcomponenten) kunnen vervolgens aanvullende eisen worden vastgelegd. Daarnaast werkt de herziene F-gassenverordening aan het versneld uifaseren van synthetische koudemiddelen met een hoge broeikasgasintensiteit, wat doorwerkt in ontwerpkeuzes en ketenprocessen voor klimaatinstallaties.

⁷ NPCE 2023, Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>

De end-of-life verwerking van elektrische en elektronische klimaatinstallaties is Europees geharmoniseerd via de AEEA-richtlijn (WEEE). In Nederland organiseert Stichting OPEN de inzameling en verwerking in het kader van de uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV). De AEEA/WEEE-richtlijn wordt in 2026 herzien.



2.3 Materiaalgebruik in de keten

Om inzicht te krijgen in de huidige en toekomstige materiaalstromen binnen de productgroep klimaatinstallaties is gebruikgemaakt van een dynamisch materiaalstroommodel (dynamic stock model (DSM)). Met dit model wordt per jaar in kaart gebracht hoeveel installaties op de markt worden gebracht en in gebruik zijn, en in welke mate producten en materialen aan het einde van hun levensduur beschikbaar komen voor hergebruik, recycling of andere verwerkingsroutes. Het model is gebruikt om zowel de huidige situatie als de toekomstige ontwikkelingen te analyseren, de scenario's beschreven in hoofdstuk 3. Een nadere toelichting op de modelopzet, aannames en gebruikte gegevens is opgenomen in 0. Deze paragraaf beschrijft eerst het algemeen beeld van de materiaalstromen, waarbij er wordt ingegaan op de materiaalinstroom, productinstroom, voorraad en de uitstroom en verwerking van materialen.

Tabel 2.1: Overzicht geanalyseerde productcategorieën

Productcategorieën	Beschrijving
Airco / LL-Warmtepomp	Elektrische lucht-luchtwarmtepomp, toegepast voor koeling en (gedeeltelijk) ruimteverwarming in woningen.
BW-Warmtepomp >7 kW	Elektrische bodem-waterwarmtepomp met een specifiek thermisch vermogen classificatie, toegepast in combinatie met een laagtemperatuurafgiftesysteem.
BW-Warmtepomp 7-12 kW	
BW-Warmtepomp <12 kW	
LW-Warmtepomp >7 kW	Elektrische lucht-waterwarmtepomp met een specifiek thermisch vermogen classificatie, toegepast in combinatie met een laagtemperatuurafgiftesysteem.
LW-Warmtepomp 7-12 kW	
LW-Warmtepomp <12 kW	
Hr-ketel	Hoogrendementsgasketel voor ruimteverwarming en warm tapwater. In woningen met een hybride warmtepomp wordt de hr-ketel primair gebruikt voor piekbelasting.
Hybride-Warmtepomp >7 kW	Hybride warmtepomp toegepast voor basislastverwarming, in combinatie met een HR-ketel en een middeltemperatuurafgiftesysteem.
Hybride-Warmtepomp 7-12 kW	
Hybride-Warmtepomp <12 kW	
Luchtdistributie	Luchtkanalen voor woningen met balansventilatie.
LT-afgiftesysteem	Laagtemperatuurafgiftesysteem voor ruimteverwarming, bestaande uit vloerverwarming, wandverwarming of laagtemperatuurradiatoren. In het model is uitsluitend vloerverwarming meegenomen ter vereenvoudiging.
LT-distributiesysteem	Installaties voor distributie van warmte naar laagtemperatuurafgiftesystemen, met name circulatiepompen en leidingen.
MT-afgiftesysteem	Middeltemperatuurafgiftesysteem voor ruimteverwarming, voornamelijk bestaande uit gangbare radiatoren.
MT-distributiesysteem	Middeltemperatuurafgiftesysteem voor warmteverdeling naar radiatoren, voornamelijk leidingsystemen.
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	Overige groep klimaat- en ventilatie-installaties die niet afzonderlijk zijn gemodelleerd, maar gezamenlijk onderdeel vormen van de overkoepelende gemonitorde productgroep binnen de AEEA-wetgeving "household heating & ventilation".

Op basis van het materiaalstroommodel zijn de materiaalstromen voor het referentiejaar 2023 in kaart gebracht, zie Figuur 2.2. Dit is het meest recente jaar waarvoor consistente en complete gegevens beschikbaar zijn over de relevante productcategorieën. De materiaalstromen voor de belangrijkste gebouwgebonden klimaatinstallaties en bijbehorende systemen in de woningvoorraad zijn onderzocht. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen airco's, warmtepompen (lucht-lucht, lucht-water en bodem-water, uitgesplitst naar vermogensklassen), hr-ketels, hybride systemen⁸, ventilatie- en luchtdistributiesystemen, en laag- en middeltemperatuur afgifte- en distributiesystemen. Een overzicht van de onderscheiden productcategorieën is opgenomen in Tabel 2.1, een nadere uitwerking van de modellering en sub-producten is beschreven in 0.

Materiaalinstroom

Figuur 2.2 geeft een overzicht van de belangrijkste materiaalstromen en de typen klimaatinstallaties die in 2023 nieuw in gebruik zijn genomen. De resultaten laten zien dat de materiaalinstroom wordt gedomineerd door ferrometalen, koper en kunststoffen. Deze materialen worden toegepast in zowel de installaties zelf (zoals warmtepompen, hr-ketels en ventilatiesystemen) als in de bijbehorende distributie- en afgiftesystemen. Voor installaties zoals hr-ketels en ventilatieboxen worden staal en ijzer vooral gebruikt voor de constructieve en mechanische onderdelen, waaronder mantel, warmtewisselaars en ondersteunende structuren. Koper wordt met name toegepast in leidingen, warmtewisselaars en elektrische componenten vanwege de goede warmte- en elektrische geleidbaarheid en de corrosiebestendigheid. Daarnaast wordt voor behuizingen en interne componenten diverse soorten kunststoffen gebruikt, onder andere voor isolatie, afdichting, bescherming van elektronische onderdelen. De middeltemperatuur distributie- en afgiftesystemen zijn verantwoordelijk voor de grote instroom aan staal en ijzer.

Een bijzondere materiaalstroom binnen de productgroep wordt gevormd door koudemiddelen. Figuur 2.2 laat zien dat in totaal circa 700 ton koudemiddel in gebruik wordt gebracht in warmtepompen en airconditioningsystemen. Er zijn verschillende typen koudemiddelen op de markt, die in samenstelling en milieu-impact sterk van elkaar verschillen. Hoewel deze stroom qua massa relatief beperkt is, kan deze een significant effect hebben op de totale milieu-impact van klimaatinstallaties. Om die reden wordt hier in hoofdstuk 2.4 nader op ingegaan.

Naast de grote materiaalstromen op basis van massa worden er ook materialen toegepast met een relatief geringe massa, maar een groot strategisch en economisch belang. Dit betreft met name specifieke metalen die zijn toegepast in elektronische componenten, elektromotoren en besturingssystemen, en die essentieel zijn voor het functioneren en de efficiëntie van installaties. In elektromotoren en compressoren van warmtepompen en ventilatiesystemen worden permanente magneten toegepast die zeldzame aardmetalen bevatten, zoals neodymium en dysprosium. Deze materialen zijn noodzakelijk om compacte, efficiënte en betrouwbaar regelbare motoren mogelijk te maken. Daarnaast zijn in klimaatinstallaties diverse elektronische componenten en printplaten aanwezig voor aansturing, vermogenselektronica en communicatie. In deze componenten worden onder meer goud en zilver toegepast vanwege hun uitstekende elektrische geleidbaarheid, corrosiebestendigheid en betrouwbaarheid. Ook andere metalen, zoals palladium en tin, vervullen specifieke functies in soldeerverbindingen en elektronische interfaces. Hoewel deze materialen in absolute hoeveelheden beperkt voorkomen, vertegenwoordigen zij een relatief hoge economische waarde en zijn zij cruciaal voor de functionele betrouwbaarheid van de installaties. Kenmerkend voor zowel de kritieke zeldzame aardmetalen als voor waardevolle edelmetalen is dat zij niet eenvoudig te vervangen

⁸ Een combinatie van warmtepomp en cv-ketel.

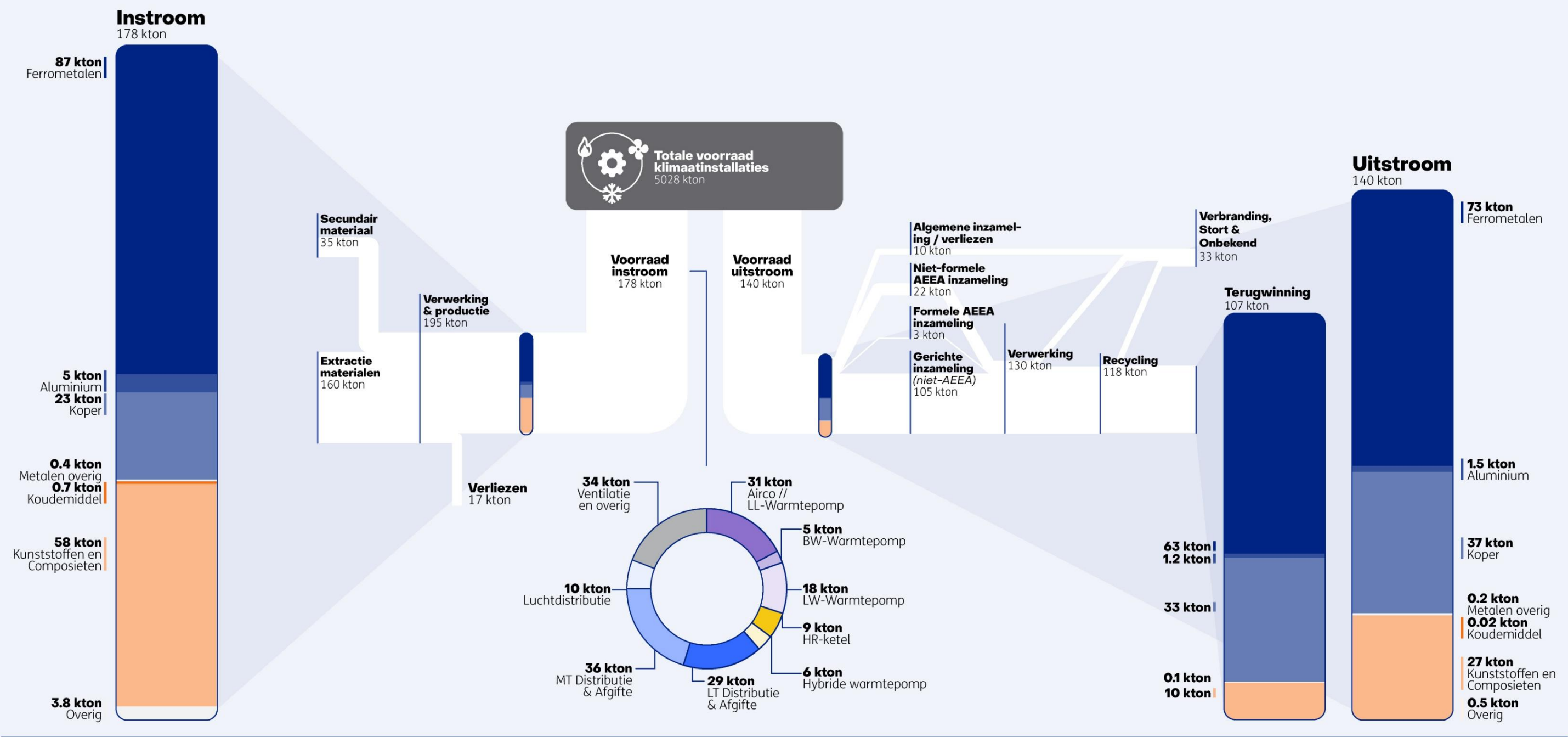
zijn. Hierdoor vormen zij een belangrijk aandachtspunt vanuit strategische afhankelijkheden en leveringszekerheid, ondanks hun geringe bijdrage aan de totale productmassa.

Productieverliezen

De resultaten laten zien dat ongeveer 9% van de benodigde materialen verloren gaat tijdens de productiefase van klimaatinstallaties, exclusief verliezen die optreden bij de winning van grondstoffen. Deze productieverliezen hebben uiteenlopende oorzaken, waaronder intrinsieke verliezen in materiaalverwerking, zoals slakvorming bij metaalproductie, en afvalstromen door bewerking, assemblage of afkeur. Binnen bestaande productieketens is al veel aandacht voor het beperken van deze verliezen. Een substantiële afname van absolute materiaalverliezen is daarom vooral te verwachten door een lagere vraag naar nieuwe installaties, bijvoorbeeld via levensduurverlenging of systeemveranderingen, wat direct doorwerkt in een lagere materiaalvraag en minder productieafval.

Secundair materiaal

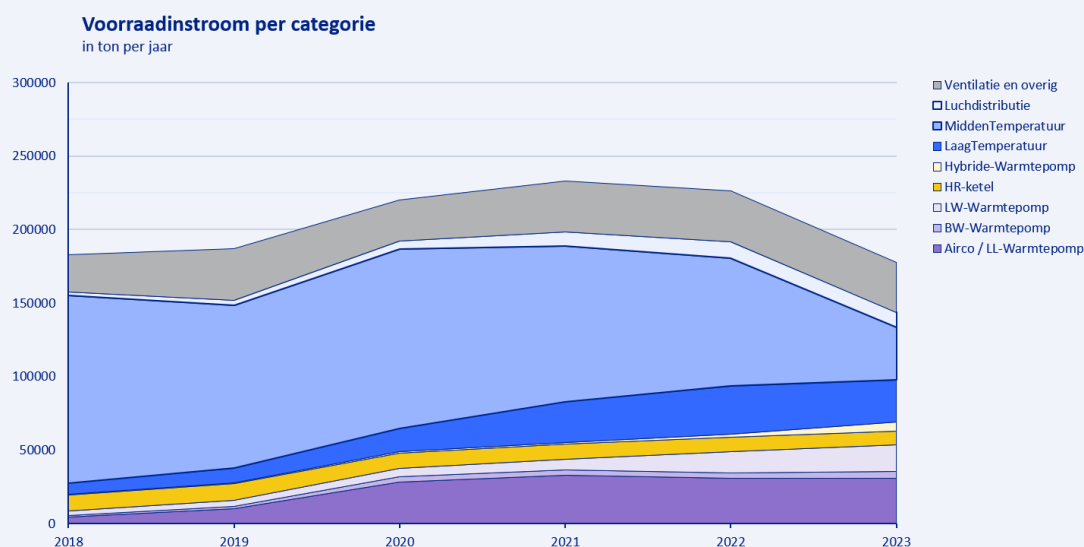
Het aandeel secundair materiaal in de totale materiaalinput van de productgroep klimaatinstallaties bedraagt ongeveer 16%. Dit secundaire materiaal wordt met name toegepast bij metalen, in het bijzonder bij staal en ijzer. Ook koper kent een relevant aandeel secundair materiaal, mede door goed ontwikkelde recyclingketens. Voor kunststoffen is het aandeel gerecycled materiaal momenteel nog beperkt. Kwaliteitseisen, materiaalmenging en additieven beperken de toepasbaarheid van recyclaat in hoogwaardige installaties. Deze studie is uitgevoerd met een open-loop recycling perspectief; de oorsprong van secundair materiaal kan daarmee gerecycled materiaal uit de keten zijn, maar ook gerecycled materiaal uit andere ketens. Het uiteindelijke aandeel secundair materiaal in de productgroep wordt sterk beïnvloed door meerdere factoren, waaronder de beschikbaarheid en kwaliteit van gerecyclede materialen voor inzet in hoogwaardige toepassingen. Kwaliteitsvereisten en verontreinigingen vormen hierbij beperkende factoren voor de inzet binnen dezelfde productgroep. Daar staat tegenover dat materiaal dat beschikbaar komt uit de geanalyseerde producten ook in andere ketens verwerkt kan worden.



Figuur 2.2: Huidige keten in beeld voor het referentiejaar 2023. N.B. Circulaire activiteiten, zoals hergebruik, vinden hier plaats binnen de gebruiksvoorraad. Wanneer producten bij het eindeleven weer uit de voorraad stromen, en materialen beschikbaar worden voor recycling is dit hier weergegeven.

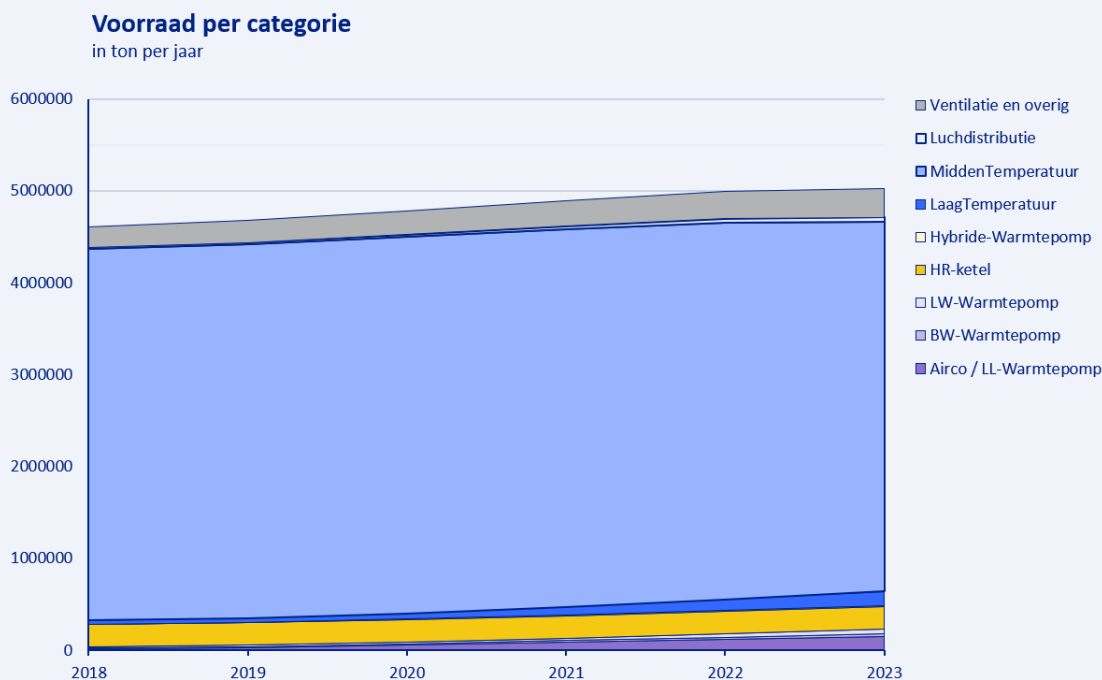
Producteninstroom en voorraad

De ontwikkeling van de productinstroom door de tijd laat zien dat klimaatinstallaties zich in een overgangsfase bevinden. In Figuur 2.3 is zichtbaar dat de instroom van warmtepompen en airconditioningsystemen in de afgelopen vijf jaar sterk is toegenomen. Deze groei hangt samen met de toenemende toepassing van deze technologieën in woningen en draagt bij aan een structurele toename van het aantal installaties in gebruik. De instroom van hr-ketels blijft in dezelfde periode relatief stabiel. Deze instroom wordt grotendeels gedreven door vervanging in de bestaande woningvoorraad en kent daardoor een meer constant karakter. Nieuwe plaatsingen dienen hier vooral ter vervanging van bestaande installaties en leiden niet tot een verdere uitbreiding van de voorraad.



Figuur 2.3: Instroom ("put-on-market") van klimaatinstallaties in de periode 2018-2023 in ton per jaar.

Voor middeltemperatuur- en laagtemperatuur-distributie- en afgiftesystemen is de instroom sterk verbonden met de bestaande gebouwde omgeving. Een belangrijk deel van de Nederlandse woningvoorraad is gebouwd in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw, een periode waarin grootschalige woningbouw plaatsvond en verwarmingstechnieken werden ontworpen op basis van toen gangbare uitgangspunten. Veel van deze woningen en bijbehorende installaties bevinden zich inmiddels in een fase waarin vervanging of aanpassing van installaties aan de orde komt. Dit vertaalt zich in substantiële materiaalstromen die samenhangen met zowel het vervangen van bestaande systemen als het aanpassen van installaties aan veranderende functionele eisen. De materiaalinstroom bestaat daarbij in belangrijke mate uit staal, ijzer en koper, die worden toegepast in leidingen en radiatoren. Middeltemperatuur-afgifte- en distributiesystemen hebben historisch gezien een groot aandeel in de instroom, maar laten in recente jaren een afname zien. Tegelijkertijd neemt het aandeel laagtemperatuurafgifte- en distributiesystemen in de woningvoorraad toe. Deze systemen kennen een andere materiaalopbouw dan traditionele middeltemperatuursystemen en maken vooral gebruik van kunststoffen, onder andere vanwege flexibiliteit, corrosiebestendigheid en integratie in bouwkundige constructies. Deze verschuiving valt vaak samen met renovatiemomenten, waarbij bestaande installaties worden aangepast of vervangen als onderdeel van bredere ingrepen aan woningen. De gevolgen van deze instroompatronen worden zichtbaar in de ontwikkeling van de gebruiksvoorraad, zoals weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4: Ontwikkeling in de voorraad in gebruik per productcategorie in de periode 2018-2023

Uitstroom

Figuur 2.2 toont ook voor het referentiejaar 2023 de uitstroom van materialen uit de gebruiksvorraad. De resultaten laten zien dat de uitstroom structureel lager is dan de instroom. Dit is kenmerkend voor een fase waarin de totale voorraad nog groeit. De verklaring hiervoor ligt in de lange gebruiksduur van klimaatinstallaties. Producten blijven vaak tientallen jaren in gebruik voordat zij het einde van hun levensduur bereiken. Alleen voor middeltemperatuursystemen en hr-ketels is dit patroon anders, de overgang naar meer duurzame verwarming zorg voor een afnemende instroom, en een grotere uitstroom. Voor warmtepompen en airconditioningsystemen is de uitstroom nog zeer beperkt, omdat de huidige voorraad grotendeels bestaat uit recent geïnstalleerde systemen. De uitstroom van materialen zal daardoor in de komende decennia toenemen, wanneer deze groeiende voorraden het einde van hun gebruiksduur beginnen te bereiken.

Inzameling

Voor een deel van de geanalyseerde productgroep bestaat er een formele inzamelingsstructuur. Dit betreffen de producten zoals warmtepompen, airco's en hr-ketels welke onder de AEEA-wetgeving vallen. Een substantieel deel van deze producten worden via de niet formele inzamelkanalen ingezameld en verwerkt, dit betreft met name hr-ketels en de producten die vallen onder de categorie overig. Figuur 2.2 laat ook zien dat een groot deel van de producten die vallen onder de AEEA-wetgeving alsnog worden ingezameld en verwerkt door niet-CENELEC conforme verwerkers. In de praktijk worden afgedankte installaties vaak direct afgevoerd door installateurs, sloopbedrijven of oud-ijzerhandelaren. Dit betekent dat er alsnog recycling plaatsvindt, maar de kwaliteit en transparantie van deze verwerking zijn minder geborgd. Deze routes zorgen ervoor dat installaties met een hoge metaalwaarde zelden in het restafval belanden. Hierdoor is het wel onduidelijk in hoeverre deze stromen bijdragen aan hoogwaardige materiaalherwinning en het realiseren van beleidsdoelen. Het bestaan van deze parallelle verwerkingsroutes bemoeilijkt daarmee het verkrijgen van een volledig en betrouwbaar beeld van de daadwerkelijke verwerkingsroutes.

De grootste uitstroom van materialen valt niet onder de AEEA-wetgeving, dit betreffen voornamelijk leidingen en radiatoren. Door de intrinsieke economische waarde van deze producten worden deze bijna altijd alsnog verwerkt. Ook hier betekent dat ontbreken van formele registratie betekent echter niet dat verwerking per definitie onjuist plaatsvindt, maar het beperkt wel het zicht op de verdere keten. Wanneer producten buiten het formele systeem worden afgevoerd, is niet altijd geborgd dat zij terechtkomen bij erkende verwerkers die voldoen aan vastgestelde milieu- en kwaliteitsstandaarden. In dergelijke gevallen kunnen installaties of materialen via commerciële handelsstromen worden geëxporteerd of verwerkt in minder transparante ketens, waardoor hoogwaardige terugwinning van materialen, met name van kritieke en waardevolle componenten, niet gegarandeerd is.

Verwerking

In dit onderzoek is met het materiaalstroommodel gekeken naar het materiaal dat daadwerkelijk wordt teruggewonnen uit afgedankte klimaatinstallaties. Het terugwinningspercentage is berekend als aandeel van de totale materiaaluitstroom, inclusief producten die niet formeel worden ingezameld. Deze benadering maakt inzichtelijk waar in de keten materiaalverliezen optreden en in welke mate materialen daadwerkelijk beschikbaar komen als secundaire grondstof.

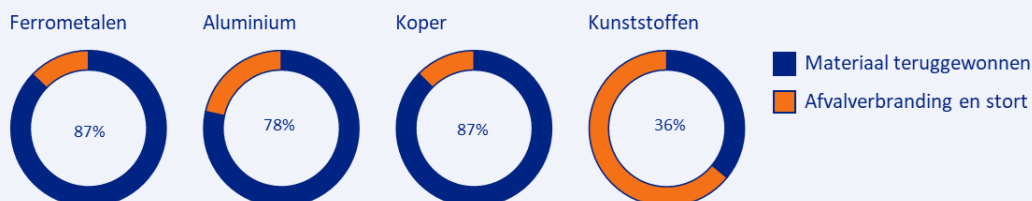
Na inzameling worden in het model twee hoofdtypen verwerkingsroutes onderscheiden. In de algemene verwerkingsroute worden installaties grotendeels mechanisch verwerkt via versnippering. Na versnippering worden materialen gescheiden in brede fracties, zoals ferrometalen, non-ferrometalen en reststromen, die vervolgens naar recycling- of verwerkingsinstallaties worden afgevoerd. Deze route is effectief voor het terugwinnen van grote metaalstromen, maar gaat gepaard met materiaalverliezen door vermenging en beperkte scheiding van samengestelde componenten. In de specifieke verwerkingsroute worden componenten vooraf selectief verwijderd en afzonderlijk verwerkt. Dit betreft onder andere printplaten, elektromotoren, kabels en compressoren. Door deze componenten gericht uit te nemen, kan een hogere kwaliteit van materiaal terugwinning worden gerealiseerd, met name voor waardevolle en kritieke materialen. In deze route treden echter eveneens verliezen op tijdens demontage, voorbereiding en sortering. De grootste materiaalverliezen ontstaan niet tijdens het eigenlijke recyclingproces, maar in de voorafgaande stappen van inzameling, demontage en scheiden. De verliezen door het niet juist kunnen scheiden vormen het grootste deel van de materiaalstromen die uiteindelijk richting verbranding of stort gaan, zie Figuur 2.2.

Voor klimaatinstallaties vormt de omgang met koudemiddelen een afzonderlijk en essentieel onderdeel van de verwerkingsketen. Koudemiddelen moeten altijd vóór verdere mechanische verwerking uit installaties worden verwijderd, vanwege milieu- en veiligheidsvoorschriften. Dit afzuigen en afscheiden is een vaste stap bij de verwerking van warmtepompen en airconditioningsystemen. In het model is daarom aangenomen dat koudemiddelen volledig worden gescheiden van de overige materiaalstromen, waarbij wel verliezen op kunnen treden. De verwerking van koudemiddelen vereist specifieke technische kennis en moet plaatsvinden onder strikt gecontroleerde omstandigheden. Om emissies naar de lucht te voorkomen en veiligheidsrisico's te beperken, is het van belang dat deze handelingen worden uitgevoerd door erkende verwerkers die voldoen aan de geldende milieu- en veiligheidsvoorschriften, zie 2.4 en 2.5. Wanneer afgedankte installaties buiten het formele verwerkingssysteem terechtkomen, bestaat het risico dat koudemiddelen niet correct worden afgezogen en verwerkt. Dit kan leiden tot ongecontroleerde emissies en ondermijnt de borging van milieubescherming binnen de keten. Hoewel de hoeveelheid koudemiddel in massatermen relatief klein is, kan het onjuist verwerken een disproportioneel effect op de milieu-impact van klimaatinstallaties hebben. In de huidige praktijk worden koudemiddelen doorgaans vernietigd of verwerkt en niet opnieuw ingezet als secundair materiaal.

Terugwinning

De uiteindelijke terugwinning van materialen uit klimaatinstallaties verschilt sterk per materiaaltipe, zie Figuur 2.5. In deze analyse is daarom expliciet onderscheid gemaakt tussen ferrometalen, aluminium, koper en kunststoffen. Voor elk van deze materiaalcategorieën bestaan in de huidige keten verschillende verwerkings- en terugwinningsroutes, met uiteenlopende terugwinningspercentages en kwaliteitsniveaus.

Terugwinningspercentage



Figuur 2.5: Terugwinningspercentage ten opzichte van de totale uitstroom voor referentiejaar 2023

- Ferrometalen (staal en ijzer) kennen binnen de huidige keten de hoogste terugwinning. Dit hangt samen met de goede scheidbaarheid van ferrometalen via magnetische technieken en met het feit dat deze materialen in grote hoeveelheden voorkomen in klimaatinstallaties zoals radiatoren, hr-ketels en metalen leidingsystemen. Hierdoor ontstaat een relatief robuuste secundaire materiaalstroom met beperkte sorteerverliezen. Tegelijkertijd verschilt de kwaliteit van het ferrometaal sterk binnen de productgroep. Deze kwaliteitsverschillen worden in de huidige praktijk niet altijd gerespecteerd, omdat veel klimaatinstallaties via vergelijkbare bulkverwerkingsroutes worden verwerkt.
- Aluminium kan technisch goed worden teruggewonnen, maar het effectieve terugwinningspercentage ligt lager dan bij ferrometalen. Aluminium uit klimaatinstallaties wordt na versnippering meestal via wervelstroomscheiding afgescheiden en vervolgens omgesmolten. Verliezen ontstaan onder meer door oxidatie, vermenging met andere metalen en doordat aluminium vaak voorkomt in relatief kleine of dunne onderdelen, bijvoorbeeld in warmtewisselaars of behuizingsdelen. Binnen klimaatinstallaties is het totale aluminiumvolume bovendien beperkt, waardoor deze materiaalstroom in massatermen een relatief kleine bijdrage levert aan de totale terugwinning.
- Koper wordt in klimaatinstallaties in belangrijke mate toegepast in leidingen, warmtewisselaars en elektrische componenten. Dit koper kan, met name wanneer leidingen en kabels afzonderlijk worden verwijderd, in hoge mate worden teruggewonnen. In de praktijk wordt echter niet al het koper selectief afgescheiden. Een deel komt terecht in gemengde metaalfracties, waarin koper wel wordt “meegenomen” als metaal dragende stroom, maar niet altijd beschikbaar is als een zuivere, hoogwaardige koperfractie. De mate van koperterugwinning is daardoor sterk afhankelijk van de ingezette verwerkingsroute en van de mate waarin componenten voorafgaand aan versnippering worden gedemonteerd.
- Kunststoffen hebben een relatief laag terugwinningspercentage. Ondanks hun relevante aandeel in de productopbouw zijn kunststoffen lastig hoogwaardig te recyclen door variatie in polymeren, additieven, vervuiling en samengestelde toepassingen. In klimaatinstallaties worden kunststoffen onder meer toegepast in behuizingen, isolerende onderdelen en laagtemperatuursystemen zoals vloerverwarming. In de huidige keten leidt deze

complexiteit ertoe dat een groot deel van de kunststofstromen als restfractie eindigt en richting verbranding met energierugwinning gaat. Dit levert wel energie op, maar draagt niet bij aan het sluiten van materiaalketens.

Tot slot geldt dat de gerapporteerde terugwinningspercentages (Figuur 2.5) massa-gebaseerd zijn en geen directe uitspraak doen over de kwaliteit of toepassingsmogelijkheden van het teruggewonnen materiaal. In veel gevallen zijn aanvullende scheidingsstappen of hoogwaardige verwerkingsroutes nodig om materialen geschikt te maken voor hergebruik in nieuwe producten. In de praktijk worden secundaire materialen daarom regelmatig toegepast in andere sectoren of toepassingen dan waar zij oorspronkelijk voor zijn ingezet.

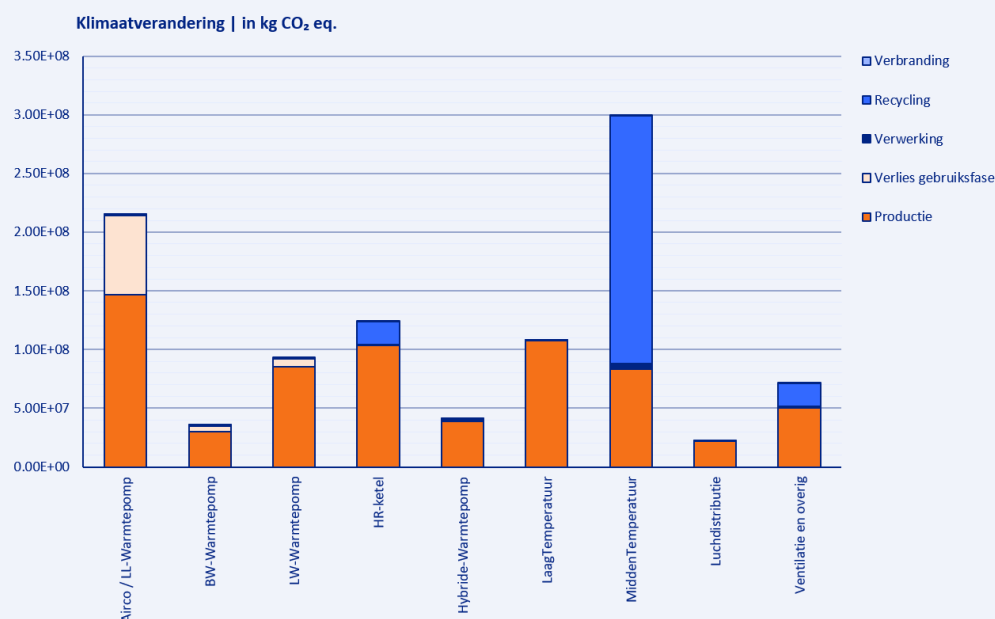


2.4 Milieueffecten van de huidige keten

Naast de analyse van de materiaalstromen zijn ook de milieu-impacts van de activiteiten in kaart gebracht. Deze analyse bouwt voort op het materiaalstroombestudie waarmee de hoeveelheden materialen en producten door de keten zijn bepaald. Milieu-effecten kunnen gerelateerd zijn aan emissies of grondstofgebruik bij verschillen fases in de productlevenscyclus, zoals materiaal extractie en verwerking, de productie van componenten en assemblage van het uiteindelijke product (bijvoorbeeld de warmtepomp), emissies tijdens de gebruiksfase van de klimaatinstallaties en emissies geassocieerd met de verschillende verwerkingsvormen en andere activiteiten die na gebruik (bij het eindeleven) nog ontplooid worden. Bijlage A.2 geeft in detail inzicht in de opzet van het milieu-impact model.

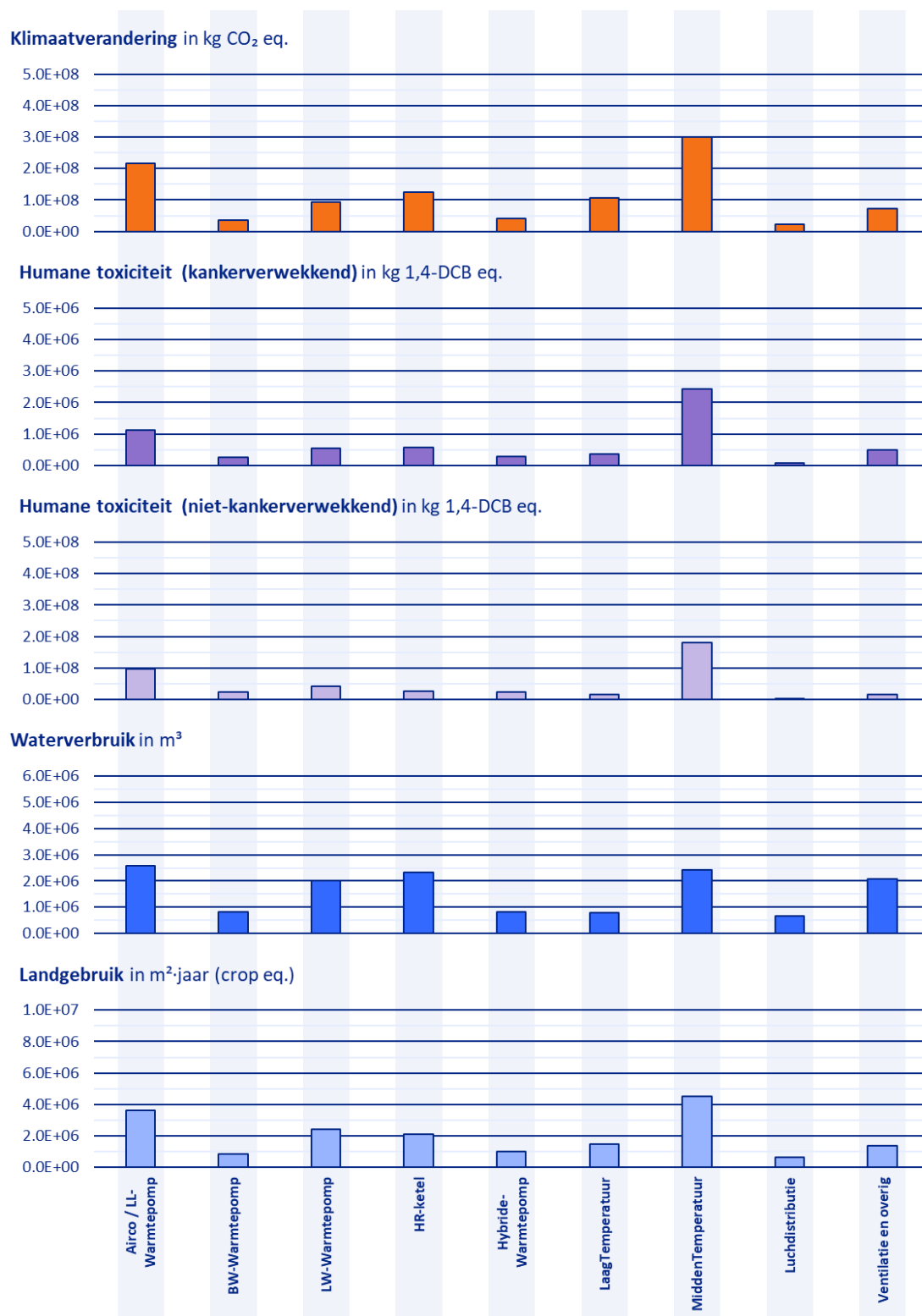
Figuur 2.6 toont de koolstofvoetafdruk per productcategorie, opgesplitst in 5 fases in de keten. Dit betreffen de milieu-impacts gerelateerd aan het jaar 2023. Vóór gebruik, onderscheiden we productie (inclusief milieu-effecten geassocieerd met alle stappen tot aan productie, zoals mijnbouw), en na gebruik onderscheiden we verwerking van opgehaalde en afgedankte klimaatinstallaties, recycling en verbrandingsactiviteiten. Emissies gerelateerd aan het energiegebruik zijn niet meegenomen. Emissies van koudemiddelen zijn meegenomen als percentage jaarlijks lekverlies van producten in de gebruiksfase. Deze lekverliezen vertegenwoordigen emissies gedurende de gehele levenscyclus van installaties, waaronder verliezen bij installatie, gebruik, onderhoud en demontage, en zijn niet gekoppeld aan een specifiek moment zoals demontage, maar verspreid over de jaren waarin installaties in gebruik zijn.

Wat opvalt aan Figuur 2.6 is de hoge impact van MT distributie- en afgiftesystemen, en dan met name de impact die ontstaat door verwerking. In het jaar 2023 is er een grote vervanging gaande van MT-systemen door LT-systemen, hierdoor is de uitstroom relatief hoog en ook de impact die hiermee gepaard gaat. De uitstroom aan MT-systemen is bijna drie keer zo groot als de instroom, waardoor de impact gerelateerd aan productie relatief minder is voor deze productcategorie, ten opzichte van de andere productcategorieën.



Figuur 2.6: Bijdrage aan klimaatverandering, uitgedrukt als broeikasgasemissie in kg CO₂-eq per productcategorie voor het referentiejaar 2023

Figuur 2.7 geeft een breder beeld dan voor klimaatveranderingen alleen door per productcategorie de milieu-impactresultaten te tonen voor vijf verschillende milieu-impactcategorieën.



Figuur 2.7: Overzicht resultaten milieu-impacts per productcategorie voor referentiejaar 2023

De resultaten in Figuur 2.7 laten zien dat de milieu-impact in het referentiejaar sterk verschilt tussen productcategorieën en dat de relatieve rangorde bovendien afhankelijk is van de gekozen impactcategorie. Voor klimaatverandering (kg CO₂-eq) wordt het beeld in belangrijke mate bepaald door twee componenten: (i) materiaal- en productieketens van installaties en (ii) emissies tijdens gebruik en bij einde levensduur. Materiaalintensieve productgroepen en systemen met grote aantallen (zoals warmteopwekking en distributie-/afgiftesystemen) dragen daarom substantieel bij via productie van met name metalen. Tegelijkertijd kunnen productcategorieën met relatief beperkte massa, maar met potentieel significante emissies tijdens de gebruiksfase, een disproportioneel effect hebben op de klimaatimpact. Dit geldt met name voor warmtepompen en airconditioningsystemen wanneer lekkage van koudemiddelen optreedt. Hoewel de hoeveelheid koudemiddel klein is in massa, kan de broeikasgaswerking (GWP) van met name synthetische koudemiddelen hoog zijn, waardoor verliezen tijdens installatie, onderhoud en afdanking zichtbaar doorwerken in de totale klimaatimpact.

Waar Figuur 2.6 de bijdrage aan klimaatverandering per productcategorie uitsplitst, geeft Figuur 2.7 een breder profiel met meerdere impactcategorieën naast elkaar. Hierdoor wordt zichtbaar dat de verschillen die te zien zijn tussen productcategorieën op klimaatverandering niet automatisch vergelijkbaar zijn voor bijvoorbeeld toxiciteit- of grondstof gerelateerde indicatoren, en vice versa. Dit onderstreept het belang van een integrale beoordeling: keuzes die specifieke emissies reduceren kunnen elders in de keten leiden tot verschuiving van impact.

2.5 ZZS huidige keten

Nederland en Europa zetten in op het creëren van een niet-toxische circulaire economie die schoon en veilig is. Dat wil zeggen dat grondstoffen en materialen zo lang en zo hoogwaardig mogelijk worden gebruikt en dat recycling of andere vormen van nuttige toepassing geen onaanvaardbare blootstelling van mens en milieu aan zorgstoffen veroorzaken. Door de transitie naar circulaire ketens kunnen zich nieuwe risico's voordoen, bijvoorbeeld omdat stoffen door levensduurverlenging van producten en recycling langer in het systeem blijven. Daarom is het van belang om zicht te hebben op welke zorgstoffen relevant zijn en op welke manier deze van invloed zijn op circulaire oplossingen m.a.w. welke kansen en belemmeringen er zijn voor de verschillende circulariteitsstrategieën.

Het RIVM heeft dit uitgezocht en daarbij is volgende aanpak gehanteerd:

Inventarisatie van relevante Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS)⁹ voor deze productgroep d.m.v. (beknopt) literatuuronderzoek. De focus lag daarbij op ZZS in materialen toegepast in cv-ketels, warmtepompen en airco's in woningbouw en utiliteitsbouw.

Illustratief voorbeeld: PFAS-koudemiddelen zijn in meer detail toegelicht als illustratie van hoe ZZS van invloed (kunnen) zijn op circulaire doelen. Er is gekozen om de koudemiddelen uit te werken omdat warmtepompen en airco's koudemiddelen kunnen bevatten die onder de groep PFAS vallen en koudemiddelen een bron kunnen zijn van PFAS-emissies naar het milieu. In de deze paragraaf is het illustratieve voorbeeld samengevat. Een uitgebreidere toelichting staat in Bijlage B, met daarin o.a.:

- › Beschrijving van de relevante wetgeving (ZZS beleid, PFAS restrictie, F-gassen verordening);
- › Beschrijving van mogelijke emissies in de (circulaire) keten;
- › Overzicht van toegepaste koudemiddelen, welke zijn ZZS?
- › Formuleren van knelpunten en kansen.

Inventarisatie ZZS

In de productgroep klimaatinstallaties kunnen de volgende ZZS aanwezig zijn:

- › F-gassen als (synthetisch) koudemiddel die onder de groep van PFAS¹⁰ vallen. F-gassen worden onder andere gebruikt in airconditioningsystemen, koelmachines en warmtepompen;
- › De (natuurlijke) koudemiddelen butaan¹¹ en isobutaan zijn ZZS als ze meer dan 0,1% butadiëen bevatten;
- › PFAS polymeren in kleine componenten in koelapparatuur en warmtepompen (en waarschijnlijk ook de cv-ketels), bijvoorbeeld O-ringen, pakkingen en PFAS tapes;
- › PFAS polymeer coatings;
- › PFAS polymeer smeermiddelen in koelapparatuur;
- › ZZS in elektrische componenten (hoe ouder de installatie, hoe meer kans dat deze aanwezig zijn, omdat voor sommige van deze ZZS stoffen reeds een verbod geldt):
 - PFAS;
 - ZZS weekmakers (bijv. ftalaten) bijvoorbeeld in kabelisolatie;
 - ZZS vlamvertragers bijvoorbeeld in printplaten;
 - ZZS metalen .

Illustratief voorbeeld: F-gassen

⁹ Meer informatie over ZZS en de ZZS lijst is beschikbaar op deze website: <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/zeer-zorgwekkende-stoffen>

¹⁰ PFAS als groep zijn aangemerkt als ZZS, meer info: <https://iplo.nl/thema/zeer-zorgwekkende-stoffen-zzs/pfas-zeer-zorgwekkende-stof-zzs/>

¹¹ Geschikt voor hoge temperatuur warmtepomp, niet zo vaak toegepast

Koudemiddelen worden gebruikt in koelinstallaties, airconditioning en warmtepompen als medium voor het transporteren van warmte. Een koudemiddel doet dit door warmte op te nemen bij verdamping, en warmte af te geven tijdens condensatie en compressie. Er zijn grofweg twee groepen koudemiddelen: synthetische koudemiddelen (HFK's¹² en HFO's¹³) en natuurlijke koudemiddelen (zoals propaan en koolstof dioxide). HFK's en HFO's zijn gefluoreerde gassen (F-gassen) die onder de PFAS definitie vallen (zie PFAS restrictie in Bijlage B.2). Als gevolg van aanscherpingen in de wetgeving (F-gassenverordening) is er een daling van het gebruik van HFK's en een toename van het gebruik van HFO's en natuurlijke koudemiddelen omdat deze lagere klimaatimpact hebben (zie bijlage B.1).

In de atmosfeer kunnen HFK's en HFO's afbreken tot Trifluorazijnzuur (TFA). De mate waarin TFA als afbraakproduct vrijkomt varieert per koudemiddel. In de bijlage is een lijst met koudemiddelen opgenomen met informatie over de toepassing in klimaatinstallaties en de mate van bijdrage aan TFA emissies. Er zijn nog geen productverboden vastgelegd voor HFO's onder de F-gassen verordening maar deze groep van stoffen is onderdeel van het REACH restrictievoorstel voor PFAS (zie bijlage B.2). TFA is zeer mobiel en persistent en kan zich via neerslag verspreiden naar de bodem en het oppervlaktewater.¹⁴ F-gassen dragen bij aan de (cumulatieve) blootstelling van mens en milieu aan PFAS. Er is wereldwijd bezorgdheid over de emissie van HFK en HFO koudemiddelen naar het milieu (naast de bijdrage aan klimaatverandering).¹⁵

De zienswijzen over hoeveel koudemiddel er weglekt tijdens de gebruiksfase lopen sterk uiteen. Koudemiddelen kunnen weglekken tijdens het gebruik, reparatie en onderhoud van warmtepompen en airco's. Om dit zo veel mogelijk te voorkomen zijn in de recente aanpassing van de F-verordening (2024)¹⁶ de vereisten voor certificatie strenger voor monteurs en bedrijven die werken met F-gassen.

Bij de terugname, verwerking, recycling of vernietiging van koudemiddel komt een gedeelte vrij in de atmosfeer. Het risico op emissie van F-gassen is het grootst vóórdat apparaten in het formele inzamelsysteem terecht komen. Vooral bij niet-gecertificeerde schroothandelaren bestaat het risico dat apparaten op basis van materiaalwaarde worden verwerkt, zonder het aftappen van F-gassen. Daarnaast zit een groot risico op lekverliezen bij de demontage en het ontkoppelen van apparaten zoals warmtepompen, airco's en koelunits. De geschatte lekstromen bedragen meer dan 30% van alle F-gassen.¹⁷

¹² Onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen

¹³ HFO's zijn onverzadigde fluorkoolwaterstoffen. HFO staat voor hydrofluoroolefin.

¹⁴

Deltares (2025). Trifluorazijnzuur in Nederland : literatuurstudie naar het vóórkomen en mogelijke bronnen van trifluorazijnzuur (TFA) in Nederland. <https://www.deltares.nl/expertise/publicaties/trifluorazijnzuur-in-nederland-literatuurstudie-naar-het-v%C3%B3%C3%B3rkomen-en-mogelijke-bronnen-van-trifluorazijnzuur-tfa-in-nederland>

¹⁵ Arp et al. (2024). The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA) *Environmental Science & Technology* **2024** 58 (45), 19925-19935. DOI: 10.1021/acs.est.4c06189

¹⁶ [Verordening \(EU\) 2024/573 van het Europees Parlement en de Raad van 7 februari 2024 betreffende gefluoreerde broeikasgassen, tot wijziging van Richtlijn \(EU\) 2019/1937 en tot intrekking van Verordening \(EU\) nr. 517/2014](#)

¹⁷ CE Delft (2025). Naleving van de F-gassen verordening. https://ce.nl/wp-content/uploads/2026/01/CE_Delft_240505_Naleving_van_de_F-gassenverordening_Def.pdf

Knelpunten en kansen

Het belangrijkste knelpunt als het gaat om ZZS in de (circulaire) keten van klimaatinstallaties is het risico op emissies van ZZS bij einde levensduur. Bij elke stap in het verwerkingsproces (demontage van het apparaat, inzameling, ontmanteling, versnippering, scheiding van de materialen en het recycleren) zijn maatregelen nodig om emissies van ZZS te voorkomen. Dit geldt zowel voor de F-gassen als de andere geïdentificeerde ZZS. Daarnaast kan verlenging van levensduur van invloed zijn op emissies van koudemiddelen omdat PFAS koudemiddelen dan langer in omloop blijven.

Kansen om emissies van ZZS koudemiddelen te voorkomen zijn:

- › Productverboden in te stellen voor ZZS koudemiddelen. Dit wordt zowel via de F-gassenverordening (van terugfasering naar uitfasering van HFK's in 2050) als het REACH restrictievoorstel opgepakt. Mogelijk dat er aanvullende instrumenten ingezet kunnen worden om de vervanging van PFAS koudemiddelen te versnellen.
- › Het REACH restrictievoorstel is van toepassing op productie en gebruik van PFAS in Europa. Omdat TFA door transport van HFK's en HFO's via de lucht over lange afstanden in sterke mate kan worden verspreid is idealiter regulering op mondiaal niveau wenselijk. Overzicht van de actuele kennis over de vorming, verspreiding en risico's (mens en milieu) van TFA kan een basis zijn om de noodzaak voor aanvullende maatregelen (nationaal/Europees/mondiaal) nader te onderbouwen. Omdat het vraagstuk raakt aan verschillende wetgevende kaders en beleidsterreinen is onderlinge afstemming nodig wie welke acties op kan pakken.
- › Emissies tijdens inzameling en verwerking van ZZS koudemiddelen voorkomen. CE Delft heeft verschillende beleidsinstrumenten in kaart gebracht om deze lekverliezen terug te dringen. Het gaat bijvoorbeeld om normerende instrumenten, zoals de invoering van een afgifteplicht en de uitbreiding certificeringsplicht naar inzameling voor afgedankte apparaten (waaronder warmtepompen en airco's) met F-gassen.¹⁸

¹⁸ ibid

3 Toekomstverkenning

In dit hoofdstuk worden mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de productgroep klimaatinstallaties verkend aan de hand van een scenarioanalyse. Het doel van deze scenarioanalyse is om inzicht te verkrijgen in de richting en orde van grootte van veranderingen in materiaalstromen, milieu-impact en circulariteit onder verschillende aannames.

Er zijn twee scenario's te onderscheiden: het "business-as-usual" (BAU) referentiescenario beschrijft de verwachte ontwikkeling van de keten, bij voortzetting van huidig beleid en dominante ontwikkelingen zoals ramingen voor het bruto binnenlands product en de demografische ontwikkeling in Nederland. Daarnaast is een scenario voor de "verkenning van de circulaire oplossingsruimte" uitgewerkt, waarin wordt onderzocht wat de effecten zijn op materiaalstromen en het milieu van het bijstellen van de vier knoppen die representatief zijn voor de circulaire strategieën: vermindering, levensduurverlenging, substitutie, en hoogwaardige verwerking. De scenario's zijn doorgerekend met het materiaal en milieueffectenmodel waarvan de eerste resultaten in secties 2.3 en 2.4 zijn gepresenteerd, zie Bijlage A) voor een beschrijving van de modellen en achterliggende gegevens.

In sectie 3.1 is het BAU-scenario beschreven met focus op de ontwikkeling van de productie van de productgroep en bijbehorende materiaal in- en uitstroom, inzameling en terugwinning, en milieu-impacts die toegeschreven kunnen worden aan de productgroep. In sectie 3.2 worden de effecten per circulaire strategie besproken, en een aanzet gegeven tot een combinatie van verschillende maatregelen die grotendeels onafhankelijk toegepast kunnen worden. De kernbevindingen van dit hoofdstuk worden samengevat in sectie 3.3. De verkenning vormt, samen met de uitkomsten van de belemmeringen en kansen (zoals gepresenteerd in het volgende hoofdstuk), de basis voor aangrijpingspunten voor beleid om verder bij te dragen aan een circulaire productgroep klimaatinstallaties.

3.1 Scenario Business as Usual

De resultaten in sectie 2.3 zijn gebaseerd op beschikbare (historische) gegevens over de instroom van producten ('put-on-market') van de verschillende producten en categorieën binnen de productgroep klimaatinstallaties. Op basis daarvan is de voorraad producten die in gebruik is berekend. Deze gebruiksvoorraad vormt vervolgens het vertrekpunt voor de scenarioanalyse, omdat zij een directe koppeling mogelijk maakt tussen het aantal installaties in omloop en externe ontwikkelingen zoals bevolkingsgroei, woningbouw, renovatiegolven en economische groei in Nederland. Vanuit de ontwikkeling van deze voorraad kan daarmee de toekomstige instroom (productie/put-on-market) én de latere uitstroom van producten en materialen consistent worden afgeleid.

In het BAU-scenario wordt aangenomen dat de gebruiksvoorraad van klimaatinstallaties groeit door langetermijntrends in bevolking, woningvoorraad en economische activiteit. Die groei vertaalt zich in een (niet-lineaire) toename van de vraag naar nieuwe installaties en componenten, maar het tempo verschilt per categorie. Voor sommige toepassingen treedt een uitfasering op: er is een aflopende vraag naar hr-ketels, waardoor extra groei aan huishoudens niet leidt tot meer bezit maar juist tot snellere afdanking. Andere categorieën kunnen juist toenemen, bijvoorbeeld door strengere comforteisen, verduurzaming van gebouwen of verschuiving naar (hybride) warmtepompsystemen.

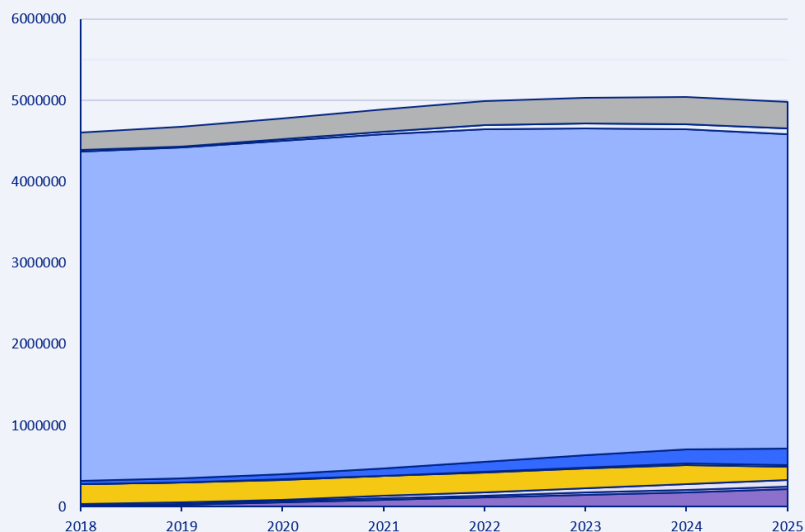
Instroom en voorraad

Figuur 3.1 en Figuur 3.2 laten respectievelijk de ontwikkeling van de productvoorraad en de corresponderende voorraadinstream zien. Net als bij andere duurzame kapitaalgoederen geldt dat de gebruiksvoorraad doorgaans veel groter is dan de jaarlijkse instroom, doordat installaties meerdere jaren (tot decennia) in gebruik blijven. De ontwikkeling richting 2050 wordt in het BAU-scenario vooral gedreven door groei in het aantal (aangesloten) gebouwen, vervangingsvraag door veroudering en (technische of beleidsmatige) verschuivingen in de toegepaste installatietechnologieën. Een van de grootste ontwikkelingen is hierbij de verschuiving van traditionele cv-installaties, naar het gebruik van hybride of volledige warmtepompsystemen. Dit is te zien aan de sterk verminderde stroom hr-ketels, de opkomst van hybride warmtepomp systemen tot 2040 en de grote groei van alle warmtepompsystemen. Gepaard met deze trend is het verdwijnen van de radiatoren (middentemperatuur afgiftesystemen) en de opkomst van vloerverwarming (laagtemperatuur afgiftesysteem).

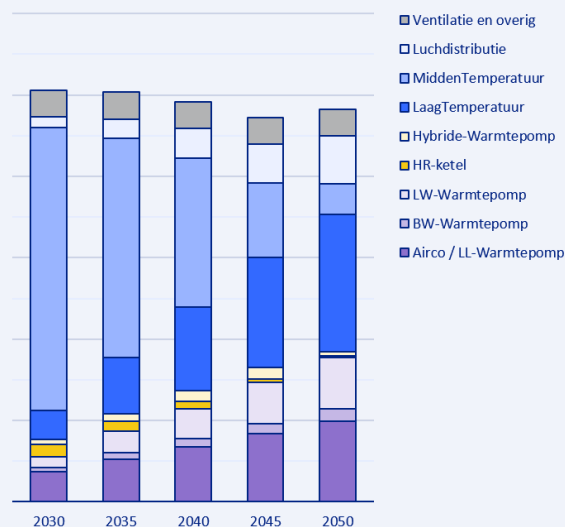
De onderlinge samenstelling van de voorraadinstream is afhankelijk van de vraag naar specifieke typen klimaatinstallaties en van de gemiddelde levensduur van installaties en hoofdcomponenten, aangezien deze bepalend is voor wanneer systemen vervangen of ingrijpend gerenoveerd worden. Voor producten met een relatief lange levensduur (bijvoorbeeld bepaalde warmte- en koudeopwekkers, warmtewisselaars of distributiesystemen) zal de jaarlijkse instroom laag zijn ten opzichte van de omvang van de gebruiksvoorraad. Tegelijkertijd kunnen vervangingscycli van componenten (zoals compressoren, ventilatoren, regeltechniek of isolatie- en leidingwerk) zorgen voor aanvullende materiaalstromen die niet 1-op-1 samenlopen met volledige systeemvervanging. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar bij airco's of lucht-luchtwarmtepompen: hoewel de totale voorraad relatief stabiel blijft (zie Figuur 3.1), laat de instroom een oplopend patroon zien (zie Figuur 3.2) door tussentijdse vervangingen.

Voorraad per categorie

in ton per jaar



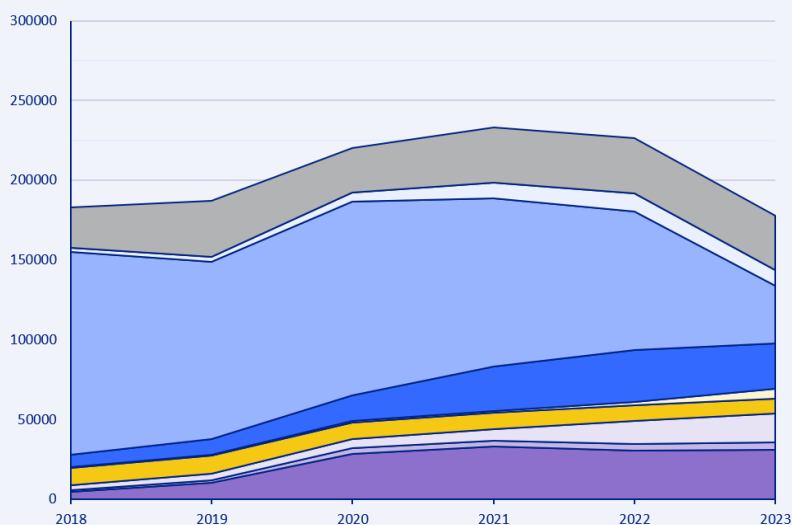
Raming - Business as Usual



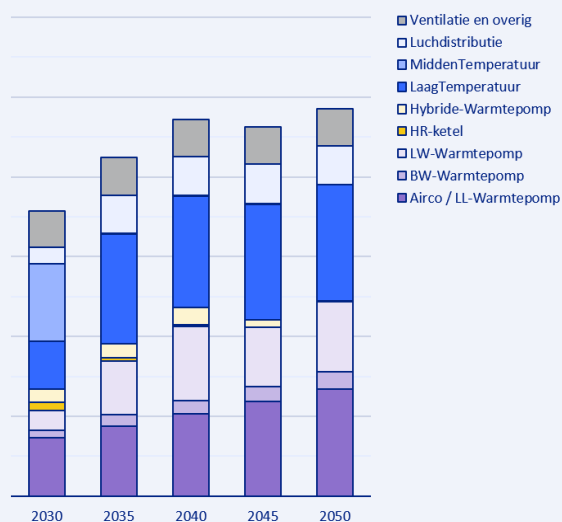
Figuur 3.1: Historische ontwikkeling in voorraad producten in gebruik per productcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

Voorraadinstream per categorie

in ton per jaar

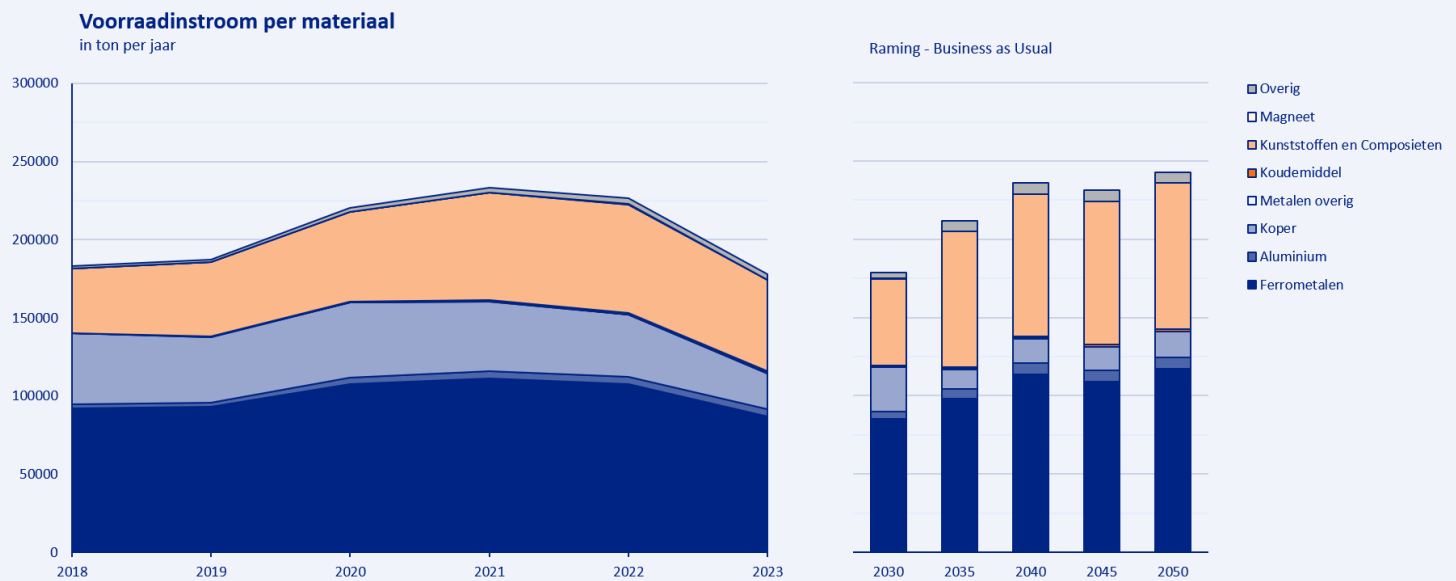


Raming - Business as Usual



Figuur 3.2: Historische ontwikkeling in de massa van de voorraadinstream per productcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

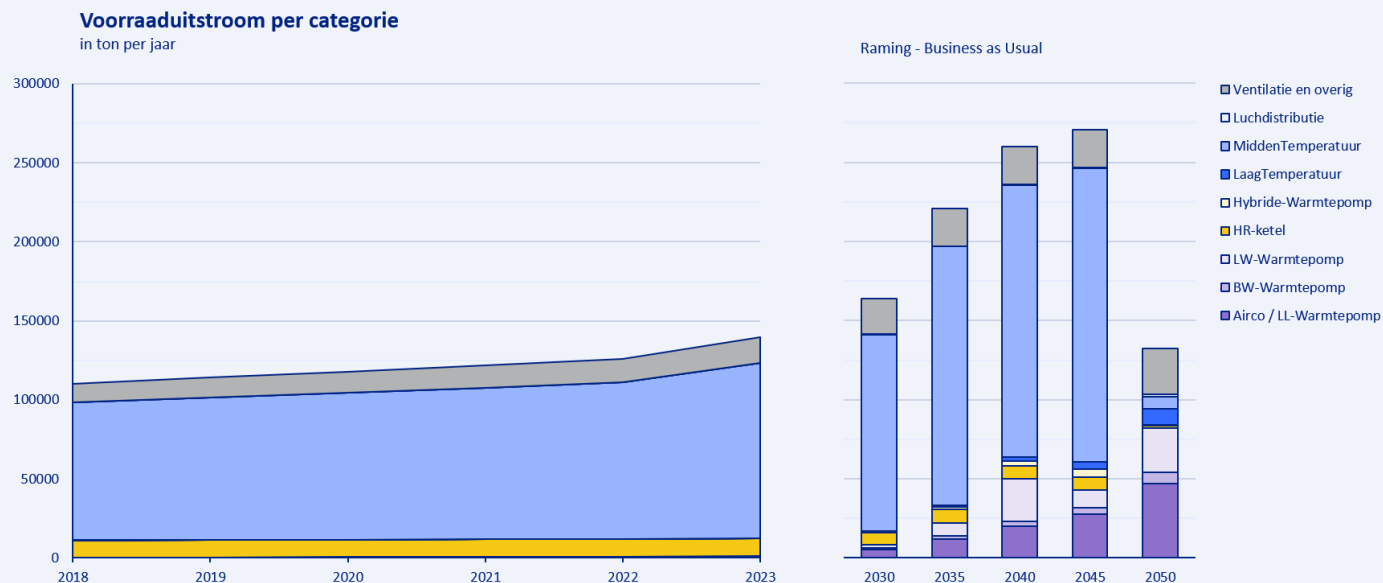
Het materiaalstroommodel maakt het mogelijk om naast de totale massa in klimaatinstallaties ook de materiaalcompositie uit te splitsen. Dit is gedaan in Figuur 3.3. Ondanks de transitie naar de warmtepomptechnologie, blijft de materiaalvraag naar koper, aluminium, staal en kunststof dominant. Magneten, koudemiddel, en andere speciale materialen vormen maar een relatief kleine fractie van het totaalgewicht van deze producten, maar de vraag naar deze materialen is wel groeiende.



Figuur 3.3: Historische ontwikkeling in de massa van de voorraad instroom per materiaalcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

Uitstroom

Naast toekomstige instroom is ook de toekomstige uitstroom van belang, aangezien van hieruit producten, componenten en materialen vrijkomen voor terugwinning. De voorraaduitstroom is een verlaat effect van de instroom en wordt beïnvloed door de levensduur van de individuele producten en componenten. In deze analyse is per (sub)productcategorie een levensduurverdeling aangehouden. Dit betekent dat er geen 1-op-1 correspondentie is tussen instroom en uitstroom: voor alle installaties die in een bepaald jaar instromen zal in opvolgende jaren telkens een fractie uitstromen, totdat uiteindelijk de volledige instroom is uitgestroomd. Door een levensduurverdeling te gebruiken (in plaats van alleen een gemiddelde levensduur) kan rekening worden gehouden met voortijdige uitval (bijvoorbeeld storingen of schade), maar ook met langer gebruik door onderhoud, revisie of componentvervanging. Voor klimaatinstallaties is bovendien relevant dat (deel)renovaties en retrofit (bijvoorbeeld vervanging van een buitendeel, aanpassing van koudemiddelcircuit of ombouw naar een ander systeemconcept) kunnen leiden tot uitstroom van componenten terwijl het totale systeem in gebruik blijft.

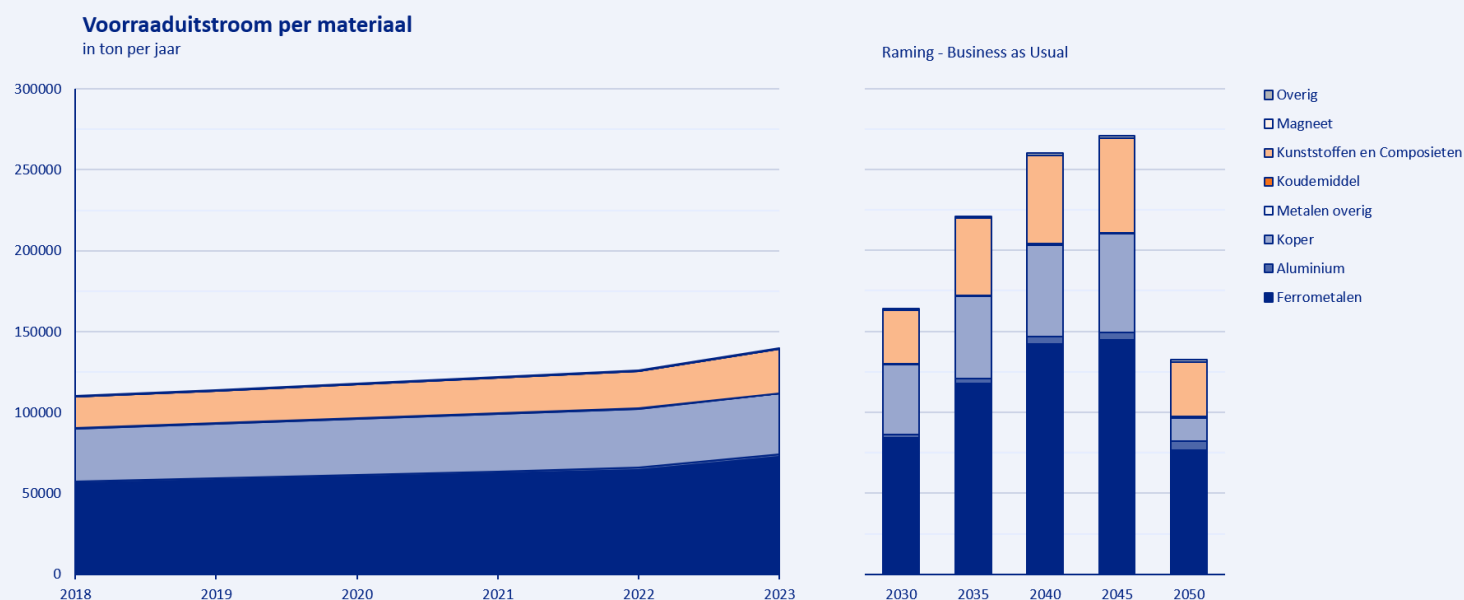


Figuur 3.4: Ontwikkeling in de massa van de voorraaduitstroom per productcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

In Figuur 3.4 en Figuur 3.5 is de voorraaduitstroom op massabasis gepresenteerd, zowel per (sub-)categorie klimaatinstallaties als uitgesplitst naar materialen. Met verdergaande uitfasering van hr-ketels en sterke groei aan warmtepompen en airco's in de voorraad is de verwachting dat ook de uitstroom richting 2050 toeneemt. De analyse laat vooral zien dat het patroon sterk verschilt per technologie en materiaal. Klimaatinstallaties kennen doorgaans een relatief hoog aandeel metalen (in warmtewisselaars, leidingen en behuizingen, aangevuld met kunststoffen, isolatiematerialen en (afhankelijk van de toepassing) koelmiddelen. Veranderingen in productmix (bijvoorbeeld verschuivingen tussen typen verwarming, ventilatiesystemen en koelinstallaties) en ontwerpkeuzes (andere koudemiddelen) kunnen ertoe leiden dat sommige materiaalstromen relatief toenemen terwijl andere afnemen.

De grote toename tot aan 2045 van de voorraaduitstroom is toe te schrijven aan de uitfasering van hr-ketels en het toekomstige MT distributie- en afgiftesystemen. In 2050 is de algehele uitstroom zeer beperkt, omdat het is aangenomen dat het materiaal intensieve middentemperatuursystemen (op basis van massa) vergaand is uitgefaseerd. Tegelijkertijd laten de resultaten steeds duidelijker zien dat het afdanken van de warmtepompen geïnstalleerd in de periode 2020-2040 leidt tot een grotere fractie van de totale uitstroom aan producten en materialen. Figuur 3.5 geeft inzicht in welke materiaalfracties in de toekomst in grotere volumes vrijkomen en waar de grootste potentie (en uitdagingen) voor terugwinning en hergebruik liggen. Het verdwijnen van de middentemperatuursystemen zorgt met name voor de grote uitstroom van staal ijzer en koper, wat dus afneemt richting 2050.

De lange levensduur van de technologieën vertekent het beeld van de uitstroom enigszins voor de verdere toekomst. Waar middentemperatuursystemen uitgefaseerd worden komen de vervangers nog niet op schaal in beeld. Dit geldt met name voor de laagtemperatuursystemen, waarvoor we voor een afgifte systeem een gemiddelde levensduur van 50 jaar aanhouden.

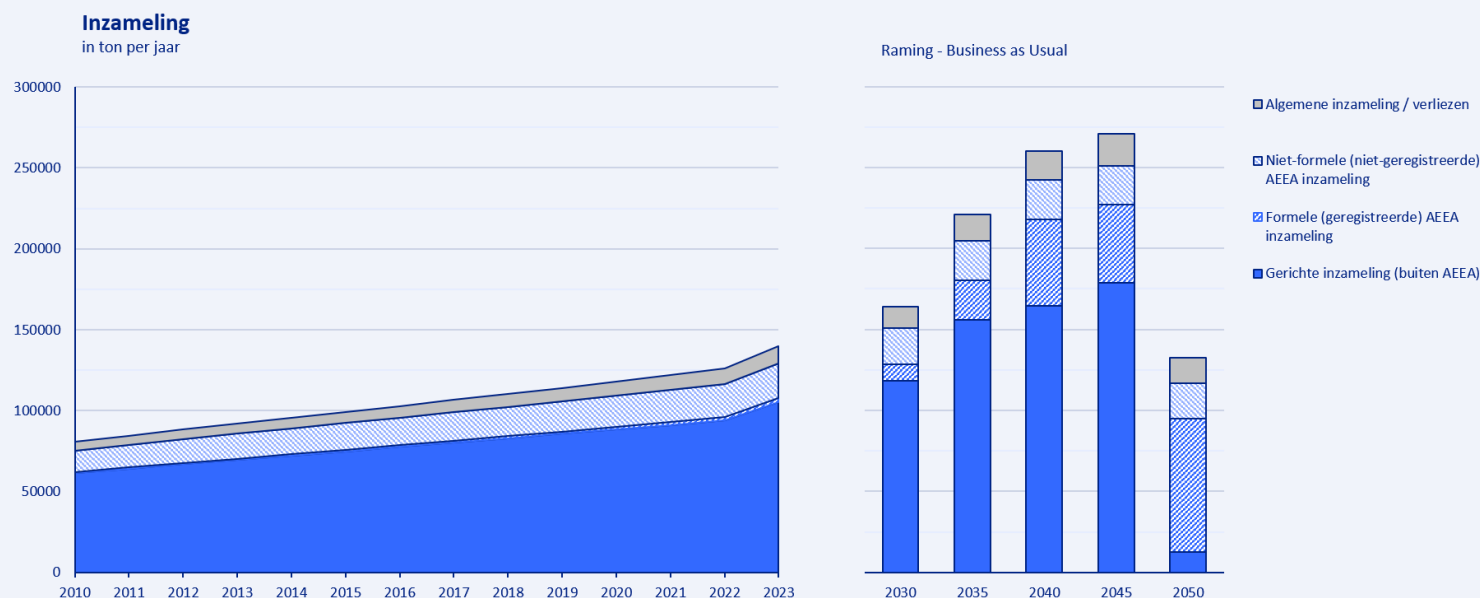


Figuur 3.5: Ontwikkeling in de massa van de voorraaduitstroom per materiaalcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

Inzameling

De totale voorraaduitstroom zoals hierboven beschreven is de eerste stap richting terugwinning van componenten en materialen, maar dit is afhankelijk van de inzameling en verdere verwerkingsroute. Voor klimaatinstallaties loopt de afvoer in de praktijk via verschillende kanalen, zoals installatiebedrijven, sloop- en renovatieprojecten, metaalhandel, gemeentelijke inzamel punten en (voor specifieke deelstromen) gespecialiseerde verwerkers. In het BAU-scenario is het uitgangspunt dat de ingezette verbeteringen in gescheiden inzameling en verwerking geleidelijk worden doorgezet, maar dat er op de lange termijn extra maatregelen nodig zijn om hoge inzamelingspercentages structureel te realiseren en om verliesstromen te beperken.

Figuur 3.5 geeft inzicht in de ontwikkeling van de inzameling. Dit laat vooral een verbetering in inzameling van AEEA producten door CENELEC-conforme verwerkers zien. Dit wordt met name veroorzaakt door de groei in aantal airco's en warmtepompen, welke op dit moment al een hoog inzamelingspercentage laten zien. Er blijft een uitdaging voor komende jaren in de inzameling van hr-ketels, aangezien deze afvoer voornamelijk via de niet formele routes lopen.



Figuur 3.6: Ontwikkeling in de massa van de voorraadtuitstroom per materiaalcategorie, met ramingen voor 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

Verwerking en terugwinning

Op basis van de producten die uitstromen is de hoeveelheid teruggewonnen materialen achterhaald. In Tabel 3.1 zijn de terugwinningspercentages voor de verschillende materialen gepresenteerd volgens de raming van het BAU scenario. Zonder grote veranderingen in het verwerkings- en recyclingsstelsel wordt het verloop in terugwinningspercentages vooral verklaard door veranderingen in de samenstelling van de productuitstroom en bijbehorende inzameling, en in mindere mate door een structurele verschuiving in het type materialen die uit de producten worden teruggewonnen. Om terugwinningspercentages verder te verbeteren zullen extra inspanningen op zowel inzameling, maar ook in scheidings- en verwerkingsprocessen nodig zijn. Een eerste inschatting wordt gemaakt in het circulaire verkenningsscenario in paragraaf 3.2.

De belangrijkste uitdagingen liggen hier ook in de verschillen tussen de materialen. Ferrometalen zijn relatief makkelijk terug te winnen en zullen vooral meestijgen met betere inzameling. Aluminium- en koperterugwinning wordt geremd door menging en verliezen in sorteer- en smeltstappen. Magneten blijven achter doordat gerichte scheiding en verwerking nog beperkt is. Hoewel er op dit moment wel sterk wordt ingezet op ontwikkeling en opschaling van recycling processen van magneten, is gerichte scheiding noodzakelijk om terugwinning mogelijk te maken. Voor edelmetalen (goud, zilver, palladium) is meer gerichte hoogwaardige verwerking van bijvoorbeeld printplaat-houdende fracties bepalend voor verdere verbetering.

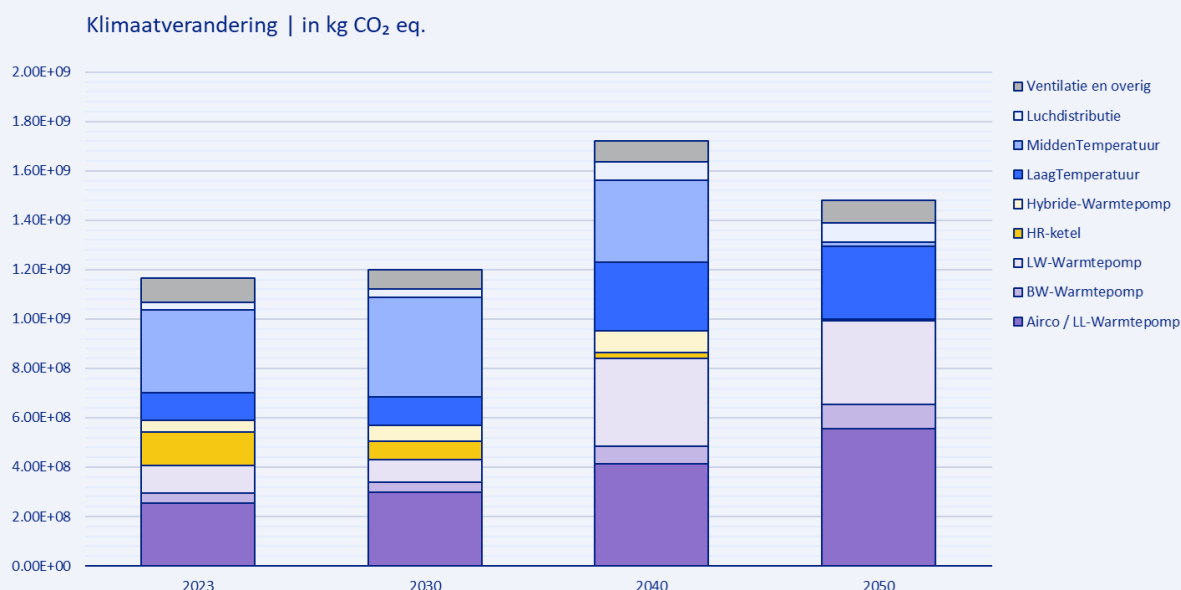
Tabel 3.1: Terugwinningspercentage per materiaalcategorie in het BaU-scenario

	2023	2030	2040	2050
Ferrometalen	87%	87%	90%	89%
Aluminium	78%	81%	89%	92%
Koper	87%	88%	88%	94%
Kunststoffen	36%	36%	38%	40%
Magneten	0%	0%	0%	0%
Goud	30%	52%	60%	64%
Zilver	32%	42%	48%	53%
Palladium	36%	61%	68%	70%

Milieu-impact

Naast de materiaalstroomeffecten zijn ook de milieu-impacts van het BAU-scenario geanalyseerd. Deze laten in grote lijnen een vergelijkbaar beeld zien als de materiaalinstroom: bij een groeiende (of veranderende) gebruiksvorraad nemen de productie- en ketenactiviteiten toe, wat doorwerkt in de totale impact. In Figuur 3.7 is de koolstofvoetafdruk getoond, met een onderverdeling in de bijdrage van de verschillende productcategorieën binnen klimaatinstallaties. De figuur laat zien hoe veranderingen in aantallen, materiaalintensiteit en productmix doorwerken in de totale emissies richting 2050.

Ter nuance moet worden benadrukt dat de milieu-impacts zijn geëvalueerd op basis van huidige aannames over productietechnologie en (achtergrond)energiewaarden, en geen rekening houden met eventuele toekomstige vergroening van productieketens en energiesystemen. Voor klimaatinstallaties kan daarnaast ook een verschuiving naar andere koelmiddelen, aanpassingen in componentontwerp en veranderende onderhoudspraktijken invloed hebben op de totale impact. Deze ontwikkelingen kunnen de impact per eenheid product reduceren en daarmee het totale beeld gunstiger maken. Het meenemen van dergelijke effecten is geen onderdeel van deze studie, maar een vergelijkbare dynamiek wordt deels meegenomen in sectie 3.2 waar strategiekeuzes worden verkend.



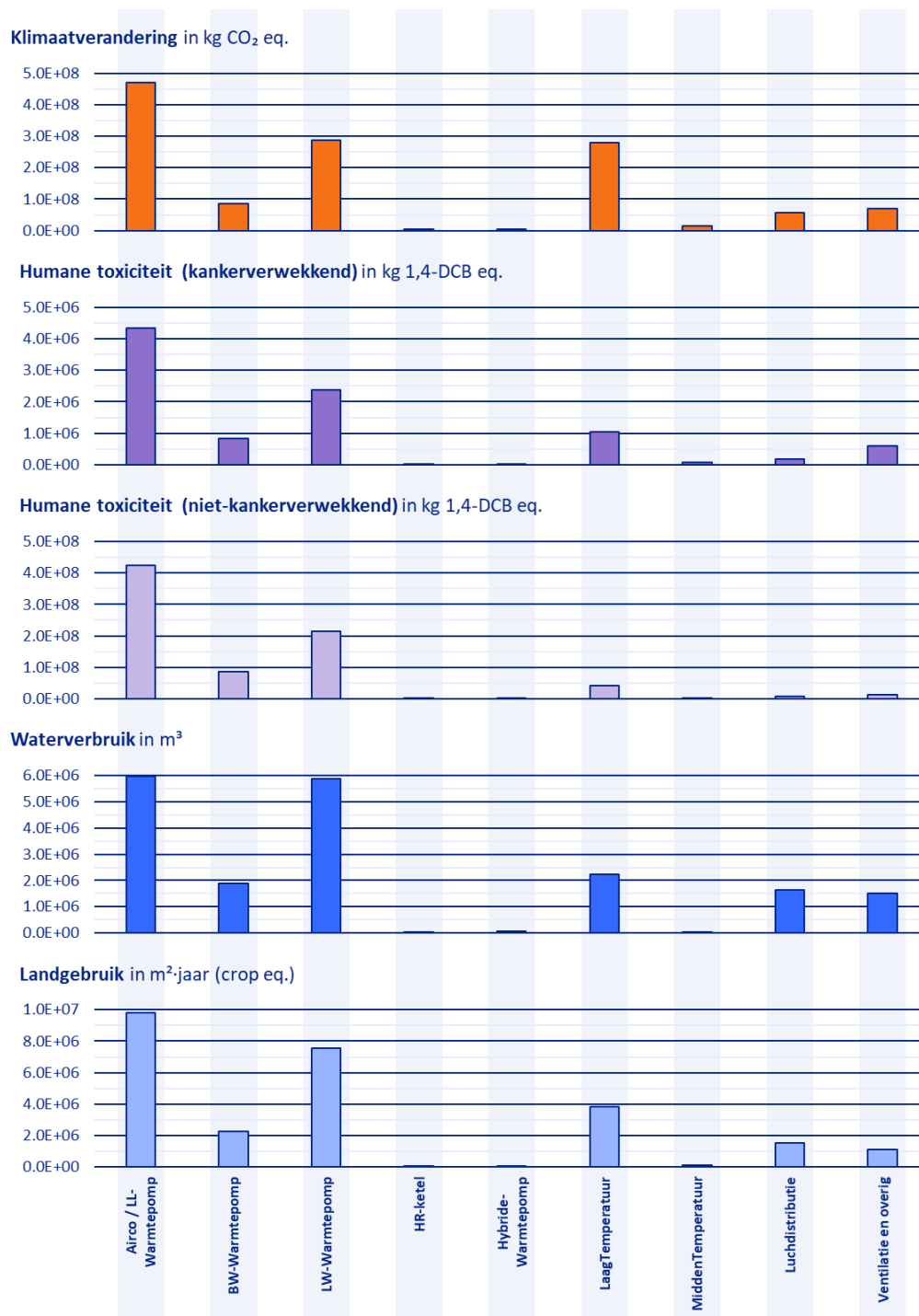
Figuur 3.7: Jaarlijkse broeikasgasemissie uitstoot over de hele keten klimaatinstallaties, per productcategorie. Emissies veroorzaakt door energiegebruik zijn niet meegenomen. Emissies van koudemiddelen zijn meegenomen als jaarlijkse verliezen van de gebruiksvorraad. Deze emissies vertegenwoordigen verliezen gedurende de gehele levenscyclus van installaties en kunnen daarom afwijken van elders gerapporteerde emissies voor specifieke activiteiten, zoals installatie, onderhoud, demontage of verwerking.

In Figuur 3.7 zijn de impactscores voor het jaar 2050 weergegeven voor meerdere milieu-impactcategorieën. De relatieve prestaties van (sub)categorieën binnen klimaatinstallaties zijn doorgaans vergelijkbaar over de impactcategorieën, omdat materiaalproductie en energie-intensieve ketenprocessen in veel indicatoren doorwerken. Op detailniveau kunnen echter duidelijke verschuivingen optreden door groei in specifieke toepassingsgebieden, veranderingen in materiaalkeuzes en technologische ontwikkeling. Binnen deze analyse voor het BAU-jaar 2050 springen met name de airco's, warmtepompen en laagtemperatuur

afgiftesystemen eruit als grootste bijdragers aan de totale milieu-impact. De stijging in broeikasgasemissies volgt uit de transitie naar deze systemen, de gebruiksfase is hierbij niet meegenomen¹⁹. De daling tussen 2040 en 2050 is met name te verklaren door de uitfasering van middentemperatuur systemen. De impact van de eindelevensverwerking van deze systemen zorgt ervoor dat een stijging te zien is in emissies naar 2040 en vervolgens een daling naar 2050.

Figuur 3.8 vult dit aan door voor het BAU-jaar 2050 een breder overzicht te geven van meerdere milieu-impactindicatoren per productcategorie. Daarmee wordt zichtbaar dat categorieën die domineren in broeikasgasemissies (zoals warmtepompen en laagtemperatuurafgiftesystemen) ook in andere indicatoren substantieel kunnen bijdragen, maar dat de relatieve rangorde per impactcategorie kan verschillen. Dit onderstreept dat sturing op alleen klimaatverandering tot verschuivingen in andere milieudimensies kan leiden en dat een integrale afweging nodig is.

¹⁹ Zowel de verbranding van aardgas als de broeikasgasemissies voor de opwekking van elektriciteit gebruikt in een warmtepomp voor hitte of koeling zijn niet meegenomen in deze analyse. De reden is we ons primair focussen op de materiaaleffecten. Gezien in totaal, hebben warmtepompen gevoed met groene stroom een significant lagere klimaatimpact dan cv-ketels.



Figuur 3.8: Overzicht voor de verschillende milieu-impactindicatoren per productcategorie in 2050 in het BAU scenario.

3.2 Verkenning circulaire oplossingsruimte

In de verkenning van de circulaire oplossingsruimte is onderzocht in welke mate de circulaire prestaties van de keten van klimaatinstallaties kunnen worden verbeterd door een optimale inzet van bestaande circulaire strategieën. Daarbij is uitgegaan van een realistische maar ambitieuze toepassing van maatregelen, zonder veronderstelling van fundamentele technologische doorbraken. De verkenning richt zich op vier hoofdstrategieën: vermindering van materiaalgebruik, levensduurverlenging, substitutie van materialen en hoogwaardige verwerking.

Het scenario is nadrukkelijk geen beleidsvoorspelling, maar een verkenning van de oplossingsruimte: wat is technisch en organisatorisch haalbaar wanneer bekende barrières worden verkleind en bestaande strategieën effectief worden opgeschaald in de keten van klimaatinstallaties. De circulaire hoofdstrategieën uit het Nationaal Programma Circulaire Economie vormen hierbij het uitgangspunt, dit zijn:

- › *Vermindering* van de vraag naar nieuwe installaties en componenten heeft een direct effect op de totale materiaalinstroom. Maatregelen zoals slimmer dimensioneren (niet overdimensioneren), bundelen van functies, deelconcepten in utiliteit, en het beperken van vervangingen tot wat technisch nodig is, verlagen de instroom en daarmee de productiegerelateerde milieueffecten.
- › *Substitutie* van materialen levert met name winst op voor specifieke materiaalstromen (bijvoorbeeld meer secundair staal, aluminium of koper) en voor het verlagen van primaire grondstofvraag. De technische en veiligheidseisen aan klimaatinstallaties (o.a. prestatie, betrouwbaarheid, brandveiligheid, druk- en lektheid) begrenzen echter de mate waarin materialen direct uitwisselbaar zijn.
- › *Levensduurverlenging* door onderhoud, reparatie, revisie en (waar mogelijk) hergebruik van componenten verschuift de uitstroom in de tijd. Hierdoor neemt de jaarlijkse behoefte aan nieuwe systemen af en worden productiegerelateerde emissies vermeden. Bij klimaatinstallaties is daarnaast het effect van retrofit relevant: door (deel)vervanging of ombouw kan functionaliteit worden vernieuwd zonder volledige systeemvervanging.
- › *Hoogwaardige verwerking* leidt tot hogere terugwinning van metalen en (waar relevant) kritieke materialen, maar blijft sterk afhankelijk van verbeterde inzameling, demontage en scheiding. Voor klimaatinstallaties is bovendien veilige en gecontroleerde terugwinning/verwerking van koelmiddelen en andere procesvloeistoffen een belangrijke randvoorwaarde.

Voor elk van de strategieën is uitgewerkt welk wijziging die kan worden ingezet vanuit deze strategie een effect heeft op de materiaalstromen. Elk van deze zo genoemde maatregel optie is afzonderlijk gemodelleerd in het materiaalstroommodel. Tabel 3.2 geeft inzicht in de effecten die worden meegenomen binnen het materiaalstroommodel. Een uitgebreide beschrijving van de effecten gemodelleerd is opgenomen in Bijlage A.

Tabel 3.2: Overzicht circulaire strategieën en de effecten meegenomen in het materiaalmodel

Strategie	Maatregel	Effect
Vermindering grondstoffen	Meer collectieve systemen en installatie-arme gebouwen	Reductie van de vraag naar producten.
	Verminderen materiaal intensiteit	Reductie van het materiaalgebruik per product.
	Verbeterde productie efficiëntie	Verlaging van materiaalverliezen in de productieketen.
	Langere levensduur producten	Verlengen van productlevensduur voor producten.
Substitutie grondstoffen	Toepassen biobased materialen	Substitutie van fossiele kunststoffen en composieten.
	Toepassen recyclaat	Verhoging van aandeel secundair materiaal per materiaalcategorie.
Levensduur-verlenging	Verhoogde toepassing reparatie / onderhoud / refurbishment	Toename van producten waarbij de levensduur wordt verlengd door reparatie, inclusief materiaal benodigd voor reparatie .
	Verhoogd hergebruik	Toename van producten waarbij de levensduur wordt verlengd door hergebruik
Hoogwaardige verwerking	Verbetering inzameling	Reductie van het aandeel niet-ingezamelde producten
	Verbeterde scheiding / demontage	Meer producten en componenten richting gerichte recycling
	Verbeterde scheiding / versnipperen	Hoger aandeel materialen richting recycling per materiaalcategorie
	Verbeterde terugwinning (conventioneel)	Verhoogd materiaalterugwinningspercentage per materiaal
	Verbeterde terugwinning (precisie)	Verhoogde materiaal-specifieke terugwinning via gerichte processen

De circulaire oplossingsruimte richt zich in de modellering op de periode tot 2050. De mate waarin maatregelen effect sorteren is mede afhankelijk van de snelheid en intensiteit van adoptie. Veel maatregelen zullen geleidelijk worden ingevoerd en opgeschaald. De resultaten zijn daarom geanalyseerd voor de jaren 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050.

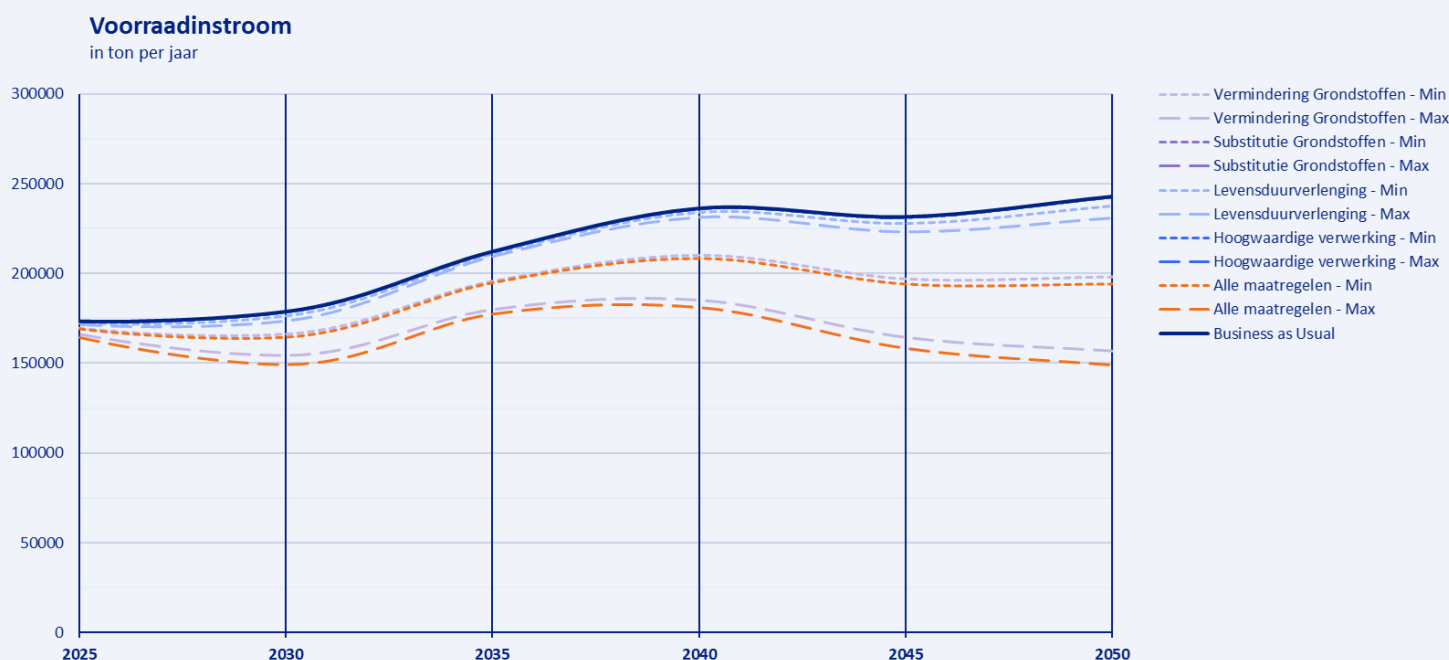
Aangezien het om een toekomstverkenning gaat, bestaat aanzienlijke onzekerheid over de daadwerkelijke implementatie van maatregelopties. Daarom is voor elke maatregel gewerkt met een minimaal en maximaal uitgangspunt. Het maximale uitgangspunt beschrijft een situatie waarin een maatregel breed en optimaal wordt toegepast. Het minimale uitgangspunt representeert een conservatievere inschatting van het mogelijke effect bij beperkte adoptie.

In totaal zijn de effecten van dertien afzonderlijke maatregelopties doorgerekend, voor zowel minimale als maximale uitgangspunten en uitgesplitst per productcategorie. Om de interpretatie van de verkende oplossingsruimte beheersbaar te houden, worden de resultaten als volgt gepresenteerd: (1) eerst worden de effecten per overkoepelende strategie beschreven; (2) daarna wordt het totale beeld geïdentificeerd: welke maatregelen hebben relatief veel effect en welke beperkt; (3) tot slot worden opvallende zaken uitgelicht.

Instroom

Figuur 3.9 laat het effect zien van de vier overkoepelende circulaire strategieën op de instroom van materialen in de gebruiksvorraad van klimaatinstallaties. Uit de resultaten blijkt dat met name de strategieën vermindering van grondstoffen en levensduurverlenging een direct en zichtbaar effect kunnen hebben op de totale voorraadinstroom.

De strategie vermindering van grondstoffen laat in de verkenning het grootste effect zien. Dit is het resultaat van de combinatie van meerdere maatregelen binnen deze strategie. Ten eerste leidt een lagere vraag naar nieuwe systemen en componenten (bijvoorbeeld door bewuste keuzes, voorkomen van overdimensionering, en inzet van deelconcepten waar passend) tot een directe reductie van de instroom. Ten tweede dragen maatregelen gericht op langere gebruiksduur²⁰ en het beperken van vervangingen tot functioneel noodzakelijke momenten bij aan een lagere jaarlijkse vervangingsvraag. Tot slot leidt een reductie van de materiaalintensiteit per systeem of component (bijvoorbeeld compacter ontwerp of materiaalbesparing zonder prestatienadeel) tot een aanvullende afname van de totale materiaalinstroom. Door deze samenhangende effecten heeft deze strategie een structureel en breed effect op het niveau van de materiaalbehoefte.



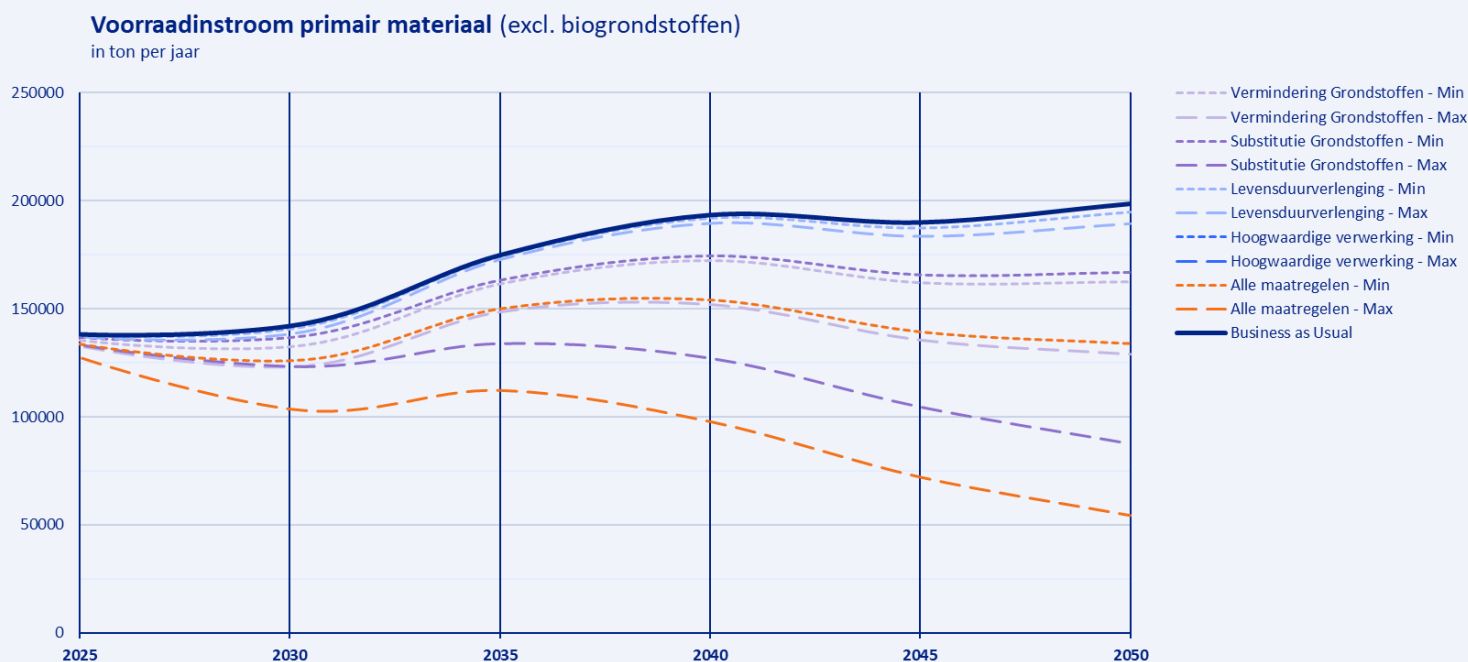
Figuur 3.9: Ontwikkeling voorraadinstroom onder verschillende aannames voor de circulaire strategieën.

Levensduurverlengende maatregelen laten eveneens een reductie van de voorraadinstroom zien, zij het minder uitgesproken dan bij vermindering van grondstoffen. Er zijn drie voornamelijk redenen waarom dit effect beperkt is. Ten eerste vindt levensduurverlenging door onderhoud en reparatie al vaak plaats. De impact van meer levensduurverlenging is hierdoor beperkt. Daarnaast houdt het model rekening met een additionele materiaalbehoefte voor

²⁰ De productie van een product met een intrinsiek langere levensduur wordt in deze PGA beschouwd als onderdeel van een grondstof verminderende strategie. Dit contrasteert met levensduurverlengende maatregelen waar onderhoud, hergebruik, reparatie en vergelijkbare acties resulteren in een langere gebruiksduur van het product.

onderhoud, reparatie en revisie (bijvoorbeeld vervanging van onderdelen, leidingen of koelmiddel). Deze extra materiaalinzet dempt het netto-effect van levensduurverlenging. Verder ontstaat door de uitfasering van producten er een verminderend effect; er zijn andere drijfveren die voor vroegtijdige afdanking zorgen. Dit verandert niets aan de hoofdconclusie dat het verlengen van de gebruiksduur leidt tot een lagere jaarlijkse instroom van nieuwe systemen en materialen. Voor klimaatinstallaties is het ook relevant dat retrofit (deelvervanging of ombouw) vaak een middenweg vormt tussen volledige vervanging en 'doorgebruik'.

De strategie substitutie van grondstoffen heeft, zoals verwacht, een beperkt effect op de totale voorraadinstroom. Deze strategie richt zich niet op het verminderen van de hoeveelheid gebruikte materialen, maar op het vervangen van primaire, niet-hernieuwbare materialen door secundaire of hernieuwbare alternatieven (bijvoorbeeld meer recycalaat in metalen of kunststoffen, of biobased alternatieven waar technisch passend). Dit effect wordt vooral zichtbaar wanneer wordt gekeken naar de samenstelling van de instroom (primair versus secundair), niet naar de totale massa. Figuur 3.10 geeft inzicht in het effect van deze maatregel op de primaire instroom. Dit laat zien dat het effect van deze maatregel substantieel kan zijn voor het reduceren van de primaire niet-hernieuwbare maatregelen.



Figuur 3.10: Ontwikkeling voorraadinstroom primair materiaal excl. biograndstoffen (niet hernieuwbaar primair materiaal) onder verschillende aannames voor de circulaire strategieën.

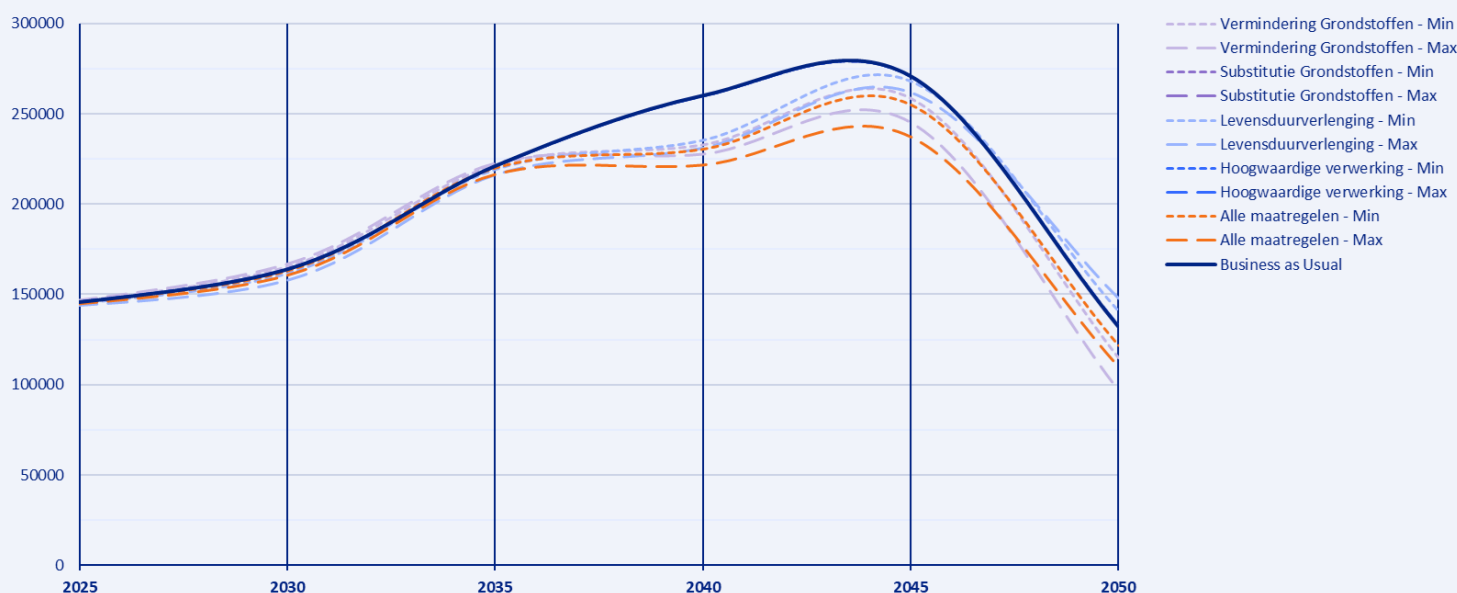
Uitstroom

De onderlinge afhankelijkheid van strategieën wordt duidelijker wanneer ook de uitstroom uit de gebruiksvorraad wordt beschouwd (zie Figuur 3.11). Levensduurverlengende maatregelen leiden tot een lagere uitstroom op korte en middellange termijn, doordat systemen en componenten langer in gebruik blijven. Dit is positief vanuit het perspectief van materiaal- en milieubesparing. Wel heeft dit gevolgen voor de beschikbaarheid van secundaire materialen in de keten.

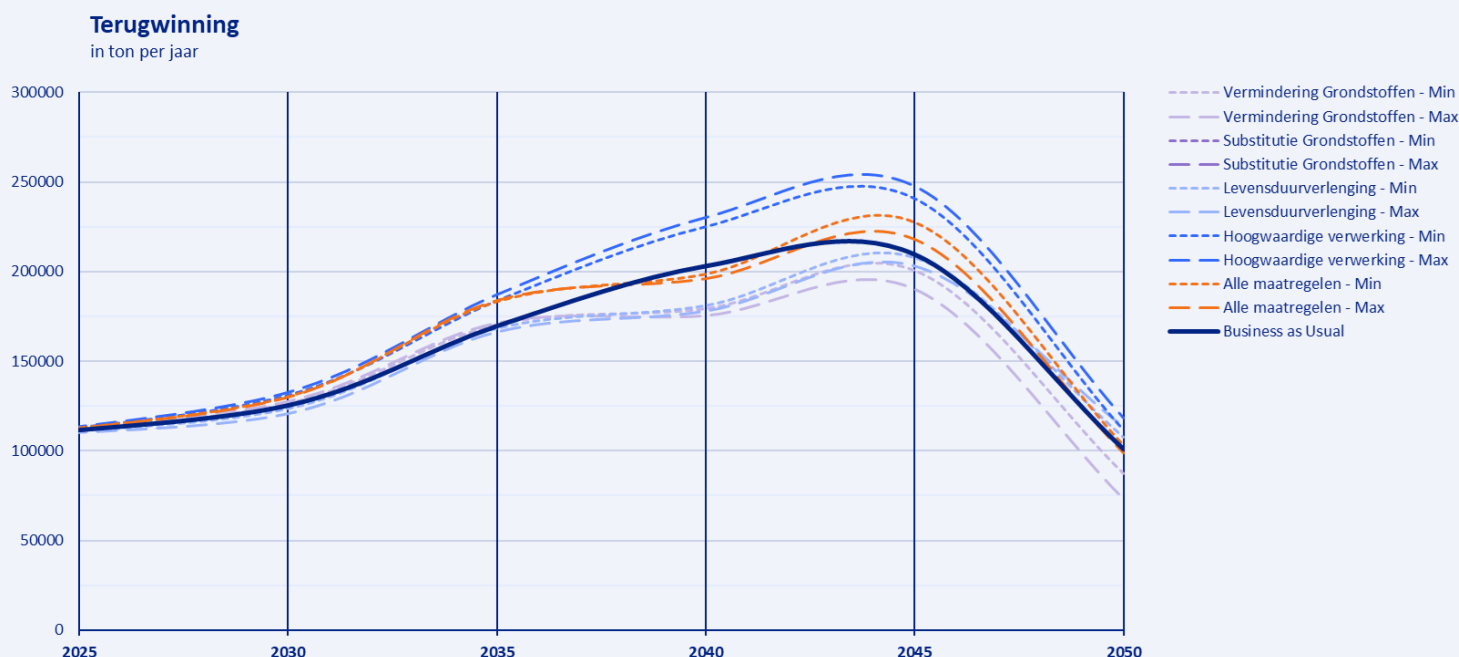
Voor de strategie substitutie van grondstoffen is de beschikbaarheid van voldoende secundair materiaal namelijk een essentiële randvoorwaarde. Dit kan alleen gerealiseerd worden wanneer gelijktijdig wordt ingezet op hoogwaardige verwerking, waaronder verbeterde inzameling, gerichte demontage/scheiding en hogere teruggewinningspercentages. De totale hoeveelheid teruggewonnen materiaal is weergegeven in Figuur 3.12. Met name wanneer vermindering van grondstoffen grootschalig wordt toegepast, is een verdere verbetering van de verwerking noodzakelijk om op termijn te kunnen voldoen aan de vraag naar secundaire materialen.

Vorraaduitstroom

in ton per jaar



Figuur 3.11: Ontwikkeling in de voorraaduitstroom onder verschillende opties voor de circulaire strategieën.



Figuur 3.12: Terugwinning onder verschillende opties voor circulaire strategieën.

Deze resultaten laten zien dat de overkoepelende strategieën sterk met elkaar samenhangen. Maatregelen die de instroom reduceren, verschuiven of vertragen de uitstroom. Substitutie van materialen vraagt om voldoende en kwalitatief geschikte secundaire stromen, die alleen beschikbaar komen bij een goed functionerende eindelevensketen. Het bereiken van een meer circulaire keten voor klimaatinstallaties vereist daarom een integrale inzet van maatregelen over de volledige levenscyclus van systemen en componenten, waarbij geen enkele strategie op zichzelf toereikend is.

De combinatie van de individuele maatregelen, de maatregelen per circulaire strategie en het effect op materiaalstromen en milieu-impactindicatoren is weergegeven in een groot overzicht in Figuur 3.13. Per kolom is aangegeven wat de reductie is van de maatregel ten opzichte van BAU, of het percentage teruggewonnen materialen (voor de maatregelvariant). Negatieve reducties zijn vergrotingen. Ten behoeve van de leesbaarheid is voor iedere kolom weergegeven wat de hoge en lage waarden zijn. Donkere kleuren duiden op grotere veranderingen; negatieve reducties betekenen een toename ten opzichte van BAU. Het overzicht maakt het mogelijk om in één oogopslag te zien welke maatregelen een breed effect hebben (op meerdere indicatoren tegelijk) en welke maatregelen vooral gericht zijn op specifieke materiaalstromen of impactcategorieën.

Het patroon in Figuur 3.13 laat zien dat maatregelen binnen vermindering grondstoffen doorgaans consistente reducties opleveren over zowel materiaalstromen als milieu-impacts. Dit komt omdat ze direct ingrijpen op de hoeveelheid nieuwe producten en daarmee op zowel de materiaalvraag en productie gerelateerde emissies die dominant zijn in de milieu-impact indicatoren. Maatregelen binnen hoogwaardige verwerking laten juist een duidelijk effect zien op indicatoren rond terugwinning en grotere reductie in niet ingezamelde producten en niet teruggewonnen materiaal. Dit gaat ten koste van een relatief kleine verhoging van de milieu-impacts ten opzichte van BAU omdat er meer verwerkings- en terugwinningsactiviteiten

worden ontplooid. Voor de verbeterde terugwinning van edelmetalen is te zien dat met name de verbeterde scheiding nodig is voor het terugwinnen van deze materialen. Bij substitutiemaatregelen zien we (zoals verwacht) een reductie van primaire materiaalstromen en corresponderend de verliezen tijdens (primaire) productie worden minder. Door primaire productie te vervangen worden ook hier de milieu-impacts significant lager. Levensduur verlengende maatregelen hebben op het eerste gezicht beperkt reductiepotentieel, mede omdat het al veel wordt toegepast. Dit is ook deels door de verschillende dynamieken die meespelen met levensduur verlengende maatregelen. Robuuste producten zijn over het algemeen zwaarder, reparaties kunnen ook materialen vergen en het is dus de vraag of de extra levensduur opweegt tegen de uitgespaarde en vertraagde vraag naar nieuwe producten. Hergebruik heeft wel een duidelijk reductie-effect op materiaalstromen en corresponderende milieueffecten.

		Instroom										Uitstroom		Milieu-impact (excl. gebruik)						Terugwinningspercentage										
		Primair										Productie verliezen	In voorraad	Totaal	Niet teruggewonnen	Agrarisch landgebruik	Klimaatverandering	Humane toxiciteit (kankerverwekkend)	Humane toxiciteit (niet- kankerverwekkend)	Waterverbruik	Andeel secundair	Aandeel biobased	Recyclingspercentage	Ferrometalen	Aluminium	Koper	Kunststoffen	Goud	Zilver	Palladium
		Totaal	Totaal	Ferrometalen	Aluminium	Koper	Kunststoffen	Koudemiddelen	Goud	Zilver	Palladium																			
Scenario Maatregel optie \ Indicator		Reductiepercentage t.o.v. Business as Usual																				Percentage								
Business as Usual		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Vermindering Grondstoffen	Min	18%	18%	19%	21%	21%	16%	21%	21%	21%	21%	27%	9%	13%	13%	13%	18%	17%	18%	21%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	35%	35%	37%	41%	41%	32%	41%	40%	40%	40%	49%	18%	27%	25%	37%	36%	36%	35%	40%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	39%	64%	53%	70%
Meer collectieve systemen en installatie-arme gebouw en	Min	12%	12%	12%	14%	14%	11%	14%	13%	13%	13%	12%	7%	6%	7%	12%	12%	10%	10%	13%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	24%	24%	25%	28%	27%	21%	28%	27%	27%	27%	24%	14%	14%	13%	25%	23%	21%	21%	26%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Langere levensduur producten	Min	2%	2%	3%	4%	4%	1%	4%	4%	4%	4%	3%	0%	6%	5%	4%	4%	5%	5%	3%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	5%	5%	7%	8%	8%	3%	8%	8%	8%	8%	6%	0%	13%	11%	8%	8%	11%	11%	8%	18%	0%	83%	89%	92%	93%	39%	64%	53%	70%
Verminderde materiaalintensiteit	Min	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	3%	2%	2%	2%	0%	1%	2%	2%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	5%	4%	4%	4%	6%	6%	6%	6%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Verbeterde productie efficiëntie	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Substitutie Grondstoffen	Min	0%	16%	20%	23%	18%	13%	0%	42%	38%	43%	16%	0%	0%	0%	5%	4%	3%	3%	6%	28%	3%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	56%	60%	77%	70%	54%	0%	81%	81%	80%	54%	0%	0%	0%	16%	15%	11%	9%	19%	55%	8%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Toepassen recyclaat	Min	0%	12%	20%	23%	18%	3%	0%	42%	38%	43%	15%	0%	0%	0%	5%	4%	3%	3%	6%	28%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	46%	60%	77%	70%	30%	0%	81%	81%	80%	49%	0%	0%	0%	16%	15%	11%	9%	19%	55%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Toepassen biobased materialen	Min	0%	4%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	3%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	10%	0%	0%	0%	24%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	8%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Levensduurverlenging	Min	2%	2%	3%	3%	3%	1%	3%	2%	2%	2%	2%	-3%	-6%	-5%	2%	1%	1%	1%	2%	18%	0%	85%	90%	93%	93%	40%	64%	53%	70%
	Max	5%	5%	6%	7%	7%	3%	7%	4%	4%	5%	5%	-6%	-12%	-10%	5%	3%	2%	2%	6%	18%	0%	85%	90%	93%	92%	40%	64%	53%	70%
Verhoogde reparatie	Min	2%	2%	2%	3%	2%	1%	3%	1%	1%	1%	2%	-3%	-7%	-6%	2%	1%	0%	0%	2%	18%	0%	85%	90%	92%	92%	40%	64%	53%	70%
	Max	3%	3%	4%	5%	5%	2%	5%	3%	2%	3%	4%	-4%	-5%	-5%	3%	3%	2%	1%	4%	18%	0%	84%	90%	93%	93%	40%	64%	53%	70%
Verhoogd hergebruik	Min	0%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	2%	2%	2%	2%	2%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	-2%	-7%	-6%	1%	1%	0%	0%	2%	18%	0%	85%	90%	92%	92%	40%	64%	53%	70%
Hoogwaardige verwerking	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	-1%	0%	-3%	-7%	0%	18%	0%	90%	94%	95%	97%	59%	81%	76%	83%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	55%	-2%	0%	-4%	-8%	0%	18%	0%	93%	97%	97%	98%	70%	96%	95%	96%
Verbeterde inzameling	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	-1%	0%	-3%	-6%	0%	18%	0%	89%	93%	94%	96%	51%	65%	54%	71%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	-1%	0%	-3%	-7%	0%	18%	0%	93%	96%	95%	97%	59%	65%	55%	71%
Verbeterde scheiding componenten	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	85%	89%	92%	94%	44%	77%	70%	81%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	-1%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	43%	90%	87%	91%
Verbeterde scheiding na versnipperen	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	40%	64%	53%	70%
Verbeterde terugw inning (conventioneel)	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	89%	92%	94%	42%	67%	58%	72%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	90%	92%	94%	47%	70%	64%	74%
Verbeterde terugw inning (precisie)	Min	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	90%	93%	94%	40%	64%	53%	70%
	Max	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	84%	90%	94%	94%	41%	64%	53%	70%
Alle maatregelen	Min	20%	33%	37%	42%	38%	28%	24%	55%	51%	56%	40%	7%	8%	41%	13%	20%	13%	8%	24%	27%	4%	92%	95%	95%	97%	61%	81%	75%	83%
	Max	39%	73%	77%	87%	84%	70%	45%	89%	89%	89%	77%	13%	17%	65%	44%	45%	34%	26%	52%	54%	9%	95%	99%	99%	99%	72%	96%	95%	96%

Figuur 3.13: Overzicht van het effect van maatregelen per indicator voor 2050 ten opzichte van business-as-usual.

3.3 Samenvattende bevindingen toekomstscenario's

Meer én andere klimaatinstallaties vergroot de circulaire opgave

De scenarioanalyse in dit hoofdstuk laat zien dat het BAU scenario leidt tot een groei (en verschuiving) van de voorraad klimaatinstallaties in gebruik en daarmee tot een toename van de jaarlijkse instroom van systemen, componenten en materialen richting 2050. Dit maakt het halen van circulaire en milieueffectdoelen nog ingewikkelder. De ontwikkeling in massa en aantallen wordt bepaald door groei van de bouwvoorraad, vervangingscycli en veranderingen in de toegepaste technologie. De uitstroom uit de gebruiksvoorraad neemt met vertraging toe, doordat eerder geïnstalleerde systemen en componenten op termijn worden afgedankt of vervangen. Dit betekent dat richting 2050 zonder aanvullende maatregelen het absolute volume aan verliezen (niet ingezameld, demontage- en verwerkingsverliezen) substantieel blijft, met name voor de kritieke en edelmetalen, en het potentieel om meer materialen in te zamelen, her te gebruiken en te recyclen, ongebruikt blijft.

Verbeterde materiaal terugwinning vraagt om aanvullende ketenmaatregelen

Binnen BAU wordt verondersteld dat ingezette verbeteringen in gescheiden inzameling en verwerking in de komende jaren nog doorzetten, maar dat deze verbetering na verloop van tijd afvlakt en zonder aanvullende maatregelen onvoldoende is om hoge inzamelambities voor specifieke productcategorieën structureel te realiseren. In lijn hiermee laten de terugwinningspercentages per materiaalcategorie slechts een beperkte stijging zien en vervolgens stabilisatie. De verschillen tussen materialen blijven daarbij bepalend. Dit onderstreept dat verdere verbetering van terugwinning niet alleen een inzamelvraagstuk is, maar vooral vraagt om aanvullende stappen in demontage, bron- en ketenscheiding en in de inzet van gespecialiseerde verwerkingsroutes (waaronder veilige terugwinning/verwerking van koelmiddelen).

De groei van materiaalstromen vertaalt zich in toenemende milieu-impacts

Naast materiaalstromen zijn ook de milieu-impacts van de scenario's in kaart gebracht. In het BAU-scenario volgen de milieu-impacts in grote lijnen het beeld van de materiaalinstroom: er is een toename richting 2050 voor installaties, maar slechts beperkte verschuiving tussen impactcategorieën (zie Figuur 3.8). Wat betreft de distributie en afgiftesystemen is er een grote verandering in milieu-impacts, de eindelevensverwerking van middeltemperatuur-systemen zal door vervangen tot en met 2045 sterk bijdrage aan de totale impact. Daarbij geldt als belangrijke nuance dat de milieu-impacts zijn berekend op basis van huidige aannames over productietechnologie, energiemix en achtergrondprocessen. Mogelijke toekomstige 'vergroening' van productie en energievoorziening, en technologische veranderingen (bijvoorbeeld andere koelmiddelen), kunnen de impact per eenheid product reduceren en daarmee het totale beeld gunstiger maken, maar het expliciet modelleren van deze dynamiek valt buiten de reikwijdte van deze studie.

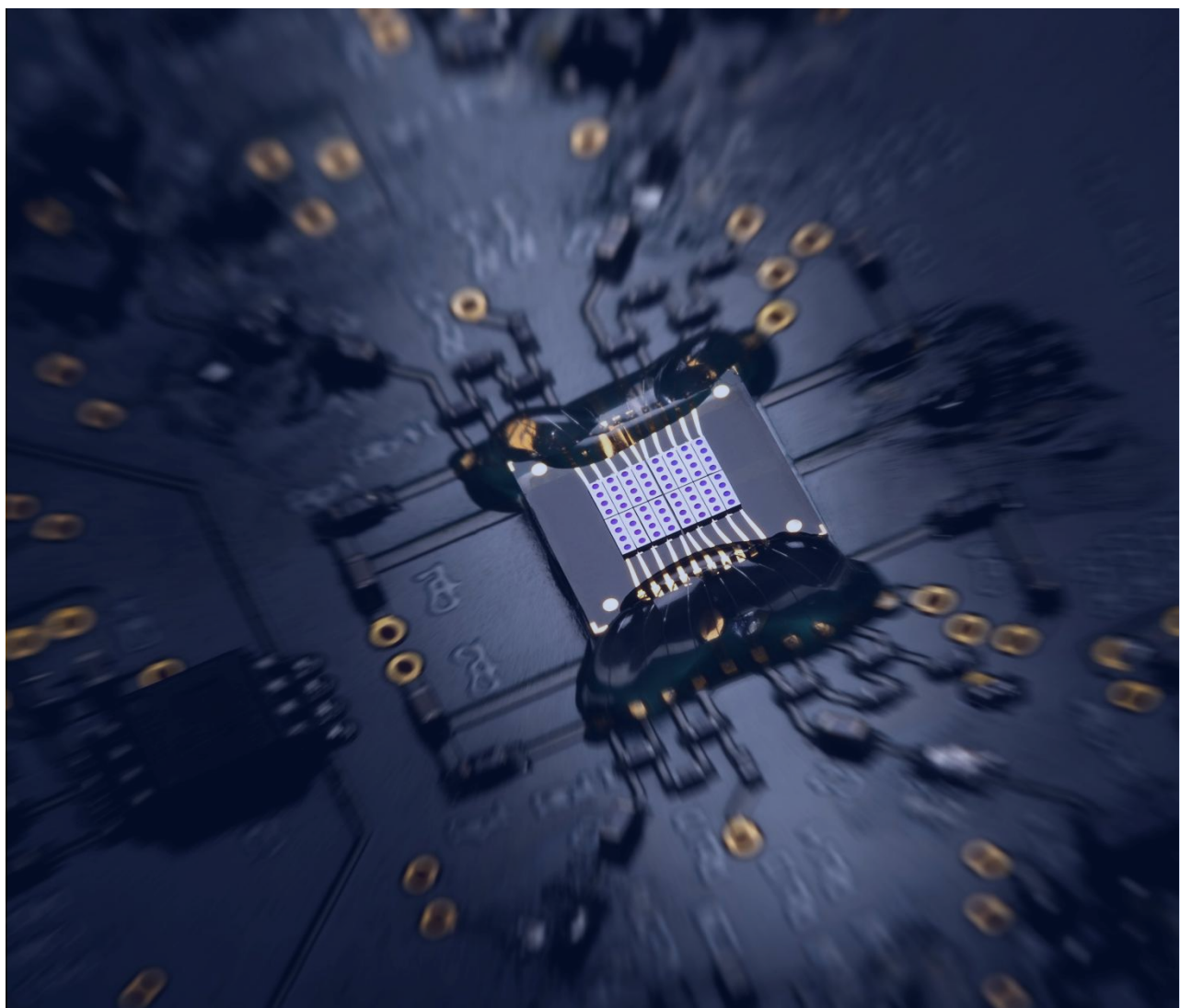
Substantiële circulariteitswinst vereist een combinatie van maatregelen

De verkenning van de circulaire oplossingsruimte laat zien dat substantiële verbeteringen in circulariteit en milieuprestaties mogelijk zijn, maar alleen bij een samenhangende inzet van maatregelen over de volledige keten van klimaatinstallaties. Het totaaloverzicht in Figuur 3.13 toont dat maatregelen onder *vermindering* (zoals minder/anders installeren waar mogelijk, deelconcepten en lagere materiaalintensiteit) consistente reducties kunnen geven in zowel materiaalinstroom als milieu-impact, omdat ze direct ingrijpen op de vraag naar nieuwe systemen en daarmee op productie gerelateerde emissies. *Levensduurverlenging* (onderhoud,

reparatie, revisie, refurbishment en hergebruik) kan de instroom van nieuwe systemen eveneens verlagen. Wel kent dit een dynamisch effect doordat uitstroom wordt vertraagd; dit is gunstig voor materiaal- en emissiereductie, maar kan op korte en middellange termijn de beschikbaarheid van secundaire materialen beperken. *Substitutie* verlaagt met name de instroom van primaire (niet-hernieuwbare) materialen door meer recycleat of hernieuwbare alternatieven toe te passen, maar is daarmee afhankelijk van voldoende volume én kwaliteit van secundaire stromen. Dat maakt *hoogwaardige verwerking* een cruciale randvoorwaarde: verbeterde inzameling, gerichte demontage/scheiding en (materiaal)specifieke recyclingroutes zijn nodig om secundaire materialen beschikbaar te maken, met bijzondere aandacht voor mengfracties (kunststoffen/isolatie) en voor gecontroleerde terugwinning en verwerking van koelmiddelen.

Recycling alleen is onvoldoende om de doelstellingen te realiseren

Een belangrijk inzicht uit de scenarioverkenning is dat sturen op alleen recycling onvoldoende is om de doelen voor 2030/2035 en de ambitie van 2050 te benaderen; de grootste effecten worden gerealiseerd door verminderen en levensduurverlenging te combineren met gerichte ketenverbeteringen in inzameling en hoogwaardige verwerking, zodat substitutie met secundaire materialen daadwerkelijk kan opschalen.

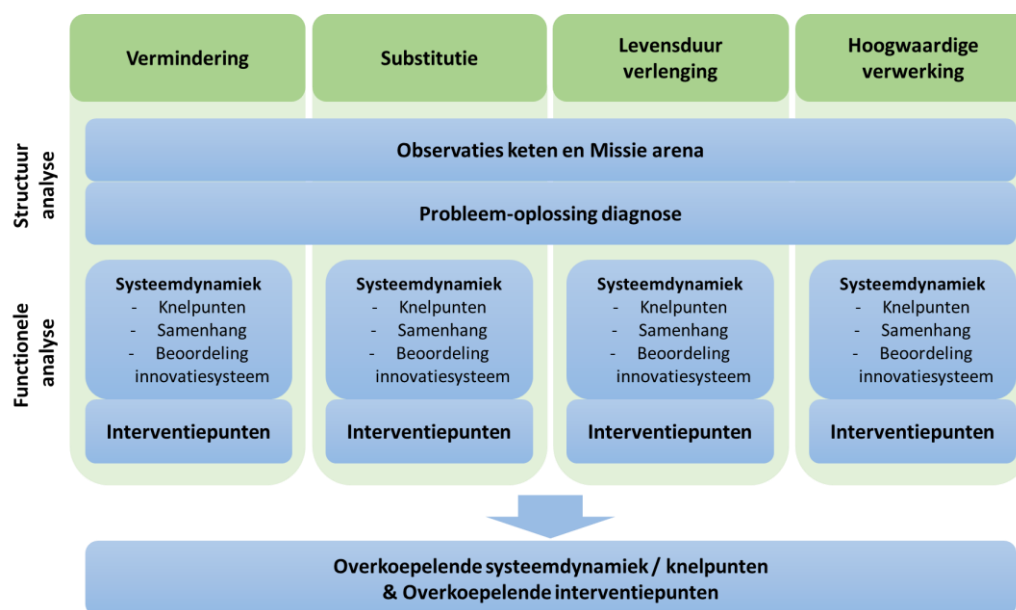


4 Belemmeringen & Kansen

In dit hoofdstuk wordt onderzocht welke systeemdynamieken de transitie naar circulaire klimaatinstallaties ondersteunen of belemmeren. Aan de hand van een missiegedreven innovatiesysteem (MIS) analyse worden de relevante actoren, knelpunten en kansen in kaart gebracht. Vervolgens wordt gereflecteerd op de onderliggende oorzaken van deze knelpunten en worden mogelijke interventierichtingen beschreven die kunnen bijdragen aan een meer circulaire klimaatinstallatieketen..

Samenvatting

De MIS analyse onderzoekt op welke manieren de dynamiek binnen het innovatiesysteem de ontwikkeling van verschillende circulaire strategieën bevordert of tegenwerkt. Inzicht in deze dynamiek is kwalitatief van aard - de MIS analyse is gebaseerd op interviews met 15 experts die een brede selectie aan stakeholders vertegenwoordigen. Zie bijlage C.1 voor een leeswijzer van analytische stappen en zie onderstaande figuur voor een beknopte weergave.



Figuur 4.1: Samenhang van analytische stappen binnen MIS analyse

Vermindering - Installatie-arm en collectieve systemen

Binnen de huidige sturende kaders voldoen conventionele individuele installaties doorgaans aan de gestelde eisen, waardoor de noodzaak voor installatie-arme en collectieve oplossingen beperkt is en marktvorming achterblijft. Tegelijkertijd vragen beide oplossingsrichtingen meer ontwerpkenis, afstemming en ketensamenwerking, terwijl hoge comforteisen en angst voor overlast en financiële kaders en voorkeuren leiden tot risicomijding, waardoor opdrachtgevers en -nemers 'veilige' bewezen oplossingen blijven verkiezen.

Substitutie

Dankzij gebrek aan doelen en slechts incidentele prikkels voor substitutie, hoge technische materiaaleisen en marktselectie op lage aanschafprijs, en soms gebrek aan serieuze alternatieven, is er voor producenten weinig business case voor toepassen van substitutie.

Levensduurverlenging

Onderhoud en reparatie - nog ontbrekende sturing en standaardisering creëert wildgroei aan ontwerpen en gebrekkige repareerbaarheid, kennisdeling en reparatieresources, waardoor installateurs slechts enkele merken onderhouden. Vanuit particulieren is er gebrek aan legitimiteit, kennis over noodzaak onderhoud en TCO, waardoor weinig particulieren onderhoudscontracten afsluiten. Deze ontbrekende onderhoudsgeschiedenis, en plaatsing van installaties zonder oog op reparatietoegang leiden tot risicomijding en weigering van opdrachten. Ten slotte zorgt korte softwareondersteuning voor vroeg afdanken van installaties.

Modulair ontwerp, hergebruik en revisie - Huidige sturende kaders bepalen de selectiecriteria van opdrachtgevers, die primair zijn gericht op energieprestatie, bewezen technologie en lage aanschafkosten. In combinatie met de scheiding van taken, kosten en baten in de keten leidt dit tot een beperkte waardepropositie voor modulair productontwerp, hergebruik en revisie. Dit gebrek aan stabiele vraag, samen met gebrek aan data en inzicht in restwaarde, financiële ondersteuning en knellende wetgeving, beperkt de businesscase voor producenten en andere ketenpartijen.

Hoogwaardige verwerking en toepassen recycalaat

Inzameling - Tegenstrijdige kaders, kennisgebrek in de keten over verplichtingen, en financiële afwegingen (ondanks geïntroduceerde prikkels) leiden tot vooralsnog regelmatig tot onjuiste inzameling en verwerking in de keten. Tekorten aan afstemming met realiteit van installateurs en beperkte slagkracht van handhaving houden dit in stand, al is er verbetering op komst door de afgifteplicht.

Hoogwaardige verwerking en toepassen recycalaat - de huidige sturende kaders bepalen de selectiecriteria van opdrachtgevers, die primair zijn gericht op energieprestatie, bewezen technologie en lage aanschafkosten. In combinatie met de scheiding van taken, kosten en baten in de keten leidt dit tot een beperkte waardepropositie voor modulair productontwerp, hergebruik en revisie. Dit gebrek aan stabiele vraag, samen met gebrek aan data en inzicht in restwaarde, financiële ondersteuning en knellende wetgeving, beperkt de businesscase voor producenten en andere ketenpartijen.

Overkoepelende knelpunten

Uit bovenstaande systeemdynamieken per circulaire strategie komt een viertal overkoepelende knelpunten naar voren.

1. **Geen integrale doelen, hoge eisen en knellende kaders:** gebrek aan sturing via integrale doelen en kaders, hoge eisen rond temperatuur, knellende wetgeving rond inzameling en hergebruik.
2. **Versnipperde organisatie van keten en financiën:** financiële uitgangspunten en versnipperde kosten en baten, ketenorganisatie en financiën.
3. **Onzekerheid, kennisgebrek en ontwerpkeuzes:** risicomijding in de keten door onzekerheid en complexiteit hinderen circulair.
4. **Gebrekkige business-case voor circulair** verhindert opschaling en doorontwikkeling van circulaire oplossingen.

Voor deze overkoepelende knelpunten en de specifieke dynamieken per circulaire strategie zijn systeeminterventies geformuleerd in dit hoofdstuk. Zie Overkoepelende dynamieken en interventiepunten

4.1 Structuur analyse

In de structuuranalyse wordt eerst, in aanvulling op de ketenstructuur gepresenteerd in hoofdstuk 2, een korte bespiegeling gegeven op actoren, instituties en infrastructuur. De positionering van actoren wordt daarna beschreven in de missie arena. Vervolgens wordt in de probleemoplossing diagnose de geanalyseerd hoe probleemstellingen invloed hebben op de circulaire strategieën, en welke interacties er zijn tussen de circulaire strategieën.

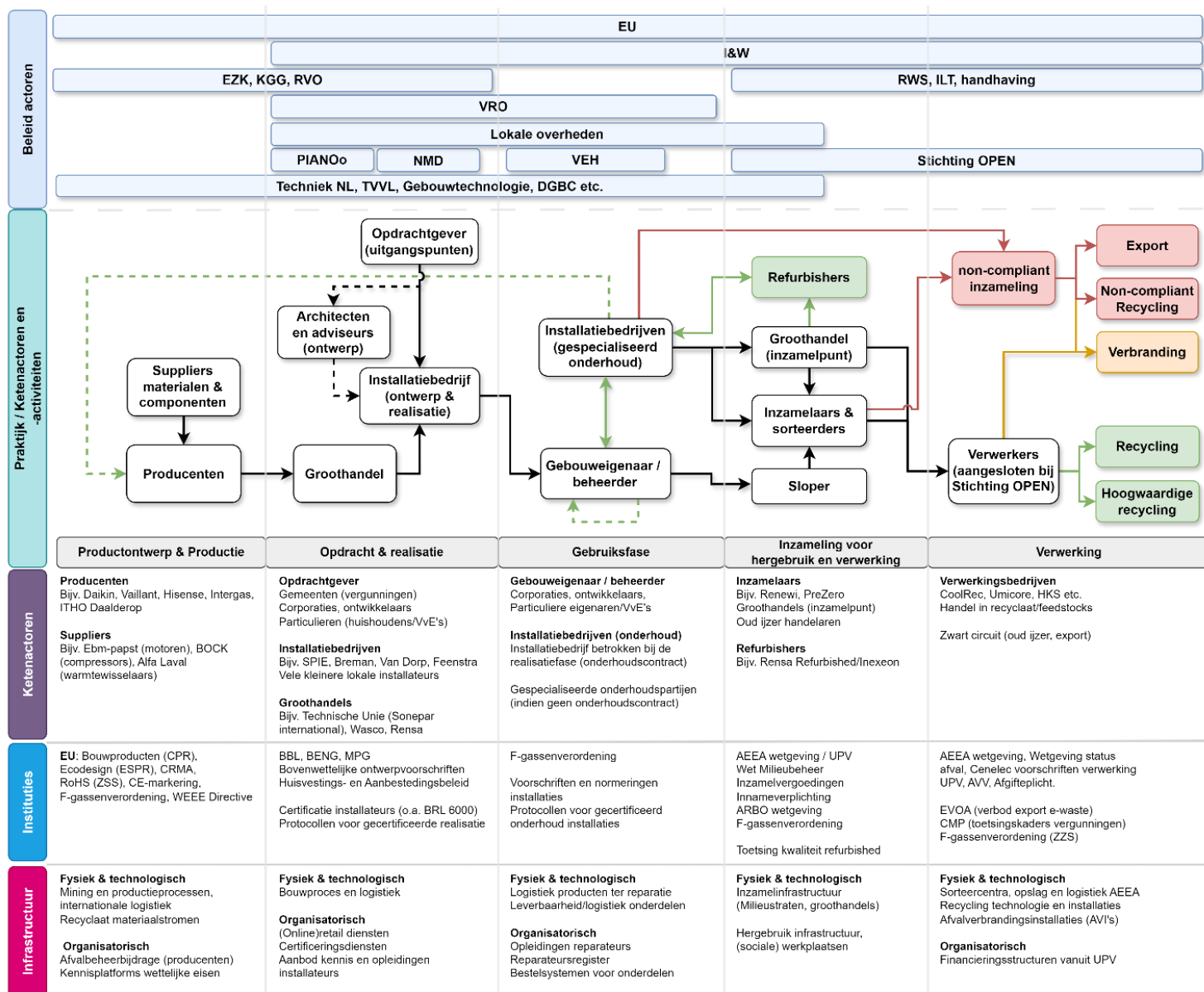
Observaties klimaatinstallatie keten

Onderstaand wordt in aanvulling op de ketenstructuur gepresenteerd in hoofdstuk 2 een niet-uitputtend overzicht gegeven van actoren, instituties en infrastructuur over de verschillende ketenfases heen die relevant zijn voor de missie gedreven innovatiesysteem dynamiek. Bovenin de figuur worden actoren gepositioneerd die niet in de keten zelf actief zijn, maar sturende werking hebben. Hierover wordt meer toegelicht in de volgende paragraaf over de Missie Arena.

Een aantal observaties vanuit onderstaande overzicht:

- › De mate van complexiteit verschilt tussen fases; productie-, gebruiks- en verwerkingsfase lijken overzichtelijker qua diversiteit aan actoren en wetgeving dan de opdracht- en inzamelfases.
- › De ketenactiviteiten verschillen substantieel tussen verschillende opdrachtgeverschap contexten. Bij particuliere opdrachtgevers zijn vaak adviseurs betrokken. Opdrachtgeverschap en gebouweigenaarschap zijn verschillende ketenrollen van vaak dezelfde partij.
- › Ontwerpvoorschriften die vanuit bovenwettelijke industrie standaarden komen spelen in deze productgroep een relatief grote rol (temperaturen en comfort bijvoorbeeld).
- › Lijnen vanuit onderhoudspartijen terug naar producenten zijn nog niet vaak ontwikkeld, maar worden wel ontwikkeld. Zie ook de functionele analyse.
- › Er zijn relatief veel onwenselijke routes waarlangs afgedankte klimaatinstallatie kunnen stromen; routes waarbij correcte en hoogwaardige verwerking niet plaatsvinden.
- › Inzameling en sortering vormt een belangrijke schakel voor het bewandelen van wenselijke routes. Hoe specifieker (en daarmee hoogwaardiger) hoe complexer deze processen. Meer circulaire inzameling en sortering doet een flink beroep op informatiesystemen die deze processen moeten informeren, en logistieke processen en infrastructuur om uitsplitsing en vervoer e.d. mogelijk te maken. Deze complexiteit creëert een risico voor benutting van potentie van bijv. (component)hergebruik, refurbishing, en specifieke materiaalherwinning. Dit thema komt terug in de functionele analyse.
- › Omdat OEMs vaak niet in Nederland of de EU gevestigd zijn, is het niet vanzelfsprekend dat terugwinning van materialen ook gelijk leidt tot kringloopsluiting.

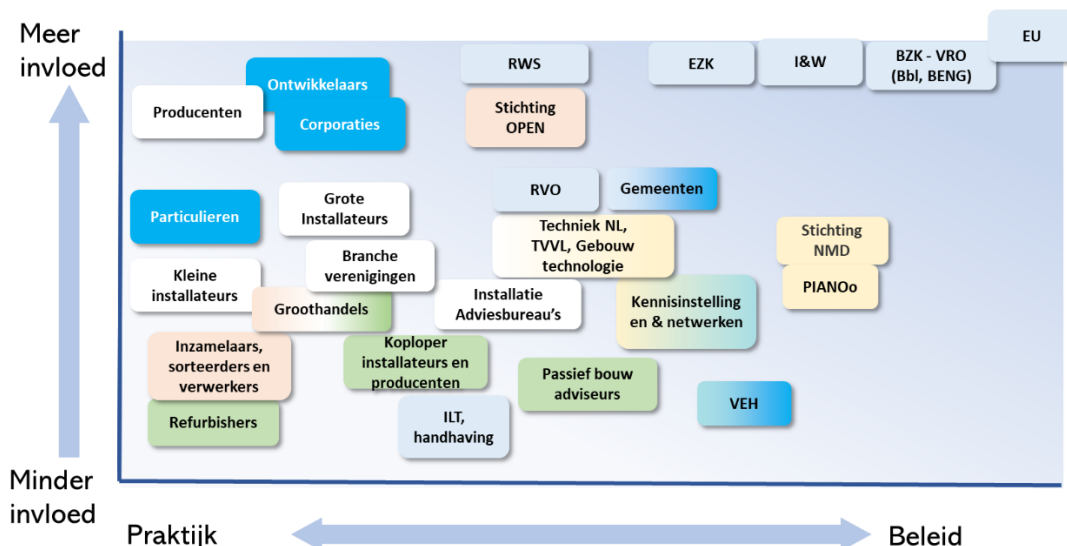
Deze bevindingen zullen ook zichtbaar worden in de (knellende) systeemdynamieken die beschreven worden in de functionele analyse.



Figuur 4.2: Ketenstructuur en -activiteiten (Niet-uitputtend). Rode pijlen geven circulariteit-schadende activiteiten aan, groene pijlen geven circulariteit bevorderende activiteiten aan.

4.2 Missie Arena

In onderstaande figuur worden de actoren en hun positie in de missie arena rond circulaire klimaatinstallaties weergegeven. Hiermee wordt een context geschetst die ondersteunt in het plaatsen van de bevindingen over knelpunten en systeemdynamieken in de volgende sectie.



Figuur 4.3: Weergave van Missie Arena rond Klimaatinstallaties. Legenda: inzameling & verwerking (oranje), commerciële ketenpartijen (wit), overheid (lichtblauw), NGO (zeegroen), kennis en standaarden (geel), circulaire activiteiten (groen), opdrachtgevers (felblauw)

De weergave van de Missie Arena laat een aantal dingen zien over de positionering van de verschillende actoren:

- › Overheden, met name de EU en nationale overheid, hebben de grootste invloed op richting van de missie, via wet- en regelgeving die kaders bepalen voor productontwerp, energieprestaties, bouwregels en afvalverwerking. Ministeries vertalen doelen en EU kaders naar concrete kaders zoals MPG. Ook gemeenten oefenen invloed uit via aanvullende eisen in bouwprojecten.
- › Binnen Nederlandse arena hebben (overheden verantwoordelijk voor) woningbouw- en energietransitiebeleid een sterk richtinggevend rol, die ook zichtbaar wordt in onderstaande probleem-oplossing diagnose.
- › Opdrachtgevers, zoals woningcorporaties, gemeenten en huishoudens, hebben een zeer belangrijke rol voor de praktijk doordat zij (al zij het op basis van gegeven kaders) bepalen aan welke technische en economische eisen klimaatinstallaties moeten voldoen. Corporaties zijn enigszins betrokken in programmering, terwijl particuliere huishoudens enkel via hun marktvraag invloed uitoefenen. Vernieuwende samenwerkingen tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers lijken toe te nemen, maar lijken nog betrekkelijk weinig zichtbaar in termen van invloed op beleid of praktijken.
- › Stichting OPEN bekleedt een centrale positie in tussen beleid en praktijk rond verwerking. De aankomende afgifteplicht is een voorbeeld van de sturende kracht die uitgaat van deze centrale belegging van (producenten)verantwoordelijkheid.
- › Producenten en brancheverenigingen hebben via OPEN indirect invloed, al lijken grote producenten van klimaatinstallaties relatief beperkt zichtbaar in (Nederlandse) beleidsvorming, mogelijk vanwege internationale oriëntatie.

-) Diverse kennis-, branche- en netwerkorganisaties stimuleren kennisdeling, certificering, opleidingen en circulair aanbestedingsbeleid. Innovatieprogramma's en coalities²¹, brengen overheid, industrie en kennisinstellingen samen rond circulair ontwerp, ketensamenwerking en praktijkexperimenten. Deze netwerken lijken richtinggevend in de praktische uitwerking van circulaire oplossingen (zoals ontwikkeling van concepten in passiefbouw).
-) Aan de achterkant van de keten hebben inzamelaars, sorteersers en verwerkers een belangrijke uitvoerende rol in afvalverwerking, maar lijken relatief weinig invloed te hebben op beleid, vanwege de dynamiek van aanbesteding vanuit de UPV waarin deze partijen gericht op kosteneffectief opdrachtnemerschap (Int8,9).

Probleem-oplossing diagnose

Hier wordt gereflecteerd op de dynamiek binnen de missie arena op welk probleemstellingen ('problemen') hier te onderscheiden zijn en hoe de logica van deze problemen steun of weerstand geven voor de verschillende circulaire strategieën ('oplossingen'). In Figuur 4.4 wordt een interpretatie gegeven van de interactie tussen probleemstellingen en circulaire strategieën. NB: deze figuur beoogt niet om beleidsstructuren en -doelstellingen feitelijk weer te geven, maar is bedoeld om de lezer kritisch en met frisse ogen te laten kijken naar probleemstellingen binnen de missie en het (bredere) landschap waarin de missie zich bevindt. Het doel is daarmee ook om spanningsvelden en gemiste kansen uit te lichten. De interacties tussen circulaire strategieën worden behandeld onder paragraaf 4.4.1 na bespreking van de functionele analyse. In Bijlage C.2 is een beknopte toelichting te vinden op de geïdentificeerde probleemstellingen. De probleem-oplossing diagnose is ook sterk gekoppeld aan de functionele analyse, vragen die bij de lezer opkomen worden daar waarschijnlijk beantwoord.

Observaties probleemstellingen

Circulair beleid lijkt historisch gezien een 'add-on' op het lang bestaande afvalbeleid. Dit is logisch aangezien kringloopsluiting optreedt vanuit afdanking en verwerking tot secundaire materialen (probleemstelling 'materiaal behouden'). Circulair beleid gaat echter (als het goed is) vooral om ingrepen 'hogerop de ladder', waarmee vermindering en levensduurverlenging en daarmee voorkomen van afval voorop staat. Zoals de functionele analyse zal laten zien, bestaat er soms spanning tussen logica van gecontroleerde milieuveilige afvalverwerking en levensduurverlenging (probleemstelling 'functionele levensduur', een probleemstelling waarin de circulaire missie alleen staat). Circulair beleid en afvalbeleid zullen naar verwachting meer van elkaar onderscheiden raken, als gevolg van het onderbrengen van circulair beleid bij EZK.

Met de opkomst van leveringsrisico's als belangrijke recente probleemstelling, is aandacht voor onrechtvaardige e-waste dumping als probleemstelling sterk afgenomen in bijvoorbeeld de NPCE 2025 ten opzichte van eerdere jaargangen. De energietransitie is een centrale opgave, die leveringsrisico's en uitstoot, MKI en impacts als probleemstellingen deelt met de circulaire missie. Echter heeft de energietransitie een grotere nadruk op uitstoot dan op materialen, zoals zal blijken in de functionele analyse.

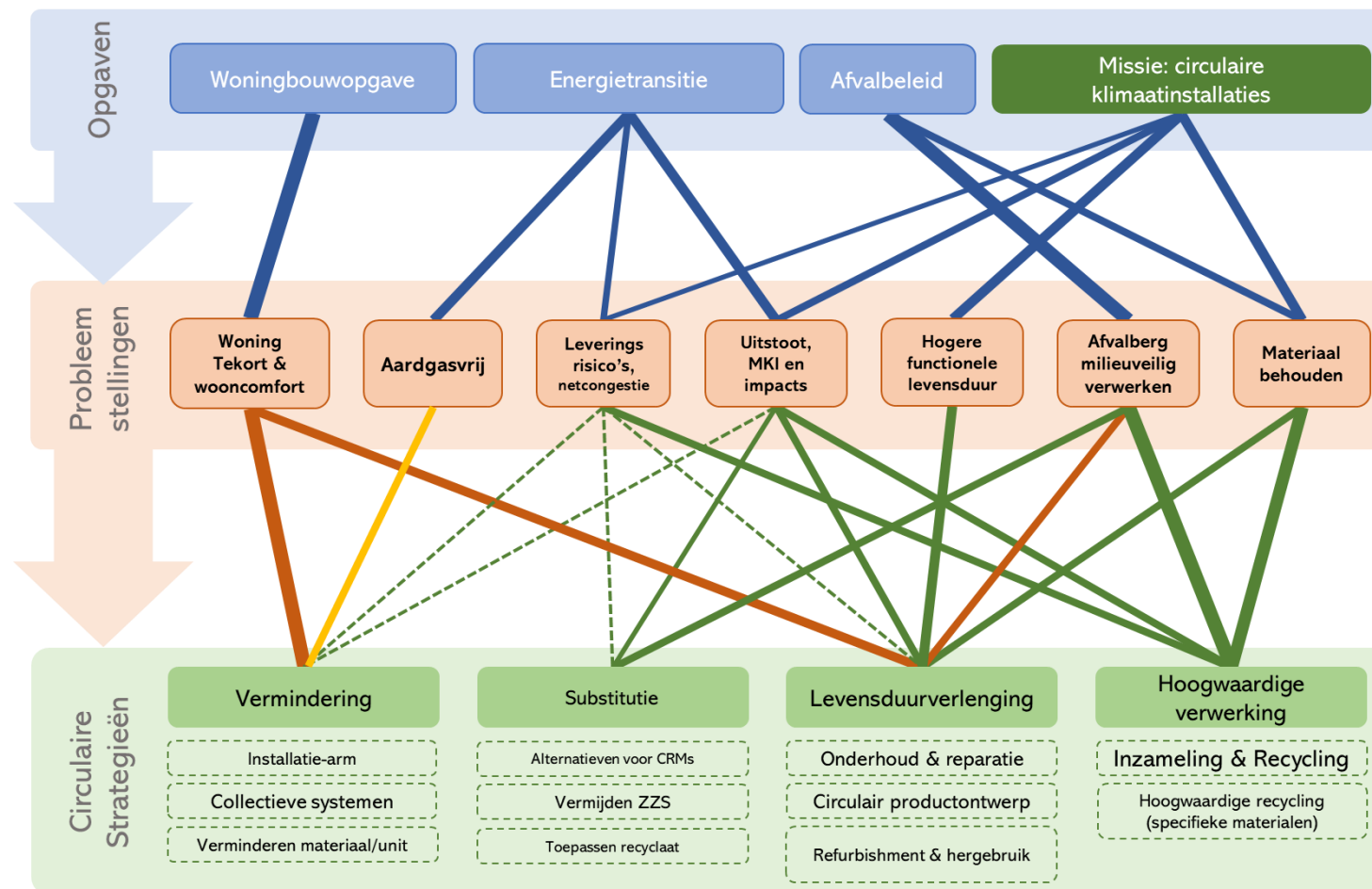
De richting van klimaatinstallaties wordt sterker dan door circulair beleid, beïnvloed door de energietransitie en woningbouwopgave. De energietransitie was al een sterk verankerde beleidsterrein en instrumentarium voordat circulariteit meer op de agenda kwam. Via bindende Europese wetgeving op bouwmaterialen en energieprestaties van woningen oefent klimaatbeleid sterke sturing uit op specifieke probleemstellingen, waaronder in Nederlandse context van het gas af stappen. Een opgave met zo mogelijk nog meer momentum is de woningbouwopgave. Prioriteit boven circulariteit valt te herkennen in politieke keuzes om MPG

²¹ zoals de Routekaart Circulaire Klimaatinstallaties en MOOI-programma's.

normeringen minder te verscherpen en uitzonderingen voor compacte woningbouw op te nemen om woningbouw te versnellen.

In beleidsstukken valt verder op: de gangbare redenering achter circulaire economie is om materiaal en de waarde daarvan te behouden, echter in doelstellingen van recente beleidsstukken komt dit minder naar voren (bijv. 'dashboard doelen' van de NPCE). Dit lijkt te komen door een verschuiving richting meetbaarheid/indicatoren in opvolgende generaties van de NPCE om een uniform doel centraal te stellen. Echter maakt deze nadruk minder duidelijk wat de visie/wenselijke toekomst is waar de missie op mikt.





Figuur 4.4: Probleem-oplossing diagnose rond Klimaatinstallaties. Lijnen geven invloed weer. Dikte van de lijnen duidt op mate van invloed, kleur van lijnen duidt op positieve (groen), gemengde (oranje) of negatieve (rood) invloed op oplossingsrichtingen. Stippellijnen duiden gemiste kansen aan. De invloed in de figuur loopt van boven naar beneden, dus beschrijft de invloed van problemen op oplossingen.

Observaties oplossingsrichtingen

Vermindering

Installatie-arme oplossingen krijgen relatief weinig aandacht in de missie arena. Dit heeft te maken met de urgentie van de woningbouwopgave maar ook de gerichtheid op energietransitie middels installatie-rijke oplossingen. De agenda van aardgasvrij wordt momenteel wisselend ingevuld, via warmtenetten (collectief - een vorm van vermindering) en soms juist via installatie-rijke '1-op-1' vervanging van CV met warmtepompen. Aandacht voor vermindering lijkt te worden afgeleid door een sterk verankerde logica rond wooncomfort, waardoor installatie-rijk en overdimensionering de norm blijft.

Kansen: netcongestie zou een sterke driver kunnen zijn voor toepassen van installatie-arme concepten, omdat hiermee de zwaarte van elektrische aansluitingen beperkt kan worden. Deze agenda wordt momenteel nog niet aangeboord. Ook leveringsrisico's zou als agenda steun kunnen geven voor vermindering, maar deze verbinding is nog niet gelegd. Door dominantie van energietransitie over probleemstellingen van klimaatimpacts, lijkt ook deze probleemstelling nog weinig gemobiliseerd voor Vermindering.

Substitutie

De NPCE 2025 stelt als doel het verlagen van MKI van klimaatinstallaties. Vanuit het NPCE wordt om die lagere MKI te bereiken vooral ingezet op verlengen van functionele levensduur en hoogwaardig recyclen – voor toepassen van recycalaat zijn momenteel geen directe doelen. Nadruk op recycling zonder nadruk op recycalaat roept vraagtekens op over de beleidslogica; wat is het nut van materiaalherwinning, als hiermee niet ook direct bedoeld wordt op kringloopsluiting via toepassing van recycalaat? Biobased materialen lijken in deze productgroep geen aandacht te krijgen als oplossing – zie functionele analyse voor verklaringen. Er is enige aandacht voor alternatieven voor strategische en kritieke materialen vanuit producenten, omdat dit winst oplevert in MPG scores (probleemstelling milieu-impacts) (Int. 3). Vanuit beleid is ondanks de politieke impuls voor strategische autonomie (o.a. CRMA), nog weinig concrete aandacht zichtbaar. Substitutie van koudemiddelen met hoog GWP is als oplossing uitgewerkt door de Europese F-gassen verordening. De nieuwe generatie koudemiddelen (HFO's) is nog een aandachtspunt omdat het PFAS zijn. Er wordt gewerkt aan een restrictievoorstel voor PFAS wat vervolgens voorgelegd zal worden aan de Europese Commissie.

Kansen: omdat momenteel vanuit leveringsrisico's momenteel de pijlen vooral gericht lijken op terugwinning van CRMs, en niet zozeer op alternatieven en toepassen van CRM recycalaat, liggen hier nog kansen.

Levensduurverlenging

Onderhoud en reparatie zijn gemeengoed bij professionele opdrachtgevers, maar bij particulieren (met warmtepompen) is opvallend weinig aandacht voor onderhoud vanuit zowel beleid als de keten. Refurbishment van specifieke hoogwaardige componenten (zoals printplaten) vindt al geruime tijd plaats in de keten, zonder beleidssturing, en krijgt toenemend aandacht (o.a. voor pompen en ventilatieboxen). Voor direct hergebruik (zoals van Cv-ketels of warmtepompen) is nog weinig aandacht. Zowel refurbishment als direct hergebruik stuiten op weerstand vanuit de veilige verwerking logica van afvalbeleid, en gevestigde manieren van denken en doen in de afvalketen. Circulair ontwerp dat effectieve levensduurverlenging faciliteert, ondervindt door nadruk op kosten, snelheid en eenvoud momenteel hinder van de woontekort probleemstelling. Levensduurverlenging krijgt echter ook veel expliciete steun

vanuit circulaire productgroep doelstellingen. Levensduurverlenging bevindt zich dus te midden van uiteenlopende krachten.

Kansen: het probleem van uitstoot en lagere MKI is vanuit huidige kaders vooral gericht op energietransitie, levensduurverlenging zou hier door geïntegreerde kaders veel meer momentum aan kunnen ontlelen.

Hoogwaardige verwerking

Recycling is een sterk gevestigde oplossing en krijgt steun vanuit meerdere centrale probleemstellingen (materiaalbehoud, veilige afvalverwerking, klimaatimpacts en leveringszekerheid), en ondervindt van geen probleemstelling weerstand. Het invloedrijke afvalbeleid steunt recycling waar het andere circulaire oplossingsroutes belemmert. Echter is er ook interne spanning tussen de logica van 'klassieke' recycling en hoogwaardige recycling van specifieke (bijv. kritieke) materialen – kosten en efficiëntie gerichte afvalketens veroorzaken belemmeringen voor hoogwaardigheid.

Kansen: recycling is sterk gepositioneerd in het landschap en er lijken momenteel geen probleemstellingen te zijn waarmee recycling kansen laat liggen.

4.3 Functionele analyse: systeemdynamiek en knelpunten

4.3.1 Vermindering

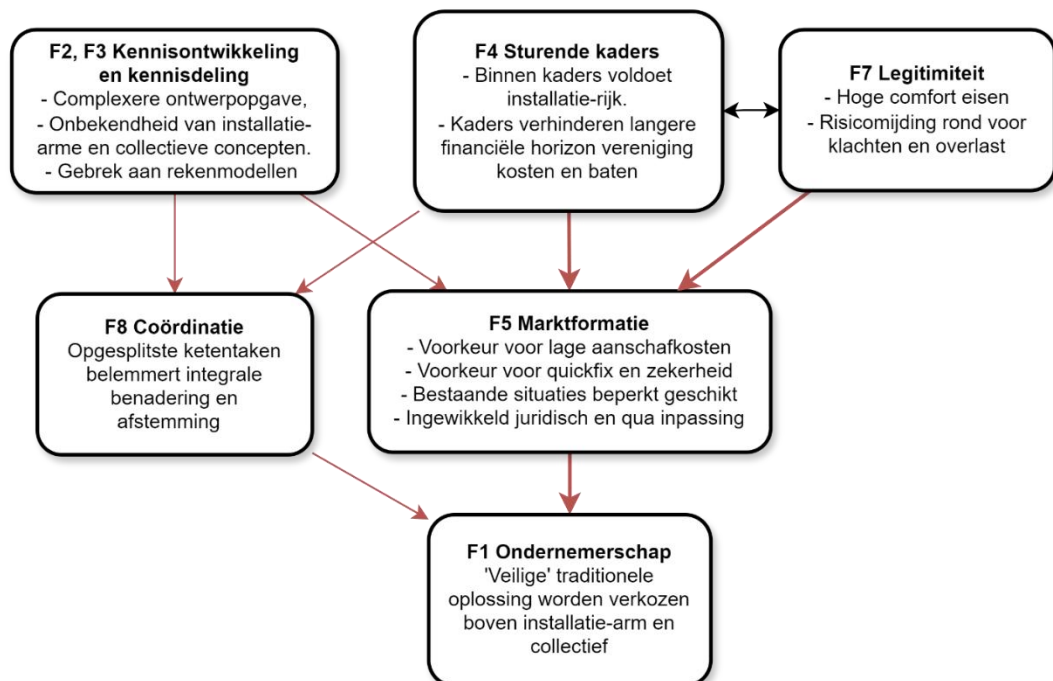
Onder vermindering (*narrowing*) worden onderscheiden: installatie-arm (waaronder passiefbouw) en collectieve systemen. Materiaalvermindering per product wordt hier niet onderzocht, omdat dit binnen business as usual kostenbesparende bedrijfsvoering al een gangbare maatregel is. Materiaalvermindering van onwenselijke of schadelijke materialen, wordt gezien als substitutie en wordt onder die paragraaf besproken.

4.3.1.1 Systeemdynamiek en knelpunten voor Vermindering

Installatie-arm en collectieve systemen

Samenvatting: binnen de huidige sturende kaders voldoen conventionele individuele installaties doorgaans aan de gestelde eisen, waardoor de noodzaak voor installatie-arme en collectieve oplossingen beperkt is en marktvorming achterblijft. Tegelijkertijd vragen beide oplossingsrichtingen meer ontwerp-kennis, afstemming en ketensamenwerking, terwijl hoge comforteisen en angst voor overlast en financiële kaders en voorkeuren leiden tot risicomijding, waardoor opdrachtgevers en -nemers 'veilige' bewezen oplossingen blijven verkiezen.

Onderstaande figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.5: Systeemdynamiek en knelpunten rond Vermindering. Dik omrande elementen zijn het meest invloedrijk.

Binnen de huidige BENG- en MPG-kaders bestaat weinig noodzaak om installatie-arme of collectieve concepten toe te passen. BENG stuurt sterker op energieprestaties tijdens de gebruiksfase dan MPG op materiaalimpact, terwijl de beperkte aanscherping van de MPG en uitzonderingen voor compacte woningbouw voorkomen dat materiaalbesparing een doorslaggevende ontwerpafweging wordt (Int1). Juist compacte woningbouw werd als kansrijk gezien, omdat de combinatie van BENG- en MPG-eisen daar mogelijk zou aanzetten tot installatie-arm ontwerpen (Int1). Ook bij een sterkere beleidsmatige sturing ontbreken echter nog geschikte rekentools om de materiaalimpact van installatie-arme ontwerpen inzichtelijk te maken (Int1,2). Daarnaast wordt de toenemende netcongestie nog nauwelijks gekoppeld aan installatie-arme concepten, terwijl deze juist de overvraging van het net kunnen beperken.

Voor beide oplossingsrichtingen geldt dat zij complexere ontwerpprocessen vragen dan conventionele individuele installaties. Ze vereisen meer engineering, afstemming tussen disciplines en samenwerking in de keten, waardoor risico's en transactiekosten toenemen. Omdat individuele systemen binnen de huidige kaders doorgaans al voldoende presteren, ontbreekt voor veel opdrachtgevers de noodzaak om deze extra complexiteit te accepteren. Ook wordt aangegeven dat veel bestaande situaties niet bouwkundig voldoende geschikt voor renovatie met installatie-arme concepten, of de kosten hiervan zeer hoog zijn.

Bij installatie-arme concepten spelen daarnaast comfort en financiële afwegingen een belangrijke rol. Corporaties en particuliere huishoudens sturen vooral op lage investeringskosten, comfort en beperkt ongemak, en minder op total cost of ownership (TCO). Interviewees geven aan dat vanuit regelgeving geëiste korte financiële horizon het vermogen van corporaties beperkt om investeringen terug te verdienen, en vastgelegde rolverdelingen verhinderen om investeringen in passieve maatregelen terug te verdienen via de (sociale) huur (Int1,2). Huishoudens zijn vaak gericht op een laagdrempelige 'quickfix' tegen lage aanschafkosten (Int4), waardoor voorkeur bestaat voor één-op-één vervanging door een (hybride) warmtepomp of de toevoeging van airconditioning (Int1,4). Comforteisen vanuit het Bbl worden bovendien vaak conservatief geïnterpreteerd, waardoor installateurs uit voorzorg kiezen voor ruim bemeten installaties (Int1,2,3). Installatie-arme concepten vragen daardoor meer ontwerp-kennis en nauwkeurige engineering, terwijl bouwkundige ingrepen bovendien meer overlast veroorzaken voor bewoners (Int4).

Bij collectieve systemen ligt de aanvullende complexiteit vooral in systeemintegratie, eigendom en beheer, met name bij bestaande situaties - collectieve opwekking en distributie vereisen meer coördinatie tijdens ontwerp, aanleg en exploitatie (Int1,3). Ook juridische vraagstukken rond eigendom, beheer en onderhoud maken collectieve systemen (voor zowel particulieren als projectontwikkelaars) minder aantrekkelijk dan individuele oplossingen. Hierdoor kiezen ontwikkelaars en andere opdrachtgevers veelal voor de eenvoud van individuele installaties (Int1). Een belangrijke uitzondering vormen warmtenetten op wijkniveau, waarvoor vanuit het Programma Versnelling Gebouwde Omgeving (PVGO) expliciete beleidsmatige sturing bestaat.

De combinatie van beperkte sturing op materiaal, hogere ontwerp- en organisatiecomplexiteit en een voorkeur voor bewezen oplossingen leidt ertoe dat zowel installatie-arme als collectieve concepten vooralsnog slechts beperkt worden toegepast. Vooral intrinsiek gemotiveerde, vaak publieke, opdrachtgevers passen deze concepten toe.

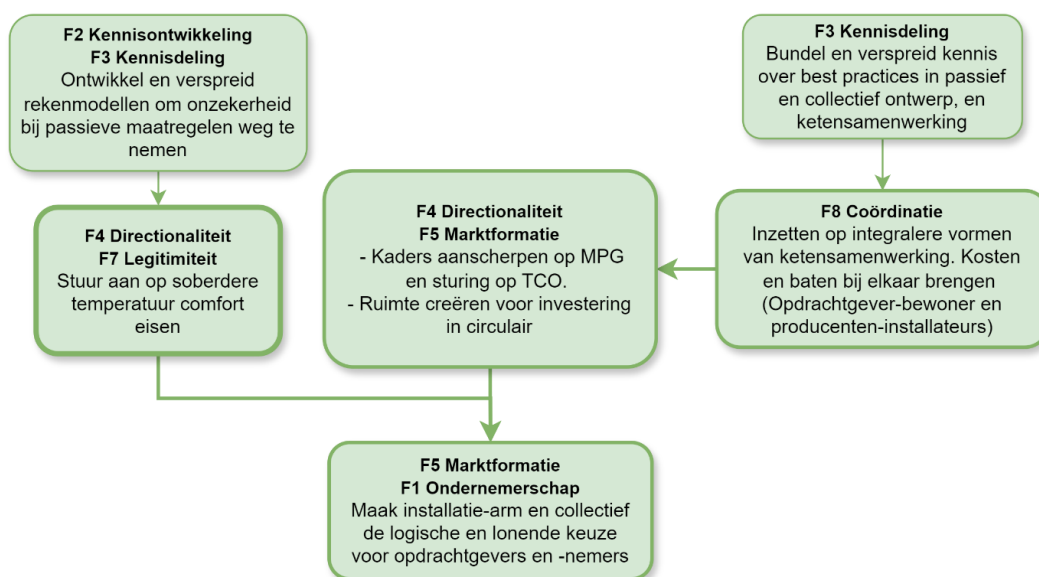
4.3.1.2 Mogelijke Interventierichtingen voor Vermindering

De kern ligt bij het creëren van waardepropositie voor opdrachtgevers, de meest bepalende actor. Opdrachtgevers hebben kaders en prikkels nodig die in de richting van vermindering wijzen, anders zullen ze traditionele oplossingen blijven prefereren. Allereerst zijn daarvoor kaders nodig die scherp sturen op materiaalbesparing, ten opzichte van de huidige dominantie van energiebesparing. Evenwel moet daarin een integrale afweging bestaan, zodat versterking van circulariteit niet ten koste gaat van het grotere duurzaamheidsplaatje. Opdrachtgevers moeten ook in staat gesteld worden om financieel uit te komen met circulaire oplossingen, wat vereist dat een langere financiële horizon wordt toegestaan. Anderzijds is het belangrijk om ketensamenwerking zo in te richten dat versnipperde kosten en baten van circulaire bij elkaar komen. Een opdrachtgever moet gemaakte kosten die ten bate komen van bewoners via lagere energiekosten, kunnen terugverdienen. Maar ook moeten de meerkosten van engineering en maatwerk door producenten kunnen worden terugverdiend vanuit de baten van minder onderhoud bij bijvoorbeeld installatie-arm.

Een cruciale vereiste is dat de sector vertrouwen heeft in de prestaties van installatie-arm en collectief. Hiervoor is nodig dat er goede rekenmodellen zijn die betrouwbaar inzicht geven in eventuele temperatuuroverschrijdingen. Aan de andere kant is het belangrijk om een cultuurverandering in te zetten rond temperatuur, waarbij verwachtingen versoerd worden van wat een gebouw (of specifieke ruimtes) *on-demand* kan leveren aan temperatuur.

Het uiteindelijke doel is dat passief en collectief voor alle ketenpartijen gezien gaan worden als een logische oplossing. Hiervoor zijn positieve voorbeelden nodig van good practices, zowel qua ontwerp, als de vormen van keteninrichting die nodig zijn als fundament onder deze successen.

Onderstaand figuur vat bovenstaande interventiepunten samen in onderlinge samenhang. Pijlen geven aan hoe interventiepunten elkaar versterken. De dikte van elementen geeft het relatieve belang weer.



Figuur 4.6: Interventierichtingen steunende systeemdynamiek voor vermindering

4.3.2 Substitutie

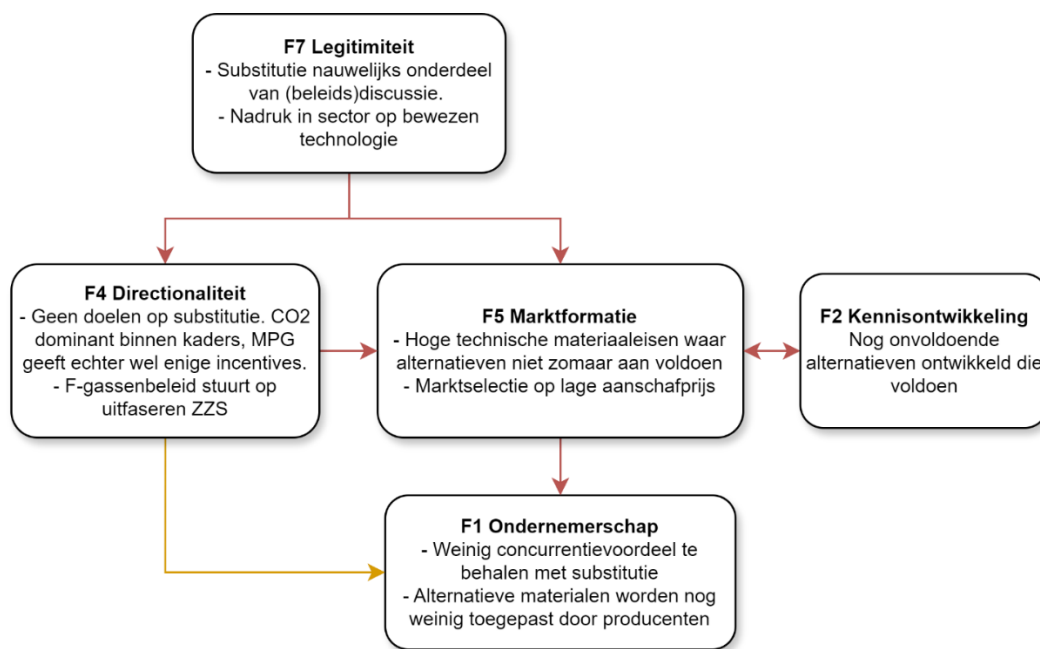
Substitutie (*substitute*) kent verschillende vormen onder de noemer van 'alternatieve materialen': biobased materialen, alternatieven voor CRMs, alternatieven voor ZZS. Toepassen van recyclaat wordt vanwege de hoge mate van verknoottheid besproken onder Hoogwaardige verwerking.

Substitutie blijkt een zeer weinig prominente oplossingsrichting te zijn binnen circulaire klimaatinstallaties – daardoor is de analyse beperkt gehouden. Hieronder wordt een compactere weergave van enkele observaties gegeven.

4.3.2.1 Systeemdynamiek en knelpunten rond Substitutie

Samenvatting: *dankzij gebrek aan doelen en slechts incidentele prikkels voor substitutie, hoge technische materiaaleisen en marktselectie op lage aanschafprijs, en soms gebrek aan serieuze alternatieven, is er voor producenten weinig business case voor toepassen van substitutie.*

Onderstaande figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.7: Systeemdynamiek rond Substitutie (excl. recyclaat). Rode pijlen geven negatieve invloed weer, oranje pijlen gemengde invloed.

Biobased materialen worden in interviews en beleidsdocumenten nauwelijks genoemd als circulaire strategie voor klimaatinstallaties en zijn ook niet opgenomen in de productspecifieke doelen van het NPCE. Alleen binnen installatie-arme concepten is enige toepassing zichtbaar, bijvoorbeeld in de vorm van biobased isolatiematerialen.

Voor kritieke grondstoffen (CRM's) ligt de beleidsmatige nadruk momenteel vooral op leveringszekerheid en strategische autonomie. De Critical Raw Materials Act (CRMA) stelt

doelen voor Europese winning en recycling van kritieke grondstoffen, maar stuurt niet op vervanging door alternatieve materialen in de productiefase. Zolang primaire materialen voldoende beschikbaar en betaalbaar blijven, ervaren producenten weinig prikkel om alternatieven te ontwikkelen of toe te passen (Int2,3). Bovendien zijn veel CRM's technisch lastig te vervangen, zoals edelmetalen in printplaten en permanente magneten. Waar substitutie wel plaatsvindt, is dit vaak ingegeven door bestaande MPG kaders. Zo vervangen sommige producenten koperen vaten door stalen vaten vanwege gunstigere milieuscores (Int3). Tegelijkertijd kunnen dergelijke prikkels onbedoelde effecten hebben: kunststof leidingen scoren bijvoorbeeld gunstiger binnen de MPG-methodiek dan koperen leidingen, terwijl zij een kortere levensduur kunnen hebben en – bij gebrek aan losmaakbaarheid – eerder tot volledige vervanging van installaties leiden (Int2,3).

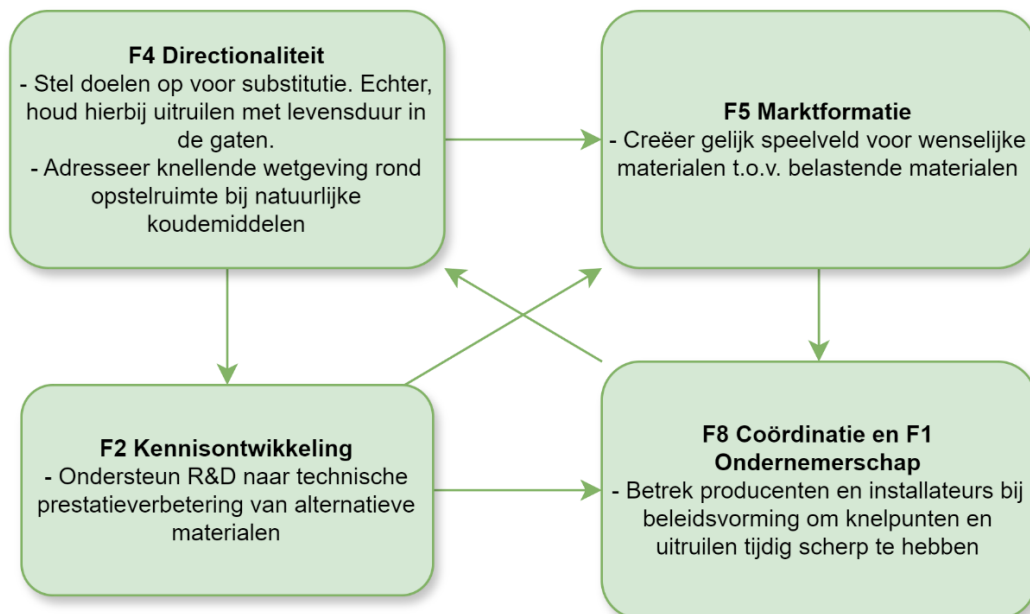
Voor zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) is de dynamiek anders. Vanuit de aangescherpte F-gassenverordening versnelt de uitfasering van HFK koudemiddelen met een hoog GWP. Op relatief korte termijn (2025-2032) gelden verboden op nieuwe installaties en bijvullen met HFK's, waardoor de sector noodgedwongen overstapt op natuurlijke en nieuwe generaties koudemiddelen (HFO's). HFO's zijn echter PFAS en onderdeel van het PFAS restrictievoorstel. Producenten stellen zich hierop in, door bijvoorbeeld propaan toe te passen in nieuwe modellen. Echter zijn er nog wel juridische knelpunten. Mede wegens brandbaarheid van propaan beperken voorschriften tot een 'intrinsiek veilig toestel bij een inhoud tot 150 gram propaan' (Int3); bij meer koudemiddelinhoud gelden aanvullende eisen voor de opstellingsruimte, die binnen woningbouw zeer beperkt is. Producenten hopen daarom dat deze wetgeving versoepeld wordt, en anderzijds wordt ingezet op innovatie om warmteprestatie per gram propaan te verbeteren. Aan de achterkant van de keten bestaat een probleem rond handhaving op het correct verwerken van koudemiddelen. Dit wordt onder Recycling besproken.

4.3.2.2 Mogelijke interventiepunten voor Substitutie

Directionaliteit vormt het eerste aangrijpingspunt. Concretere beleidsdoelen en sturende kaders voor materiaalsubstitutie kunnen incentive creëren voor producenten. Hierbij is echter wel de vraag wat het uiteindelijke doel is, en welke indicatoren leidend zijn – de uitruilen hierboven beschreven tonen aan dat bijvoorbeeld lichtere materialen niet per se meer circulair zullen zijn. In ieder geval kan kritisch worden gekeken naar knellende wetgeving die nu toepassing van natuurlijke koudemiddelen bemoeilijkt. Substitutie door producenten zal vooral reageren op sturende kaders en materiaalprijzen – een gelijk speelveld creëren voor alternatieve materialen kan producenten helpen andere keuzes te maken. Dit speelveld wordt ook bepaald door de staat van (productie)technologie en prestaties van alternatieven, waarin stimuleren van R&D kan ondersteunen, door bijvoorbeeld prijsverlaging en verbeteren van hittebestendigheid van biobased plastics. Echter, ook hier blijft een uitruil bestaan met andere circulaire strategieën, zoals recycling.

Coördinatie en ondernemerschap (F8/F1) vormen hierbij een verbindende schakel. Door producenten en installateurs, maar ook de achterkant van de keten vroegtijdig te betrekken bij beleidsvorming kunnen technische en praktische knelpunten sneller worden gesignaleerd. Hierdoor kunnen beleidsdoelen realistischer worden vormgegeven, wordt R&D beter gericht op de belangrijkste belemmeringen en kan regelgeving tijdig worden aangepast. Zo ontstaat een positieve terugkoppeling waarin beleid, marktontwikkeling, kennisontwikkeling en ondernemerschap elkaar wederzijds versterken.

Onderstaand figuur vat bovenstaande interventiepunten samen in onderlinge samenhang. Pijlen geven aan hoe interventiepunten elkaar versterken. De dikte van elementen geeft het relatieve belang weer.



Figuur 4.8: Mogelijke interventiepunten voor substitutie

4.3.3 Levensduurverlenging

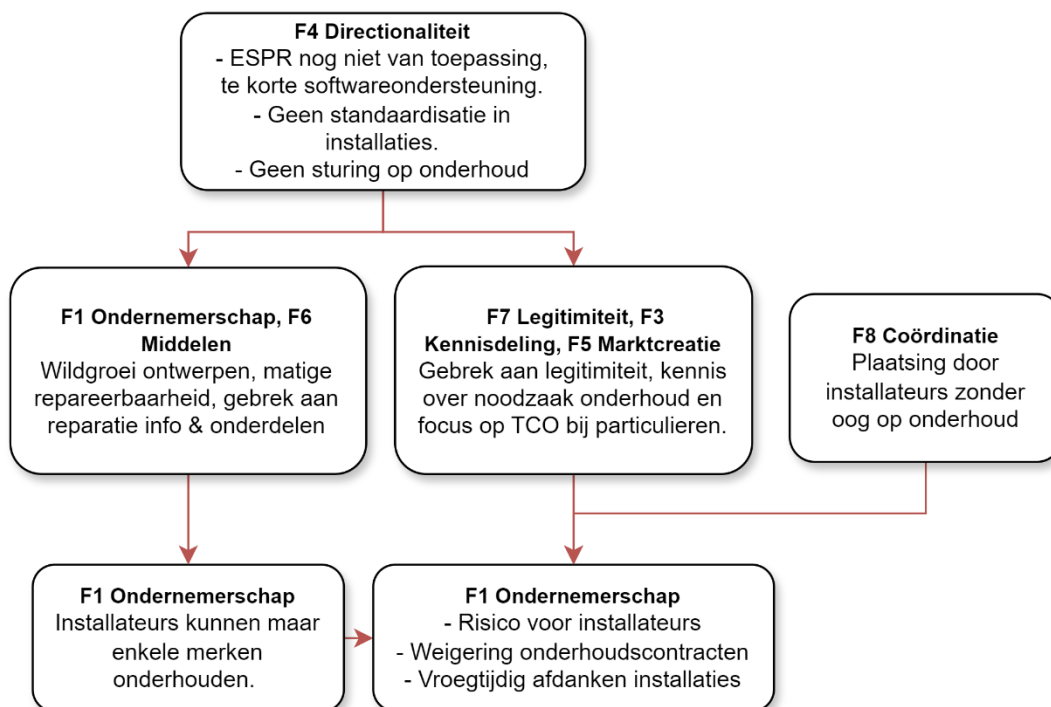
Binnen levensduurverlenging (*slowing*) van klimaatinstallaties is verschil zichtbaar in systeemdynamiek en resulterende knelpunten tussen: onderhoud en reparatie, en circulair productontwerp, hergebruik en revisie.

4.3.3.1 Systeemdynamiek en knelpunten rond Levensduurverlenging

Onderhoud en reparatie

Samenvatting: *nog ontbrekende sturing en standaardisering creëert wildgroei aan ontwerpen en gebrekkige repareerbaarheid, kennisdeling en reparatieresources, waardoor installateurs slechts enkele merken onderhouden. Vanuit particulieren is er gebrek aan legitimiteit, kennis over noodzaak onderhoud en TCO, waardoor weinig particulieren onderhoudscontracten afsluiten. Deze ontbrekende onderhoudsgeschiedenis, en plaatsing van installaties zonder oog op reparatietoegang leiden tot risicomijding en weigering van opdrachten. Ten slotte zorgt korte softwareondersteuning voor vroeg afdanken van installaties.*

Onderstaand figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.9: Systeemdynamiek rond Onderhoud en reparatie. Dik omrande elementen zijn het meest invloedrijk.

Professionele en grote opdrachtgevers zoals corporaties en ontwikkelaar zien vrijwel altijd de noodzaak in van onderhoudscontracten en sluiten deze ook af. Particulieren hebben echter lange tijd ten onrechte de boodschap gekregen dat warmtepompen geen onderhoud nodig hebben (Int4). Ook zijn particulieren sterk gericht op lage kosten en hebben minder verstand van TCO. Nadruk op lage kosten en gebrek aan onderhoudscontracten wordt in de hand gewerkt door het segment (kleine) installateurs dat als prijsvechter goedkopere pompen

aanbiedt, maar geen onderhoud aanbiedt (Int1,2,4). Dit leidt ertoe dat particulieren vaak geen onderhoudscontracten afsluiten (Int4).

De combinatie van goedkope warmtepompen en gebrek aan onderhoud geeft problemen. Goedkopere warmtepompen zijn vaak matig repareerbaar ontworpen en hebben geen circuit voor reparatie informatie en onderdelen, mede doordat ESPR nog niet van toepassing is op klimaatinstallaties (Int1,2,3). Door gebrek aan standaardisatie in ontwerp is er een zeer grote variëteit aan ontwerpen op de markt (plusmin 120 soorten op de Nederlandse markt) (Int1,6). Door deze variëteit kunnen installateurs vaak slechts een beperkt aantal merken onderhouden (Int1,2). Dit wordt versterkt door een algemene schaarste aan bekwaam personeel in de sector (Int5). Bij gebrek aan structureel onderhoud vervalt garantie, en is daarnaast de status van een installatie onzeker. Dit geeft risico's voor (potentiële) onderhoudspartijen (Int1,2), die daardoor opdrachten weigeren (Int4). Ook worden vanuit (wettelijke) geluidsoverlast overwegingen, zonder oog op onderhoud, warmtepompen vaak op daken geplaatst; in deze gevallen is onderhoud nauwelijks veilig te verrichten (Int1,2). Ten slotte is door nog ontbrekende ESPR wetgeving

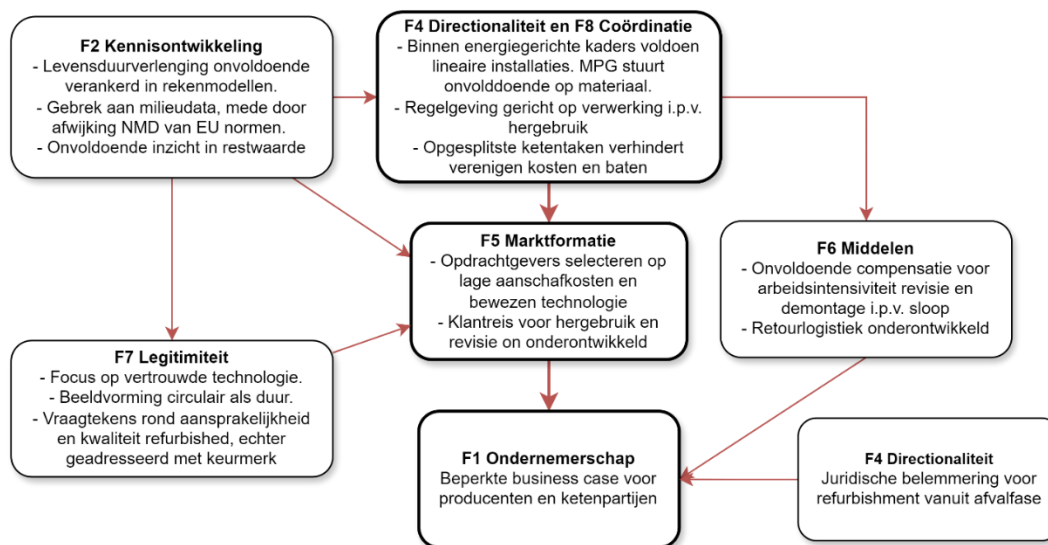
Dit alles tezamen leidt ertoe dat particulieren geregeld in acute problemen komen bij defecten, waar vervolgens onvoldoende installateurs bij kunnen helpen. Dit kan weer leiden tot vroegtijdige afdanking van warmtepompen en zelfs het terug overstappen naar een CV ketel (Int1,4).

Op gebied van actuele technische staat van installaties worden momenteel echter grote stappen gezet in productontwerp middels toepassing van sensoren zodat onderhoud en reparatie doelgericht in plaats van te vroeg (preventief) of te laat (acuut curatief) wordt verricht (Int3).

Modulair productontwerp, hergebruik en revisie

Samenvatting: *de huidige sturende kaders bepalen de selectiecriteria van opdrachtgevers, die primair zijn gericht op energieprestatie, bewezen technologie en lage aanschaffkosten. In combinatie met de scheiding van taken, kosten en baten in de keten leidt dit tot een beperkte waardepropositie voor modulair productontwerp, hergebruik en revisie. Dit gebrek aan stabiele vraag, samen met gebrek aan data en inzicht in restwaarde, financiële ondersteuning en knellende wetgeving, beperkt de businesscase voor producenten en andere ketenpartijen.*

Onderstaande figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.10: Systeemdynamiek rond modulair ontwerp, hergebruik en revisie. Dikte van elementen geeft relatief belang weer.

Binnen de huidige BENG- en MPG-kaders worden de voordelen van circulaire installaties slechts beperkt gewaardeerd. De beoordelingskaders sturen primair op energieprestaties en het gebouw als geheel, terwijl materiaalbesparing, levensduurverlenging en hergebruik beperkt worden meegewogen. Het ontbreken van geharmoniseerde standaarden, milieudata en geschikte ontwerptools vormt hierbij een belangrijke belemmering. Producenten die internationaal opereren hebben weinig prikkel om specifiek voor de Nederlandse markt milieudata op te stellen, terwijl de Nederlandse MPG-methodiek (vanuit NMD) afwijkt van Europese systematiek (Int1,2,3). Ook ontbreekt het ontwerpende partijen aan instrumenten om de meerwaarde van circulaire ontwerpkeuzes in het voorontwerp richting opdrachtgever inzichtelijk te maken. Ten slotte is er nog onvoldoende inzicht in de restwaarde van modulaire installaties (Int2).

Opdrachtgevers sturen daardoor vooral op lage aanschaffkosten, bewezen technologie en korte terugverdiertijden, in plaats van op total cost of ownership en onderhoud (Int1,5). Door de hogere initiële kosten van modulaire installaties sluit de waardepropositie van modulair productontwerp onvoldoende aan bij de prikkels die leidend zijn voor opdrachtgevers. Versnippering van verantwoordelijkheden, kosten en baten in de keten versterkt deze dynamiek. Kosten van modulair ontwerp liggen bij producenten, terwijl de baten – eenvoudiger onderhoud, levensduurverlenging en lagere vervangingskosten – bij andere partijen terechtkomen. Hierdoor ontbreekt voor producenten een duidelijke businesscase om circulair te ontwerpen. Wanneer opdrachtgevers, producenten en installateurs de keten gezamenlijk organiseren en kosten en baten beter worden verenigd, ontstaat deze businesscase wel. Positieve voorbeelden (zoals KlimaatGarant) laten zien dat een alternatief integraal servicemodel (i.p.v. oplevering installatie) via behoud van eigendom over installaties, en partnerschap tussen producenten en onderhoudspartijen de kosten en baten van modulair ontwerp bij elkaar kan brengen (Int3,5).

Hergebruik en revisie stuiten ook specifieke knelpunten. Huidig gebrek aan standaardisatie, modulariteit en de grote variatie aan bestaande productontwerpen maken demontage en revisie arbeidsintensief en bemoeilijken opschaling (Int1,2,6). Daarnaast leiden zorgen over aansprakelijkheid, beperkte ervaring met gereviseerde producten en gevestigde aanbestedingspraktijken tot een voorkeur voor nieuwe installaties (Int1,2,6). Afvalwetgeving en de inrichting van de afvalketen bemoeilijken bovendien dat installaties en componenten daadwerkelijk beschikbaar komen voor hergebruik. Wanneer een installatie de status van 'afval' krijgt, gelden strenge (cenelec) eisen voor het verrichten van handelingen (zoals openmaken en componenten verwijderen) en strenge testen ('einde afvalfase') voor het weer mogen verkopen als veilig bruikbaar product (Int6,10,13). Voldoen aan deze eisen vergt kennis en middelen, wat een drempel kan vormen voor nieuwe initiatieven (Int6,13). Wanneer een installatie wordt gedemonteerd, gaat eigenaarschap direct over naar de installateur, is de installatie daarmee wettelijk afgedankt en daarmee ook afval. Hierdoor is het momenteel alleen mogelijk om gedemonteerde installaties direct her te gebruiken wanneer de eigenaar hetzelfde blijft (zoals een woningcorporatie). Huidige succesvolle revisie modellen omzeilen deze juridische complexiteit door direct tussen installateur en refurbisher defecte en gereviseerde componenten uit te wisselen (Int6).

Voor hergebruik en revisie is schadeloze demontage en goede retour logistiek nodig, waarvoor een transitie van 'sloper' naar 'demonteur' nodig is. Door gebrek aan bekwaam personeel (demontage vergt kennis) en gebrek aan compensatie voor hogere arbeidsintensiviteit, blijft deze transitie nog achter (Int1,2). Groothandels beginnen echter al een grotere rol te spelen in retourlogistiek en inzameling voor hergebruik (Int6). Voor installateurs is nieuw bestellen dermate makkelijk en gestroomlijnd, dat de klantreis van hergebruik en revisie hier zelden tegenop kan (Int2).

4.3.3.2 Mogelijke interventierichtingen voor Levensduurverlenging

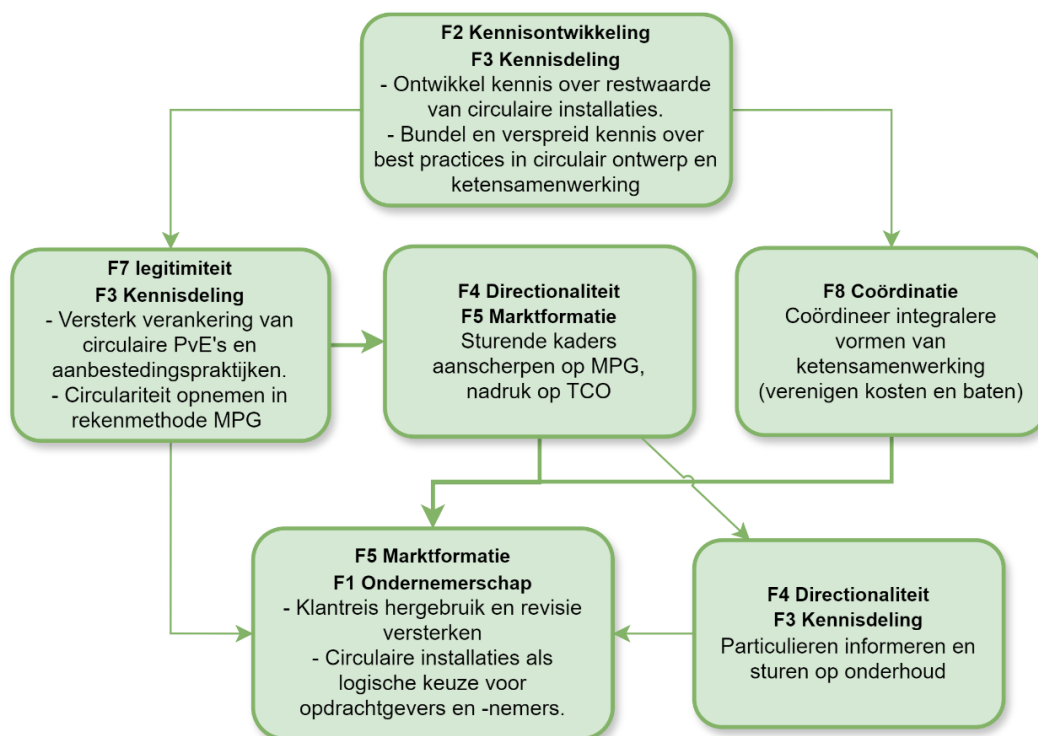
Vraag

De kern ligt bij het creëren van een sterke waardepropositie voor opdrachtgevers, de meest bepalende actor. Zolang kaders en prikkels onvoldoende op circulariteit sturen, zullen traditionele oplossingen de voorkeur houden. Dit vraagt allereerst om scherpere sturing op materiaalbesparing, naast de huidige nadruk op energiebesparing. Daarnaast moeten corporaties meer ruimte krijgen om op een langere financiële horizon te sturen en moeten kosten en baten binnen de keten beter worden verenigd, zodat investeringen in circulaire installaties kunnen worden terugverdiend via lagere onderhouds- en levensduurkosten.

Om circulaire keuzes financieel beter onderbouwd te maken, is meer kennis nodig over de restwaarde van installaties en succesvolle praktijkvoorbeelden. Verankering van circulaire PvE's, aanbestedingspraktijken en de opname van circulariteit in de MPG-methodiek kunnen het vertrouwen in en de waardering van circulaire oplossingen vergroten. Voor particuliere opdrachtgevers ligt de grootste kans in het vergroten van inzicht in total cost of ownership en het stimuleren van onderhoudscontracten. Naarmate circulaire installaties aantoonbaar lagere onderhoudskosten opleveren, zullen zij ook voor deze doelgroep aantrekkelijker worden.

Tot slot is een gelijk spelveld nodig tussen primaire en circulaire materialen, bijvoorbeeld via realistische beprijzing van primaire materialen. Tegelijkertijd moeten ketenpartijen gemakkelijker circulaire keuzes kunnen maken, onder meer door de klantreis voor hergebruik en revisie net zo eenvoudig te maken als die voor nieuwe producten.

Onderstaande figuur toont bovenstaande interventiepunten in samenhang.



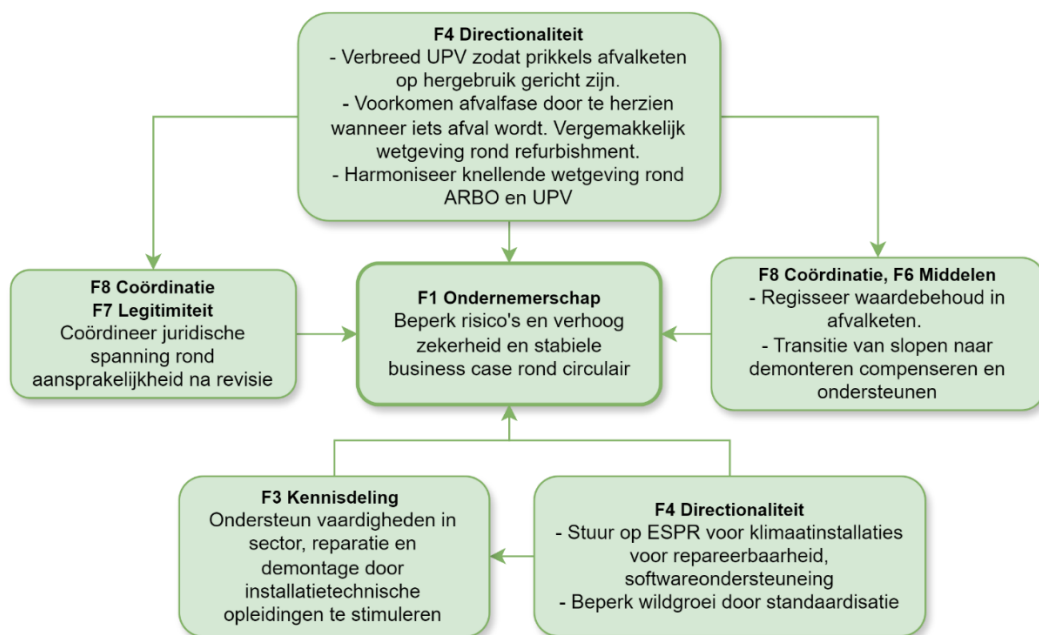
Figuur 4.11: Te interventierichtingen steunende systeemdynamiek voor levensduurverlenging - vraag zijde.

Aanbod

Een gezonde aanbodzijde vraagt om een stabiele en renderende businesscase. Om meer continuïteit in onderhoud te creëren, is het wenselijk particulieren te stimuleren onderhoudscontracten af te sluiten. Hiervoor is het essentieel dat installaties daadwerkelijk repareerbaar zijn; sturing op repareerbaarheid en standaardisatie van ontwerpen vormt daarom een belangrijke randvoorwaarde. Voor revisie is daarnaast meer duidelijkheid nodig over aansprakelijkheid na revisie. Hoewel Right to Repair hiervoor een basis biedt, is verdere ketencoördinatie nodig om onzekerheid en weerstand bij producenten en refurbishers weg te nemen.

Ook voor hergebruik is ondersteuning in kennis en middelen nodig. Stuur de afvalketen sterker op hergebruik en waardebehoud door doelen en prikkels te richten op schadevrij demonteren, zorgvuldig sorteren en behoud van componentkwaliteit. Harmoniseer conflicterende regelgeving, zodat hergebruik mogelijk wordt zonder dat producten eerst de afvalfase ingaan. De overgang van slopen naar demonteren vraagt bovendien om compensatie voor de extra arbeidsinspanning en om versterking van vakkennis via opleidingen, zodat bedrijven minder afhankelijk zijn van interne scholing.

Onderstaande figuur toont bovenstaande interventiepunten in samenhang.



Figuur 4.12: Interventierichtingen steunende systeemdynamic voor levensduurverlenging – aanbod zijde.

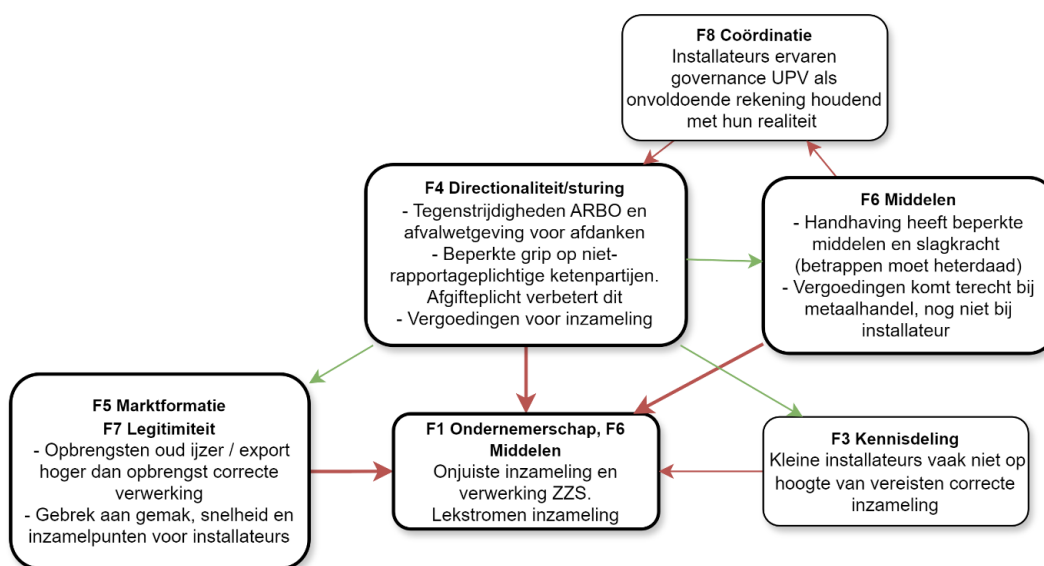
4.3.4 Hoogwaardige verwerking (incl. recyclaat)

Onder de oplossingsrichting Hoogwaardige verwerking (*closing*) wordt voornamelijk de nadruk gelegd op de circulaire potentie van hoogwaardige recycling. Omdat recycling van niet-edele metalen gemeengoed is, wordt in deze analyse de focus gelegd op hoogwaardige verwerking van CRMs en van plastics. In deze analyse wordt wegens de onderlinge verknooptheid hoogwaardige verwerking samen met recyclaat bekeken.

4.3.4.1 Systeemdynamiek en knelpunten rond Hoogwaardige

Samenvatting: *tegenstrijdige kaders, kennisgebrek in de keten over verplichtingen, en financiële afwegingen (ondanks geïntroduceerde prikkels) leiden tot vooralsnog regelmatig tot onjuiste inzameling en verwerking in de keten. Tekorten aan afstemming met realiteit van installateurs en beperkte slagkracht van handhaving houden dit in stand, al is er verbetering op komst door de afgifteplicht.*

Onderstaand figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.13: Systeemdynamiek rond inzameling. Rode pijlen geven negatieve invloed weer, groene pijlen positieve invloed. Dikte van elementen geeft relatief belang weer.

Inzameling van klimaatinstallaties verloopt vaak nog niet zoals gewenst. Vanuit wettelijke kaders zijn er strikte vereisten aan het verzamelen van installaties, o.a. vanwege koudemiddelen met hoog GWP of vanwege F-gassen als koudemiddelen. Installateurs zijn sinds 2022 verplicht om installaties af te danken via cenelec-gecertificeerde partijen. Evenwel is het lastig om strak te handhaven omdat overtredingen praktisch alleen heterdaad kunnen worden betrapt en handhavingdiensten niet overal tegelijk kunnen zijn.

Het grootste knelpunt wordt gevormd doordat er voor installateurs financiële incentives zijn om installaties in het zwarte circuit af te danken. Dit komt doordat de kosten van correcte inzameling ten koste gaan van de netto prijs/kilo die een installateur kan opdoen voor een installatie. Stichting OPEN poogt deze incentives te verbeteren door ten eerste via Wecycle

gratis installaties aan te nemen (in plaats van tegen betaling), en daarnaast ook via de Stimuleringsregeling 150 euro/ton te bieden voor gescheiden ingezamelde inbouw airco's en warmtepompen. Voor sommige stromen installaties geldt echter een (zwarte) marktwaarde die dit bedrag flink overstijgt (Int2,10). Installateurs geven aan dat stimuleringsgelden nog vooral bij metaalhandel terecht komt, minder bij installateurs, en dat gemak en snelheid van goed inzamelen te wensen over laat (Int2).

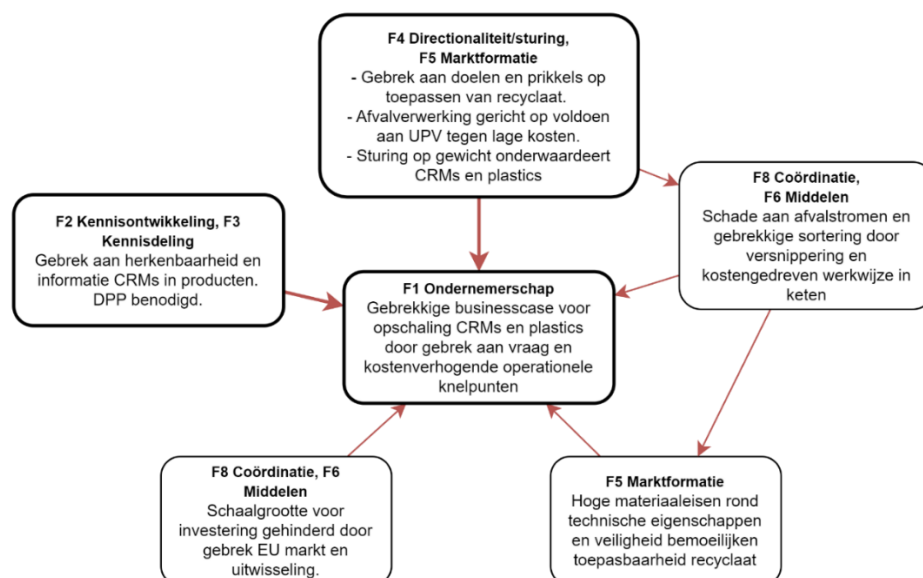
Daarnaast wordt inzameling bemoeilijkt door conflicterende regelgeving. De ARBO stuurt aan op demonteren (in praktijk slopen met waardeverlies) van installaties i.p.v. beperking van te tillen gewicht. Vanuit afvalwetgeving is daarentegen verplicht om installaties in zijn geheel aan te bieden, omdat wettelijk gezien (vanwege veiligheid) enkel cenelec gecertificeerde partijen installaties mogen demonteren. Installateurs ervaren een gebrek aan invloed op de inrichting van deze kaders doordat ze maar weinig in de governance van de inzamelketen zijn opgenomen. Ook speelt mee dat het voor (vooral) kleine installateurs nog niet altijd bekend zijn met verplichtingen en vereisten. De aankomende afgifteplicht geeft verbetering op deze vlakken.

Onderstaand figuur vat bovenstaande bevindingen samen in onderlinge samenhang. Pijlen geven aan hoe knelpunten elkaar beïnvloeden. Rood duidt op negatief versterkende invloed, groen op positief versterkende invloed. De dikte van elementen geeft het relatieve belang weer.

Hoogwaardige verwerking en toepassen recyclaat

Samenvatting: *sturing ontbreekt op waardering van CRMs en plastics, toepassen van recyclaat en waarborging van hoog waardebehoud in de afvalketen, wat samen met taakversnippering leidt tot schade en gebrekkige sortering, wat samen met hoge materiaaleisen leidt tot mismatch tussen vraag en aanbod. Daarnaast mist productinformatie waar efficiënte sortering en demontage van afhankelijk zijn, en een gebrek aan EU schaalgrootte voor AEEA stromen hindert opschaling.*

Onderstaand figuur laat deze systeemdynamiek in samenhang zien. Onder de figuur wordt verdere toelichting gegeven.



Figuur 4.14: Systeemdynamiek rond Hoogwaardige verwerking en toepassen recyclaat. Dikte van elementen geeft relatief belang weer.

De kern van de knellende systeemdynamiek is een gebrek aan business case voor hoogwaardige verwerking, door gebrek aan markt voor recyclaat en vraag van voldoende stabiele en grootte om CRMs en plastics op te kunnen schalen.

Aan de basis ligt een gebrek aan sturing. Producenten hebben geen verplichting om recyclaat toe te passen, waardoor dankzij relatief goedkope primaire materialen, producenten geen reden hebben om recyclaat toe te passen. ESPR wetgeving gaat naar verwachting echter een minimaal percentage gerecyclede CRM vereisen voor elektronische apparaten, waartoe opwekkende klimaatinstallaties ook behoren (Int11,12). Invulling van de UPV is sterk gericht op kostengedreven afvalverwerking, waarbij gewicht de sturende metric is. Voor bulk metalen (ijzer, koper) werkt dit systeem goed, maar door nadruk op gewicht worden CRMs en plastics ondergewaardeerd. Daarnaast leidt focus op gewicht tegen lage kosten tot schade aan afvalstromen. Met name logistieke partijen hebben weinig prikkel voor waardebehoud, hetgeen leidt tot ruwe praktijken. Vooral voor hoogwaardige verwerking is het cruciaal dat schade voorkomen wordt, omdat anders demontage van specifieke componenten en materialen sterk bemoeilijkt wordt (Int8,9).

Herkenbaarheid van waardevolle materialen in afvalstromen is een uitdaging. Vooral bij CRMs is het voor een efficiënt proces cruciaal om te weten waar in welk product welke materialen zich bevinden, en hoe deze vrij te spelen zijn. Een Digitaal Product Paspoort (DPP) wordt gezien als belangrijk oplossing hiervoor, deze is momenteel in ontwikkeling (Int11,12). Operationeel is herkenning en demontage van materialen wegens arbeidsintensiviteit een grote kostenpost. Sortering met AI wordt gezien als belangrijke voorwaarde voor kosteneffectiviteit. Recyclers geven aan dat relatief veel middelen gaan naar theoretisch onderzoek dat beperkt behulpzaam is in het opzetten van praktische processen (int9).

Voor recyclers vormen materiaaleisen een uitdaging in wat ze de markt kunnen bieden. Recyclaat is formeel toegestaan, maar industrie normeringen voor klimaatinstallaties stellen vaak vanuit veiligheid en technische integriteit hoge eisen aan kunststoffen. Plastics op basis van recyclaat kan hier vaak niet aan voldoen, hetgeen verergerd wordt naarmate de input stromen minder goed gescheiden zijn (zie vorige alinea).

Vanwege de kleine hoeveelheden materiaal/unit is Europese schaalgrootte cruciaal voor CRMs. Huidige Waste Shipment Regulation (WSR) veroorzaakt momenteel moeilijkheden, doordat verplaatsingsaanvragen ruim op tijd moeten worden aangevraagd terwijl logistieke partijen een dynamische operatie hebben (Int9). Schaalvergroting in CRM verwerking is steeds belangrijker naarmate materiaalbesparing leidt tot kleinere hoeveelheden materiaal/unit en daarmee de business case van verwerking zwakker wordt.

4.3.4.2 Mogelijke interventierichtingen voor Hoogwaardige verwerking

De kern wordt gevormd door een versterking van correcte inzameling als input voor een stabiele business case voor recycling en toepassing van CRMs en plastics.

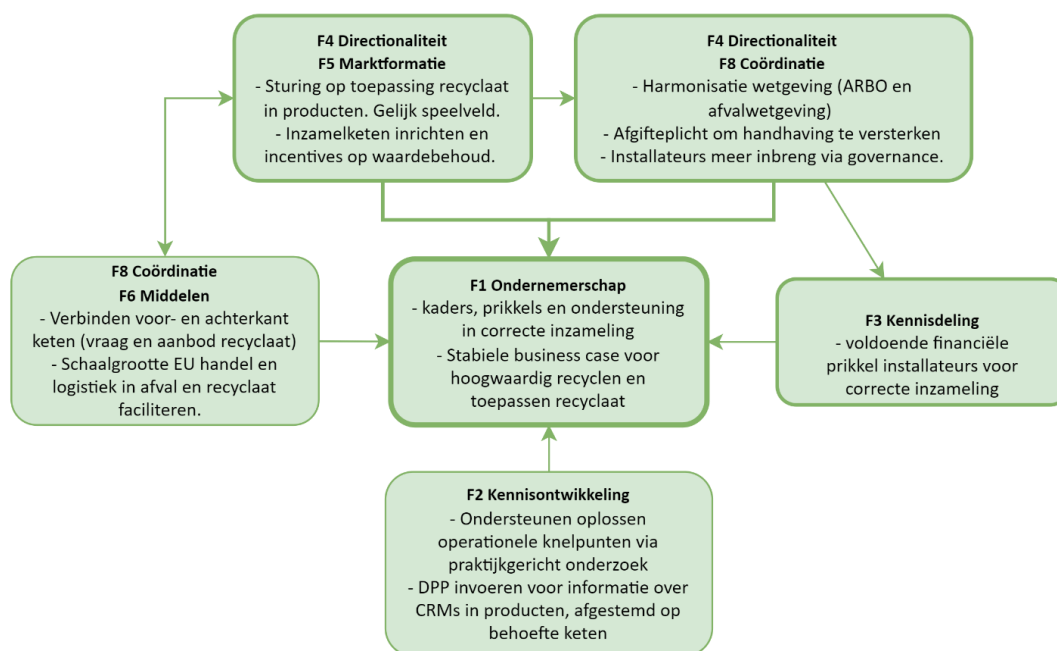
Allereerst dient er vraag te zijn naar recyclaat. Aangezien primair materialen nog te goedkoop zijn, ontbreekt een gelijk speelveld. Sturing is nodig om producenten reden te geven recyclaat toe te passen – dit kan enerzijds door primair realistischer te beprijzen of door recyclaat verplicht te stellen (zoals ook de geest is van de CRMA). Een functionerende markt bevat een koppeling tussen specifieke vraag en specifiek aanbod. Hiertoe is het belangrijk middels sectorcoördinatie vraag en aanbod bij elkaar te brengen door voor- en achterkant van de keten

in gesprek te brengen over materiaalvereisten aan technische kunststoffen en wat recyclers nodig hebben (aan toestroom en sortering) om deze kwaliteit te kunnen leveren.

Deze gesprekken kunnen ook verhelderen welke operationele knelpunten recyclers nog tegenaan lopen. Het vaak te theoretische onderzoek naar proof of concept kan op basis hiervan praktijkgericht worden ingestoken. Een voorbeeld hiervan is de concrete eigenschappen die een DPP moet hebben om recyclers te helpen om kosteneffectief de juiste kwaliteit te leveren. Omdat een bekend knelpunt schade aan afvalstromen is, is het belangrijk de inzamelketen meer in te richten op waardebehoud. Dit gaat zowel om rolverdelingen en prikkels, alsook concrete operationele keuzes met als doel het creëren van eigenaarschap over beperken van schade, en sorteren en scheiden op het beste moment. België wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van palletboxen voor inzameling, wat duurder is maar wel schade beperkt.

Aan de kant van inzameling is het belangrijk dat installateurs meer baat hebben bij correcte inzameling dan zwarte handel. Dit gaat bijvoorbeeld om het versterken van ophaaldiensten en bieden van concurrerende vergoedingen. Ook is het belangrijk om door de ogen van installateurs naar de keten te kijken, en conflicterende wetgeving te harmoniseren (bijv. ARBO versus UPV, zie analyse knelpunten). Tezamen kunnen bovenstaande interventies bijdragen aan het ontstaan van een stabiele en rendabele business case voor hoogwaardige recycling.

Onderstaande figuur toont mogelijke interventierichtingen om de systeemdynamiek voor recycling meer ondersteunend te maken voor goede inzameling en hoogwaardige verwerking en toepassing van recyclaat.



Figuur 4.15: Interventierichtingen steunende systeemdynamiek voor Recycling

4.4 Overkoepelende dynamieken, interventiepunten en overzicht bevindingen

In deze paragraaf worden overkoepelende lessen getrokken uit de verschillende analysestappen van de MIS analyse. Eerst worden interacties tussen de circulaire strategieën besproken. Vervolgens worden overkoepelende knelpunten besproken, met daarbij een aantal belangrijke interventiepunten. Ten slotte worden de bevindingen uit de MIS analyse in tabel overzicht gepresenteerd.

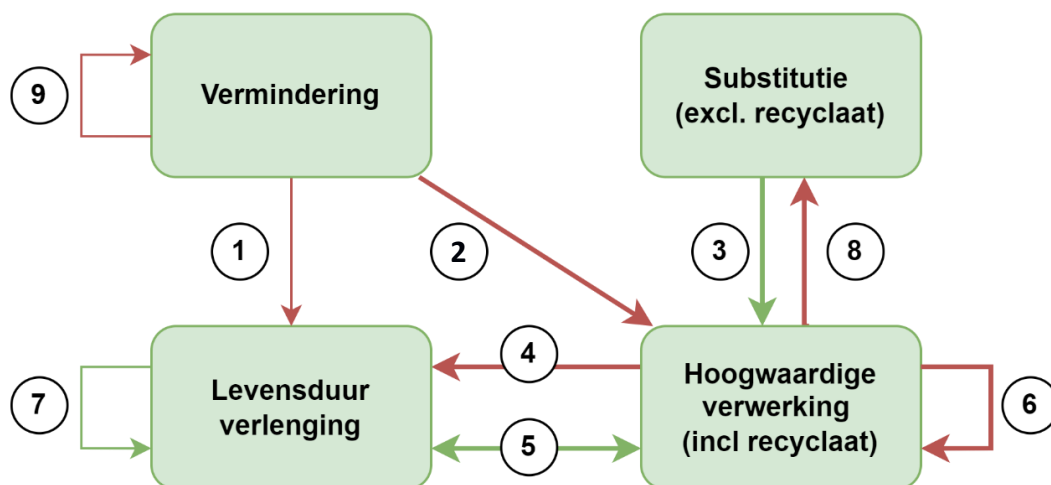
4.4.1 Reflectie en interactie tussen oplossingsrichtingen

Hier wordt een aantal interacties geschetst tussen de verschillende circulaire oplossingsrichtingen. Vervolgens worden hierover een aantal observaties gedaan. De nummers corresponderen met nummers in onderstaande figuur.

1. Vermindering van materiaal kan op gespannen voet staan met levensduurverlenging²² en daarbij leiden tot lagere restwaarde van producten. Vermindering van CRMs en edelmetalen in bijvoorbeeld printplaten kan recycling technisch en economisch lastiger maken²³ (int8,9).
2. Substitutie van bijvoorbeeld koperen leidingwerk met kunststof kan materiaalgebruik en impact verlagen, maar ook levensduur en herbruikbaarheid beperken.
3. Substitutie van ZZS in kunststoffen (zoals brandvertragers) verbeteren de recycling van plastics.
4. Huidige kaders en prikkels leiden tot prioritering van verwerking boven hergebruik.
5. Reparabel ontwerp is vaak ook recyclebaar ontwerp. Hierdoor hebben recycling en levensduurverlenging baat bij modulair en goed demontabel ontwerp.
6. Als de primaire prioriteit bij inzameling en verwerking milieuveilige afhandeling is, is het niet vanzelfsprekend dat de prioriteit ook ligt bij de hoogwaardigheid van die verwerking.
7. Wat niet reparabel is, kan nog wel herbruikbare onderdelen bevatten.
8. Huidige recycling processen kunnen, afhankelijk van de chemische samenstelling, biobased plastics ongeschikt voor recycling bevinden.
9. Installatie-arme concepten zijn minder flexibel in temperatuurregulatie en wisselen in functie van gebouw. Daardoor bestaat het risico dat op later moment alsnog installatierijke oplossingen worden toegevoegd (Int2).

²² Bijvoorbeeld robuustheid en repareerbaarheid negatief beïnvloeden door respectievelijk lightweighting en integratie van componenten.

²³ o.a. moeilijk te scheiden gespoten aluminium, minder waardevol e-waste door edelmetaal reductie in printplaten, moeilijk te scheiden composieten en fracties bij lichtgewicht plastics.



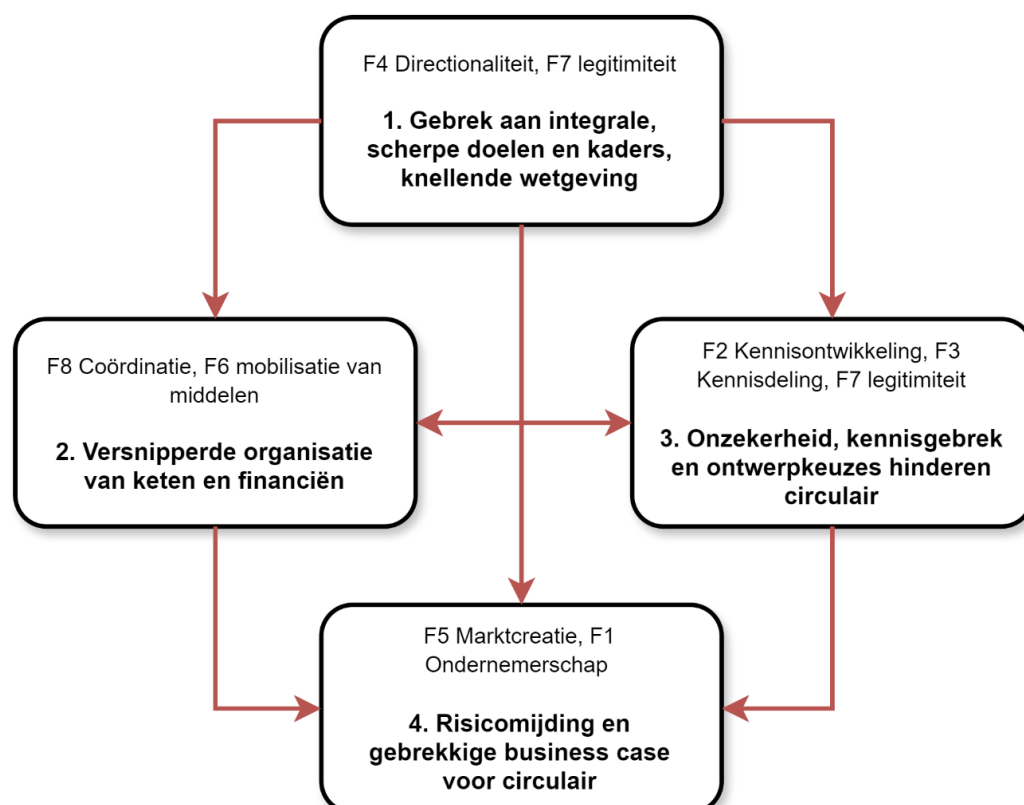
Figuur 4.16: Interacties tussen circulaire oplossingsrichtingen

Uit deze interacties komt een aantal punten naar voren:

1. Vermindering is opvallend 'losstaand' en enkel in negatieve interactie met de andere strategieën vanuit materiaalvermindering. Dit is logisch, aangezien installatie-arm en collectief 'refuse' en 'rethink' maatregelen zijn en daardoor juist minder met installaties te maken (willen) hebben.
2. Substitutie is een diffuse oplossingsrichting zonder één eenduidige logica. In de klassieke circulaire terminologie van *narrowing-slowing-closing* heeft deze ook geen plaats. Het lijkt eerder dat substitutie gaat om randvoorwaarden die gesteld worden aan materialen (veiligheid, rond ZZS). Substitutie van koper met kunststof kan even goed gezien worden als een verminderingsmaatregel.
3. Levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking zijn zowel elkaars grootste huidige concurrent als (potentiële) bondgenoot. Dit zit vooral in de kaders en keteninrichting die nu aanstuurt op verwerking boven hergebruik. In potentie kan de afvalfase vaak voorkomen worden, als hiervoor de juiste kaders, prikkels en coördinatie op plaatsvindt.
4. Hoogwaardige verwerking bevat een interne spanning tussen efficiënte bulkverwerking tegen lage kosten, en hoogwaardig terugwinnen van specifieke (CRM) materialen. Deze interne spanning heeft ook raakvlak het vorige punt en dient geadresseerd te worden om tot meer circulaire klimaatinstallatie keten te komen.

4.4.2 Overkoepelende knelpunten en interventiepunten

In deze paragraaf wordt op basis van de verrichte analysestappen in deze MIS analyse een viertal overkoepelende knelpunten geïdentificeerd, die over de verschillende circulaire strategieën heen zichtbaar zijn. Voor een integrale beweging richting een meer circulaire keten voor klimaatinstallaties, dienen deze overkoepelende knelpunten te worden geadresseerd, en samenhang met de specifieke knelpunten per circulaire strategie.



Figuur 4.17: Overkoepelende knelpunten

Gebrek aan integrale, scherpe doelen en kaders, knellende wetgeving

Doelen van woningbouwopgave en energietransitie domineren circulaire doelen. Huidige kaders sturen vooral op energiebesparing, circulaire oplossingen zijn niet nodig voor het behalen van de huidige kaders. Aanscherpingen op materiaalgebruik zou waardepropositie kunnen creëren voor circulaire opties, maar deze aanscherping blijft uit en uitzonderingen zijn verleend voor MPG-kritieke situaties zoals compacte woningbouw die niches kunnen vormen voor circulaire oplossingen. Bovenwettelijke comfort eisen worden nog steeds standaard gehanteerd, waar circulaire oplossingen onder leiden. Aan de achterkant van de keten wordt onvoldoende gestuurd op gedeeld eigenaarschap over waardebehoud, waardoor schade optreedt aan herbruikbare stromen. Wetgeving en regels hinderen hergebruik doordat de afvalfase al snel wordt toegekend, waarna enkel gecertificeerde partijen handelingen mogelijk verrichten. Terugwinnen van componenten wordt hierdoor bijvoorbeeld bijzonder getroffen. Ook is er momenteel juridische spanning rond aansprakelijkheid na revisie tussen producenten en refurbishers. Installateurs lopen bij afdanken van installaties aan tegen tegenstrijdigheid tussen kaders van ARBO (demonteren) en UPV (in geheel aanleveren).

Belangrijke interventiepunten:

- › Integreren van doelen en indicatoren tussen energietransitie en circulariteit. Overweeg welke positie circulariteit kan hebben binnen de dominante opgaven van woningbouw en energietransitie. Hierin zijn integrale doelstellingen, indicatoren en multicriteria analyses belangrijk om te komen tot een samenhang tussen deze concurrerende opgaven. Benut ook onaangeboorde agenda's zoals netcongestie en leveringsrisico's om legitimiteit en urgentie van circulaire oplossingen te versterken.
- › Normaliseren van circulaire PvE's en soberdere comfort/temperatuur normen en circulariteit steviger opnemen in regelgeving en beoordelingsmethodieken (zoals MPG).
- › Stuur aan op voorkomen afvalfase voor bevordering hergebruik en revisie, en verbreed scope UPV naar (voorbereiding op) hergebruik zodat waardebehoud verankerd wordt in de achterkant van de keten. Stel hiervoor afrekenbare en handhaafbare doelen op.
- › Combineer strakkere inzameling via afgifteplicht met voldoende prikkels en resources om hergebruik en revisie de logische route te maken voor alle betrokken ketenpartijen.
- › Harmoniseren van knellende wetgeving rond afval, hergebruik en inzameling en coördineer aansprakelijkheid rond revisie. Directe sturing en prikkels in recycelaatgebruik voor producenten.

Versnipperde organisatie van keten en financiën

De nadruk van opdrachtgevers ligt sterk op aanschafkosten i.p.v. TCO. Opdrachtgevers lopen soms aan tegen verplichte korte financiële horizon, wat circulaire opties tegenwerkt. Hierdoor worden circulaire opties benadeeld, die in de regel initieel duurder zijn maar zich kunnen terugverdienen via lagere kosten voor gebruik en onderhoud. Binnen de sturende kaders en financiële uitgangspunten hebben circulaire oplossingen weinig waardepropositie voor opdrachtgevers. De hogere ontwerpcomplexiteit van circulaire opties wordt liever niet aangegaan, doordat gewinning aan opgesplitste taakverdelingen in de keten afstemming bemoeilijkt. Deze opsplitsing van taken leidt er ook toe dat kosten en baten van circulaire opties niet bij elkaar komen. Dit gebrek aan coördinatie leidt tot schurende situaties, zoals plaatsing van warmtepompen op daken waar onderhoud amper mogelijk is. Ten slotte leidt deze versnippering tot schade en waardeverlies aan de achterkant van de keten, en vindt de transitie van sloper naar 'demonteur' nog onvoldoende plaats.

Belangrijke interventiepunten:

- › Stel (publieke) opdrachtgevers in staat om langere financiële tijdshorizons te hanteren en investeringen te verrekenen met huurprijzen, zodat hogere investeringskosten van circulair terugverdiend kunnen worden.
- › Keten transitie naar waardebehoud faciliteren door financiële sturing te verschuiven van kosten- en efficiëntieoptimalisatie naar waardebehoud.
- › Versterk integrale samenwerkingsvormen waarin productontwerp, installatieontwerp en onderhoud elkaar versterken en wederzijdse meerwaarde creëren. Deel positieve voorbeelden en geleerde lessen, waarin realiteiten van alle partijen meegenomen worden.
- › Ondersteun de transitie van 'sloper' naar 'demonteur', middels coördinatie van taakverdelingen, opzetten van retourlogistiek en koppeling vraag en aanbod, ondersteuning van kennisniveau bij de sloper.
- › Organiseer retour en afvallogistiek op voldoende schaalgrootte.

Onzekerheid, kennisgebrek en ontwerpkeuzes hinderen circulair

Opdrachtgevers vermijden zoals gezegd complexiteit. Risicomijding wordt ook veroorzaakt door gebrek aan rekenmodellen rond voor doorrekenen (o.a. temperatuur) bij installatie-arme concepten in de ontwerpfase, en ontbrekende kennis over restwaarde en prestaties van refurbished. Gebrek aan inbedding van circulariteit in sturende kaders is ook zichtbaar in ontbreken van circulariteit in rekenmethodieken voor MPG, waardoor circulaire opties niet 'uit de verf' komen. Opdrachtnemers ervaren risico vanuit aansprakelijkheid rond onbewezen oplossingen, die daardoor niet inschrijven op circulaire opdrachten. Een algemeen tekort aan bekwaam personeel hindert verspreiding van circulaire praktijken. In combinatie met wildgroei aan productontwerpen door gebrek aan sturing op standaardisatie, leidt dit er ook toe dat installateurs vaak slechts enkele merken kunnen onderhouden.

Belangrijke interventiepunten:

-) Coördineer standaardisatie van productontwerpen, zodat beschikbaarheid van onderdelen en reparatiekennis verbetert. Zorg ervoor dat klimaatinstallaties onder ESPR vallen en de invulling ambitieus blijft hoog op de R-ladder.
-) Ontwikkel betrouwbare rekenmodellen voor circulaire oplossingen qua o.a. temperatuur en milieuprestaties, zodat meerwaarde in de ontwerpfase zichtbaar wordt en risicoperceptie verlaagt. Harmoniseer Nederlandse milieuprestatie data met EU normen zodat producenten één format voor milieudata hebben in de EU markt.
-) Vergroten bekendheid en vertrouwen door succesvolle circulaire praktijken te delen en zichtbaar te maken, bijvoorbeeld over de kwaliteit van refurbished.
-) Versterken opleidingen en kennisontwikkeling rond demonteren, reviseren en circulair ontwerp om meer bekwaam personeel in de sector te krijgen.
-) Creëer bewustzijn en sturing op onderhoudscontracten onder particulieren zodat de marktaanbod zich ontwikkelt en populariteit van slecht repareerbaar (geplaatste) installaties te verlagen.

Risicomijding en gebrekkige business case voor circulair

Ten slotte leidt al het bovenstaande tot de situatie waarin opdrachtgevers weinig vraag hebben naar circulair en producenten daardoor onvoldoende grootte en stabiliteit in vraag zien om te investeren in circulaire producten. Ketenpartijen mijden risico's en kiezen daardoor voor vertrouwde oplossingen. Modellen om kosten en baten bij elkaar te krijgen, en ketensamenwerkingen om tot goede systeemontwerpen te komen, zijn cruciaal voor de business case en ontbreken nog te veel. Primaire materialen zijn nog te goedkoop, waardoor een gelijk speelveld ontbreekt voor circulaire oplossingen. Tot slot is de klantreis van circulaire oplossingen voor ketenpartijen nog niet op goed genoeg niveau.

Belangrijke interventiepunten:

-) Interventies op de andere overkoepelende knelpunten hebben een 'downstream' effect waarmee circulair de logische en lonende optie wordt voor opdrachtgevers, opdrachtnemers en andere ketenpartijen. Hierin zijn naast systeem interventies nog andere stimulerende maatregelen denkbaar zoals correcties op de (te lage) prijs van primaire materialen, subsidies en het verbeteren van waardeproposities door o.a. keteninitiatieven te coördineren op het verbeteren van klantreizen voor hergebruik en revisie net zo eenvoudig te maken als voor nieuwe producten.

4.4.3 Overzicht: knelpunten en interventierichtingen

In deze sectie worden eerst de bevindingen over knelpunten per circulaire oplossingsrichting samengevat. Vervolgens worden uit deze bevindingen overkoepelende knelpunten gedestilleerd op systeemniveau. Daarna wordt uitgezoomd naar het niveau van de missie arena om een overkoepelend beeld te schetsen van de dynamiek tussen probleemstellingen en oplossingsrichtingen in de probleem-oplossing diagnose. In deze reflectie wordt ook op basis van de knelpunt bevindingen de transitiebehoeften geschetst voor de verschillende ketenactoren. Ten slotte worden interventierichtingen vanuit systeemniveau besproken, en sluit het hoofdstuk af met 'scènes' van een functionerende circulaire EEA-keten.

Tabel 4.1: Samenvatting knelpunten en interventiepunten per circulaire oplossingsrichting

Overkoepelend	
Dynamiek en knelpunten	› Geen integrale doelen, hoge eisen en knellende kaders: gebrek aan sturing via integrale doelen en kaders, hoge eisen rond temperatuur, knellende wetgeving rond inzameling en hergebruik.
	› Versnipperde organisatie van keten en financiën: financiële uitgangspunten en versnipperde kosten en baten, ketenorganisatie en financiën.
	› Onzekerheid, kennisgebrek en ontwerpkeuzes: risicomijding in de keten door onzekerheid en complexiteit hinderen circulair.
	› Gebrekkige businesscase voor circulair verhindert opschaling en doorontwikkeling van circulaire oplossingen.
Interventie punten	› Creëer integrale doelen en sterkere sturing op circulariteit om prikkels te geven aan opdrachtgevers en -nemers. Harmoniseer regelgeving om circulair te vergemakkelijken
	› Stimuleer sectorcoördinatie om kosten en baten te verenigen.
	› Neem onzekerheden en technische obstakels weg door ontwikkelen van kennis en vertrouwen.
	› Versterk waarde propositie en business-case van circulair.

Vermindering

Installatie-arm, passief en collectief

Dynamiek en Knelpunten	› Niet nodig: Kaders sturen vooral op energieprestatie en geven geen noodzaak tot passief of collectief. Beleid en subsidies vanuit Energietransitie sturen aan op vervanging installaties (van gas af) › Risicovol: Hoge bovenwettelijke comfort eisen en ingewikkeldere ontwerpogave. Onzekerheid prestaties door ontbreken kennis en rekenmodellen. Opdrachtgevers en -nemers vermijden hogere complexiteit. Installatie-arm geldt als risico. › Moeilijk rondrekenen: Gebrek aan vereniging kosten en baten circulair in structuur samenwerking en bekostiging. Nadruk op aanschafkosten boven TCO, opdrachtgevers vermijden de hogere initiële meerkosten. › Meer gedoe en niet altijd geschikt: Juridische complexiteit rond gedeeld eigendom en onderhoud collectief. Passief relatief onbekend en particulieren voorkeur voor installatie 'quick fix'. Bestaande woningen vaak ongeschikt voor passief, en complexe situatie voor collectief. › Huidige verdienmodellen en routines zijn gebaseerd op installaties.
Interventie punten	› Stuur aan op soberdere temperatuur/comfort eisen. › Verscherp kaders die vraag naar circulaire oplossing creëert (zoals MPG). › Geef opdrachtgevers prikkels en ruimte om op total cost of ownership aan te besteden i.p.v. lage investeringskosten. › Stimuleer integrale ketensamenwerking zodat de kosten en baten van circulair bij elkaar gebracht worden. › Ontwikkel rekenmodellen om onzekerheid rond passieve maatregelen weg te nemen. Bundel en verspreid kennis over best practices in installatie-arm ontwerp en succesvolle ketensamenwerking.

Substitutie (excl. recyclaat)

Biobased materialen, alternatieven voor ZZS en CRMs

Dynamiek en Knelpunten	› Niet op de prioriteitenlijst: Vrijwel geen aandacht voor biobased bij klimaatinstallaties › Nog niet geschikt: biobased plastics hebben nog moeite met voldoen aan hoge technische materiaaleisen. Biobased kan afhankelijk van samenstelling stoorstof vormen voor recycling. › Koudemiddelen met hoog GWP worden uitgefaseerd, de nieuwe generatie PFAS koudemiddelen is nog een aandachtspunt. › Niet zomaar te vervangen: CRMs zijn niet zomaar te vervangen. Sommige strategische grondstoffen worden al vervangen (koper met staal bijv.).
Interventie punten	› Waardeer materialen op alternatieve waarde (bijv. strategisch) naast marktprijs. › Verken toepassingsgebieden met minder barrières, verlaag wettelijke eisen, stimuleer R&D om te kunnen voldoen aan materiaaleisen. › Ondersteun onderzoek naar alternatieven voor CRMs met de grootste strategische risico's.

Levensduurverlenging	
Reparatie, hergebruik & revisie	
Dynamiek en knelpunten	› Niet nodig: Kaders sturen vooral op energieprestatie en gebouw, lineair volstaat. › Risicomijding: opdrachtgevers vermijden complexiteit - PvE's sturen aan op nieuw en bewezen. Particulieren vaak geen onderhoudscontract, risico voor installateur leidt tot weigering opdrachten. Producenten bevragen juridische status aansprakelijkheid na revisie. › Moeilijk rondrekenen: Gebrek aan vereniging kosten en baten van circulair. Business case circulair enkel positief bij integrale benadering. Nadruk opdrachtgevers op lage aanschaffkosten. Producenten weinig prikkel voor circulair ontwerp. › Onduidelijkheid: MPG rekent impactreductie circulariteit onvoldoende mee. Gebrek aan milieudata vanuit producenten door verschil NL en EU datanormen. Onduidelijkheid rond restwaarde. › Moeilijk te repareren: aanbesteding op goedkopere producten (non-EU), vaak gebrek aan reparatie-info en reserveonderdelen. Door wildgroei aan ontwerpen kunnen installateurs slechts enkele merken onderhouden. Plaatsing van installaties op lastige plaatsen (zoals daken), mede door normen geluidsoverlast. › Wetgeving en kostengedreven afvalketen gericht op inzameling en bulkverwerking tegen lage kosten. Belemmert hergebruik en veroorzaakt schade tijdens inzameling/logistiek. › Schaarste aan bekwaam personeel en afdankstromen door onderontwikkelde retourlogistiek. Onvoldoende compensatie voor hogere arbeidsintensiteit demonteren i.p.v. slopen.
	Vraag-zijde › Versterk noodzaak vanuit sturende kaders, zoals MPG, stimuleer en faciliteer aanbesteding op total cost of ownership, en stuur particulieren en de sector op onderhoudscontracten. › Integreer kosten en baten via stimuleren van integrale ketensamenwerking, het zichtbaar maken van baten door o.a. ontwikkeling rekenmodellen rond restwaarde. › Bundel en verspreid kennis over best practices in circulair ontwerp en succesvolle ketensamenwerking. Verbeter klantreis van hergebruik en revisie
	Aanbod-zijde › Stuur op repareerbaarheid en beperk wildgroei aan ontwerpen. › Coördineer juridische spanning rond aansprakelijkheid na revisie. › Ondersteun vaardigheden in de sector via ontwikkeling opleidingen. › Regisseer waardebehoud in de afvalketen, ondersteun transitie van slopen naar demonteren. Verbreed hiervoor de UPV naar hergebruik, voorkom beperkingen vanuit afvalfase, overweeg een juridische status tussen gebruiksfase en afvalfase in. › Harmoniseer knellende ARBO en afvalwetgeving rond inzameling.

Hoogwaardige verwerking incl. recyclaat

Inzameling, hoogwaardige terugwinning, plastics en CRMs

Dynamiek en Knelpunten	› Gebrekkige sturing en business case: weinig vraag naar recyclaat, primaire materialen goedkoop en geen noodzaak of incentives voor producenten. Sturing op gewicht en marktprijs onderwaardeert CRMs en plastics in recycling. Schade aan afgedankte installaties door kostengedreven werkwijze. Zwarte handel levert soms meer op dan correcte inzameling. › Hoge eisen: hoge materiaaleisen rond technische eigenschappen en veiligheid. › Gebrek aan informatie en schaal: Recycling gehinderd door gebrek aan productinformatie (o.a. CRMs) en gebrek aan markt en AEEA stromen op EU schaalniveau. › Installateurs onvoldoende betrokken: kleine installateurs onvoldoende op de hoogte van vereisten correcte inzameling; installateurs ervaren onvoldoende afstemming UPV op hun realiteit; bijtende regels ARBO en afvalwetgeving (mag niet tillen als geheel, moet wel inleveren als geheel, mag niet demonteren zonder cenelec). › Handhaving beperkt: beperkte middelen en slagkracht.
Interventie punten	› Stuur op toepassing recyclaat in producten. Creëer gelijk spelveld door primaire materialen realistischer te beprijzen. › Versterk recyclaat markt en logistiek via EU-schaal bundeling van e-waste en EU-interne productie. › Afvalbeleid sterker richten op waardebehoud en hoogwaardige recycling, met duidelijke definitie van "hoogwaardigheid" en directe (financiële) prikkels voor alle ketenpartijen. › Verbeter productinformatie over CRMs via Digital Product Passport (DPP). Ontwikkel AI en andere technologie voor betere sortering en efficiëntere recyclingprocessen. › Geef prikkels, verbeter kennis en harmoniseer ARBO en afvalwetgeving om correct inzamelen te verbeteren.

5 Beleidsanalyse

Waar de voorgaande hoofdstukken inzicht geven in materiaalstromen, milieueffecten, circulaire strategieën en systeem dynamische knelpunten, richt dit hoofdstuk zich op de beleidscontext waarbinnen deze ontwikkelingen plaatsvinden. Doel van dit hoofdstuk is niet om beleidsprioriteiten te formuleren, maar om inzichtelijk te maken hoe het huidige en toekomstige beleidslandschap zich verhoudt tot de belangrijkste belemmeringen voor circulaire klimaatinstallaties. De analyse vormt daarmee een brug tussen de empirische bevindingen uit de PGA en de integrale synthese in het volgende hoofdstuk.

Klimaatinstallaties bevinden zich op het snijvlak van meerdere beleidsdomeinen (waaronder klimaat, energie, circulariteit, grondstoffen, gebouwkwaliteit en industriebeleid). Daardoor wordt de ontwikkeling van de sector beïnvloed door een breed palet aan Europese en nationaal beleid. Tegelijkertijd laat deze PGA zien dat het bestaande beleidslandschap niet altijd consistent stuurt op circulaire uitkomsten. Verschillende instrumenten zijn ontwikkeld vanuit energiedoelen en hebben als gevolg dat de toepassing van installatietechniek wordt gestimuleerd, terwijl de materiaalvraag en milieu-impact van deze installaties minder aandacht krijgen.

Dit hoofdstuk beschrijft een samenvatting van de volledige beleidsanalyse. De volledige analyse, verantwoording en bevindingen zijn beschreven in Bijlage D.

5.1 Huidig en toekomstig beleidslandschap

Het huidige beleidslandschap wordt gedomineerd door de energietransitie in de gebouwde omgeving. Beleid zoals het Klimaatakkoord, het Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving en nationale subsidieregelingen zijn primair gericht op energiebesparing, elektrificatie en uitfasering van aardgas. Hierdoor zijn warmtepompen, ventilatie-oplossingen en andere klimaatinstallaties steeds belangrijker geworden. Parallel aan deze ontwikkeling heeft zich een tweede beleidslijn ontwikkeld rondom circulariteit. Het Nationaal Programma Circulaire Economie introduceert doelen voor lagere milieu-impact, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking van producten en materialen. Voor klimaatinstallaties zijn onder meer doelen geformuleerd voor MKI-reductie, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking van componenten. Ondanks deze ambities blijkt uit de beleidsanalyse dat dergelijke doelen nog slechts beperkt zijn vertaald naar concrete verplichtingen op gebouw-, product- of ketenniveau. Binnen de gebouwde omgeving worden ontwerpbeslissingen vooral beïnvloed door BENG, bouwregelgeving, comforteisen en economische prikkels. Hierdoor worden materiaalgebruik en grondstoffenefficiëntie vaak slechts indirect meegenomen.

Daarnaast bestaat reeds relevante Europese regelgeving. De EPBD IV verbreedt de aandacht van operationele emissies naar emissies over de gehele levenscyclus van gebouwen. De Ecodesign for Sustainable Products Regulation creëert een kader voor eisen aan duurzaamheid, repareerbaarheid en demonteerbaarheid. De WEEE-richtlijn en de uitgebreide producentenverantwoordelijkheid sturen op inzameling en verwerking van afgedankte apparatuur. De Critical Raw Materials Act zorgt voor een expliciete koppeling tussen

circulariteit en strategische grondstoffenvoorziening. Hierdoor neemt het belang toe van hergebruik, recycling en terugwinning van kritieke materialen. Als laatste voorziet de vernieuwde F-gassenverordening sturing op de afbouw van gefluoreerde broeikasgassen met een hoge klimaatimpact en is relevant voor onder meer airconditioning, warmtepompen en koelinstallaties. De verordening bevat specifieke GWP-grenzen en uitfaseringsdata voor verschillende toepassingen, waardoor producenten en installateurs geleidelijk moeten overstappen op koudemiddelen met lagere klimaatimpact of natuurlijke alternatieven. Dit raakt zowel productontwerp als onderhoud, veiligheid en eindelevensverwerking.

De komende jaren verandert het beleidslandschap aanzienlijk. Verschillende Europese wet en regelgeving bevindt zich momenteel in de implementatie- of uitwerkingsfase. Voor klimaatinstallaties zijn met name vier aankomende ontwikkelingen relevant.

Ten eerste zal de (Nederlandse) implementatie van EPBD IV leiden tot een sterkere focus op levenscyclusimpact. De introductie van Whole Life Cycle Global Warming Potential (WLC-GWP) maakt het mogelijk om materiaal gebonden emissies nadrukkelijker mee te nemen in besluitvorming rond nieuwbouw en renovatie en de Rijksoverheid heeft de taak om plafondwaarden te stellen voor de WLC-GWP.

Ten tweede zal de ESPR naar verwachting leiden tot product specifieke eisen rond repareerbaarheid, vervangbaarheid, duurzaamheid en productinformatie. Digitale productpaspoorten kunnen de beschikbaarheid van informatie over materialen, componenten en onderhoud vergroten. 'Horizontale' eisen zoals voor repareerbaarheid kunnen de levensduur van producten, vergroten.

Ten derde zorgt de Construction Product Regulation (CPR) eisen aan bouwproducten voor de Europese interne markt in het kader van functionaliteit, veiligheid en milieubescherming. Net zoals de ESPR, speelt de CPR o.a. een rol in het vergroten van transparantie over milieuprestaties van producten in een bouwwerk, waaronder (delen van) klimaatinstallaties.

Tot slot staat een herziening van de WEEE-richtlijn op de agenda. Deze ontwikkeling kan gevolgen hebben voor inzamelingsverplichtingen, verwerkingsdoelen en verantwoordelijkheden van producenten en importeurs voor de inzameling en verantwoorde verwerking van afgedankt elektrisch en elektronisch afval, waaronder klimaatinstallaties.

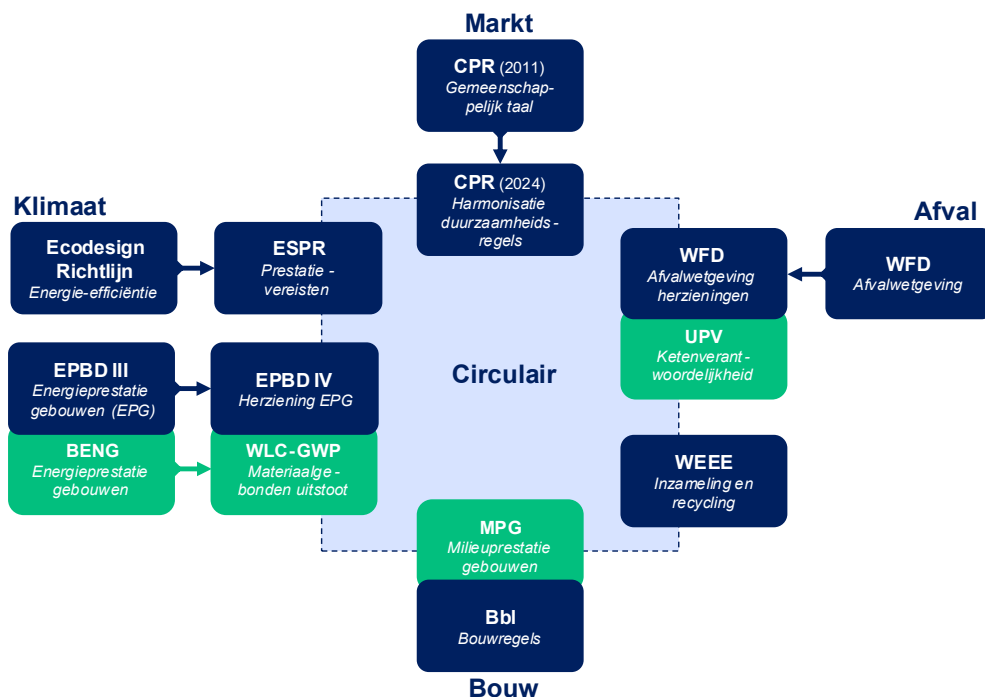
Gezamenlijk wijzen deze ontwikkelingen in de richting van een beleidslandschap waarin materialen, circulariteit en grondstoffen een prominentere plaats krijgen naast energieprestaties. Een belangrijke korte-termijntopgave is daarom het actief vertalen van bestaande en aankomende Europese regelgeving naar de Nederlandse klimaatinstallatieketen. Instrumenten zoals EPBD IV, ESPR, CPR, de F-gassenverordening en de herziening van WEEE bieden bouwstenen voor circulariteit, maar hun effect hangt af van de mate waarin producenten, installateurs, opdrachtgevers, vastgoedeigenaren en verwerkers deze kaders kunnen toepassen in ontwerp, aanbesteding, onderhoud, inzameling en verwerking. Beleid kan zich daarom niet beperken tot de juridische of technische implementatie van Europese wet- en regelgeving, maar moet ook ondersteuning bieden aan bedrijven en ketenpartijen over de gehele breedte van de sector. Zo kunnen Europese richtlijnen, verordeningen en actieagenda's worden vertaald naar concrete circulaire keuzes in het klimaatinstallatiedomein.

5.2 Hoofdbelemmeringen voor effectief beleid

Op basis van de MIS-analyse en de daarop voortbouwende beleidsanalyse kunnen vijf hoofdbelemmeringen worden onderscheiden die de toepassing van circulaire strategieën bij klimaatinstallaties beperken. Een terugkerend thema achter deze belemmeringen is dat circulaire oplossingen vaak niet het uitgangspunt vormen van bestaande regelgeving, normen en beleidsinstrumenten. In veel gevallen zijn zij niet expliciet uitgesloten, maar moeten zij wel aantonen dat zij gelijkwaardig zijn aan gangbare oplossingen die al goed passen binnen bestaande rekenmethoden, routines en kwaliteitskaders.

Zoals geïllustreerd in **Figuur 5.1** valt dit deels te verklaren vanuit de tijdlijn waarop circulair beleid is ontwikkeld. Circulair beleid is later vormgegeven dan klimaatbeleid, bouwregelgeving of afvalbeleid. Hierdoor was de logische keuze om circulair beleid in bestaand beleid te voegen, maar was het niet het startpunt van het huidige beleid. Als gevolg is circulair beleid minder ver uitgewerkt of getest en zijn andere beleidsdoelstellingen bekender.

Wetgeving komt vanuit andere domeinen en wordt nu omgezet en aangepast zodat deze ook (deels) op circulariteit sturen, maar wordt nog onvoldoende als integraal ervaren. Dit komt doordat circulaire doelen en regels toegevoegd zijn aan bestaande, bekende, doelen en regels, zoals hernieuwbare energiedoelen vanuit klimaatbeleid en veiligheidsregels vanuit bouwbeleid.



Figuur 5.1: Circulair is niet het startpunt van beleid.

Om gerichte beleidsopties te kunnen bieden die handelingsperspectief geven richting circulaire klimaatinstallaties, is het essentieel om de belemmeringen die de transitie vertragen te begrijpen. De belemmeringen dienen als kapstok voor het verkennen van de beleidsmatige aangrijpingspunten en worden hieronder kort samengevat.

Onderontwikkelde doelen

De eerste belemmering is het ontbreken van integrale doelen waarin energieprestatie, materiaalgebruik, milieu-impact, netbelasting en comfort gezamenlijk worden afgewogen. Het huidige beleid bevat wel afzonderlijke doelen, maar deze zijn niet altijd op elkaar afgestemd. Hierdoor optimaliseren actoren op deeldoelen. In de praktijk betekent dit dat energieprestatie, comfort en investeringskosten vaak leidend zijn, terwijl materiaalbesparing en circulariteit minder zwaar meewegen.

Voor klimaatinstallaties is dit problematisch omdat keuzes in installatietechniek meerdere effecten tegelijk hebben. Een installatie kan bijdragen aan lagere operationele emissies, maar ook leiden tot hogere materiaalvraag, meer kritieke materialen of extra belasting van het elektriciteitsnet. Omgekeerd kunnen passieve maatregelen, installatie-arme concepten en collectieve systemen bijdragen aan energiebesparing, materiaalbesparing en beperking van netcongestie, maar deze gecombineerde waarde wordt nog onvoldoende zichtbaar gemaakt in beleid en rekenmethoden.

Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig

De tweede belemmering is dat sturing op circulariteit ontbreekt of tegenstrijdig is. Veel bestaande instrumenten sturen op elektrificatie, energiebesparing of veilige verwerking, maar niet op vermindering van materiaalgebruik of waardebehoud. Daardoor kunnen instrumenten die vanuit één doel logisch zijn, vanuit circulair perspectief onbedoelde effecten hebben.

Voorbeelden zijn normen en praktijken die overdimensionering bevorderen, financiële regelingen die vooral vervanging ondersteunen, of afvalregels die veilige verwerking borgen maar hergebruik en revisie bemoeilijken. Ook in de afvalketen kan sturing tegenstrijdig zijn: bulkverwerking op basis van massa en kosten kan effectief zijn voor grote metaalstromen, maar onvoldoende voor kritieke materialen, componenthergebruik en hoogwaardige kunststofrecycling. De beleidsopgave is daarom niet alleen om extra circulaire prikkels toe te voegen, maar ook om bestaande instrumenten te toetsen op onbedoelde lineaire effecten.

Wet- en regelgeving sluit niet altijd aan op circulariteit

De derde belemmering betreft wet- en regelgeving die onvoldoende aansluit op circulaire toepassingen. Bij klimaatinstallaties gaat het onder meer om regels rond afvalstatus, certificering, demontage, garantie, kwaliteitsborging, veiligheid, bouwkundige eisen en producteisen. Deze regels vervullen belangrijke functies, bijvoorbeeld voor veiligheid, gezondheid en milieubescherming. Tegelijkertijd kunnen ze circulaire routes complexer maken.

Zo kan een installatie na afdanking snel de afvalstatus krijgen, waardoor handelingen voor hergebruik of componentwinning alleen onder strikte voorwaarden mogelijk zijn. Installateurs kunnen te maken krijgen met spanning tussen arbeidsomstandighedenregels en verplichtingen om producten in hun geheel aan te leveren. Voor gereviseerde producten kunnen onduidelijkheden bestaan over aansprakelijkheid, garantie en certificering. Voor koudemiddelen met een lagere milieuimpact kunnen veiligheidseisen toepassing beperken, ook wanneer zij vanuit klimaat- of ZZS-perspectief wenselijk zijn. Beleidsmatig is daarom behoefte aan harmonisatie en verduidelijking, zonder afbreuk te doen aan veiligheid en milieubescherming.

Risicomijndendheid door onbekendheid

De vierde belemmering is risicomijndendheid door onbekendheid. In de bouw- en installatiesector is betrouwbaarheid cruciaal. Opdrachtgevers, installateurs, producenten en gebruikers kiezen daarom vaak voor bewezen oplossingen. Circulaire oplossingen worden eerder als complex, onzeker of risicovol gezien, vooral wanneer prestaties, kwaliteit, garantie, onderhoudskosten, comforteffecten of aansprakelijkheid onduidelijk zijn.

Dit speelt bij installatie-arme concepten, collectieve oplossingen, hergebruik en gereviseerde componenten. Het ontbreken van betrouwbare rekenmodellen, kwaliteitsstandaarden, praktijkvoorbeelden en prestatiegegevens versterkt deze terughoudendheid. Hierdoor ontstaat een kip-ei-probleem: zonder vraag geen opschaling, maar zonder opschaling blijven kosten, onzekerheid en onbekendheid hoog.

Businesscase is (nog) niet aantrekkelijk

De vijfde belemmering is een onvoldoende aantrekkelijke businesscase. Circulaire oplossingen vragen vaak extra ontwerpwerk, betere afstemming, meer arbeid, specifieke logistiek, kwaliteitsborging of hogere initiële investeringen. De baten treden echter vaak later op of vallen bij andere partijen. Producenten investeren bijvoorbeeld in repareerbaar ontwerp, terwijl installateurs of gebruikers profiteren van lagere onderhouds- of vervangingskosten. Opdrachtgevers dragen hogere investeringskosten, terwijl bewoners profiteren van lagere energiekosten. Verwerkers moeten investeren in hoogwaardige scheiding, terwijl de vraag naar secundaire materialen onzeker blijft.

Deze versnippering van kosten en baten is een structureel knelpunt. Zolang besluitvorming vooral plaatsvindt op basis van aanschafkosten, snelheid en laag risico, blijven circulaire alternatieven kwetsbaar. Een aantrekkelijker businesscase vraagt daarom niet alleen om subsidies, maar ook om prestatie- en servicemodellen, langere financiële tijdshorizons, TCO-benadering, ecomodulatie, normering, vraagcreatie en ketensamenwerking.

5.3 Beleidsanalyse per circulaire strategie

Voor elk van de hoofdbelemmeringen geïdentificeerd in de vorige sectie is een overzicht opgenomen in [Tabel 5.1](#) tot en met [Tabel 5.5](#). In deze tabellen wordt toegelicht hoe de belemmering de toepassing van de circulaire strategieën, beïnvloedt en worden mogelijke beleidsinterventies aangedragen. Daarbij ligt de nadruk op de Nederlandse beleidscontext en op drie circulaire strategieën waarop nationaal beleid relatief direct kan aangrijpen: vermindering, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking.

Substitutie is in deze sectie niet als afzonderlijke interventieroute uitgewerkt, omdat de belangrijkste aangrijpingspunten vaak vroeg in internationale product- en materiaalketens liggen. Bij klimaatinstallaties gaat het daarbij onder meer om toepassing van recyclaat, alternatieven voor kritieke materialen, biobased materialen in geschikte toepassingen, en vervanging van ZZS of koudemiddelen met hoge klimaat- of milieubelasting. Een groot deel van ontwerp, componentproductie en materiaalkeuze vindt echter buiten Nederland plaats. Bovendien is productbeleid in belangrijke mate Europees georganiseerd, bijvoorbeeld via producteisen, geharmoniseerde normen en materiaalregelgeving. Nationale beleidsinterventies hebben daardoor relatief meer directe invloed op vermindering, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking. Deze strategieën sluiten beter aan bij Nederlandse sturingsmogelijkheden rond onder andere gebouwo ontwerp en installatiekeuze, aanbesteding, onderhoud, retourlogistiek, UPV, afvalstatus en handhaving.

Substitutie blijft wel relevant en kan worden meegenomen als criterium in beleidsinterventies die via de vraagkant sturen, zoals aanbestedingscriteria, minimumpercentages of prestatie-eisen voor secundaire materialen, waar dit technisch haalbaar is. Daarbij is een integrale beoordeling noodzakelijk: een lichter of alternatief materiaal is niet automatisch circulair wanneer dit leidt tot een kortere levensduur, slechtere repareerbaarheid of lagere recyclingkwaliteit.

Onderontwikkelde doelen

Ondanks doelen voor klimaatinstallaties in het geactualiseerde Nationaal Programma Circulaire Economie, is het doel om circulair om te gaan met klimaatinstallaties nog niet zo ver ontwikkeld als andere doelstellingen. Prioritering en integraliteit vormen hier vooralsnog een probleem. Ook zijn de doelen voor velen (nog) onbekend of onduidelijk. Denk bijvoorbeeld aan klimaatbeleid: In de energietransitie ligt de focus momenteel met name op tempo maken. Zo veel mogelijk gebouwen moeten verduurzaamd worden, waarbij klimaatinstallaties ook een deel van de oplossing vormen. Omdat de inzet van klimaatinstallaties zo lang is gepositioneerd als deel van de oplossing voor het klimaatprobleem, heerst er nog veel onbekendheid over het belang van (het reduceren van) de materiaalgebonden uitstoot van klimaatinstallaties.

Tabel 5.1: Beleidsinterventies doelen, zoals overgenomen uit Bijlage D. Zie Bijlage D voor de volledige verantwoording van de beleidsinterventies.

Vermindering	Toelichting 1.N.1 Refuse Bouwen met minder materiaal van klimaatinstallaties dient verschillende doelen tegelijk. Zo kan het leiden tot energiebesparing tijdens gebruik (geen overdimensionering), wat weer leidt tot minder netcongestie. Ook steunt het de doelen om over te gaan op hernieuwbare bronnen (in dit geval: minder CV-ketels die gas verbruiken. Sturing hierop vindt nu enerzijds plaats via energiedoelstellingen (van het gas af) en anderzijds op verwachte milieukosten in MKI. De verschillende beleidsdoelen – verduurzaming van de gebouwde omgeving, circulaire klimaatinstallaties en netcongestie – zijn niet integraal met elkaar verbonden. Dat is terug te zien in de praktijk, want er wordt nog weinig passief/installatie-arm gebouwd. Installateurs, bouwers, adviseurs en architecten hebben beperkte ervaring met passief of installatie-arm bouwen om tot een gezond en aangenaam leefklimaat te komen. Juist door deze doelen integraal te verbinden worden oplossingen met minder materiaal bekender als kansrijke oplossing voor verschillende uitdagingen en stijgt de bekendheid.	Beleidsinterventies 1.N.1 Refuse Zorg voor integrale doelen waar verduurzamen van de gebouwde omgeving, materiaalbesparing en netcongestie samenkomen en afgestemd zijn. Formuleer hiervoor een beleidsdoel om te komen tot win-win situatie waarin energiebesparing en materiaalbesparing samengaan met andere doelstellingen. Hou rekening in het opstellen van de doelen dat deze verder gaan dan de doelen in het NPCE (en verder dan alleen nieuwbouw van gebouwen).
	Toelichting 1.N.2 Reduce Het ontbreekt aan doelen op circulaire productoplossingen en de installatie hiervan (denk aan een collectieve of individuele, circulaire klimaatinstallaties. Ook ontbreekt hier kennis over in de sector. Er bestaan wel doelen in het NPCE, maar deze richten zich enkel op het verlagen van de MKI. Deze doelstelling wordt niet doorvertaald naar de uitvoering (bv. bouwregelgeving).	Beleidsinterventies 1.N.2 Reduce Zorg voor gerichte en afrekenbare doelen op circulaire productoplossingen en de installatie hiervan. Zorg daarnaast dat er meer bekendheid komt op de doelen uit het NPCE rond circulaire klimaatinstallaties in het algemeen, om zo de bekendheid rondom de milieu-impact van klimaatinstallaties te verhogen.
Levensduurvertening	Toelichting 1.S.1 Ontwerp en onderhoud Hoewel een effectdoel is geformuleerd over het verlengen van de functionele gemiddelde levensduur van klimaatsystemen met 50% t.o.v. 2016, wordt deze doelstelling niet vertaald naar de uitvoering zoals producenten of bouwweigenaren.	Beleidsinterventies 1.S.1 Ontwerp en onderhoud Formuleer een doelstelling voor producenten of bouwweigenaren op een uitvoerbaar niveau. Daarnaast wordt er de nieuwe Algemeen verbindende verklaring (Avv) van Stichting OPEN aangegeven dat de prestaties voortaan aan de hand van de WEEE-generated methodiek worden bepaald. Hoewel in deze methodiek beter rekening wordt gehouden met hergebruik, reparatie of voorbereiden van hergebruik – ontbreekt een concrete doelstelling op hergebruik. Zorg voor een concrete doelstelling op hergebruik binnen de UPV, waarop de UPV maar ook de

	producenten en importeurs afgerekend kunnen worden. Het is denkbaar dat een concrete doelstelling op hergebruik het beste werkt door over te stappen naar een systeem van Individuele Producenten Verantwoordelijkheid (IPV) in plaats van een UPV met een Producer Responsibility Organization (PRO), waarbij individuele producenten en/of importeurs verantwoordelijk zijn voor het behalen van (recycle-en) hergebruikdoelstellingen.
Hoogwaardige verwerking	Toelichting 1.C.1 Recyclen Hoewel een effectdoel is geformuleerd over het 100% hoogwaardig recyclen aan het einde van de levensduur [1] (Routekaart Circulaire Klimaatinstallaties), zijn er nog geen afrekenbare doelen gesteld op de inname van afgedankte installaties voor partijen die daadwerkelijk betrokken zijn bij de end-of-life fase zoals woningcorporaties, installateurs of sloop- en renovatiebedrijven. Verschillende eigenaren van klimaatinstallaties weten daarom ook nog niet dat deze bij het einde van de levensduur hoogwaardig verwerkt moeten worden [8] [9](Copper8 & Merosh Naar een circulaire keten voor klimaatinstallaties & Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening Aanpak circulair slopen en hergebruik) Beleidsinterventies 1.C.1 Recyclen Stel afrekenbare doelen op de inname van klimaatinstallaties aan het einde van de levensduur voor partijen die ook betrokken zijn bij de end-of-life fase zoals woningcorporaties, installateurs of sloop- en renovatiebedrijven. Door bij deze partijen een prikkel neer te leggen kan dit leiden tot producthergebruik of betere verwerking [8] (Copper8 & Merosh Naar een circulaire keten voor klimaatinstallaties).

Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig

Wanneer gekeken wordt naar de sturing richting circulaire klimaatoplossingen, wordt zichtbaar dat er ofwel ontbrekende, ofwel tegenstrijdige sturing bestaat. Sturing richt zich nu nog vaak op energiebesparing of de overstap naar hernieuwbare energie en nog weinig op materiaalgebruik. Daarnaast ontbreekt er sturing op systeemoplossingen waarbij minder klimaatinstallaties nodig zijn, zoals collectieve oplossingen of installatie-arm bouwen.

Tabel 5.2: Beleidsinterventies sturing, zoals overgenomen uit Bijlage D. Zie Bijlage D voor de volledige verantwoording van de beleidsinterventies.

Vermindering	Toelichting 2.N.1 Refuse Op dit moment wordt passief/installatie-arm bouwen en renoveren niet gestimuleerd. Op gebouwniveau wordt er gestuurd op het beperken van (milieubelastend) materiaalgebruik door middel van de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG). Alleen zien we in de praktijk dat de systematiek rondom de MPG onvoldoende goed werkt om daadwerkelijk te sturen op minder installaties. Dit komt voornamelijk doordat er in de Nationale Milieudatabase (NMD) beperkte accurate informatie beschikbaar is waardoor de milieu-impact van installatietechniek wordt onderschat. Voor specifiek klimaatinstallaties is een doel vastgesteld op het verlagen van de MKI, maar desondanks wordt hier niet direct op gestuurd. We zien eerder dat door de interpretatie van wetgeving en normen er grotere installaties worden aangebracht.	Beleidsinterventies 2.N.1 Refuse Stimuleer installatie-arm bouwen en renoveren. Denk daarbij aan het verstrekken van subsidies zodat ook collectieve oplossingen om materiaal te besparen of passieve oplossingen (certificaat) waarbij natuurlijke elementen worden ingezet voor energiereductie. Energiesubsidies worden nu op apparaat en vermogen toegekend, een kleiner vermogen in combinatie met passieve maatregelen zou meer beloond moeten worden. Daarbij kan het helpen om ook de gebruiker te laten nadenken over gedragsmaatregelen i.p.v. de technologische of een materiaal oplossing. Voorbeelden zijn passieve zonnewering en zonnbewust ontwerp (zeer effectieve maatregelen voor warmteoverlast en energiereductie in de winter) te stimuleren middels subsidies (in plaats van extra koelinstallaties of grotere warmtepomp).
	Toelichting 2.N.2 Reduce Vaak wordt er door bestaande normen gestimuleerd om meer materiaal te gebruiken, en niet minder. BENG-eisen richten zich op een energiezuinig ontwerp, wat vaak gehaald kan worden door meer materiaal toe te voegen, denk aan isolatiemateriaal, zonnepanelen en (zwaardere) klimaatinstallaties. Deze focus op het toevoegen van materiaal komt deels door de huidige normen rondom sturing op temperatuurcomfort in koude omstandigheden, die niet zonder klimaatinstallaties gehaald kunnen worden. Voorbeelden van installatie-arm bouwen die niet worden gewaardeerd door de BENG zijn passief koelen of natuurlijke ventilatie. Daarnaast presteren collectieve installaties (die minder materiaal per woning nodig hebben) vaak slechter in de energieprestatieberekeningen. Deze collectieve installaties zijn lastiger in te voeren en moeten forfaitaire waardes gebruiken. Hiermee is de route naar individuele installaties veel makkelijker.	Beleidsinterventies 2.N.2 Reduce Richt de bestaande sturing zo in dat collectieve en installatie-arme oplossingen niet worden benadeeld in energieprestatieberekeningen. Actualiseer daarvoor de BENG-normering en de comforteisen in het Bbl (bijv. minimale ruimtetemperaturen), zodat deze concepten worden beloond (makkelijker in te voeren of beter gelijkwaardig in te voeren) in plaats van tegengewerkt.
	Toelichting 2.N.3 Reduce De extra materialen en installatietechniek die indirect wordt gestimuleerd door de BENG en de ontwerpkeuzes, verbetert de energieprestatie, maar verhoogt tegelijkertijd de materiaalgebonden milieu-impact. Dit zou terug te zien moeten zijn in de MPG-berekening, maar die is momenteel nog niet streng genoeg genormeerd is om de keuze voor een uitgebreide installaties te remmen. Hierdoor ontstaat er geen sturing om meer installatie-arm te ontwerpen. Daarbij ontbreekt veel milieudata waardoor de voordelen van installatie-arm ontwerpen ook niet goed inzichtelijk is.	Beleidsinterventies 2.N.3 Reduce Het meewegen van de totale milieu-impact bij de verduurzaming van gebouwen kan simultaan met de introductie van de whole-lifecycle-global-warming-potential (WLC-GWP) indicator (verplichting uit de EPBD-IV); Met de invoering van de Europese EPBD IV moet de impact op het klimaat over de gehele levenscyclus (energie én materiaal) worden berekend op het energielabel per 1-1-2028. Dit dwingt tot een betere afweging tussen extra installatietechniek en de materiaalgebonden impact daarvan, mits de grenswaarden scherp genoeg zijn

Levensduurvertening		zodat er ook sturing en noodzaak ontstaat voor installatie-arm ontwerp.
	Toelichting 2.N.4 Reduce	Beleidsinterventies 2.N.4 Reduce
	Bij renovatie van bestaande gebouwen hebben (klimaat)installaties een relatief groter aandeel in de milieu-impact. Er is op dit moment geen sturing voor renovaties, zoals de MPG bij nieuwbouw.	Een uniforme sturingsmethodiek voor renovatie- en verbouw is noodzakelijk om integraal te kunnen sturen op de milieu-impact van klimaatinstallaties in (grootschalige) renovatieprojecten. Ontwikkel een integrale afweging van milieu-impact bij energierenovaties door doorontwikkelen van de MPG of een WLC-GWP eis voor renovaties en verbouwingen. Daarnaast kan er gelijk aan de BENG1, 2 en 3 nagedacht worden om vanuit een instrument als MPG te sturen op circulariteitsdoelstellingen. Doormiddel van een MPG1, 2 en 3, als aanvulling op de WLC-GWP om de circulariteitsdoelstellingen niet uit het oog te verliezen en wel afrekenbare doelstellingen op gebouwniveau te hebben.
	Toelichting 2.N.5 Reduce	Beleidsinterventies 2.N.5 Reduce
	Op verschillende fronten bestaat een conflict tussen sturingsmechanismen. Naast de BENG die schuurt met de MPG, is er ook schuring te zien met andere domeinen zoals sturing op veiligheid. Ook hanteert Nederland een eigen database en rekenregels voor milieu-impact, waardoor milieudata van installatieproducten internationaal lastig te vergelijken zijn. Vanuit de EU komen regels voor harmonisatie hiervan door de invoering van de <i>Construction Product Regulation</i> (CPR). Zolang deze regels nog niet zijn ingevoerd, of zodra er toch niet-geharmoniseerd gewerkt wordt, blijft de versnippering rondom milieusturing bestaan.	Zorg dat de NMD goed op de hoogte is van de Europese harmonisatie van de rekenregels die momenteel onder de vlag van Ecoplatform wordt gedaan. NMD heeft gekozen om niet mee te gaan in deze harmonisatie, maar zou na afloop wel de geharmoniseerde rekenregels kunnen overnemen. Vanwege het internationale karakter van de markt voor installatieproducten is het belangrijk om eenduidige rekenregels te hebben, zodat producenten niet voor de Nederlandse markt aparte EPD's hoeven te maken.
	Toelichting 2.N.6 Reduce	Beleidsinterventies 2.N.6 Reduce
	De milieu-impact van de productie van klimaatinstallaties is nog onvoldoende bekend om hiermee te kunnen sturen. Ook wordt de milieu-impact positiever geschat dan deze daadwerkelijk is. Dit komt onder andere doordat vaak de milieudata in de Nationale Milieudatabase (NMD) ontbreekt waardoor er gerekend wordt met gegevens die de milieu-impact onderschatten.	Maak het mogelijk dat de milieu-impact van klimaatinstallaties volledig in te voeren is, waarbij missende klimaatinstallatie onderdelen en systemen aangevuld moeten worden. Het is noodzakelijk dat de Nationale Milieudatabase (NMD) met meer en betere milieuverklaringen (categorie 1, 2 en 3) voor installatiecomponenten wordt ingericht. Met betere milieudata van klimaatinstallaties is het ook mogelijk om de milieu-impact eerlijk te vergelijken in MPG berekeningen en toekomstige WLC-GWP berekeningen. Eerdergenoemde harmonisatie (2.N.5) is hier een belangrijke aanjager van.
	Toelichting 2.S.1 Ontwerp en onderhoud	Beleidsinterventies 2.S.1 Ontwerp en onderhoud
	Installaties kunnen niet altijd uit elkaar worden gehaald of (deels) vervangen worden in een gebouw wanneer reparatie of vervanging van onderdelen nodig is. Dit komt door de installaties zelf, maar ook door de inpassing in de schil of draagstructuur van het gebouw. De Europese Commissie is bezig met nieuwe productspecifieke Ecodesign richtlijnen, waarbij producten meer circulair ontworpen moeten worden om aan bepaalde prestatiesvereisten te voldoen. De implementatie loopt nog, waardoor voor klimaatinstallaties nog geen eisen bekend zijn, vooralsnog lijken de eisen t.a.v. klimaatinstallaties met name gericht te zijn op energie-efficiëntie.	Zorg voor sturing op levensduurverlenging door vervangbaarheid van onderdelen bij klimaatoplossingen. In de periode 2025-2030 wordt er gewerkt aan een horizontale EcoDesign eis voor repareerbaarheid. Om toe te werken naar meer circulaire klimaatinstallaties is het belangrijk dat deze horizontale eis ook wordt opgenomen in productspecifieke EcoDesign eisen voor klimaatinstallaties. Ook kan worden ingezet op sturing via het bestaande Right to repair voor consumenten. Hierbij worden van de Europese Unie fabrikanten verplicht om reparaties aan te bieden tegen een eerlijke prijs

	voor consumenten. Ook moeten reserveonderdelen voor minimaal tien jaar beschikbaar blijven, dit is ook een horizontale eis in het Ecodesign Working Plan. Echter vallen klimaatinstallaties hier nog niet onder. Door klimaatinstallaties hier wel onder te laten vallen, wordt reparatie beter toegankelijk voor consumenten.
Toelichting 2.S.2 Ontwerp en onderhoud Om op korte termijn materiaalimpact te besparen (en beter uit te komen in de MPG), worden koperen buizen vaak vervangen door kunststof. Deze hebben echter een lagere levensduur. Hierdoor is er aan de voorkant een lagere milieu-impact, maar moet een installatie(onderdeel) eerder vervangen worden dan nodig. Vaak moet de hele installatie vervangen worden als deze niet voldoende losmaakbaar is.	Beleidsinterventies 2.S.2 Ontwerp en onderhoud Door te sturen op losmaakbaarheid van onderdelen, maar ook van kanalen en leidingen, wordt de hergebruikpotentie van installaties groter. Ook wordt hierdoor de kans op levensduurverlenging groter, doordat de onderdelen die eerder kapot gaan vervangen kunnen worden. Er is alleen nog geen bepalingmethode of indicator die de losmaakbaarheid of uitwisselbaarheid van klimaatinstallaties bepaalt. Er is wel een Losmaakbaarheidsindex, alleen is die opgesteld om te meten in hoeverre bouw- en installatie onderling verbonden en gaat niet zozeer over de losmaakbaarheid of aanpasbaarheid binnen een verwarmings- of luchtsysteem. Stimuleer het opstellen van een bepalingmethode voor losmaakbaarheid en aanpasbaar maken van installatiesystemen (verwarming, koeling, ventilatie en regeltechniek). Gelijk aan de losmaakbaarheidsindex of de Franse repareerbaarheidsindex voor elektronica kan dit geïnitieerd worden door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
Toelichting 2.S.3 Ontwerp en onderhoud & reuse Sinds 2026 hanteert Stichting OPEN de WEEE-generated doelstelling, waarbij wordt gestuurd op de hoogwaardige verwerking van minimaal 85% in gewicht van de ingezamelde elektronica waaronder klimaatinstallaties. Deze nieuwe doelstelling heeft geen nadelig effect op reparatie en hergebruik. De doelstelling van het 50% verlengen van de functionele levensduur van klimaatinstallaties (Routekaart Circulaire Klimaatinstallaties) is echter niet vertaald naar de uitvoering zoals producenten of gebouweigenaren. Binnen de MPG is het mogelijk om de levensduur van klimaatinstallaties te verlengen, wat een gunstig effect kan hebben op de MPG – echter is dit met name een inschatting vooraf.	Beleidsinterventies 2.S.3 Ontwerp en onderhoud & reuse. In het herontwerpen van de UPV is Ecomodulatie een mogelijkheid. Hierbij kunnen producenten en/of importeurs die inzetten op een meer circulair ontwerp een lagere afdracht doen dan partijen die daar niet op inzetten. Een dergelijk systeem is al door andere UPVs in Nederland toegepast (bijv. Verpact voor verpakkingen, Textiel). Onder de nieuwe Avv worden de eerste stappen gezet richting een dergelijke tariefdifferentiatie zowel tussen verschillende productgroepen die vallen onder elektrisch en elektronisch apparatuur (EEA), maar ook al binnen bepaalde productgroepen wordt deels ingezet op tariefdifferentiatie. Ecomodulatie zou een stimulans kunnen zijn voor producenten en importeurs om over te gaan naar een meer circulair ontwerp. Hiervoor is wel een geaccepteerde meetmethodiek nodig die het circulaire ontwerp van een klimaatinstallatie in kaart brengt (zie 2.S.2).
Toelichting 1 2.S.1 Refurbish Bij het inzetten van een refurbished klimaatinstallatie, heeft deze niet standaard een betere MPG-score, waardoor dit geen stimulerend effect heeft. Dit komt met name doordat er geen eenduidige manier is om een lagere milieuimpact toe te kennen aan een gereviseerd product – immers is het onderdeel dat is vervangen mogelijk bij elk product anders waardoor het een andere milieuimpact kent.	Beleidsinterventies 2.S.4 Refurbish Zorg voor duidelijke richtlijnen om ook voor refurbished producten een milieuverklaring te kunnen maken, zodat er een verbeterde MKI-score ontstaat bij het inzetten van refurbished klimaatinstallaties.

Hoogwaardige verwerking	Toelichting 2.C.1 Recycle Met de eerdergenoemde doelstelling van Stichting OPEN vanuit de WEEE-<i>generated</i>, wordt gestuurd op het hoogwaardig verwerken van het afval dat ingezameld wordt (verwerking van minimaal 85% in gewicht van de ingezamelde elektronica). Stichting OPEN wordt op het al dan niet halen van deze doelstelling afgerekend, maar niet de partijen waarbij het afval ontstaat (bijv. gebouweigenaren, slopers).	Beleidsinterventies 2.C.1 Recycle Voor veel elektronica is vorig decennium de Verwijderingsbijdrage afgeschaft als apart zichtbaar bedrag op de bon. Een stevige verwijderingsbijdrage kan er echter wel voor zorgen dat er een (financiële) prikkel ontstaat voor de gebouweigenaar- of sloper om te zorgen voor de juiste inzameling en verwerking van afgedankte klimaatinstallaties in een end-of-life situatie.
	Toelichting 2.C.2 Recycle Het is onbekend waar welke klimaatinstallaties in gebruik zijn. Hierdoor is het niet duidelijk hoeveel klimaatinstallaties mogelijk in welke periode vrij komen, of op welke groepen gefocust kan worden om te zorgen dat zo veel mogelijk klimaatinstallaties na afdanken terug te krijgen.	Beleidsinterventies 2.C.2 Recycle Verbeterde registratie van klimaatinstallaties kan ondersteunen in de monitoring en mogelijke terugwinning na afdanken. Er kan een voorbeeld genomen worden aan de monitoring van Cv-ketels in gebruiksduur onder de BRL 6000-25 registratie.
	Toelichting 2.C.3 Recycle Het ontbreekt op het moment aan sturing op het terugwinnen van materialen uit gebouwen die (vrijwel geheel) gesloopt worden. De Critical Raw Materials Act schrijft onder andere voor dat recyclingcapaciteit van kritieke materialen in de EU ten minste 25% van het jaarlijkse verbruik van strategische grondstoffen moet kunnen dekken. Om hieraan te voldoen zal meer gestuurd moeten worden op het terugwinnen van materialen, ook van klimaatinstallaties. Bijvoorbeeld het inzetten van urban miners kan helpen om materialen te winnen uit gebouwen die grondig gerenoveerd of gesloopt gaan worden.	Beleidsinterventies 2.C.3 Recycle Zorg voor sturing op het terugwinnen van materialen uit gebouwen die grondig gerenoveerd of gesloopt worden, bijvoorbeeld in het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) of aankomende herziening van de WEEE (Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparatuur Richtlijn). Vanuit strategische autonomie kan als eerste ingezet worden op het terugwinnen van kritieke grondstoffen.

Wet- en regelgeving sluit niet altijd aan op circulariteit

Momenteel conflicteert bestaande wet- en regelgeving in sommige gevallen met het doel om circulaire klimaatoplossingen te bieden. Dit komt met name door de focus op energiewetgeving, waar wetgeving collectieve oplossingen kan vermoeilijken en stuurt op het toevoegen van apparatuur of materiaal ten behoeve van de energietransitie. Daarnaast ontbreekt wetgeving rondom langere levensduur van producten.

Tabel 5.3: Beleidsinterventies wet- en regelgeving, zoals overgenomen uit Bijlage D. Zie Bijlage D voor de volledige verantwoording van de beleidsinterventies.

Vermindering	Toelichting 3.N.1 Reduce Op dit moment staat bestaande wet- en regelgeving collectieve oplossingen in de weg, met name in gebouwen met gedeeld eigendom of collectief beheer, zoals in appartementencomplexen met een (gespikkelde) VvE of woningcorporatie. In zulke situaties is vaak gezamenlijke besluitvorming of instemming van een grote meerderheid (vaak >75%) nodig, wat verandering in de weg kan staan. Voor collectieve warmtenetten worden de besluitvormingsregels waarschijnlijk binnenkort aangepast, waarbij een volstreekte meerderheid (>50%) voldoende is. Naast besluitvorming kan ook de splitsingsakte voor problemen zorgen, omdat gemeenschappelijke klimaatoplossingen door individuele woningen lopen. De wet schrijft voor dat alle beperkte gerechtigden hiermee in moeten stemmen, zoals de hypotheekverstrekkers of erverpachters. Voor individuele oplossingen is dit vaak niet noodzakelijk waardoor dat de makkelijkere keuze is.	Beleidsinterventies 3.N.1 Reduce Bouw tegenstrijdige wetgeving, waar mogelijk, af. Een belangrijke set aan regels die collectieve klimaatoplossingen vertraagt, bevindt zich in de splitsingsakte voor VvE's. Maak hiervoor het maatschappelijk belang van verduurzaming explicieter in de wet, zodat dit zwaarder kan wegen dan het individuele eigendomsrecht.
	Toelichting 3.N.2 Refuse Installatie-arme oplossingen lopen tegen bestaande wet- en regelgeving aan. Een voorbeeld hiervan is dat bouwregelgeving (Bbl) alleen 'verblijfsruimten' kent waar functionele eisen over zijn. Om invulling te geven aan die functionele eisen worden vanuit rekenmethodieken en normen keuzes gemaakt over welke type installaties en de grootte (vermogen) van de klimaatinstallaties. Alleen zijn deze normen zijn gebaseerd op veilige aannames en verouderde uitgangspunten (bijv. -10 gr.) wat mogelijk leidt tot overdimensionering. In de regel constateren experts dat deze normen en de manier van werken in de sector leidt tot eerder meer installaties dan een installatie-arme oplossing.	Beleidsinterventies 3.N.2 Refuse Zorg voor differentiatie en integrale prestaties van de verblijfsruimten in regels. Dan kan er tijdens de bouw meer ingespeeld worden op de behoeften van de bewoners en hiermee installatie-arder gebouwd worden. Bijvoorbeeld: TOJuli stuurt op het voorkomen van oververhitting, wat vaak neerkomt op het toevoegen van koeling. Toevoegen van actieve koeling zou alleen mogelijk moeten zijn als alle andere (passieve) oplossingen geprobeerd zijn: zonwering/orientatie, zomer/nacht ventilatie, etc. Daarnaast zou er met klein aantal aanpassingen in bouwregelgeving vanuit bewezen factoren (zoals luchtdichtheid) installatie-arm ontwerp een logischer gevolg zijn, zeker als deze ook dan beter wordt beloond in de indicatoren (MPG en BENG).
	Toelichting 3.N.3 Reduce Ondanks de verplichting vanuit de EPBD-IV om installaties <i>fit for purpose</i> te ontwerpen wordt er in de huidige praktijk vaak nog overgedimensioneerd (Zie ook 3.N.2.). Hierdoor wordt meer materiaal (en energie in de gebruiksfase) gebruikt dan nodig is voor de situatie in het gebouw.	Beleidsinterventies 3.N.3 Reduce Pas normen aan om overdimensionering van klimaatinstallaties te voorkomen en zorg voor kennisdeling en handhaving op <i>fit for purpose</i> zoals omschreven in de EPBD-IV.

Levensduurverlening	Toelichting 3.S.1 Repair Wetgeving zegt onvoldoende over de reparatiemogelijkheden, inclusief rechten, voor consumenten ; zie onder andere Bijlage II van de <i>Right to Repair</i> Richtlijn voor de lijst met producten die hieronder vallen en het ontbreken van klimaatinstallaties.	Beleidsinterventies 3.S.1.1 Repair Breid de horizontale reparabiliteitsindex binnen de <i>Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)</i> uit naar productspecifieke Eco-design eisen voor klimaatinstallaties. Beleidsinterventies 3.S.1.2 Repair Ga in gesprek over de mogelijkheid van uitbreiding van de Right to repair regels, zodat ook klimaatinstallaties in de consumentencontext vallen onder het recht op reparatie.
	Toelichting 3.S.2 Reuse Een andere hobbel die hergebruik van bouwmaterialen in de praktijk vooralsnog bemoeilijkt, betreft de wet- en regelgeving rondom certificering en kwaliteitsgaranties van teruggewonnen onderdelen.	Beleidsinterventies 3.S.2 Reuse Zorg dat de wet- en regelgeving rondom certificering en kwaliteitsgaranties in lijn is met de wensen om hergebruik mogelijk te maken.
	Toelichting 3.S.3 Reuse De afzetmarkt voor gebruikte klimaatinstallaties is nog klein. Het ontbreekt op het moment nog aan wetgeving rondom het verplichten van hergebruik van klimaatinstallaties die nog niet aan het einde van de levensduur zijn.	Beleidsinterventies 3.S.3 Reuse Het (verplicht) laten opnemen van inkoopvoorwaarden waarbij hergebruikte of refurbished onderdelen de voorkeur krijgen boven nieuwe, tenzij dit technisch niet haalbaar is. Ook wel 'Second use tenzij' genoemd.
Hoogwaardige verwerking	Toelichting 3.C.1 Recycling Het volume van inzameling van klimaatinstallaties is nog erg laag. Niet alle producten die aan het einde van de levensduur zijn, komen ook terecht bij de formele inzamel- en verwerkingsroutes. Voor consumenten is er momenteel ook geen prikkel om de oude installatie in te leveren bij de juiste partij.	Beleidsinterventies 3.C.1 Recycling Afgifteplicht: Er is een pleidooi voor een wettelijke afgifteplicht, waarbij consumenten en bedrijven verplicht worden om afgedankte elektronische apparatuur (waaronder warmtepompen) in te leveren bij gecertificeerde inzamellocaties om te voorkomen dat waardevolle materialen uit de logistieke keten "leken".
	Toelichting 3.C.2 Recycling Afval verschepen buiten de EU is verboden als het gaat om gevaarlijk afval voor nuttige toepassing. Deze regeling maakt dat gebruikte installaties in Europa moeten worden verwerkt. Handhaving op dit gebied is echter nog een uitdaging, waardoor er in realiteit nog wel gevaarlijk afval wordt verscheept.	Beleidsinterventies 3.C.2 Recycling Strengere handhaving van de Europese wetgeving rondom het verschepen van afval.
	Toelichting 3.C.3 Recycling Er is nog te weinig handhaving t.a.v. de juiste inzameling en verwerking aan de achterkant van de keten. Handhaving vindt in werkelijkheid meer plaats bij gecertificeerde locaties (CENELEC-certificaten) dan bij niet-gecertificeerde verwerkers.	Beleidsinterventies 3.C.3 Recycling Zet in op meer handhaving, voornamelijk bij niet-gecertificeerde verwerkers.

Risicomijdendheid door onbekendheid

Van oudsher is de bouw risicomijdend, onder andere door de zeer gedetailleerde en uitgebreide regelgeving en doordat de risico's bij bouwers en (onder)aannemers wordt neergelegd. Investeerders willen daarentegen over het algemeen niet te veel risico lopen. Door de dynamiek in de bouwkolom en rondom klimaatinstallaties, leidt deze risicomijdende houding vaak tot een rem op circulaire keuzes. Ook speelt onbekendheid en gedeelde verantwoordelijkheid rondom installatie-arme oplossingen een rol in de lage toepassing ervan.

Tabel 5.4: Beleidsinterventies risicomijdendheid, zoals overgenomen uit Bijlage D. Zie Bijlage D voor de volledige verantwoording van de beleidsinterventies.

Vermindering	Toelichting 4.N.1 Refuse Passief/installatie-arm bouwen vereist specialistische kennis en een andere benadering van ontwerp en bouw. Ook kunnen collectieve oplossingen als ingewikkelder worden ervaren en ontbreekt het hier ook nog aan kennis. Bouwen met een grote installatie is de veilige keuze en huidige subsidies zijn geënt zijn op energietransitie zonder materiaalreductie mee te nemen. Hierdoor wordt dit nog weinig toegepast. Dit kan doorbroken worden door stimulering van installatie-arm bouwen, maar dit wordt op dit moment nog niet gedaan.	Beleidsinterventies 4.N.1.1 Refuse Een inventarisatie van voorbeeldprojecten (d.m.v. een voorbeeldboek of website) rondom passief/installatie-arm bouwen, collectieve circulaire oplossingen of circulaire klimaatinstallaties kunnen het kennisniveau in de sector verhogen. Met een voorbeeldrol en als opdrachtgevende aanjager kan de Rijksoverheid dit zelf oppakken. Beleidsinterventies 4.N.1.2 Refuse Stimuleer projecten rondom installatie-arm of passief met gerichte subsidies. Mogelijkheden rondom voldoen aan passief huis principes (incl. certificaat) of installatie-arm specifieke eisen kunnen ervoor zorgen dat partijen deze concepten serieus gaan onderzoeken.
	Toelichting 4.N.2 Refuse & reduce Bouwers zijn over het algemeen geneigd om risico's uit de weg te gaan. Dat is begrijpelijk vanuit de bestaande structuren (o.a. door de Wet kwaliteitsborging bouw), maar het pakt nadelig uit voor het werken met nieuwe (circulaire) producten of oplossingen. Opdrachtgevers die met nieuwe (circulaire) producten willen bouwen hebben geregeld moeite om aannemers te vinden die hun plan willen uitvoeren. De huidige garantiesystemen stimuleren de risicomijdendheid.	Beleidsinterventies 4.N.2.1 refuse & reduce Zorg in de inkoopvoorwaarden voor uniforme garanties en contractvoorwaarden die de circulariteit van systemen waarborgen. Beleidsinterventies 4.N.2.2 refuse & reduce Ontwikkel een garantiefonds vanuit de overheid, waar de Rijksoverheid een 'aandeel' neemt in de risico's.
	Toelichting 4.N.3 Refuse & reduce Onder eindgebruikers/bewoners is nog weinig bekend over de mogelijkheden rondom circulaire klimaatoplossingen. Vaak wordt een klimaatoplossing vergeleken met een nieuwe Cv-ketel. Het is voor consumenten niet duidelijk dat circulaire klimaatoplossingen anders werken.	Beleidsinterventies 4.N.3 Refuse & reduce Lokale overheden als afzender: Gemeenten spelen een cruciale rol door eenduidig en eenvoudig te communiceren richting hun inwoners over verduurzamingsopties. Een eerste stap is bijvoorbeeld het Energiehuis, een loket waar gebouweigenaren en bewoners van maatschappelijk vastgoed op één plek terecht kunnen voor betrouwbare informatie, ondersteuning en ontzorging bij verduurzaming van woning of gebouw, zoals in de EPBD-IV is afgesproken.
Levensduurverfening	Toelichting 4.S.1 Reuse Bij verschillende onderdelen worden diverse redenen gegeven om onderdelen of producten niet her te gebruiken. Denk aan angst voor lekkages bij het hergebruiken van leidingwerk of de angst voor slijtage bij producten die bewegende onderdelen bevatten. Enkel technische oplossingen bieden gaat hier de risicomijdende houding niet zomaar veranderen, aangezien	Beleidsinterventies 4.S.1 Reuse Ontwikkel een garantiesysteem voor secundaire bouwmaterialen.

Hoog-waar- dige ver-	aannemers en bouwers de risico's dragen en risicomijdend ingesteld zijn.				
	Toelichting 4.S.3 Refurbish Er is nog veel onbekendheid over de kwaliteit van refurbished onderdelen. Vaak wordt er nog wantrouwend gekeken, waardoor de keuze voor een nieuw product of onderdeel snel gemaakt is. Aannemers en installateurs zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van de geleverde producten. Hierdoor zullen zij niet snel een refurbished installatie aanraden, als deze mogelijk eerder kapot kan gaan dan een nieuw product. Beleidsinterventies 4.S.1 Refurbish Het opschalen en verbreden van het Keurmerk Refurbished installaties kan het vertrouwen in de markt voor refurbished installaties vergroten.				
	Geen	belemmeringen	gevonden	vanuit	N.v.t.
	risicomijdendheid				

Businesscase is (nog) niet aantrekkelijk

De business case voor circulaire klimaatoplossingen is niet altijd voldoende om deze de voorkeur te geven ten opzichte van lineaire oplossingen. Dit is terug te zien in de gehele keten. Aan de voorkant stimuleert de huidige manier van werken individuele oplossingen, aangezien dit makkelijker geld oplevert. Circulaire oplossingen kosten namelijk (of hebben de perceptie dat) vaak meer tijd en hiermee meer geld. Hetzelfde geldt voor onderhoud en hergebruik. Arbeidskosten liggen hoog en partijen verdienen vaak vooral aan de producten zelf [21] Copper8 & DGBC, Voorbeeldenboek Circulaire Klimaatinstallaties en voor gebruikers is vaak niet duidelijk of onderhoud en reparatie echt bijdraagt aan een verlaagd kostenplaatje op de lange termijn. Ook aan het eind van de keten zijn er geen prikkels die betrokken partijen aanzetten om materialen en onderdelen terug te winnen.

Tabel 5.5: Beleidsinterventies business case, zoals overgenomen uit Bijlage D. Zie Bijlage D voor de volledige verantwoording van de beleidsinterventies.

Vermindering	Toelichting 5.N.1 Refuse & reduce Het kiezen voor minder installaties is niet in het belang van de installateur en producent. Bij collectieve oplossingen is het daarnaast zo dat veel bewoners niet weten wat de voordelen zijn, zowel in milieu-besparing als in kostenbesparing en vermindering van energieverbruik. Naar verwachting komt er een sturingsprikkel (niet financieel) met de komst van EPBD-IV, waarbij gestuurd gaat worden op impact berekend over de gehele levensduur. Zolang deze sturing niet in praktijk is gebracht, blijft een prikkel uit en is de sector gebaat bij een financiële prikkel om meer installatie-arm te bouwen of meer collectieve oplossingen te kiezen.	Beleidsinterventies 5.N.1 Refuse & reduce Economische prikkels kunnen ingevoerd worden om passief/installatie-arm bouwen, collectieve oplossingen en circulaire installaties te stimuleren. Zo stelt bijvoorbeeld de <i>Net Zero Industry Act</i> dat het een mogelijkheid is om subsidies voor warmtepompen aan te passen aan de bijdrage aan duurzaamheid (en resilience). Door dit te koppelen aan de belasting van het materiaal op het milieu, wordt de keuze voor weinig materiaal voor installateurs en bewoners financieel beloond. Daarnaast kan de lange termijn financiële besparing voor gebruikers en eigenaren inzichtelijk worden gemaakt zodat er naast de aanschafprijs ook de financiële baten over de levensduur inzichtelijk worden. De bekendheid en het inzichtelijk maken waar kantelpunten liggen (bijvoorbeeld met voorbeeldenboek incl. financiële doorrekeningen) voor gebruikers en eigenaren is essentieel om vraag naar deze oplossingen aan te jagen.
	Toelichting 5.N.2 Refuse Momenteel is het kostenplaatje voor passieve/installatie-arm oplossingen vaak onbekend binnen de bouwkolom, terwijl het geld dat bespaard kan worden door het verminderen van de hoeveelheid klimaatinstallaties in gebouwen, kan gestoken worden in oplossingen om een woning voldoende warm en koel te houden - denk aan isolatie. Hierdoor kunnen de kosten gelijk blijven of lager worden.	Beleidsinterventies 5.N.2 Refuse Verzamel voorbeeldprojecten en deel daarbij ook de benodigde informatie over de kosten. Zorg dat dit breder bekend wordt onder bouwers en opdrachtgevers. Door bewijs te leveren dat het dus wél kan binnen de financiële kaders kunnen bedrijven dienstverlening op deze concepten afstemmen. Met name door de <i>total cost of ownership</i> (TCO) mee te nemen, kan ook aan de eindgebruikers getoond worden dat passief/installatie-arm op de lange termijn grote financiële besparingen oplevert tijdens het gebruik (energiekosten en vervangingskosten).
	Toelichting 5.S.1 Ontwerp en onderhoud & reuse & repair De kosten van arbeid voor (her)installatie, onderhoud en reparatie liggen vaak hoog in vergelijking met de kosten voor de installaties. Circulaire keuzes kosten vaak meer arbeidsuren. Zodra er een financiële overweging gemaakt wordt, is het soms makkelijker om een geheel nieuwe installatie te kiezen, in plaats van een circulaire oplossing.	Beleidsinterventies 5.S.1 Ontwerp en onderhoud & reuse & repair Zet in op een belastingverschuiving van arbeid naar grondstoffen. Hierdoor wordt de inzet van arbeid voor reparaties goedkoper, en wordt de inzet van nieuwe materialen duurder.

Levensduurverlening	Toelichting 5.S.1 Ontwerp & onderhoud In het huidige model van produceren, installeren, gebruiken, afdanken, zit geen (financiële) prikkel om producten zo materiaal- en energiezuinig te maken door de producent of installateur en wordt niet ingezet op maximale levensduur.	Beleidsinterventies 5.S.1 Ontwerp & onderhoud Stimuleer businessmodellen waar verantwoordelijkheden bij de producent liggen zoals <i>Product as a Service</i>. De gebruiker krijgt bijvoorbeeld een prestatiegarantie en betaalt voor het gebruik, terwijl de fabrikant verantwoordelijk is voor de werking en het onderhoud.
	Toelichting 5.S.2 Reuse Om de business case van circulaire producten te verbeteren bestaat de margeregeling. Bij de margeregeling mogen ondernemers over de toegevoegde waarde (bijv. arbeid en toegevoegde materialen) btw vragen, in plaats van over het gehele verkoopbedrag. Dit geldt voor gebruikte producten die zijn ingekocht zonder btw. Deze regeling geldt al, maar is vaak niet bekend.	Beleidsinterventies 5.S.2 Reuse Op basis van enkele interviews is gebleken dat er onbekendheid is over de margeregeling voor bedrijven die kiezen voor een hergebruikmodel. De bekendheid hiervan kan vergroot worden in het kader van de circulaire economie.
	Toelichting 5.S.3 Reuse Consumenten zien reparaties vaak als duur. Door de kosten van reparaties te verlagen, kunnen meer consumenten kiezen voor reparatie.	Beleidsinterventies 5.S.3 Reuse Verlaag de btw op reparaties, waardoor het voor individuele consumenten goedkoper is om te kiezen voor reparaties.
	Toelichting 5.S.4 Reuse Het aanbod van gebruikte klimaatinstallaties voor hergebruik en refurbishment is nog erg laag. Ook ontbreekt het nog aan logistieke oplossingen om vraag en aanbod aan elkaar te kunnen koppelen. Hierdoor worden de klimaatinstallaties die wel hergebruikt of refurbished kunnen worden, nog weinig ingezet voor hergebruik. Wanneer vraag en aanbod goed op elkaar worden aangesloten, kunnen de kosten om laag gebracht worden.	Beleidsinterventies 5.S.4 Reuse Zet in op betere retourlogistiek om het aanbod voor hergebruik en refurbishment te vergoten.
	Toelichting 5.S.5 Onderhoud & reuse & refurbishment Voor onderhoud, hergebruik en refurbishment is vaak relatief veel arbeid nodig, waardoor het snel aantrekkelijker is om een nieuwe klimaatoplossing te kopen.	Beleidsinterventies 5.S.5 Reuse Door belasting te verschuiven van arbeid naar grondstoffen (milieu-impact) wordt arbeid goedkoper en het gebruik van virgin grondstoffen duurder. Dit maakt het onderhouden, hergebruiken en refurbishen van klimaatinstallaties aantrekkelijker.
Hoogwaardige verwerking	Toelichting 5.C.1 Recycling Er is een stimuleringsregeling opgezet om zoveel mogelijk afgedankte elektronica bij gecertificeerde verwerkers te krijgen. Desondanks is er door de hoge oud-ijzer prijzen is er een incentive voor partijen die oude installaties weghalen om deze niet via de formele wegen aan te bieden.	Beleidsinterventies 5.C.1 Recycling Stel een hoge verwijderingsbijdrage (opnieuw) in waardoor vastgoedeigenaren, installateurs en sloopbedrijven een financiële prikkel hebben om afgedankte klimaatinstallaties via formele wegen in te dienen. Zorg dat deze bijdrage hoog genoeg is waardoor het aantrekkelijker wordt om voor de formele inzamelingsroute te kiezen.

5.4 Samenhang tussen beleidsinstrumenten

De analyse per strategie laat zien dat geen enkele beleidsroute op zichzelf voldoende is. Vermindering verlaagt de materiaalvraag, maar vraagt om integrale gebouw- en systeemsturing. Levensduurverlenging behoudt waarde, maar vraagt om reparabel ontwerp, onderhoud, retourlogistiek en andere businessmodellen. Substitutie blijft relevant voor het verminderen van primaire materiaalvraag, maar vraagt vaak om sturing vroeg in internationale product- en materiaalketens en sluit daarom niet altijd direct aan op nationale beleidsinterventies. Hoogwaardige verwerking creëert secundaire stromen, maar vraagt om goede inzameling, productinformatie, demontage en afzetmarkten.

Daarom is vooral de samenhang tussen instrumenten bepalend. Normering zonder businesscase leidt tot weerstand. Subsidies zonder prestatie-eisen kunnen lineaire vervanging versterken. Productpaspoorten zonder verwerkingsinfrastructuur leveren weinig effect. Recyclingdoelen zonder vraag naar recyclelaat sluiten kringlopen niet. En integrale doelen zonder rekenmethoden en handhaving blijven abstract.

Een effectief beleidsarrangement voor circulaire klimaatinstallaties combineert daarom meerdere typen instrumenten:

- › **Richtinggevende doelen** die energieprestatie, materiaalgebruik, milieu-impact, in samenhang behandelen.
- › **Normen en rekenmethoden** die materiaalgebruik, levensduur, repareerbaarheid, hergebruik en hoogwaardige verwerking zichtbaar en vergelijkbaar maken.
- › **Economische prikkels** die circulaire keuzes financieel aantrekkelijker maken en kosten en baten beter verdelen.
- › **Product- en keteninformatie** die ontwerp, onderhoud en reparatie, hergebruik en hoogwaardige verwerking ondersteunt.
- › **Ketenorganisatie en handhaving** die correcte inzameling, waardebehoud en hoogwaardige verwerking borgen.
- › **Publiek opdrachtgeverschap** dat vraag creëert naar circulaire installaties, installatie-arme concepten, hergebruik en gereviseerde componenten.

De kern is dat beleid moet voorkomen dat circulariteit een aanvullende eis blijft naast dominante energie-, comfort- en kostencriteria. Circulariteit moet onderdeel worden van de manier waarop prestaties van gebouwen, installaties en ketens worden gedefinieerd.

Discussie

Een belangrijk inzicht uit de beleidsanalyse is dat de belemmeringen voor circulaire klimaatinstallaties zelden afzonderlijk optreden. Ontbrekende of onvoldoende integrale doelen leiden tot beperkte sturing op materiaalgebruik en waardebehoud. Daardoor krijgen marktpartijen weinig prikkels om te investeren in installatie-arme concepten, repareerbaar ontwerp, hergebruik of hoogwaardige verwerking. Dit versterkt onzekerheid en risicomijdend gedrag, waardoor circulaire oplossingen minder vaak worden toegepast en de businesscase zwak blijft. De belemmeringen vormen daarmee geen losse knelpunten, maar een samenhangend systeem waarin doelen, regelgeving, marktprikkels, kennis en ketenorganisatie elkaar wederzijds beïnvloeden.

Daarom is een instrumentenmix nodig. Normering kan richting geven, maar werkt alleen wanneer prestaties meetbaar zijn en wanneer uitvoerende partijen beschikken over data, rekenmethoden en handelingsperspectief. Economische prikkels kunnen circulaire keuzes aantrekkelijker maken, maar moeten worden gekoppeld aan prestatie-eisen om te voorkomen

dat zij vooral lineaire vervanging versnellen. Productinformatie, zoals milieuverklaringen of digitale productpaspoorten, krijgt pas betekenis wanneer deze wordt gebruikt in ontwerp, aanbesteding, onderhoud, hergebruik en verwerking. Ook doelen voor inzameling en recycling zijn alleen effectief wanneer er voldoende vraag is naar secundaire materialen en wanneer toezicht en handhaving informele of laagwaardige routes beperken.

Het beleidslandschap bevindt zich daarbij in een overgangsfase. Europese regelgeving brengt materiaalgebruik, levensduur, repareerbaarheid, productinformatie en grondstoffenvoorziening nadrukkelijker in beeld. Tegelijkertijd is deze ontwikkeling nog niet vanzelfsprekend doorvertaald naar de Nederlandse praktijk van ontwerp, aanbesteding, installatie, onderhoud, inzameling en verwerking. De opgave voor nationaal beleid ligt daarom niet alleen in het toevoegen van nieuwe instrumenten, maar vooral in het verbinden van bestaande en aankomende instrumenten tot een consistent beleidsarrangement. Daarbij moeten energieprestatie, materiaalgebruik, netbelasting, comfort, kosten en circulariteit in samenhang worden afgewogen.

De vijf hoofdbelemmeringen vormen hiervoor een bruikbaar kader. Zij laten zien waar de instrumentenmix aangrijpt: integrale doelen geven richting, normen en rekenmethoden maken prestaties zichtbaar, economische prikkels verbeteren de businesscase, kennisontwikkeling en kwaliteitsborging verminderen onzekerheid, en ketenorganisatie en handhaving borgen dat circulaire keuzes ook daadwerkelijk worden uitgevoerd. Daarmee vormt de beleidsanalyse een tussenstap tussen de systeemknelpunten uit de MIS-analyse en de aanbevelingen in hoofdstuk 6.



6 Synthese en conclusie

In de voorgaande hoofdstukken is de keten van klimaatinstallaties beschreven vanuit verschillende perspectieven. Dit hoofdstuk brengt deze perspectieven samen.

6.1 Synthese

Klimaatinstallaties spelen een steeds grotere rol in de materiaalvoetafdruk van de gebouwde omgeving. De energietransitie leidt tot een sterke groei van warmtepompen, ventilatiesystemen en ondersteunende distributiesystemen. Hierdoor neemt de vraag naar ferrometalen, koper, kunststoffen, koudemiddelen en kritieke materialen toe. Waar klimaatinstallaties emissies tijdens de gebruiksfase zullen reduceren door verminderd aardgasgebruik en meer elektriciteitsgebruik, verschuift de milieu-impact daardoor steeds verder richting productie, onderhoud en einde-levensduur.

De toekomstverkenningen laten zien dat een business-as-usual ontwikkeling resulteert in een verdere groei van materiaalgebruik, materiaalvoorraad, en de milieueffecten die daarmee geassocieerd worden. Hierdoor neemt het belang van circulaire strategieën toe. De resultaten laten zien dat de vier circulaire strategieën sterk verschillen in hun bijdrage aan materiaal- en milieureductie. Vermindering (waarbij ook levensduurverlenging door design is meegenomen) en substitutie van grondstoffen grijpen vroeg in de keten in en voorkomen nieuwe materiaalvraag. Levensduurverlenging door hergebruik en reparatie voorkomt ook materiaalvraag, maar met een beperkter effect dan verminderingsstrategieën. Hoogwaardige verwerking grijpt later in de keten in en heeft met name effect op de beschikbaarheid van hoogwaardig secundair materiaal. Deze beschikbaarheid is ook een voorwaarde voor substitutiestrategie. In deze analyse is de uitstroom van de materialen uit klimaatinstallaties niet gekoppeld aan de benodigde instroom voor substitutie, aangezien een “open-loop” materialenperspectief is gehanteerd. Op het niveau van de hele Circulaire Economie is voldoende beschikbaarheid van secundair materiaal, ongeacht oorsprong, wel een potentieel beperkende factor voor het succesvol toepassen van substitutiestrategieën. De transitie naar een circulaire productgroep voor klimaatinstallaties vraagt daarom om een samenhangende toepassing van alle circulaire strategieën.

De MIS-analyse laat zien dat de belangrijkste belemmeringen niet technisch maar systeemgericht zijn. Voor vermindering ontbreekt een noodzaak binnen bestaande kaders. Voor levensduurverlenging ontbreekt vaak een sluitende waardepropositie. Voor hoogwaardige verwerking vormen marktvraag, schaal en informatie belangrijke knelpunten. Voor substitutie ontbreekt veelal een duidelijke beleidsmatige richting, alternatieve waardering en noodzaak voor producenten.

Gemeenschappelijk aan de verschillende strategieën is dat energieprestaties, comforteisen, woningbouwproductie en kostenreductie sterker verankerd zijn dan circulariteit. Hierdoor ontstaan situaties waarin lineaire oplossingen voldoende aantrekkelijk blijven, terwijl circulaire oplossingen meer coördinatie, kennisontwikkeling en investeringen vereisen.

De MIS-analyse identificeert vier terugkerende systeemknelpunten: gebrek aan integrale doelen en kaders, versnippering van kosten en baten in de keten, onzekerheid en kennisgebrek, en een beperkte businesscase voor circulaire oplossingen.

De vijf hoofdbelemmeringen uit de beleidsanalyse concretiseren deze vier systeemknelpunten voor de Nederlandse beleidscontext:

1. **Onderontwikkelde doelen:** circulaire ambities voor klimaatinstallaties zijn nog beperkt vertaald naar concrete, gezamenlijke doelen op gebouwniveau (energie, materiaal én comfort), waardoor partijen vooral optimaliseren op deeldoelen vanuit andere domeinen (energie, afval, etc.).
2. **Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig:** prikkels sturen vooral op energiebesparing en elektrificatie, terwijl sturing op materiaalreductie, installatie-arme concepten en collectieve oplossingen ontbreekt of wordt tegengewerkt.
3. **Wet- en regelgeving:** regels en rekenmethodes sluiten niet altijd aan op circulariteit (bijv. rond comfort, certificering en verwerking), waardoor circulaire keuzes ingewikkelder of risicovoller worden.
4. **Risicomijndendheid door onbekendheid:** beperkte ervaring en onzekerheid over prestaties/kwaliteit (bijv. installatie-arm, hergebruik, refurbished) leiden tot voorkeur voor 'bewezen' lineaire oplossingen en overdimensionering.
5. **Businesscase (nog) niet aantrekkelijk:** kosten en opbrengsten vallen vaak bij verschillende partijen, terwijl arbeid (onderhoud/reparatie) relatief duur is en de financiële prikkels vooral nieuwe verkoop en vervanging belonen

Deze hoofdbelemmeringen lopen door de sector heen en helpen verklaren waarom de MIS-knelpunten per circulaire strategie hardnekkig blijven.

De inzichten uit de voorgaande hoofdstukken zijn opgenomen in Tabel 6.1. De tabel vormt daarmee een brug tussen de kwantitatieve analyse van materiaalstromen en milieu-impact (hoofdstuk 2 en 3), de identificatie van systeemknelpunten en dynamieken (hoofdstuk 4) en de uitwerking van beleidsopties (hoofdstuk 5). De tabel structureert de analyse per circulaire strategie en verbindt het verwachte effect op materiaalgebruik en milieu-impact met de onderliggende systeemknelpunten, mogelijke systeem- en beleidsinterventies en voorbeelden van beleidsinstrumenten. De genoemde beleidsinstrumenten zijn bedoeld als voorbeelden van aangrijpingspunten om de circulaire potentie te realiseren. In dit rapport is echter geen kwantitatieve impactanalyse uitgevoerd van afzonderlijke beleidsinstrumenten of instrumentenpakketten op materiaalgebruik en milieueffecten. De verwachte effecten in Tabel 6.1 hebben betrekking op de circulaire strategieën zelf, niet op de beleidsinstrumenten waarmee deze strategieën kunnen worden gestimuleerd.

Vermindering van de vraag naar klimaatinstallaties is een logische eerste strategie, omdat uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat vooral de instroom van nieuwe installaties de toekomstige materiaalvraag en een belangrijk deel van de milieu-impact bepaalt. De tabel onderscheidt twee routes: minder installaties door installatie-arme en collectieve oplossingen, en reductie van materiaalintensiteit door bijvoorbeeld lichter ontwerp. Samen laten deze maatregelen een groot potentieel zien voor vermindering van instroom, uitstroom en milieueffecten.

Tabel 6.1 begint daarom met vermindering van de instroom. De belangrijkste knelpunten zijn dat toepassing van installatie-arme, collectieve en materiaal-efficiënte oplossingen nog onvoldoende noodzakelijk, aantrekkelijk of vanzelfsprekend is. Dit hangt vooral samen met het ontbreken van integrale doelen, tegenstrijdige sturing, bovenwettelijke eisen en een zwakke businesscase. De voorgestelde interventies richten zich daarom op integrale prestatiekaders, TCO-georiënteerde besluitvorming, ketensamenwerking, kennisontwikkeling en betere data, normen en rekenmethoden voor materiaalgebruik in ontwerpondersteuning.

Substitutie richt zich op het vervangen van primaire of conventionele materialen door alternatieven met een lagere afhankelijkheid van primaire grondstoffen of een lagere milieudruk. In deze productgroep gaat het in de tabel vooral om twee routes: toepassing van recyclaat en toepassing van biobased materialen. De grootste reductie in primaire instroom komt daarbij uit recyclaat; biobased materialen hebben een kleiner, maar aanvullend potentieel. Hoewel substitutie in hoofdstuk 5 niet als afzonderlijke nationale interventieroute is uitgewerkt, blijft zij in de synthese relevant als circulaire strategie, omdat zij in de scenarioanalyse een duidelijke bijdrage levert aan vermindering van primaire materiaalvraag. De tabel laat zien dat substitutie niet alleen wordt beperkt door technische eisen, maar vooral door onvoldoende vraag, beperkte waardering van secundaire en alternatieve materialen, een zwakke businesscase en beperkte beleidsmatige aandacht. Voor recyclaat spelen daarnaast normering, hoge technische producteisen en het ongelijke speelveld met primaire materialen een belangrijke rol. Voor biobased materialen zijn vooral prestatie-eisen, onbekendheid en ruimte in regelgeving bepalend.

De mogelijke interventies richten zich op het creëren van vraag via normering, aanbesteding en producteisen, ondersteund door betrouwbare productinformatie, ketensamenwerking en een gelijk speelveld tussen primaire en secundaire materialen. Voor biobased materialen ligt het accent daarnaast op maatschappelijke waardering, passende prestatie-eisen, innovatie, demonstratieprojecten en kennisontwikkeling.

Levensduurverlenging voorkomt de vraag naar nieuwe installaties door reparatie, revisie en hergebruik. Het kwantitatieve effect op de instroom is kleiner dan bij vermindering en substitutie, maar de strategie blijft belangrijk omdat zij de waarde van bestaande producten en componenten langer behoudt en bijdraagt aan minder nieuwe productie.

Tegelijkertijd blijkt uit de analyse dat bestaande systeemcondities vervanging van installaties vaak bevoordelen boven reparatie, revisie en hergebruik. De dominante belemmeringen zijn een onvoldoende aantrekkelijke businesscase, risicomijdendheid door onbekendheid en knelpunten in wet- en regelgeving. Daarbij spelen lage investeringskosten, onzekerheid over prestaties en aansprakelijkheid, beperkte beschikbaarheid van onderdelen en productinformatie, en een afvalketen die vooral op verwerking is ingericht een belangrijke rol.

Tabel 6.1 geeft voorbeelden van aangrijpingspunten voor beleidsinterventies rond levensduurverlenging door reparatie en hergebruik. Versnelling vraagt om sturende kaders die vraag creëren, TCO-gebaseerde besluitvorming, sturen op afsluiten onderhoudscontracten, ketensamenwerking om kosten en baten te verenigen, waardering van restwaarde, repareerbaar ontwerp, verduidelijking van aansprakelijkheid, ontwikkeling van vakmanschap en inzamel-, retour- en afvalketens die zijn gericht op waardebehoud en hergebruik.

Hoogwaardige verwerking richt zich op het behouden en terugwinnen van hoogwaardige materialen nadat producten het einde van hun gebruiksfase hebben bereikt. Deze strategie voorkomt niet direct de instroom van nieuwe installaties, maar verkleint het aandeel niet-teruggewonnen materiaal en vergroot de beschikbaarheid van secundaire materiaalstromen.

Daarmee is hoogwaardige verwerking vooral relevant voor materialen die niet kunnen worden vermeden, hergebruikt of gereviseerd.

Hoogwaardige verwerking kan leiden tot een vermindering van niet-teruggewonnen materiaal en tot een grotere beschikbaarheid van secundair materiaal voor de sector. Tegelijkertijd kunnen sommige milieueffecten in de gehanteerde analyse toenemen, onder meer doordat extra inzameling, scheiding en verwerking ook milieulast veroorzaken. Dit onderstreept dat hoogwaardige verwerking vooral moet worden gezien als noodzakelijke eindschakel in een bredere strategie, niet als vervanging van vermindering, substitutie of levensduurverlenging.

In Tabel 6.1 is hoogwaardige verwerking gekoppeld aan het systeemknelpunt dat bestaande condities in de afdankfase vooral sturen op kostenminimalisatie, in plaats van op waardebehoud en hoogwaardige terugwinning. Dit sluit aan bij de beleidsanalyse, waarin onder meer ontbrekende sturing, knelpunten in wet- en regelgeving en een onvoldoende aantrekkelijke businesscase naar voren komen. De voorgestelde interventies richten zich op het breder waarderen van materialen dan alleen op marktprijs, betere productinformatie, ketencoördinatie, inzamel- en verwerkingsketens sturen en prikkels geven op waardebehoud, en versterking van uitvoerbaarheid, toezicht en handhaving.



Tabel 6.1: Circulaire strategie – Vermindering

CS	Totaal potentieel effect in 2050	Circulaire maatregelen	Knelpunten (vanuit de MIS)	Systeem en beleidsinterventies	Voorbeelden van beleidsinstrumenten
Vermindering	-18-35% primaire instroom -13-27% uitstroom -13-37% landgebruik -18-36% klimaatverandering -17-36% humane toxiciteit -21-40% waterverbruik	Minder installaties door meer collectief en installatie-arm Potentie: 12-24% vermindering instroom	Ontbrekende noodzaak voor opdrachtgever, hogere ervaren risico's en versnippering kosten en baten beperken de toepassing van installatie-arme en collectieve oplossingen.	› Integrale sturing op energie-, materiaal- en systeemprestaties, zodat energiebesparing, materiaalbesparing, netcongestie en inzet van hernieuwbare bronnen in samenhang worden afgewogen. Ontwikkel hiervoor integrale beleidsdoelen en prestatiekaders die verder gaan dan de huidige NPCE-doelen, zowel nieuwbouw als bestaande bouw omvatten, en materiaalintensiteit expliciet meewegen. Ondersteun dit met TCO-georiënteerde besluitvorming, marktprikkels voor materiaal-efficiënt ontwerp en betere data, normen en rekenmethoden voor materiaalgebruik. › Creëer vraag naar recycalaat via normering, aanbesteding en producteisen, ondersteund door betrouwbare informatie over kwaliteit, herkomst en toepasbaarheid van secundaire materialen, ketensamenwerking en een gelijk speelveld tussen primaire en secundaire materialen. › Waardeer biobased materialen niet alleen op marktprijs, maar ook op maatschappelijke waarde, mits toepassing technisch passend is en niet ten koste gaat van levensduur, veiligheid, reparatiebaarheid of recyclebaarheid. Creëer ruimte voor toepassing via passende normering	› Ambitieuze WLC-GWP-grenswaarden voor nieuwbouw en later renovatie; › MPG doorontwikkelen zodat installaties volledig worden meegenomen; › BENG/NTA 8800 aanpassen zodat passieve maatregelen, natuurlijke ventilatie en collectieve oplossingen niet worden benadeeld; › Comfort- en temperatuureisen herijken: overdimensionering tegengaan; › Subsidies of gunningscriteria richten op lagere materiaal- én energievraag, niet alleen op apparaatvermogen; › Gebiedsgerichte warmteplannen waarin netcongestie, materiaalgebruik en collectieve oplossingen worden meegewogen; › Voorbeeldprojecten en kosten/TCO-doorrekeningen voor installatie-arm bouwen.
		Reductie materiaalintensiteit door bijvoorbeeld lichter ontwerpen Potentie: 5-10% vermindering instroom	Onvoldoende prikkels voor producenten om materiaalgebruik te reduceren; normen sturen niet op materiaalintensiteit		
Substitutie	-16-56% primaire instroom -5-16% landgebruik -4-15% klimaatverandering -3-11% humane toxiciteit -6-19% waterverbruik	Toepassen recycalaat Potentie: 12-46% vermindering instroom	Onvoldoende vraag, gebrek aan alternatieve waardering, hoge materiaaleisen, gebrekkige koppeling vraag en aanbod en een zwakke businesscase belemmeren toepassing van recycalaat.	› Toepassing van recycalaat	› minimumaandelen recycalaat waar technisch haalbaar; › ecomodulatie in UPV-bijdragen; › gunningscriteria voor secundair materiaalgebruik; › kwaliteitsstandaarden voor recycalaat; › productpaspoort met aandeel primair/secundair materiaal; › fiscale of subsidiemaatregelen voor toepassing van secundair materiaal; › innovatie- en demonstratieprogramma's voor technische kunststoffen en biobased toepassingen.
		Toepassen biobased materialen	Bestaande prestatie-eisen en beperkte beleidsmatige aandacht remmen de toepassing		

Levensduurverlenging	-2-5% primaire instroom +6-12% uitstroom -2-5% landgebruik -1-3% klimaatverandering -1-2% humane toxiciteit -1-2% waterverbruik	Potentie: 4-10% vermindering instroom Minder installaties door vermindering vraag als gevolg van reparatie en hergebruik. Potentie: 2-5% vermindering instroom	van biobased en andere alternatieve materialen. Reparatie: Wildgroei aan ontwerpen, reparatie bemoeilijkende plaatsing en gebrek aan particuliere onderhoudscontracten. Hergebruik: financiële kaders, heersende routines en versnipperde keten sturen op lage prijs en bewezen technologie, en een afvalketen gericht op verwerking boven hergebruik.	en prestatie-eisen, en stimuleer innovatie, demonstratieprojecten en kennisontwikkeling om technische toepassingsbarrières te verkleinen. › Versterk de vraag naar levensduurverlenging via sturende kaders, TCO-gebaseerde besluitvorming, onderhoudscontracten en waardering van restwaarde. Stimuleer repareerbaar ontwerp, verduidelijk aansprakelijkheid, ontwikkel vakmanschap en richt inzamel-, retour- en afvalketens zo in dat hergebruik, reparatie en refurbishment worden gefaciliteerd. › Richt hoogwaardige verwerking op waardebehoud door materialen breder te waarderen dan alleen op marktprijs, bijvoorbeeld op basis van kritikaliteit, milieuwinst en terugwinbaarheid. Verbeter productinformatie en ketencoördinatie, organiseer inzamel- en verwerkingsketens rond hoogwaardige terugwinning en versterk uitvoerbaarheid, toezicht en handhaving.	› Ecodesign/ESPR repareerbaarheid; › Right to Repair uitbreiding; › Introductie losmaakbaarheidsindex; › Richtlijnen voor refurbished milieuverklaringen; › Ecomodulatie; › Meer inzet op Product-as-a-Service / klimaat-as-a-service.
	-34-55% in niet-teruggewonnen materiaal +1-2% landgebruik +3-4% humane toxiciteit +7-8% waterverbruik	Meer terugwinning van hoge kwaliteit materialen door verbeterde inzameling en scheiding van componenten Potentie: 34-55% vermindering in niet-teruggewonnen materiaal	Bestaande systeemcondities selecteren op kostenminimalisatie in de afdankfase boven behoud en hoogwaardige terugwinning van materialen.		› Stel een wettelijke afgifteplicht in; › Stel een hoge verwijderingsbijdrage (opnieuw) in; › CENELEC-handhaving; › UPV-doelen voor hergebruik en CRM-terugwinning.

Hoewel circulaire klimaatinstallaties vragen om inzet op alle circulaire strategieën, verschillen deze strategieën in hun aangrijpingspunt en effect op materiaalstromen en milieueffecten. Vanuit het perspectief van materiaalreductie ligt de eerste stap bij het voorkomen of verkleinen van de installatiebehoefte, bijvoorbeeld via passieve maatregelen, installatie-arm ontwerp, collectieve oplossingen en beperking van overdimensionering. Zeker gezien de verwachte groei van de woningvoorraad en de verdere elektrificatie van de gebouwde omgeving kan deze strategie de toekomstige materiaalvraag dempen. Wanneer installaties nodig zijn, ligt de tweede stap bij ontwerp voor een lange levensduur: modulair, reparabel, onderhoudstoegankelijk en ondersteund door beschikbaarheid van onderdelen en onderhoudsinformatie. De derde stap is het langer benutten van bestaande producten en componenten via onderhoud, reparatie, hergebruik, refurbishment en waar mogelijk remanufacturing. Pas wanneer producten of componenten niet langer functioneel kunnen worden ingezet, komt hoogwaardige verwerking in beeld, gericht op zorgvuldige inzameling, componenthergebruik en terugwinning van waardevolle materialen. Deze volgorde voorkomt dat recycling wordt ingezet als vervanging voor vermindering en levensduurverlenging, en positioneert hoogwaardige verwerking als noodzakelijke eindschakel in een bredere circulaire strategie.

Parallel aan deze cascade is substitutie een aanvullende strategie. Daarbij gaat het om het vervangen van primaire, kritieke of zorgwekkende materialen door secundaire, biobased of minder risicovolle alternatieven. Substitutie grijpt vooral aan bij materiaalkeuze, productontwerp en toeleveringsketens, en is alleen circulair wenselijk wanneer alternatieven niet leiden tot verslechtering van levensduur, veiligheid, repareerbaarheid of recyclebaarheid. Omdat ontwerp, productie- en materiaalketens van klimaatinstallaties grotendeels internationaal zijn georganiseerd, ligt effectieve sturing op substitutie in belangrijke mate op Europees en internationaal niveau, bijvoorbeeld via productregelgeving, materiaaleisen, digitale productinformatie en geharmoniseerde normen. Binnen de Nederlandse beleidscontext kan substitutie vooral worden ondersteund via vraagsturing, aanbestedingscriteria, productinformatie en toepassing van secundaire materialen waar dit technisch haalbaar is.

6.2 Conclusie en aanbevelingen

De keuze, prioritering en concrete vormgeving van beleidsinterventies ligt bij de Rijksoverheid. De aanbevelingen in deze sectie schetsen daarom mogelijke aangrijpingspunten voor beleid, op basis van de analyse in dit rapport. Zij vormen een beleidsmatige uitwerking van de vijf hoofdbelemmeringen uit de voorgaande secties: het ontbreken van integrale doelen, tegenstrijdige sturing, beperkingen in wet- en regelgeving, risicomijdendheid door onbekendheid en een nog onvoldoende aantrekkelijke businesscase. De aanbevelingen zijn niet opnieuw per circulaire strategie geordend, omdat de strategieën in de praktijk sterk samenhangen en door dezelfde systeembelemmeringen worden beïnvloed. De eerdere secties laten zien welke barrières per strategie relevant zijn; deze paragraaf vertaalt die analyse naar samenhangende aangrijpingspunten voor beleid.

De verduurzaming van de gebouwde omgeving leidt naar verwachting tot een sterke groei van materiaalgebruik voor klimaatinstallaties. Het huidige beleid stuurt vooral op energieprestatie en elektrificatie, terwijl materiaalbesparing en circulariteit nog beperkt zijn vertaald naar uitvoeringsbeleid, normen en prikkels. Daarmee ontstaat spanning met de circulaire-economiedoelen, waaronder reductie van milieukosten en primair materiaalgebruik.

De grootste winst ligt vroeg in de keten: minder, kleinere of collectieve installaties door installatie-arm ontwerp en passieve concepten. Daarnaast blijven levensduurverlenging, hergebruik, hoogwaardige verwerking en betere marktprikkels nodig. De aanbevelingen hieronder benoemen de belangrijkste aangrijpingspunten voor beleid voor de Rijksoverheid.

Geef circulariteit prioriteit en maak het gelijkwaardig aan andere beleidsdoelen.

De verschillende doelen die betrekking hebben op klimaatinstallaties zijn nog onvoldoende integraal verweven, zoals verduurzaming van de gebouwde omgeving, circulariteit en beperking van netcongestie. Daardoor ontstaat in de praktijk een impliciete hiërarchie tussen beleidsdoelen, waarin energieprestatie, comfort, tempo en kosten vaak zwaarder wegen dan materiaalgebruik, levensduur en waardebehoud. Circulaire doelen worden hierdoor nog onvoldoende meegenomen, terwijl zij juist onderdeel van de oplossing kunnen zijn. Installatie-arm ontwerp en collectieve energieconcepten kunnen immers tegelijkertijd de energievraag van gebouwen verlagen, de druk op het elektriciteitsnet beperken en bijdragen aan minder primair materiaalgebruik. De optelsom van het huidige beleid stuurt tot op heden echter eerder op toevoeging van installaties en materialen dan op vermindering daarvan. Om circulariteit gelijkwaardig te maken aan andere beleidsdoelen, moet zij expliciet worden meegenomen in dezelfde besluitvormingskaders als energieprestatie, comfort, kosten en bouwtempo. Dat vraagt om doorvertaling naar normen, rekenmethoden, subsidies, aanbestedingscriteria, uitvoeringsprogramma's en handhaving. De Rijksoverheid kan dit borgen door afwegingskaders te ontwikkelen waarin materiaalgebruik, WLC-GWP, energieprestatie, netbelasting, comfort, kosten en leveringsrisico's naast elkaar worden gezet. Gelijkwaardigheid betekent niet dat circulariteit in iedere afweging automatisch voorrang krijgt, maar wel dat circulariteit niet langer als aanvullende ambitie wordt behandeld naast dominante energie-, comfort- en kostencriteria.

Maak installatie-arm bouwen en renoveren een volwaardige in regelgeving en beleid.

De grootste materiaalwinst ligt bij het voorkomen of verkleinen van de installatiebehoefte. De Rijksoverheid kan installatie-arm ontwerp, passieve maatregelen, beperking van overdimensionering en collectieve oplossingen sterker laten meewegen in regelgeving, normering en subsidies. Een belangrijk aangrijpingspunt is de implementatie van EPBD IV. De verplichting om de klimaatimpact over de levenscyclus van gebouwen inzichtelijk te maken biedt ruimte om energie- en materiaalprestaties integraal te sturen. Daarbij bepaalt de Rijksoverheid zelf de grenswaarden. Alleen wanneer deze grenswaarden voldoende ambitieus zijn, ontstaat een prikkel om niet alleen efficiëntere installaties toe te passen, maar ook te kiezen voor oplossingen met minder materiaalgebruik, lagere systeemimpact en een kleinere installatiebehoefte. Aanvullend kunnen BENG, MPG en comforteisen zo worden aangepast dat

passieve maatregelen, natuurlijke ventilatie, zonbewust ontwerp en collectieve systemen niet worden benadeeld ten opzichte van individuele technische oplossingen.

Zorg voor normen, indicatoren en rekenmodellen die overdimensionering en materiaalgebruik tegengaan.

Normen, bepalingsmethoden en indicatoren bepalen in sterke mate welke oplossingen als veilig, gangbaar en verdedigbaar worden gezien. De huidige normalisatiepraktijk kan door gestapelde veiligheidsmarges, conservatieve aannames en risicomijdende interpretatie onbedoeld bijdragen aan overdimensionering en extra materiaalgebruik. Het is daarom relevant om normen en rekenmethoden, waaronder BENG/NTA 8800, MPG, en ondersteunende ISSO-richtlijnen, zodat installatie-arm ontwerp, passieve maatregelen, collectieve oplossingen, onderhoudstoegankelijkheid en repareerbaarheid beter worden gewaardeerd. Maak daarbij expliciet waar normen sturen op comfort, energie, veiligheid of materiaalgebruik, zodat afvullen zichtbaar worden en niet impliciet leiden tot grotere installaties. Daarbij kan ook vraag naar secundaire, biobased of minder kritieke materialen worden meegenomen, mits dit niet ten koste gaat van levensduur, veiligheid, repareerbaarheid of recyclebaarheid.

Sluit daarbij aan op Europese harmonisatie, waaronder EN 15804, productcategorie-regels, Ecodesign, CPR en het digitaal productpaspoort, zodat fabrikanten niet met strijdige nationale en Europese eisen worden geconfronteerd. Versterk daarnaast de kennisbasis onder normen en rekenmethoden, onder meer rond restwaarde, levensduur, onderhoudbaarheid en materiaalimpact, en borg dat normalisatie expliciet aansluit op integrale beleidsdoelen.

Herontwerp de UPV zodat hergebruik en waardebehoud expliciet worden beloond.

De huidige UPV-systematiek voor elektrische en elektronische apparatuur stuurt vooral op inzameling en verwerking, veelal op basis van massa. Voor circulaire klimaatinstallaties is dat onvoldoende. Neem daarom binnen de UPV een concrete en afrekenbare doelstelling op voor hergebruik van producten en componenten, naast doelen voor hoogwaardige verwerking en terugwinning van kritieke materialen. Een dergelijk hergebruikdoel kan worden gekoppeld aan producenten of importeurs, zodat de verantwoordelijkheid niet alleen bij de collectieve uitvoeringsorganisatie ligt maar ook dicht bij de partijen die ontwerp- en marktkeuzes beïnvloeden. Onderzoek daarom of individuele producentenverantwoordelijkheid, of een sterkere individuele afrekening binnen de bestaande UPV, kan helpen om hergebruikdoelen op organisatieniveau te realiseren. Ecomodulatie kan hierop aansluiten door lagere bijdragen te vragen voor producten die aantoonbaar repareerbaar, demonteerbaar, herbruikbaar of beter recyclebaar zijn. Randvoorwaardelijk is dat afvalstatus, certificering, retourlogistiek en kwaliteitsborging zo worden ingericht dat hergebruik en refurbishment praktisch mogelijk zijn zonder afbreuk te doen aan veiligheid en milieubescherming.

Versterk kwaliteitsborging en maak installatie-impact beter stuurbaar.

Sturing op materiaalgebruik van klimaatinstallaties is alleen mogelijk wanneer de milieu-impact van installaties betrouwbaar en volledig kan worden gemodelleerd. Verbeter daarom eerst de opname van installatiecomponenten en -systemen in de Nationale Milieudatabase en de MPG-systematiek, inclusief betere productdata, representatieve forfaitaire waarden en richtlijnen voor refurbished of hergebruikte componenten. Daarmee wordt zichtbaar welk deel van de materiaalgebonden milieu-impact van gebouwen samenhangt met installatietechniek en kunnen circulaire alternatieven eerder worden meegewogen in ontwerp, aanbesteding en uitvoering.

De MPG kan een belangrijk aangrijpingspunt zijn voor circulariteit, omdat zij materiaalgebonden milieueffecten via de MKI zichtbaar maakt. Tegelijkertijd is de MPG geen volledige circulariteitsindicator. Aspecten zoals repareerbaarheid, losmaakbaarheid, hergebruikspotentieel, restwaarde, onderdelenbeschikbaarheid en de feitelijke eindelevensroute worden nog beperkt of indirect meegenomen. Voor klimaatinstallaties is daarom niet alleen betere vulling van de MPG nodig, maar ook aanvulling met indicatoren voor levensduur, onderhoudbaarheid, demontage, hergebruik en hoogwaardige verwerking.

Wanneer de Rijksoverheid op termijn een afrekenbaar doel wil stellen voor de MKI van installaties, kan worden verkend of de MPG-systematiek verder kan worden gedifferentieerd. Naar analogie met BENG 1, 2 en 3 zou bijvoorbeeld onderscheid kunnen worden gemaakt tussen gebouwgebonden materiaalimpact, installatiegebonden materiaalimpact en energiegerelateerde levenscyclusimpact. Een dergelijke uitsplitsing kan helpen om gericht te sturen op de milieu-impact van installaties, zonder dat verbetering op één onderdeel wordt verhuld door compensatie elders. Dit vraagt wel om voldoende betrouwbare data, geharmoniseerde rekenregels en een uitvoerbare methodiek voor zowel nieuwbouw als renovatie.

Versterk daarnaast de kwaliteitsborging en handhaving op bouwwerk- en productniveau. Maak de MPG onderdeel van as-built kwaliteitsborging, zodat afwijkingen tussen ontwerp en uitvoering zichtbaar worden en materiaalimpact ook in de uiteindelijke productkeuze wordt meegewogen. Versterk ook het toezicht op eindelevensduurverwerking, onder meer via afgifteplicht, betere registratie en CENELEC-certificering, om informele routes te beperken en hoogwaardige verwerking te stimuleren. Koppel deze sterkere grip op de keten aan retourlogistiek die hergebruik, refurbishment en hoogwaardige terugwinning mogelijk maakt.

Gebruik publiek opdrachtgeverschap om de vraag naar circulaire klimaatinstallaties te versnellen.

Rijk, provincies, gemeenten en publieke vastgoedorganisaties kunnen via aanbestedingen vraag creëren naar installatie-arm ontwerp, beperking van overdimensionering, onderhoudstoegankelijke plaatsing, hergebruikte of refurbished componenten en betrouwbare productinformatie. Benut en versterk hiervoor bestaande instrumenten, zoals het PvE circulaire klimaatinstallaties, en pas deze consequent toe in publieke projecten. Juist in de periode tot 2030, waarin woningbouw, elektrificatie en vervanging van aardgasinstallaties de vraag naar klimaatinstallaties vergroten, kunnen publieke opdrachtgevers lock-in voorkomen. Keuzes over reparatie, losmaakbaarheid, materiaalimpact en verwerkingskwaliteit worden immers al bij ontwerp en inkoop vastgelegd, terwijl de installaties pas decennia later uitstromen.

Maak reparatie, onderhoud en hergebruik financieel aantrekkelijker dan volledige vervanging.

Een structurele belemmering voor levensduurverlenging is dat circulaire routes vaak meer arbeid vragen, terwijl nieuwe materialen en producten relatief goedkoop blijven. Hierdoor worden reparatie, onderhoud, demontage, controle en refurbishment financieel benadeeld ten opzichte van vervanging. De Rijksoverheid kan daarom expliciet verkennen hoe fiscale prikkels kunnen verschuiven van arbeid naar grondstoffen en materiaalimpact. Lagere lasten op reparatie- en onderhoudsarbeid, een lager btw-tarief voor reparatie of refurbishment, of hogere beprijzing van primaire materiaalimpact kunnen bijdragen aan een betere businesscase voor levensduurverlenging. Omdat zulke maatregelen verder reiken dan klimaatinstallaties alleen, vragen zij om bredere economische afweging. Voor deze productgroep is de richting echter helder: beleid dat arbeid voor onderhoud, reparatie en hergebruik goedkoper maakt en primaire materiaalinzet zwaarder laat meewegen, sluit direct aan op de belangrijkste belemmeringen uit de MIS-analyse en interviews. Naast fiscale prikkels zijn ook gedeelde logistieke voorzieningen nodig om arbeidsintensieve circulaire routes praktisch uitvoerbaar te maken. Ondersteun daarom logistieke hubs voor sortering, controle, reparatie en hoogwaardige verwerking, bijvoorbeeld in samenwerking met Stichting OPEN.

Stimuleer prestatie- en servicemodellen waarin ontwerp, onderhoud en restwaarde gekoppeld zijn.

Alternatieve ketenmodellen laten zien dat integrale afstemming tussen productontwerp, installatieontwerp en onderhoud elkaar versterken en wederzijdse meerwaarde creëren in een sluitende business case. Productontwerp, installatieontwerp, onderhoud, monitoring, reparatie en restwaarde worden dan niet langer als losse schakels gezien, maar in één contract- of ketenmodel verbonden. Voorbeelden zijn prestatiecontracten, leaseconstructies,

terugkoopafspraken, producent-installateurpartnerschappen en klimaat-as-a-service, waarbij de gebruiker betaalt voor comfort of prestatie in plaats van voor eigendom van de installatie. Zulke modellen kunnen producenten en installateurs prikkelen om installaties modulair, toegankelijk en reparabel te ontwerpen, omdat lagere onderhoudskosten en hogere restwaarde binnen hetzelfde model terugkomen. Voor publieke en professionele opdrachtgevers kan dit via aanbesteding en prestatiecontracten worden gestimuleerd; voor particuliere huiseigenaren kan de overheid verkennen hoe garanties, standaardcontracten of financieringsvormen dergelijke modellen toegankelijker maken.

Tot slot

Circulariteit in klimaatinstallaties kan niet met één afzonderlijke maatregel worden gerealiseerd. De grootste impact ontstaat wanneer beleidsdoelen, normen, rekenmethoden, handhaving, publiek opdrachtgeverschap en marktprikkels in samenhang worden ingezet. Daarbij ligt de uiteindelijke keuze voor interventies bij de Rijksoverheid, maar vraagt uitvoering om samenwerking met producenten, installateurs, opdrachtgevers, vastgoedeigenaren, verwerkers en kennispartijen. Op korte termijn ligt de nadruk op het voorkomen van lock-in door installatie-arm ontwerp, beperking van overdimensionering en betere productinformatie. Op langere termijn worden levensduurverlenging, retourlogistiek, hoogwaardige verwerking en beschikbaarheid van secundaire materialen steeds belangrijker. Zo kan de verduurzaming van klimaatinstallaties worden verbonden aan minder primair materiaalgebruik, langere levensduur en behoud van waarde in de keten.



Ondertekening

TNO) Energy & Materials Transition) Utrecht, 27 augustus 2026

 ValidSigned door Charlotte Smit-Rietveld
op 31-08-2026

Charlotte Smit-Rietveld
Research Manager

 ValidSigned door Arjan van Horssen
op 31-08-2026

Arjan van Horssen
Project Manager

Bijlage A

Methodologie

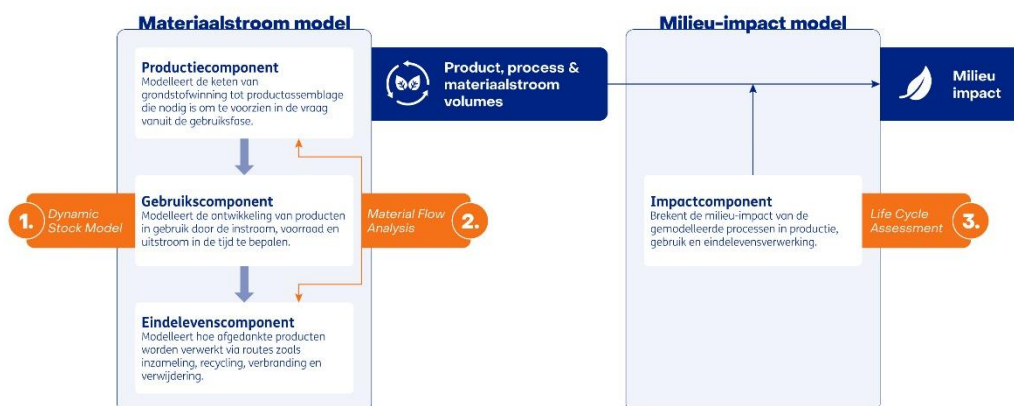
Voor het in kaart brengen van de materiaalstromen in de productgroep en milieu-impact is er gebruik gemaakt van een model-raamwerk dat bestaat uit drie methodes; *Dynamic Stock Modelling* (DSM) [Dynamische voorraadmodellering], *Material Flow Analysis* (MFA) [Materiaalstroom analyse] en *Life Cycle Assessment* (LCA) [levenscyclusanalyse]. DSM en MFA vormen samen de kern van de analyse. Met DSM wordt de ontwikkeling van productvoorraden en bijbehorende in- en uitstromen in de tijd gemodelleerd. MFA bouwt hierop voort door deze productstromen te vertalen naar materiaalstromen over de verschillende levensfasen van producten. De resultaten van het materiaalstroommodel vormen vervolgens de input voor de LCA, waarmee de milieu-impact van materiaalgebruik en -verwerking wordt gekwantificeerd. **Figuur A.1** geeft schematisch het overzicht van het materiaalstroom model weer en hoe dit zich verhoudt tot het milieu-impact model.

De productgroepanalyse (inclusief scenario's en modelresultaten) is uitgevoerd vanuit bestaande data(verzamelingen). Binnen het project zijn geen aparte meetsystemen of nieuwe dataverzamelingen opgezet mochten gegevens ontbreken. De PGA heeft hierin gebruik gemaakt van beoordeling door experts en/of beschikbare literatuur.

In dit hoofdstuk worden het materiaalstroommodel en het milieu-impactmodel afzonderlijk beschreven. Per model wordt eerst de algemene werking toegelicht, gevolgd door:

- › de gehanteerde uitgangspunten en aannames;
- › de berekeningswijze voor de historische situatie;
- › de invulling van het business-as-usual (BAU) scenario (toekomstscenario);
- › en de wijze waarop de circulaire oplossingsruimte (toekomstscenario) is verkend.

Deze opbouw maakt transparant hoe keuzes en aannames doorwerken in de uitkomsten en ondersteunt een consistente vergelijking tussen scenario's.



Figuur A.1: Overzicht materiaalstroom model en milieu-impact model

A.1 Materiaalstroom model

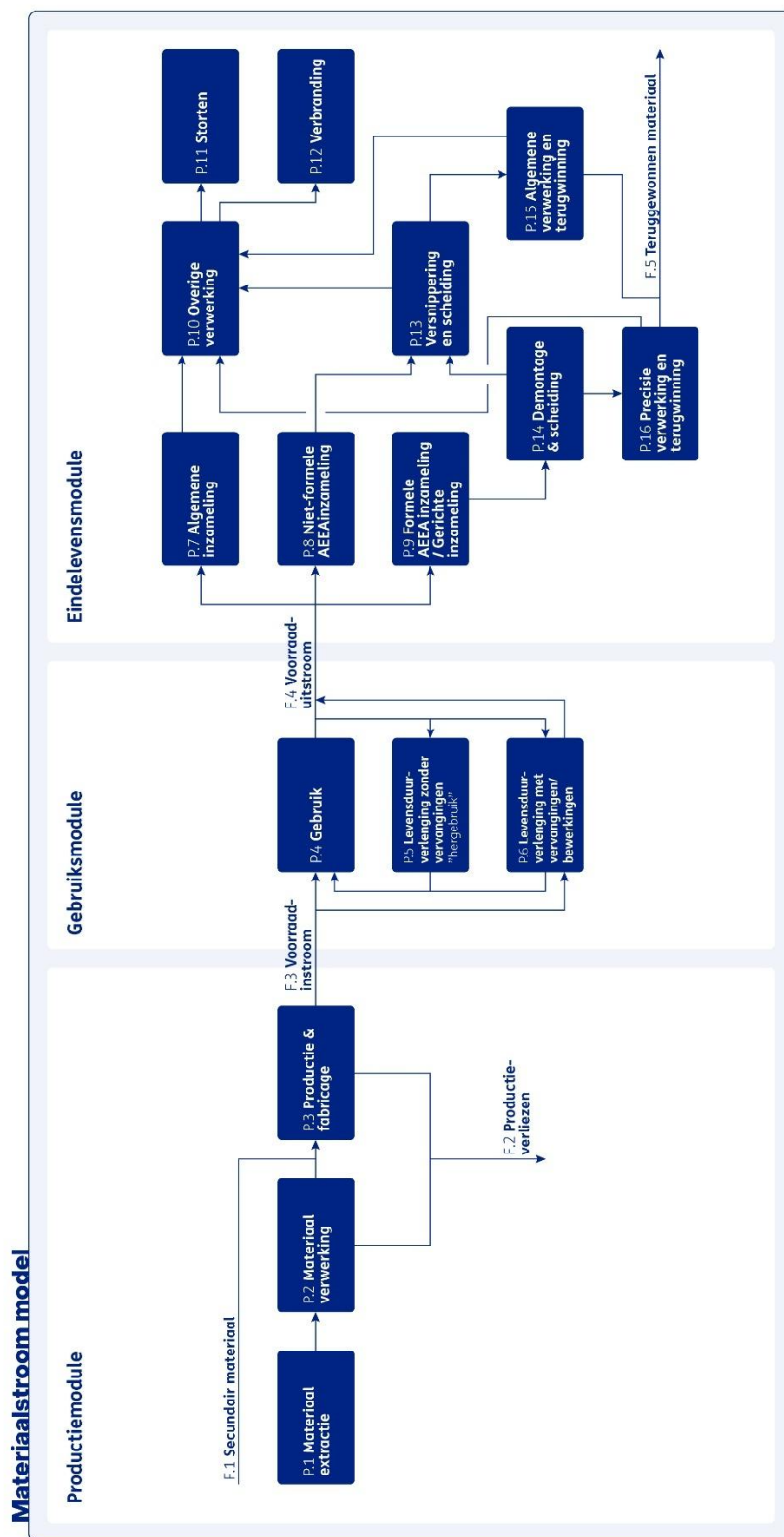
A.1.1 Algemeen

Het materiaalstroommodel beschrijft de beweging van producten en bijbehorende materialen door de verschillende levensfasen binnen het systeem, zie hoofdstuk 1.2 voor de afbakening van het geanalyseerde systeem. Het model is opgebouwd uit drie modules; productie, gebruik, en einde-levensverwerking. Deze drie modules zijn aan elkaar gekoppeld en vormen samen één samenhangend materiaalstroomnetwerk, zie ook Figuur A.2. De gebruiksmodule vormt het startpunt van het model, omdat de vraag naar producten in gebruik bepalend is voor zowel de benodigde productie als de hoeveelheid producten die uiteindelijk uitstromen aan het einde van de levensduur.

Op basis van het DSM wordt in de gebruiksmodule de jaarlijkse instroom van producten in gebruik, de omvang van de voorraad, en de uitstroom van afgedankte producten in de tijd bepaald. Deze productstromen vormen vervolgens het uitgangspunt voor zowel de productie- als de eindelevensmodule, zie Figuur A.2. De productiemodule beschrijft de keten die nodig is om aan de vraag vanuit de gebruiksfase te voldoen. Dit omvat de winning van grondstoffen, de verwerking tot materialen, de fabricage van componenten en de assemblage van eindproducten. Door deze stappen expliciet te modelleren kan worden berekend hoeveel primaire en secundaire materialen nodig zijn en welke verliezen optreden tijdens productieprocessen. De eindelevensmodule beschrijft de verwerking van producten die uit de gebruiksfase uitstromen. Hierbij worden verschillende routes gemodelleerd, zoals inzameling, demontage, recycling en verbranding. De teruggewonnen materialen uit recycling vormen potentiële secundaire materiaalstromen, die beschikbaar zijn voor hergebruik in productieprocessen.

In het model worden de stromen van secundair materiaal en teruggewonnen materialen na recycling expliciet zichtbaar gemaakt, zonder te veronderstellen dat gerecyclede materialen direct en volledig terugvloeien naar dezelfde productieketen. Daarmee blijft het model een goede reflectie van de realiteit aangezien er een grote onzekerheid is met betrekking tot de kwaliteit, locatie of toepasbaarheid van secundaire materialen binnen dezelfde productgroep.

Figuur A.2 geeft een schematisch overzicht van het materiaalstroommodel. Daarbij zijn de gemodelleerde processen (P) en voornaamste stromen (F) beschreven.



Figuur A.2: Schematisch overzicht materiaalstroommodel.

A.1.1.1 Gebruiksmodule | algemeen

De gebruiksmodule beschrijft de ontwikkeling van producten in gebruik en vormt daarmee het centrale schakelpunt van het materiaalstroommodel. Op basis van deze module worden zowel de vraag naar nieuwe producten (instroom) als de hoeveelheid afgedankte producten (uitstroom) in de tijd bepaald. Deze uitkomsten vormen het directe uitgangspunt voor de productie- en de eindelevensmodule. De kern van de gebruiksmodule wordt gevormd door het DSM, waarmee de relatie tussen instroom, voorraad en uitstroom van producten wordt gemodelleerd. Er zijn twee type DSMs:

- › Een instroom-gedreven DSM neemt de jaarlijkse instroom van producten als uitgangspunt en berekent op basis van levensduurverdelingen hoe de voorraad zich opbouwt en wanneer producten uitstromen.
- › Een voorraad-gedreven DSM vertrekt vanuit de gewenste of waargenomen voorraad en berekent hoeveel instroom nodig is om die voorraad in stand te houden, gegeven de uitstroom door veroudering en einde levensduur.

Afhankelijk van de beschikbare data en het doel van de analyse kan het DSM zowel instroom-gedreven als voorraad-gedreven worden toegepast. Voor de uitgevoerde analyse verschilt per situatie welke type DSM is toegepast, dit is hieronder toegelicht.

Historische situatie

Voor de historische periode is de gebruiksmodule gemodelleerd met een instroom-gedreven DSM. Daarbij vormt het jaarlijks aantal producten dat op de markt is gebracht het uitgangspunt. Op basis van deze instroom en de toegepaste levensduurverdelingen wordt berekend:

- › hoeveel producten zich in een bepaald jaar in gebruik bevinden;
- › hoe de leeftijdsopbouw van de voorraad eruitziet;
- › en wanneer producten uit gebruik uitstromen.

Deze aanpak maakt het mogelijk om de huidige voorraad aan producten te reconstrueren, inclusief samenstelling en gebruiksleeftijd. De gereconstrueerde voorraad vormt een essentiële basis voor de verdere analyse en fungeert als startpunt voor de toekomstscenario's.

Toekomstscenario's

Voor de toekomstscenario's (business-as-usual (BAU) en circulaire oplossingsruimte) is de gebruiksmodule gemodelleerd met een voorraad-gedreven DSM, waarbij de toekomstige vraag naar producten in gebruik het uitgangspunt vormt. De uitgangspositie voor deze scenario's is de voorraad zoals vastgesteld in het historische model, inclusief de leeftijdsopbouw van producten. De keuze voor een voorraad-gedreven benadering in de toekomst maakt het mogelijk om structurele veranderingen te modelleren, zoals:

- › marktverzadiging van bepaalde technologieën;
- › veranderingen in de samenstelling van de warmtevoorziening;
- › levensduurverlenging door reparatie en hergebruik;
- › en afbouw of uitfasering van productcategorieën richting 2050.

In deze benadering wordt de benodigde jaarlijkse instroom afgeleid uit de gewenste voorraad en de verwachte uitstroom, in plaats van andersom. Hierdoor is het model beter in staat om scenario-gedreven veranderingen te vertalen naar product- en materiaalstromen.

Levensduurmodellering

Voor de DSM is voor alle productcategorieën de levensduur gemodelleerd met behulp van een Weibull-verdeling. Deze verdeling maakt het mogelijk om zowel de gemiddelde levensduur als de spreiding in afdankmomenten binnen een productcategorie te beschrijven. De schaalparameter van de Weibull-verdeling is gebaseerd op de gemiddelde levensduur van producten, terwijl de vormparameter de mate van vroegtijdige en uitgestelde afdanking bepaalt.

Door het gebruik van levensduurverdelingen in plaats van vaste levensduren ontstaat een realistischere tijdsverdeling van uitstromen, wat met name van belang is voor het analyseren van toekomstige materiaalstromen en recyclingpotentieel. Deze aanpak wordt ook gebruikt in de huidige monitoring van AEEA.

Levensduurverlenging door reparatie en hergebruik

Levensduurverlenging tijdens de gebruiksfase is in de gebruiksmodule meegenomen via reparatie en hergebruik. Deze strategieën zijn gemodelleerd als een verlenging van de gebruiksduur van een deel van de producten die anders in dat jaar zouden uitstromen. Om het model beheersbaar en transparant te houden, is aangenomen dat producten maximaal één keer een levensduurverlengende interventie ondergaan. Reparatie en hergebruik worden daarom gemodelleerd als een verschuiving van het uitstroommoment, niet als een aparte gebruiksfase met een eigen dynamiek. De resulterende stroom representeert het aandeel producten dat langer in gebruik blijft dan op basis van de oorspronkelijke levensduur zou worden verwacht.

Voor gerepareerde en hergebruikte producten is aangenomen dat de vormparameter van de levensduurverdeling gelijk blijft aan die van nieuwe producten. De verlenging wordt vastgelegd als een vaste additionele levensduur. Het onderscheid tussen reparatie en hergebruik ligt in de materiaalinput: bij reparatie is extra materiaal benodigd om de levensduurverlenging te realiseren, terwijl bij hergebruik wordt aangenomen dat geen of slechts een verwaarloosbare hoeveelheid extra materiaal nodig is. Voor elke productcategorie zijn hiervoor vaste aannames opgesteld, zie paragraaf A.1.3.2.

A.1.1.2 Productiemodule | algemeen

De productiemodule beschrijft de materiaalstromen die nodig zijn om te voldoen aan de instroom van producten in de gebruiksfase. De jaarlijkse instroom naar de gebruiksvoorraad, zoals berekend in de gebruiksmodule, vormt daarmee het directe uitgangspunt voor dit onderdeel van het model. De productiemodule omvat de volledige keten van grondstofwinning, materiaalverwerking, componentfabricage, en assemblage van eindproducten. Door deze keten te modelleren kan worden bepaald hoeveel primaire en secundaire materialen nodig zijn om de productvraag te dekken, en waar in de keten materiaalverliezen optreden.

Modellering van productieprocessen

De productieketen is gemodelleerd aan de hand van verdelingscoëfficiënten ("transfer coefficients"). Deze coëfficiënten geven per processtap aan welk deel van de materiaalstroom wordt doorgegeven aan de volgende stap en welk deel verloren gaat als productieverlies, procesafval of bijproduct. Hierdoor kan het model de benodigde materiaalinput per stap berekenen en de verliezen over de productieketen inzichtelijk maken.

Sub-producten

Binnen de productiemodule wordt per productcategorie onderscheid gemaakt tussen sub-producten. Dit betreft de beschrijving van sub-producten voor deelgebruik. Op deze manier is het mogelijk om de verminderde instroom door deelgebruik mee te nemen, en verschillen met betrekking tot de levensduur ten opzichte van de niet-deelgebruik variant mee te nemen. De verdeling van sub-producten binnen de jaarlijkse instroom wordt bepaald via een splitsing tussen niet-deelgebruik en deelgebruik varianten. Deze splitsing beschrijft hoe het relatieve aandeel van de verschillende varianten zich in de tijd ontwikkelt. Hiermee kan het model veranderingen van verhoogd deelgebruik meenemen in de materiaalstroomanalyse.

Materiaalintensiteiten

Een centraal onderdeel van de productiemodule is het bepalen van de materiaalintensiteiten van producten (en sub-producten). Deze intensiteiten beschrijven de opbouw van een product op drie hiërarchische niveaus, ook te zien in Figuur A.3:

1. *Componentniveau*

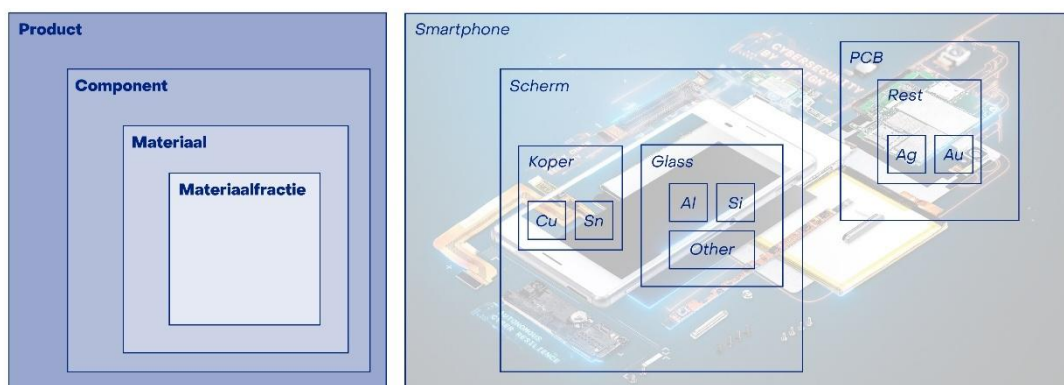
Hierbij worden brede, representatieve componentgroepen onderscheiden (zoals behuizing, structurele dragers, functionele modules). Het gaat nadrukkelijk om generieke groepen, niet om elk individueel onderdeel.

2. *Materiaalniveau*

Voor elke component wordt bepaald welke materiaalcategorieën aanwezig zijn, zoals: aluminium en aluminiumlegeringen, koper en koperlegeringen, ferrometalen, kunststoffen en overige materialen.

3. *Materiaalfractie-niveau (gespecificeerde samenstelling)*

Binnen de materiaalcategorieën wordt een nadere specificatie gemaakt die relevant is voor materiaalgebruik en circulariteit. Voor metalen betreft dit de legeringssamenstelling (bijv. percentage Al, Fe, Mg, Si voor aluminiumlegeringen). Voor kunststoffen wordt onderscheid gemaakt tussen kunststofsoorten, zoals PET, HDPE, LDPE, EPS, enzovoort.



Figuur A.3: Overzicht opbouw materiaalintensiteiten inclusief het voorbeeld van een smartphone.

Deze driedeling maakt het mogelijk om zowel op productniveau als op materiaal- en samenstellingsniveau nauwkeurige materiaalvraag, massa-balansen en afhankelijkheden van grondstoffen te berekenen. De materiaalintensiteiten worden gekoppeld aan de berekende instroom vanuit de gebruiksfase. Op basis hiervan bepaalt het model hoeveel materialen en componenten geproduceerd moeten worden om aan de productvraag te voldoen. Via de transfercoëfficiënten worden deze materiaalstromen door de productieketen geleid, inclusief verliezen in elke stap. De productiemodule levert daarmee twee essentiële uitkomsten:

- › de totale materiaalvraag aan de productiekant, uitgesplitst naar materiaalcategorie;
- › en de hoeveelheid productieafval die vrijkomt tijdens winning, verwerking en assemblage.

A.1.1.3 Eindelevensmodule | algemeen

De eindelevensmodule beschrijft de verwerking van producten en materialen die uit de gebruiksfase uitstromen. De jaarlijkse product- en materiaaluitstroom, zoals berekend in de gebruiksmodule, vormt het uitgangspunt voor dit onderdeel van het materiaalstroommodel. In de eindelevensmodule wordt gemodelleerd via welke verwerkingsstappen afgedankte producten zich door het systeem bewegen en welk deel van de materialen uiteindelijk beschikbaar komt als secundaire grondstof. De modellering is generiek opgezet en toepasbaar op alle productcategorieën binnen de analyse.

Net als in de productiemodule wordt gebruikgemaakt van transfercoëfficiënten. Deze coëfficiënten beschrijven welk aandeel van de uitstromende producten of materialen naar een specifieke vervolgstap gaat en welk deel als verlies wordt beschouwd. Op deze manier ontstaan consistente, sluitende materialenbalansen over de volledige eindelevensverwerking.

De eindelevensmodule bestaat uit de volgende opeenvolgende stappen:

1. inzameling;
2. scheiding door demontage;
3. scheiding na mechanische verwerking (versnippering);
4. recycling en overige verwerkingsroutes.

De invulling van deze stappen (bijvoorbeeld de hoogte van inzamelings- of scheidingspercentages) is product- en materiaalspecifiek en wordt verder beschreven in paragraaf A.1.5.

A.1.2 Productcategorieën

Voor het opstellen van het historisch scenario is eerst vastgesteld welke productcategorieën onderdeel vormen van de analyse. Deze classificatie bepaalt op welk detailniveau de instroom van producten is gemodelleerd. De technologieën die in deze studie zijn geanalyseerd maken, met uitzondering van afgifte- en distributiesystemen, ook onderdeel uit van de reguliere monitoring van afval van elektrische en elektronische apparatuur (AEEA). Deze monitoring vindt plaats op basis van de UNU-productclassificatie (UNU-keys), die zijn gedefinieerd op basis van overeenkomsten in gewicht, materiaalopbouw en levensduur van producten.

Voor een betere specificatie van technologieën en om veranderingen in het gebruik van technologieën te kunnen volgen, zijn voor de UNU-keys met de grootste productstromen (op basis van massa) bepaalde technologieën afzonderlijk gemodelleerd. Dit betreft Central Heating-systemen (UNU-key 0001) en Air conditioners (UNU-key 0111). Deze uitsplitsing maakt het mogelijk om verschillen in toepassing en ontwikkeling van deze technologieën mee te nemen in de analyse.

De productgroep Household Heating & Ventilation (UNU-key 0106) is als volledige UNU-key gemodelleerd. Hiermee wordt binnen de afgestemde reikwijdte van het onderzoek de volledige productgroep meegenomen, zonder verdere technologische differentiatie. Naast elektrische en elektronische installaties zijn ook warmte-afgifte- en distributiesystemen en luchtdistributiesystemen afzonderlijk geanalyseerd. Deze systemen vallen niet binnen de WEEE-classificatie, wel zijn zij essentieel om de materiaalstromen die samenhangen met gebouwgebonden klimaatinstallaties volledig in beeld te brengen. Tabel A.1 geeft een overzicht van de geanalyseerde productcategorieën

Tabel A.1: Overzicht geanalyseerde productcategorieën

Productcategorieën	Beschrijving
Airco / LL-Warmtepomp	Elektrische lucht-luchtwarmtepomp, toegepast voor koeling en (gedeeltelijk) ruimteverwarming in woningen.
BW-Warmtepomp >7 kW	Elektrische bodem-waterwarmtepomp met een specifiek thermisch vermogen classificatie, toegepast in combinatie met een laagtemperatuurafgiftesysteem.
BW-Warmtepomp 7-12 kW	
BW-Warmtepomp <12 kW	
LW-Warmtepomp >7 kW	

LW-Warmtepomp 7-12 kW	Elektrische lucht-waterwarmtepomp met een specifiek thermisch vermogen classificatie, toegepast in combinatie met een laagtemperatuurafgiftesysteem.
LW-Warmtepomp <12 kW	
Hr-ketel	Hoogrendementsgasketel voor ruimteverwarming en warm tapwater. In woningen met een hybride warmtepomp wordt de hr-ketel primair gebruikt voor piekbelasting.
Hybride-Warmtepomp >7 kW	Hybride warmtepomp toegepast voor basislastverwarming, in combinatie met een HR-ketel en een middeltemperatuurafgiftesysteem.
Hybride-Warmtepomp 7-12 kW	
Hybride-Warmtepomp <12 kW	
Luchtdistributie	Luchtkanalen voor woningen met balansventilatie.
LT-afgiftesysteem	Laagtemperatuurafgiftesysteem voor ruimteverwarming, bestaande uit vloerverwarming, wandverwarming of laagtemperatuurradiatoren. In het model is uitsluitend vloerverwarming meegenomen ter vereenvoudiging.
LT-distributiesysteem	Installaties voor distributie van warmte naar laagtemperatuurafgiftesystemen, met name circulatiepompen en leidingen.
MT-afgiftesysteem	Middeltemperatuurafgiftesysteem voor ruimteverwarming, voornamelijk bestaande uit gangbare radiatoren.
MT-distributiesysteem	Middeltemperatuurdistributiesysteem voor warmteverdeling naar radiatoren, voornamelijk leidingsystemen.
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming (UNU-key 0106)	Overige groep klimaat- en ventilatie-installaties die niet afzonderlijk zijn gemodelleerd, maar gezamenlijk onderdeel vormen van de productgroep Household Heating & Ventilation.

A.1.3 Gebruiksmodule

A.1.3.1 Product instroom / vraag

A.1.3.1.1 Historisch

De basis voor de gebruiksmodule wordt gevormd door de productinstroom en productvraag in de historische periode. Voor het modelleren van de gebruiksfase is zowel gebruikgemaakt van een instroom-gedreven als een voorraad-gedreven DSM, afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens en het type productcategorie. Voor productcategorieën waarvoor betrouwbare instroomgegevens beschikbaar zijn, is een instroom-gedreven DSM toegepast. Hierbij vormt het aantal producten dat jaarlijks op de markt wordt gebracht het uitgangspunt voor het bepalen van de voorraad en de uitstroom. Voor afgifte- en distributiesystemen, is de voorraad indirect bepaald op basis van de relatie met andere productcategorieën binnen het systeem, zie Tabel A.2.

De historische instroom is gemodelleerd tot en met 2023, aangezien voor latere jaren geen volledige en consistente gegevens beschikbaar zijn. Voor de jaren waarvoor instroomdata ontbraken, zijn aannames gedaan op basis van beschikbare statistieken, trends en relaties met andere relevante variabelen. Deze aannames zijn waar mogelijk gevalideerd door vergelijking van de resulterende voorraad met onafhankelijke bronnen. Voor afgifte- en distributiesystemen is de instroom niet rechtstreeks gemodelleerd, maar afgeleid van de aanwezigheid van specifieke verwarmings- en koelingstechnologieën in de woningvoorraad. De voorraad van deze systemen is daarmee gekoppeld aan de voorraad van warmtepompen, HR-ketels en collectieve warmtesystemen, zoals berekend met het DSM.

Tabel A.2 geeft per productcategorie een overzicht van het toegepaste type DSM, de databronnen en belangrijkste aannames.

Tabel A.2: Overzicht uitgangspunten historische product instroom / vraag per productcategorie

Productcategorie	Model type	Uitgangspunten
Airco / LL-Warmtepomp	Instroom	Instroom gebaseerd op het aantal geïnstalleerde lucht-luchtwarmtepompen in woningen volgens CBS ²⁴ .
BW-Warmtepomp	Instroom	Instroom gebaseerd op het aantal geïnstalleerde bodem-water warmtepompen volgens CBS ²⁵ . De verdeling over vermogensklassen is bepaald op basis van het aandeel op de markt gebrachte systemen per vermogensklasse in 2023 ²⁶ .
LW-Warmtepomp	Instroom	Instroom gebaseerd op het aantal geïnstalleerde buitenlucht-water warmtepompen volgens CBS ²⁷ . De verdeling over vermogensklassen is bepaald op basis van het aandeel op de markt gebrachte systemen per vermogensklasse in 2023 ²⁸ .
Hr-ketel	Instroom	Instroom gebaseerd op het aantal op de markt gebrachte HR-ketels in Nederland voor de periode 2010–2023 (RVO) ²⁹ . Voor de jaren vóór 2010 is aangenomen dat de trend in instroom gelijk is aan de ontwikkeling van nieuwbouw- en vervangingsmarkt, gebaseerd op CBS-gegevens over woningvoorraad en plaatsingen ³⁰ . Deze aannames zijn gevalideerd door vergelijking van de gemodelleerde voorraad met CBS-gegevens over de voorraad HR-ketels ³¹ .
Hybride-Warmtepomp	Instroom	Instroom gebaseerd op het aantal geïnstalleerde hybride warmtepompen volgens CBS ³² . De verdeling over vermogensklassen is bepaald op basis van het aandeel op de markt gebrachte systemen per vermogensklasse in 2023 ³³ .
LT-afgiftesysteem en distributiesysteem	Voorraad	Aangenomen dat woningen met een BW-warmtepomp, LW-warmtepomp of collectieve warmtevoorziening (na 2005) beschikken over een LT-afgifte- en distributiesysteem. De voorraad is gekoppeld aan de gemodelleerde voorraad warmtepompen. Het aantal woningen met collectieve warmte is gebaseerd op RVO-gegevens (2016–2023) ³⁴ en voor eerdere jaren lineair geëxtrapoleerd op basis van bekende voorraden in 2003 ³⁵ .
MT-afgiftesysteem en distributiesysteem	Voorraad	Aangenomen dat woningen met een hr-ketel of collectieve warmtevoorziening geïnstalleerd vóór 2005 beschikken over een MT-afgifte- en distributiesysteem. De voorraad is afgeleid van de gemodelleerde voorraad hr-ketels.
Luchtdistributie	Voorraad	Aangenomen dat de toepassing van luchtdistributiesystemen samenvalt met de ontwikkeling van LT-afgiftesystemen in nieuwbouwwoningen. De voorraad is daarom gelijkgesteld aan de voorraad LT-afgiftesystemen in nieuwbouw.

²⁴ [StatLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen](#)

²⁵ [StatLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen](#)

²⁶ [3. Indicatoren | CBS](#)

²⁷ [StatLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen](#)

²⁸ [3. Indicatoren | CBS](#)

²⁹ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2025-12/Marktinformatie-isolatiematerialen-isolatieglas-HR-ketel-2010-2024.pdf>

³⁰ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82235NED/table>

³¹ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84948NED/table>

³² [StatLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen](#)

³³ [3. Indicatoren | CBS](#)

³⁴ [Overzicht: duurzaamheid warmte17netten in 2024](#)

³⁵ [Stadsverwarming.pdf](#)

Ventilatieboxen(vast), afzuiginstallaties, en losse verwarming (UNU-key 0106)	Instroom	Instroom gebaseerd op UNU-key 0106 zoals gehanteerd in de EU-monitoring voor WEEE-stromen. ³⁶
--	----------	--

A.1.3.1.2 Toekomstscenario

Voor de toekomstscenario's (business-as-usual en circulaire oplossingsruimte) is één consistent uitgangspunt gehanteerd voor de modellering van de productvraag. Het startpunt voor alle toekomstscenario's is de productvoorraad in het laatste historische jaar, inclusief de samenstelling en leeftijdsopbouw van deze voorraad zoals berekend in de historische analyse. De toekomstscenario's zijn gemodelleerd met behulp van een voorraad-gedreven DSM, zodat veranderingen in productlevensduur expliciet kunnen worden meegenomen. Bij significante veranderingen in de productvraag kan het voorkomen dat producten de volledige technische levensduur niet benutten. In dergelijke gevallen worden andere drijfveren, zoals systeemveranderingen of beleidsmatige keuzes, leidend. Dit resulteert in een eerdere uitstroom dan op basis van het levensduurmodel zou worden verwacht.

Als overkoepelend uitgangspunt voor de toekomstscenario's is gekozen voor een eenduidige ontwikkeling van de warmtevraag, waarbij een volledig gasloze warmtevoorziening in 2050 wordt aangenomen. Dit scenario vertegenwoordigt een situatie met de grootste structurele verschuivingen in productvraag en materiaalstromen, met name door de toename van warmtepompen en bijbehorende installaties. Op dit moment bestaat geen eenduidig, vaststaand scenario voor de precieze invulling van de warmtevoorziening richting 2050. Verschillende paden zijn denkbaar, bijvoorbeeld variatie in het aandeel collectieve warmte, individuele warmtepompen of hybride oplossingen in de overgangsfase. Eventuele wijzigingen in deze verdeling hebben een directe invloed op het type producten dat wordt toegepast en daarmee ook op de totale materiaalvraag. De gekozen toekomstscenario's moeten daarom niet worden geïnterpreteerd als voorspellingen, maar als consistent doorgerekende verkenningen van mogelijke ontwikkelpaden, uitgaande van één samenhangend set aannames.

Voor de toekomstscenario's is de productvraag per categorie vastgesteld op basis van:

- › de historische voorraad als startpunt;
- › projecties van woningvoorraad³⁷;
- › en aannames over de ontwikkeling van technologie-toepassing richting 2050.

De specifieke aannames over productvraag zijn per productcategorie vastgelegd en samengevat in Tabel A.3. Deze vormen de basis voor zowel het business-as-usual scenario als voor de uitgewerkte circulaire oplossingsruimte.

³⁶ https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee/implementation-weee-directive_en

³⁷ [Primos Online | Ontwikkeling woningvoorraad - Nederland](#)

Tabel A.3: Overzicht uitgangspunten historische product instroom / vraag per productcategorie

Productcategorie	Model type	Uitgangspunten
Airco / LL-Warmtepomp	Voorraad	In de afgelopen vijf jaar is sprake van een structurele groei van ca. 2.5 duizend geïnstalleerde airco's per jaar. Aangenomen is dat deze groei wordt doorgezet. Daarnaast is verondersteld dat 25 % van de airco's wordt ingezet als hoofdverwarming ³⁸ .
BW-Warmtepomp	Voorraad	De historische voorraad vormt het uitgangspunt. Het aantal geïnstalleerde warmtepompen is lineair geïnterpoleerd richting 2030 op basis van projecties uit de Klimaat- en Energieverkenning (KEV 2025) ³⁹ . De verhouding tussen BW- en LW-warmtepompen is daarbij gebaseerd op historische verdelingen. Deze verhouding is doorgetrokken naar 2050. Het totale aantal warmtepompen in 2050 is bepaald op basis van het voldoen aan de resterende warmtevraag, rekening houdend met het aantal woningen, het aandeel woningen aangesloten op collectieve warmte ⁴⁰ en het gebruik van airco's voor verwarming.
LW-Warmtepomp	Voorraad	
Hr-ketel	Voorraad	De historische voorraad in 2023 vormt het uitgangspunt. Het aantal woningen met een hr-ketel als primaire warmtevoorziening is lineair geëxtrapoleerd richting 2030 op basis van KEV-projecties ⁴¹ . Voor de periode 2030–2050 vervullen hr-ketels de resterende warmtevraag. Voor woningen met een hybride warmtepomp is aangenomen dat altijd ook een hr-ketel aanwezig is.
Hybride-Warmtepomp	Voorraad	De historische voorraad in 2023 vormt het uitgangspunt. Het aantal hybride warmtepompen is lineair geïnterpoleerd richting 2030 op basis van KEV-projecties ⁴² . Aangenomen is dat de groei doorzet tot circa 2035, gevolgd door stabilisatie en een afbouw richting 2050 in lijn met de ambities voor een volledig gasloze warmtevoorziening.
LT-afgiftesysteem en distributiesysteem	Voorraad	Zie de uitgangspunten voor het historische scenario.
MT afgiftesysteemMT-afgiftesysteem en distributiesysteem	Voorraad	
Luchtdistributie	Voorraad	
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming (UNU-key 0106)	Voorraad	De voorraadontwikkeling is op basis van de ontwikkeling van de woningvoorraad.

³⁸ [Verwarmen met een airco](#)³⁹ [Klimaat- en Energieverkenning 2025 | Planbureau voor de Leefomgeving](#)⁴⁰ <https://www.nplw.nl/uploads/files/Wet-en-regelgeving/why-is-there-a-law-collective-heat.pdf>⁴¹ [Klimaat- en Energieverkenning 2025 | Planbureau voor de Leefomgeving](#)⁴² [Klimaat- en Energieverkenning 2025 | Planbureau voor de Leefomgeving](#)

A.1.3.2 Levensduur en levensduurverlenging

Binnen de gebruiksmodule speelt de levensduur van producten een centrale rol bij het bepalen van de uitstroom uit de gebruiksfase. Voor alle productcategorieën is de levensduur gemodelleerd met behulp van een Weibull-verdeling, waarmee zowel de gemiddelde levensduur als de spreiding in afdankmomenten kan worden beschreven. De schaalparameter van de Weibull-verdeling is bepaald op basis van de gemiddelde levensduren zoals vastgesteld in de bronnen die zijn gebruikt voor de bepaling van de materiaalintensiteiten. De vormparameter is, waar mogelijk, afgeleid van beschikbare literatuur van UNITAR⁴³, gebaseerd op de corresponderende UNU-keys voor de betreffende productcategorieën. Voor productgroepen waarvoor geen directe koppeling met een UNU-key beschikbaar was, is de vormparameter ingeschat op basis van producten met vergelijkbare gebruiks- en afdankpatronen. De gekozen levensduurparameters zijn getoetst via gerichte plausibiliteitscontroles, ondersteund door AI-gebaseerde analyse. Hierbij zijn de aannames vergeleken met beschikbare literatuur, referentiewaarden en gangbare bandbreedtes. Deze aannames zijn ook voorgelegd tijdens de expertsessie, zie A.1.6.

Naast de reguliere levensduur is in de gebruiksmodule ook levensduurverlenging tijdens gebruik meegenomen, in de vorm van levensduurverlenging zonder vervangingen. Bewerkingen (hergebruik) en levensduurverlenging met vervangingen/bewerkingen (reparatie, refurbishment, etc.). Deze levensduurverlengende strategieën zijn gemodelleerd als onderdeel van het DSM en beïnvloeden rechtstreeks de timing van productuitstroom. Het aandeel producten waarvoor reparatie of hergebruik wordt toegepast is ingeschat op basis van AI-gebaseerde analyse, waarbij representatieve bronnen over reparatie- en hergebruikpraktijken zijn gevoed voor specifieke producten, bijvoorbeeld voor wasmachines, drogers en mobiele telefoons. Op basis van productkarakteristieken en gebruikspatronen is bepaald wat de huidige mate van toepassing is voor alle productcategorieën. Dit is ook gedaan voor de mate waarin de levensduur wordt verlengd door deze activiteiten. Deze waarden vormen zowel het uitgangspunt voor de historische situatie als voor het business-as-usual scenario. Bij het bepalen van deze aandelen is rekening gehouden met het feit dat niet alle producten uitstromen vanwege technische gebreken. Een deel van de uitstroom vindt plaats als gevolg van systeemveranderingen, vervanging of renovatie. Dit begrenst het maximale aandeel van producten waarvoor levensduurverlenging realistisch toepasbaar is, wat ook is meegenomen bij het verkennen van de circulaire oplossingsruimte, zie A.1.6.3.

De gehanteerde levensduurparameters en aannames over levensduurverlenging zijn per productcategorie samengevat in Tabel A.4 en vormen de input voor de berekening van productuitstroom in de gebruiksmodule. Voor levensduur verlengende activiteiten wordt het aantal jaar levensduurverlenging beschreven aan de hand van het referentiejaar 2023. Indien producten in het algemeen een langere levensduur krijgen, zal het effect van hergebruik en reparatie naar dezelfde houding worden aangepast.

Tabel A.4: Overzicht levensduur gegevens en gegevens levensduurverlengende activiteiten

Productcategorie	Gemiddelde levensduur incl. reparatie en hergebruik	Levensduur vorm-parameter	Additionele levensduur reparatie	Aandeel reparatie	Additionele levensduur hergebruik	Aandeel hergebruik
Airco / LL-Warmtepomp	17	2.69	3	25%	2.5	2%
BW-Warmtepomp	17	2.8	4	30%	3	2%

⁴³ https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6477/RZ_EWaste_Guidelines_LoRes.pdf

LW-Warmtepomp	17	2.6	3.5	30%	3	2%
Hr-ketel	17	2.8	2.5	40%	2	1%
Hybride-Warmtepomp	17	2.8	3	35%	2.5	2%
LT-afgiftesysteem	50	3.5	5	5%	5	2%
LT-distributiesysteem	20	3	8	30%	3	1%
MT afgiftesysteem	25	3	4	10%	6	5%
MT-distributiesysteem	50	3.5	6	8%	5	2%
Luchtdistributie	50	3.5	8	10%	5	1%
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	12	1.99	3	20%	3	3%

De materiaalvervanging als gevolg van reparatie is in dit onderzoek gemodelleerd als een gemiddelde per reparatie, waarbij rekening wordt gehouden met zowel de variatie in type reparaties als de mate waarin componenten daadwerkelijk worden vervangen. Per productcategorie is een verdeling opgesteld van componenten die typisch betrokken zijn bij reparaties (bijv. elektronica, mechanische onderdelen, bekabeling en behuizing). Het uitgangspunt bij deze bepaling is; de kans dat een component wordt vervangen, gegeven dat een reparatie plaatsvindt.

Daarnaast is expliciet rekening gehouden met het feit dat bij veel reparaties niet de volledige component wordt vervangen, maar slechts een deel daarvan. Daarom is een deelvervangingsfactor toegepast per component, die aangeeft welk aandeel van de componentmassa gemiddeld wordt vervangen wanneer deze component onderdeel is van een reparatie. De uiteindelijke materiaalvervanging per reparatie is berekend als de kans dat een component wordt vervangen, vermenigvuldigd met het aandeel van een component dat wordt vervangen. Deze aanpak zorgt ervoor dat zowel volledige vervangingen (bijv. printplaten) als gedeeltelijke vervangingen (bijv. behuizingsdelen) worden meegenomen. De resultaten moeten worden geïnterpreteerd als een gemiddelde materiaalvraag per reparatie, en niet als een specifieke technische reparatiehandeling. Een algemeen overzicht is weergegeven in **Tabel A.5**.

Tabel A.5: Algemeen overzicht gemiddelde reparatie materiaalvervanging

Component	Effectieve materiaalvervanging
Printplaat	~25–35%
Elektronica	~10–20%
Behuizing	~1–10%
Magneten	~0–10%
Radiator	~1–3%
Buizen	~0–10%
Pomp	~10–30%

A.1.4 Productiemodule

De productiemodule beschrijft de materiaalstromen die samenhangen met de vervaardiging van producten die instromen in de gebruiksfase. De productinstroom per productcategorie, zoals bepaald in de gebruiksmodule, vormt het uitgangspunt voor de berekening van de materiaalvraag aan de productiekant. Aan de productiekant omvat de analyse de volledige keten van grondstofextractie, materiaalverwerking, componentfabricage en productassemblage. Door deze keten te modelleren kan worden bepaald hoeveel primaire en secundaire materialen nodig zijn om aan de productvraag te voldoen en waar in de keten materiaalverliezen optreden. De gemodelleerde stromen in de productiemodule zijn weergegeven in **Figuur A.2**.

Binnen de productiemodule is voor verschillende productcategorieën onderscheid gemaakt tussen sub-producten, om relevante technologische variatie te kunnen modelleren. Dit geldt voor lucht-waterwarmtepompen, waarvoor meerdere typen koudemiddelen zijn onderscheiden (R32, R290 en R134a). Dit onderscheid is gemaakt omdat emissies van koudemiddelen tijdens de gebruiksfase een significant effect hebben op de milieu-impact. Voor het modelleren van deze emissies is inzicht nodig in de voorraad warmtepompen per type koudemiddel. Daarbij is aangenomen dat tot en met 2015 voornamelijk gebruik werd gemaakt van R134a. Voor de periode daarna is op basis van beschikbare marktinformatie⁴⁴ een lineaire ontwikkeling richting 2023 aangenomen, met een verschuiving richting R32 en R290. De verdeling van productvarianten binnen de totale productinstroom is vastgelegd via een marktaandeel benadering, waarbij de aannames voor de historische en toekomstige perioden zijn vastgelegd.

Voor elke productcategorie zijn materiaalintensiteiten vastgesteld die beschrijven welke hoeveelheid materialen gemiddeld in een product aanwezig is. Deze materiaalintensiteiten vormen de basis voor het berekenen van de totale materiaalvraag. De inputgegevens voor de materiaalintensiteiten verschilt per productcategorie. Tabel A.6 geeft inzicht in de uitgangspunten voor de materiaalintensiteiten.

Tabel A.6: Overzicht uitgangspunten materiaalintensiteit

Productcategorie	Uitgangspunten
Airco / LL-Warmtepomp	Het uitgangspunt voor de materiaalintensiteiten is de achtergronddocumentatie van eerdere verzamelde data voor warmtepompen en hr-ketels ⁴⁵ . Dit overzicht is opgesteld op basis van gegevens van producenten openbaar beschikbaar via PEP ecopasport ⁴⁶ . De materiaalintensiteiten weerspiegelen een ongewogen gemiddelde. Voor PCBs, staal, ijzer, koper en aluminium is er voor de materiaalspecificatie gebruik gemaakt van gegevens van het Futuram-project ⁴⁷ .
BW-Warmtepomp	
LW-Warmtepomp	
Hr-ketel	
Hybride-Warmtepomp	De materiaalintensiteit is gebaseerd op basis van NMD gegevens ⁴⁸ . Voor PCBs, staal, ijzer, koper en aluminium is er voor de materiaalspecificatie gebruik gemaakt van gegevens van het Futuram-project ⁴⁹ . De hoeveelheid materialen per woning is gebaseerd op het gemiddelde vloeroppervlak van woningen ⁵⁰ .
LT-afgiftesysteem en distributiesysteem	

⁴⁴ [Heat Pump Watch: R290 EU Residential Heat Pumps Certificates](#)

⁴⁵ [The Heat is On](#)

⁴⁶ [PEP Ecopassport@](#)

⁴⁷ [Urban Mine Platform](#)

⁴⁸ <https://milieudatabase.nl/nl/rapporten-tool/report/155/>

⁴⁹ [Urban Mine Platform](#)

⁵⁰ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?ts=1749712730094>

MT-afgiftesysteem en distributiesysteem	De materiaalintensiteit per vierkante meter is gebaseerd op basis van recent onderzoek ⁵¹ . Voor staal, ijzer, koper en aluminium is er voor de materiaalspecificatie gebruik gemaakt van gegevens van het Futuram-project ⁵² . De hoeveelheid materialen per woning is gebaseerd op het gemiddelde oppervlak van woningen ⁵³ .
Luchtdistributie	De materiaalintensiteit is gebaseerd op basis van NMD gegevens ⁵⁴ . Voor PCBs, staal, ijzer, koper en aluminium is er voor de materiaalspecificatie gebruik gemaakt van gegevens van het Futuram-project ⁵⁵ . De hoeveelheid materialen per woning is gebaseerd op het gemiddelde vloeroppervlak van woningen ⁵⁶ .
Ventilatieboxen(vast), afzuiginstallaties, en losse verwarming (UNU-key 0106)	De materiaalintensiteit is gebaseerd op de materiaalintensiteit beschreven door het Futuram-project ⁵⁷ voor de productcategorie.

Voor elk materiaal is rekening gehouden met verliezen tijdens extractie, verwerking en productie. Niet alle ingezette materialen komen uiteindelijk in het eindproduct terecht; een deel gaat verloren als snijverlies, slak, restmateriaal of procesafval. De gehanteerde verliespercentages zijn vastgelegd per materiaalcategorie en zijn gebaseerd op literatuur en TNO-interne analyses, zie Tabel A.10.

Naast primaire materialen is per materiaalcategorie vastgelegd welk aandeel van de materiaalinput bestaat uit secundaire (gerecyclede) en, waar relevant, biobased materialen. Deze aandelen bepalen in welke mate de materiaalvraag kan worden ingevuld met meer circulaire grondstoffen. Voor de historische situatie en het business-as-usual scenario zijn deze aandelen gebaseerd op huidige praktijk en beschikbare statistieken. Voor de toekomstscenario's zijn bandbreedtes gehanteerd om mogelijke ontwikkelingen richting een hoger aandeel recycalaat en biobased materialen te verkennen. De gehanteerde aannames zijn gespecificeerd in Tabel A.11 en Tabel A.12.

⁵¹ https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509004418?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=9d2f9bdb8e99b145

⁵² [Urban Mine Platform](#)

⁵³ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?ts=1749712730094>

⁵⁴ https://milieudatabase.nl/media/filer_public/b1/3f/b13fcfaa-42a1-4e9b-a8c2-6a1fddc2aed1/13122023_nmd_categorie_3_luchtkanaal_nl_sfb_573.pdf

⁵⁵ [Urban Mine Platform](#)

⁵⁶ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?ts=1749712730094>

⁵⁷ [Urban Mine Platform](#)

A.1.5 Eindelevensmodule

Het uitgangspunt voor alle productcategorieën is de jaarlijkse product- en materiaaluitstroom uit de gebruiksfase, zoals berekend met het DSM. Deze uitstroom vormt de input voor de modellering van inzameling, verwerking en materiaalherwinning. **Figuur A.2** geeft een overzicht van de gemodelleerde stappen.

A.1.5.1 Inzameling

De eerste stap in de eindelevensmodule is de inzameling van afgedankte producten. Voor elk product is een inzamelingspercentage vastgesteld dat weergeeft welk aandeel beschikbaar komt voor verdere verwerking. Het is aangenomen dat producten op vier verschillende manieren ingezameld worden:

- › Gerichte inzameling niet AEEA-producten, dit betreft de verwerking van niet AEEA-producten door specifieke verwerkers.
- › Formele AEEA inzameling, dit betreft de ingezamelde producten door CENELEC geregistreerde verwerkers.
- › Niet formele AEEA inzameling, dit betreft de ingezamelde producten door niet CENELEC geregistreerde verwerkers.
- › Algemene inzameling, dit betreft de ingezamelde producten via het algemene afval.

Voor de gerichte inzameling van niet AEEA-producten is geen officiële registratie van de inzameling, daarom zijn er geen inzamelingscijfers bekend. Bij vervanging van radiatoren en metalen distributiesystemen geldt dat deze vrijwel altijd selectief worden verwijderd en afgevoerd bij renovatie of sloop. In de praktijk worden dergelijke installaties bij vervanging doorgaans direct afgevoerd door slopers of opgehaald door oud-ijzerhandelaren. Gezien het hoge metaalgehalte en de economische waarde van materialen zoals staal, gietijzer en koper is daarom aangenomen dat het daadwerkelijke inzamelingspercentage voor deze productgroepen hoog is, ingeschat op basis van expert beoordeling. Voor vloerverwarmingssystemen is een afwijkende aanname gehanteerd. Deze systemen zijn vaak geïntegreerd in de bouwconstructie, waardoor selectieve verwijdering minder vanzelfsprekend is en de economische prikkel voor aparte inzameling lager is. Voor deze productcategorie is daarom uitgegaan van een lager inzamelings- en recyclingpercentage.

De inzamelingspercentages voor de formele AEEA inzameling zijn per productcategorie gespecificeerd op basis van gegevens van stichting OPEN voor 2021.⁵⁸ Voor de overige jaren tot en met 2024 is op basis van de trend van de hoofdcategorie inzamelingspercentage (WG) volgens de NWR-rapportage⁵⁹ het product-specifieke inzamelingspercentage bepaald. Voor de jaren 2025 tot en met 2030 is de verwachte trend van het inzamelingspercentage zoals beschreven door Stichting OPEN⁶⁰ aangenomen. Deze stroom aan materialen gaat direct door naar de eerste verwerkersstap van demontage en scheiding. De gehanteerde inzamelingspercentages voor het referentiejaar zijn weergegeven in **Tabel A.15**.

Voor het overige aandeel aan AEEA dat niet via de formele CENELEC geregistreerde verwerkers wordt ingezameld is een vast inzamelingsscenario het uitgangspunt. Het aandeel van deze niet formeel geregistreerde stroom naar de niet formele AEEA inzameling is gebaseerd op gegevens van de E-Waste monitor.⁶¹ Dit aandeel is op basis van de

⁵⁸ [Pauliks, N., Fishman, T., Istrate, R., Steubing, B., & Tukker, A. \(2025\). Historic material losses in European Waste from Electrical and Electronic Equipment. SSRN.](#)

⁵⁹ [Nationaal \(W\)EEE Register \(2025\). Rapportage 2025.](#)

⁶⁰ [Stichting OPEN \(2024\). Actieplan 2025-2030.](#)

⁶¹ [Baldé, C.P., van den Brink, S., Forti, V., van der Schalk, A., Hopstaken, F., The Dutch](#)

hoofdproduct-categorieën gespecificeerd. Het is daarbij aangenomen dat de niet CENELEC geregistreerde verwerkers de stap van demontage overslaan, de producten gaan direct naar versnippering en scheiding. Voor de overige stroom, is verondersteld dat deze in het restafval verdwijnen en niet specifiek worden verwerkt.

A.1.5.2 Scheiding door demontage

Na inzameling volgt de stap demontage en gerichte scheiding, waarin producten (gedeeltelijk) uit elkaar worden gehaald voordat verdere verwerking plaatsvindt. In deze stap worden specifieke componenten en materialen selectief verwijderd om gerichte verwerking mogelijk te maken. Tabel A.16 geeft een overzicht van de gehanteerde scheidingspercentages per component.

Voor de onderzochte productgroepen is aangenomen dat demontage plaatsvindt bij gecertificeerde verwerkers. Door componenten vooraf te verwijderen wordt voorkomen dat zij in een generiek versnipperingsproces terechtkomen, waar materiaalstromen vermengen en hoogwaardige terugwinning minder goed mogelijk is. Zo worden printplaten (PCBs) bij demontage afzonderlijk uitgenomen en via gespecialiseerde routes verwerkt, wat gerichte terugwinning van edelmetalen en kritieke materialen mogelijk maakt. Ook het afzonderlijk verwijderen van compressoren en elektromotoren draagt bij aan een hogere kwaliteit van metaalterugwinning, doordat metalen minder vervuild raken.

Koudemiddelen vormen een bijzondere categorie. Deze worden altijd vóór verdere mechanische verwerking verwijderd, vanwege veiligheids- en milieueisen. Het afzuigen en apart verwerken van koudemiddelen is een vast onderdeel van de verwerkingsketen. In het model is daarom aangenomen dat koudemiddelen in deze demontagestap worden afgescheiden van overige materiaalstromen, waarbij ook verliezen kunnen optreden.

A.1.5.3 Scheiding na versnippering

Materialen en componenten die niet via demontage zijn gescheiden, worden verwerkt via een mechanisch versnipperingsproces, net als de producten ingezameld door de niet formele inzameling. Hierbij worden producten versnipperd, waarna materialen worden gescheiden met behulp van mechanische en fysische technieken op basis van onder andere magnetisme, dichtheid en elektrische geleidbaarheid. In deze studie is aangenomen dat materialen na versnippering worden gescheiden in een beperkt aantal brede materiaalcategorieën, in overeenstemming met gangbare sorteer- en recyclingroutes. Tabel A.17 geeft de gehanteerde scheidingspercentages per materiaalcategorie weer. Materialen die niet effectief kunnen worden gescheiden, worden toegewezen aan afvalverbranding.

De scheiding na versnippering resulteert doorgaans in functionele, maar minder zuivere materiaalstromen dan scheiding op componentniveau. Bij samengestelde producten kan materiaalvermenging optreden, wat de toepassingsmogelijkheden van secundaire materialen beperkt. Tegelijkertijd vervult de versnipperingsstap een belangrijke vangnetfunctie. Met name ferrometalen en non-ferrometalen zoals aluminium en koper kunnen via deze route met relatief hoge efficiëntie worden teruggewonnen, ook wanneer selectieve demontage niet heeft plaatsgevonden.

[WEEE Flows 2020, What happened between 2010 and 2018, 2020, United Nations University \(UNU\) / United Nations Institute for Training and Research \(UNITAR\) - co-hosted by the SCYCLE Programme, Bonn, Germany.](#)

A.1.5.4 Recycling

Na inzameling, demontage en eventuele versnippering worden de vrijgekomen materiaalstromen toegevoerd aan recycling- en verwerkingsroutes. In deze studie is onderscheid gemaakt tussen precisieverwerking en algemene recycling.

Precisieverwerking betreft materiaalstromen afkomstig van selectief gedemonteerde componenten die via gespecialiseerde routes worden verwerkt. Een gangbaar voorbeeld is de recycling van printplaten (PCBs), waarbij edelmetalen zoals goud en zilver met hoge efficiëntie worden teruggewonnen. Door PCBs niet mee te voeren in generieke versnipperings- en smeltprocessen wordt verlies van deze metalen voorkomen.

Daarnaast wordt precisieverwerking in deze studie beschouwd als een toekomstgerichte route voor materialen waarvoor de huidige recyclingpraktijk beperkt is ontwikkeld, met name permanente magneten. In reguliere recyclingprocessen gaan de daarin aanwezige zeldzame aardmetalen veelal verloren. Selectieve verwijdering en gespecialiseerde verwerking maken potentieel hoogwaardige terugwinning van materialen zoals neodymium, praseodymium en dysprosium mogelijk. Deze mogelijkheid is in de analyse expliciet meegenomen, ook al is deze route momenteel nog niet grootschalig geïmplementeerd.

Algemene recycling betreft materialen die na versnippering en mechanische sortering via reguliere industriële processen worden verwerkt. Voor metalen betekent dit doorgaans omsmelting tot secundaire grondstoffen, waarbij de oorspronkelijke productfunctie verloren gaat maar het materiaal grotendeels behouden blijft. Dit geldt met name voor ferrometalen en non-ferrometalen zoals aluminium en koper.

Voor kunststoffen is aangenomen dat in de huidige situatie slechts een beperkt aandeel daadwerkelijk wordt gerecycled. Additieven zoals vlamvertragers beperken de recyclebaarheid en leiden ertoe dat een aanzienlijk deel van de kunststofstromen als reststroom naar verbranding gaat. In de toekomstscenario's is ruimte gelaten voor verbetering via:

1. Meer gerichte scheiding en toepassing van alternatieve recyclingtechnologieën, zoals chemische of oplosmiddel-gebaseerde recycling;
2. ontwerp- en materiaalkeuzes aan de productzijde, met name door het verminderen of vervangen van problematische additieven.

In de analyse is verondersteld dat technologische vooruitgang in recycling en productontwerp geleidelijk leidt tot een hoger aandeel kunststof dat via recycling wordt teruggewonnen.

A.1.6 Circulaire oplossingsruimte

Voor deze studie is naast een business-as-usual (BAU) scenario voor de periode 2024–2050 ook een circulaire oplossingsruimte verkend. Het BAU-scenario vormt het referentiepunt, waarin de huidige ingezette trends worden doorgetrokken zonder aanvullende circulaire versnelling. Vanuit dit referentiepunt is onderzocht in welke mate circulariteit kan worden vergroot door gerichte verbeteringen in producten, ketenprocessen en materiaalkringlopen. Hiertoe is een set van circulaire maatregelen gedefinieerd, die betrekking hebben op verschillende schakels in de keten. Een overzicht van alle geïdentificeerde maatregelen is opgenomen in Tabel 3.2. Deze maatregelen zijn vervolgens vertaald naar modelparameters die direct ingrijpen op de materiaalstromen in het model, zie [Figuur A.4](#).

Voor elke geselecteerde parameter is de circulaire oplossingsruimte richting 2050 gekwantificeerd aan de hand van twee scenario's:

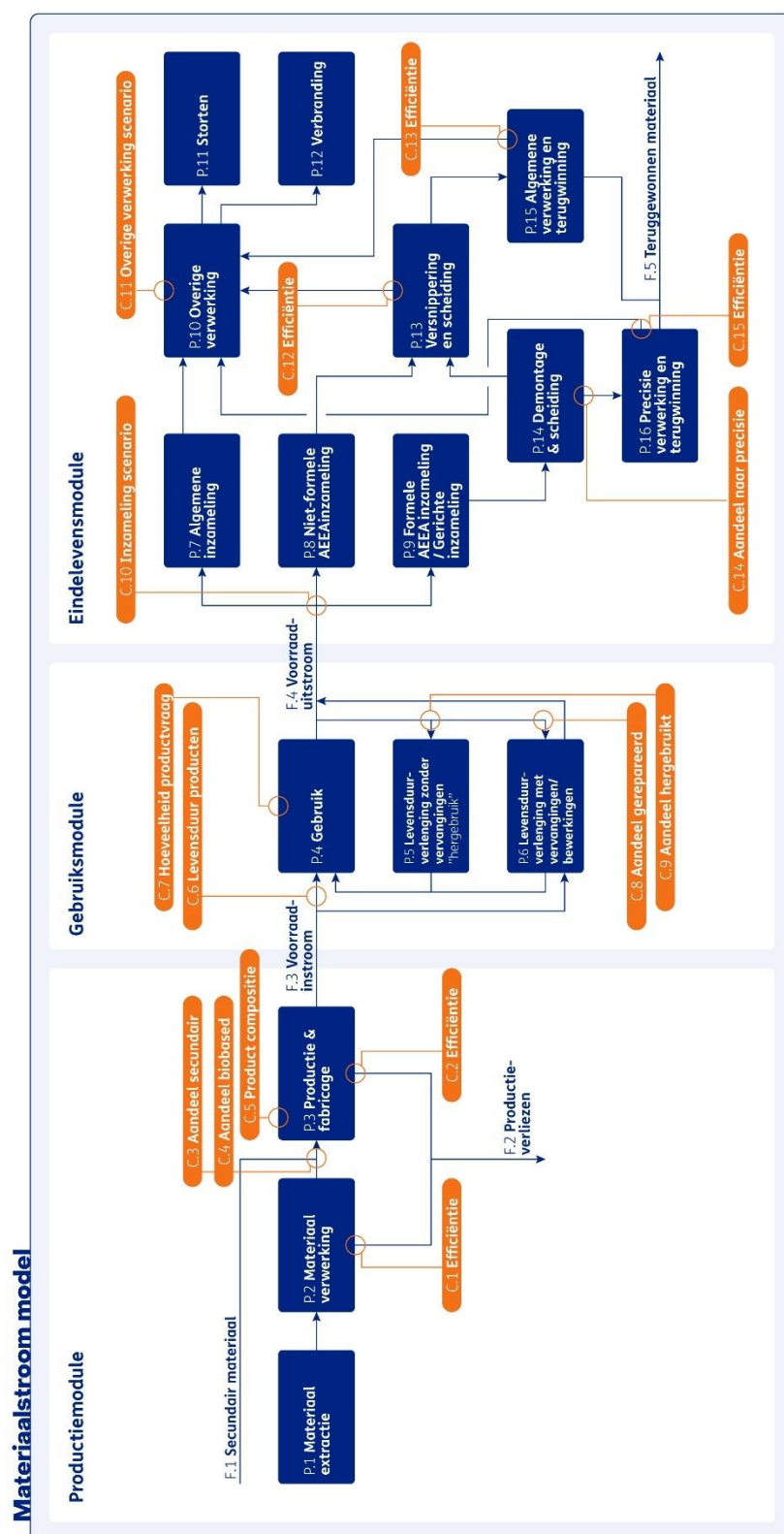
- › een minimaal scenario, dat een conservatieve inschatting representeert van verbeteringen die realistisch worden geacht bij voortzetting van huidige trends en beleid;
- › een maximaal scenario, dat een optimistische maar plausibele inschatting weergeeft van wat technologisch mogelijk is en verwacht kan worden bij actieve inzet op circulariteit.

Deze bandbreedte geeft daarmee niet één voorspelde uitkomst, maar een plausibel bereik van toekomstige ontwikkelingen, gebaseerd op de huidige stand van techniek, verwachte innovatie en ambities. Beide scenario's zijn consequent opgebouwd met het BAU-scenario als uitgangspunt. Vanwege het grote aantal parameters en de breedte van de onderzochte product- en materiaalstromen is gekozen voor een gestructureerde en iteratieve benadering bij het vaststellen van de parameterwaarden. In een eerste stap is met behulp van AI-gebaseerde analyse een initiële inschatting gemaakt van mogelijke waardes per parameter voor zowel het minimale als maximale scenario. Dit gebruik van AI diende nadrukkelijk als ondersteuning en versneller in het verkennen van de oplossingsruimte, niet als vervanging van inhoudelijke expertise. Vervolgens zijn deze eerste inschattingen beoordeeld op plausibiliteit, consistentie en samenhang met de bestaande literatuur, sectorpraktijk en het modelkader.

In een volgende stap zijn de aangenomen waarden en bandbreedtes voorgelegd en besproken tijdens een expertsessie. In deze sessie zijn verschillen van inzicht expliciet gemaakt en waar nodig zijn aannames aangescherpt of bijgesteld. Op deze manier zijn de uiteindelijke parameterwaarden tot stand gekomen via een combinatie van modelmatige consistentie, inhoudelijke beoordeling en externe expertise.

Het gebruik van AI binnen deze studie is doelgericht en afgebakend toegepast. Co-pilot is ingezet als hulpmiddel om systematisch mogelijke richtingen voor parameterontwikkeling te verkennen binnen een complex en datarijk model. De uiteindelijke keuzes, aannames en scenario-invullingen zijn door experts beoordeeld. AI fungeert hiermee als ondersteunend instrument de onderzoeksaanpak.

De hiernavolgende paragrafen beschrijven per circulaire strategie de bijbehorende modelparameter toegepast voor het verkennen van de circulaire oplossingsruimte. Deze zijn afgezet tegen de aannames voor het BAU scenario.



Figuur A.4: Schematisch overzicht materiaalstroommodel voor circulaire oplossingsruimte

A.1.6.1 Vermindering grondstoffen

A.1.6.1.1 Minder installaties

Tabel A.7: Overzicht gegevens maatregel minder installaties t.o.v. het BAU-scenario (Factor C.7)

Productcategorie	2050 min	2050 max	Toelichting
Airco / LL-Warmtepomp	90%	80%	Minder installaties t.o.v. het BAU-scenario door minder vraag naar koeling dan het BaU verwacht
BW-Warmtepomp	90%	80%	Meer collectieve systemen en/of meer installatie-arme woningen
LW-Warmtepomp	90%	80%	
Hr-ketel	95%	90%	
Hybride-Warmtepomp	95%	90%	
LT-afgiftesysteem	95%	90%	Meer installatie-arme woningen
LT-distributiesysteem	95%	90%	
MT-afgiftesysteem	95%	90%	
MT-distributiesysteem	95%	90%	
Luchtdistributie	95%	90%	
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	90%	80%	Minder installaties door minder vraag naar losse producten

A.1.6.1.2 Verminderen materiaalintensiteit

Tabel A.8: Overzicht gegevens maatregel verminderen materiaalintensiteiten t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.5)

Productcategorie	2050 min	2050 max	Toelichting
Airco / LL-Warmtepomp	95%	90%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
BW-Warmtepomp	95%	90%	
LW-Warmtepomp	95%	90%	
Hr-ketel	97%	95%	Minder doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
Hybride-Warmtepomp	97%	95%	
LT-afgiftesysteem	95%	90%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
LT-distributiesysteem	95%	90%	
MT-afgiftesysteem	97%	95%	Minder doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
MT-distributiesysteem	97%	95%	
Luchtdistributie	95%	90%	

Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	95%	90%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
---	-----	-----	---

A.1.6.1.3 Langere levensduur producten

Tabel A.9: Overzicht gegevens maatregel langere levensduur producten t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.6)

Productcategorie	2050 min	2050 max	Toelichting
Airco / LL-Warmtepomp	110%	125%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
BW-Warmtepomp	110%	125%	
LW-Warmtepomp	110%	125%	
Hr-ketel	103%	110%	Minder doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
Hybride-Warmtepomp	108%	120%	
LT-afgiftesysteem	110%	125%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
LT distributiesysteemLT-distributiesysteem	110%	125%	
MT afgiftesysteemMT-afgiftesysteem	103%	110%	Minder doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
MT distributiesysteemMT-distributiesysteem	103%	110%	
Luchtdistributie	108%	120%	Meer doorontwikkeling en optimalisatie verwacht
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	108%	120%	

A.1.6.1.4 Verbeterde productie efficiëntie

Tabel A.10: Overzicht gegevens maatregel verbeterde productie efficiëntie t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.1)

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Zilver	84%	84%	86%	87%	Productie efficiënties voor 2023 op basis van TNO interne data-analyse, exclusief plastics. Voor elke materiaalcategorie is een 10% verbetering aangenomen voor het minimaal scenario en een 20% verbetering voor het maximaal scenario naar 2050 toe.
Aluminium	88%	88%	89%	90%	
Goud	73%	73%	76%	79%	
Kobalt	44%	44%	50%	55%	
Koper	83%	83%	85%	87%	
Ijzer	87%	87%	89%	90%	
Gallium	2%	2%	12%	21%	
Indium	30%	30%	37%	44%	
Magnesium	68%	68%	71%	74%	
Nickel	79%	79%	81%	83%	
Palladium	68%	68%	71%	74%	

Antimony	83%	83%	85%	86%
Tin	88%	88%	89%	91%
Tantalum	65%	65%	68%	72%
Tungsten	89%	89%	90%	91%
Plastics ⁶²	95%	95%	96%	96%
Silicon	80%	80%	82%	84%
Dysprosium	66%	66%	70%	73%
Neodymium	60%	60%	64%	68%
Praseodymium	60%	60%	64%	68%
Overig	95%	95%	96%	96%
Silicon metal	85%	85%	87%	88%
Europium	62%	62%	66%	69%
Yttrium	66%	66%	70%	73%
Samarium	63%	63%	66%	70%

A.1.6.2 Substitutie grondstoffen

A.1.6.2.1 Toepassen biobased materialen¹³⁹

Tabel A.11: Overzicht gegevens maatregel toepassen biobased materialen t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.4)

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Biobased plastics	0%	0%	10%	25%	

A.1.6.2.2 Toepassen recycalaat

Tabel A.12: Overzicht gegevens maatregel toepassen recycalaat t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.3)

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
PCB waardevolle materialen (goud, zilver en palladium)	34% ⁶³	34%	50%	90%	
PCB overig	0%	0%	45%	80%	
Plastics	7% ⁶⁴	7%	10%	35%	
Aluminium	35% ⁶⁵	35%	50%	85%	
Koper	33% ⁶⁶	33%	45%	80%	

⁶² [European Commission \(2025\). Plastics materials flows in the EU-27 and their environmental impacts. JRC Publications Repository.](#)

⁶³ [RMIS - Raw materials' profiles](#)

⁶⁴ [JRC Publications Repository - Plastics materials flows in the EU-27 and their environmental impacts](#)

⁶⁵ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3af7fda6-8fd9-46b7-bede-395f7f8f9943/RecyclingofCriticalMinerals.pdf>

⁶⁶ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3af7fda6-8fd9-46b7-bede-395f7f8f9943/RecyclingofCriticalMinerals.pdf>

Overige metalen	20% ⁶⁷	20%	30%	60%
Ferrometalen	25% ⁶⁸	25%	40%	70%
Glas en keramiek	1%	1%	5%	20%
Indium en tin	0% ⁶⁹	0%	5%	30%
Magneten	0% ⁷⁰	0%	10%	50%
Koudemiddel	0%	0%	0%	0%
Overig	0%	0%	0%	0%

A.1.6.3 Levensduurverlenging

A.1.6.3.1 Verhoogde toepassing reparatie / onderhoud / refurbishment

Tabel A.13: Overzicht gegevens maatregel verhoogde toepassing reparatie / onderhoud / refurbishment t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.8)

Productcategorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Airco / LL-Warmtepomp	25%	25%	30%	35%	
BW-Warmtepomp	30%	30%	35%	40%	
LW-Warmtepomp	30%	30%	35%	40%	
Hr-ketel	40%	40%	45%	50%	
Hybride-Warmtepomp	35%	35%	45%	45%	
LT-afgiftesysteem	5%	5%	8%	10%	
LT-distributiesysteem	30%	30%	35%	40%	
MT-afgiftesysteem	10%	10%	15%	20%	
MT-distributiesysteem	8%	8%	12%	15%	
Luchtdistributie	10%	10%	15%	20%	
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	20%	20%	25%	30%	

A.1.6.3.2 Verhoogde toepassing hergebruik

Tabel A.14: Overzicht gegevens maatregel verhoogde toepassing hergebruik t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.9)

Productcategorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Airco / LL-Warmtepomp	2%	2%	3%	6%	

⁶⁷ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3af7fda6-8fd9-46b7-bede-395f7f8f9943/RecyclingofCriticalMinerals.pdf>

⁶⁸ https://bir.org/images/uploads/publications/Ferrous_report_2019-2023.pdf

⁶⁹ [European Commission \(z.d.\). RMIS - Raw materials' profiles.](#)

⁷⁰ [European Commission \(z.d.\). RMIS - Raw materials' profiles.](#)

BW-Warmtepomp	2%	2%	3%	6%
LW-Warmtepomp	2%	2%	3%	6%
Hr-ketel	1%	1%	2%	4%
Hybride-Warmtepomp	2%	2%	3%	6%
LT-afgiftesysteem	2%	2%	2%	5%
LT-distributiesysteem	1%	1%	2%	4%
MT-afgiftesysteem	5%	5%	6%	10%
MT-distributiesysteem	2%	2%	3%	6%
Luchtdistributie	1%	1%	2%	4%
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	3%	3%	5%	10%

A.1.6.4 Hoogwaardige verwerking

A.1.6.4.1 Verbetering inzameling

Tabel A.15: Overzicht gegevens maatregel verbetering inzameling t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.10), zie A.1.5.1 voor onderliggende aannames.

Productcategorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max
Airco / LL-Warmtepomp	98%	98%	99%	99%
BW-Warmtepomp	98%	98%	99%	99%
LW-Warmtepomp	98%	98%	99%	99%
Hr-ketel	1%	98%	99%	99%
Hybride-Warmtepomp	98%	98%	99%	99%
LT-afgiftesysteem	0%	30%	60%	80%
LT-distributiesysteem	1%	62%	65%	90%
MT-afgiftesysteem	95%	95%	97%	99%
MT-distributiesysteem	95%	95%	97%	99%
Luchtdistributie	95%	95%	97%	99%
Ventilatieboxen(vast), afzuiginginstallaties, en losse verwarming	6%	6%	32%	66%

A.1.6.4.2 Verhoogde scheiding / demontage

Tabel A.16: Overzicht gegevens maatregel verhoogde efficiëntie scheiding door demontage t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (factor C.14), met gegevens van het Futuram-project⁷¹ als uitgangspunt.

Component	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
PCB	0%	0%	49%	97%	Het 2050 min scenario is op basis van het gemiddelde van het Futuram 2023 en 2050 scenario.
Kabels	100%	100%	100%	100%	
Compressor	99%	99%	99%	99%	
Display	0%	0%	45%	90%	
Magneet	0%	0%	45%	90%	
Koudemiddel	100%	100%	100%	100%	
Overig	0%	0%	0%	0%	

A.1.6.4.3 Verbeterde scheiding bij versnipperen

Tabel A.17: Overzicht gegevens maatregel verhoogde efficiëntie scheiding bij versnippering t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.12), met gegevens van het Futuram-project⁷² als uitgangspunt.

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Plastics	70%	70%	80%	90%	Het 2050 min scenario is op basis van het gemiddelde van het Futuram 2023 en 2050 scenario.
Aluminium	90%	90%	93%	95%	
Koper	95%	95%	95%	95%	
Overige metalen	80%	80%	85%	90%	
Ferrometalen	97%	97%	97%	97%	
Glas en keramiek	75%	75%	85%	90%	
Overig	0%	0%	0%	0%	

A.1.6.4.4 Verbeterde recycling efficiëntie

Tabel A.18: Overzicht gegevens maatregel verbeterde recycling efficiëntie t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.13).

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
Plastics ¹⁴⁵	54%	54%	60%	70%	Op basis van mechanische recycling van plastics.

⁷¹ [D3.1 Extended Waste Stream Composition Assessment to Enable Secondary Raw Material Assessment - FutuRaM](#)

⁷² [D3.1 Extended Waste Stream Composition Assessment to Enable Secondary Raw Material Assessment - FutuRaM](#)

Aluminium	96%	96%	97%	98%	Op basis van algemene verwerking van metalen via smelter. Daarbij is het uitgangspunt een 10-20 reductie van verliezen.
Koper	97%	97%	98%	99%	
Overige metalen	92%	92%	94%	96%	
Ferrometalen	98%	98%	99%	99%	

A.1.6.4.5 Verbeterde precisie recycling efficiëntie

Tabel A.19: Overzicht gegevens maatregel verbeterde precisie recycling efficiëntie t.o.v. huidige situatie en BAU-scenario (Factor C.15).

Materiaal categorie	2023	2050 BAU	2050 min	2050 max	Toelichting
PCB waardevolle materialen (goud, zilver en palladium)	97%	97%	99%	99%	
Plastics¹⁴⁵	83%	83%	86%	90%	Op basis van chemische recycling plastics.
Aluminium	96%	96%	97%	98%	
Koper	97%	97%	98%	99%	
Overige metalen	92%	92%	94%	96%	
Ferrometalen	98%	98%	99%	99%	
Glas en keramiek	70%	70%	80%	90%	
Indium en tin	94%	94%	96%	98%	
Magneten	75%	75%	85%	93%	
Overig	0%	0%	0%	0%	

A.2 Milieu-impact model

A.2.1 Algemeen

Voor de kwantificering van de milieu-impact van klimaatinstallaties is gebruikgemaakt van het milieu-impact model component. Dit model vormt een expliciete koppeling tussen de gemodelleerde materiaalstromen uit het materiaalstroommodel en milieu-impactfactoren. Voor het opstellen van de milieu-impactfactoren is gebruik gemaakt van LCA en bestaande LCA-databases. Het doel van deze aanpak is om de milieu-impact op een transparante en consistente wijze te berekenen, aansluitend op het materiaalstroommodel waarin instroom, voorraad en uitstroom van producten door de tijd heen worden gevolgd.

De gemodelleerde product- en materiaalstromen worden in het milieu-impact model gekoppeld per processtap aan de respectievelijke milieu-impact factor. Bijvoorbeeld de hoeveelheid aan staal geproduceerd wordt vermenigvuldigd met de respectievelijke impactfactor. De totale milieu-impact wordt berekend als de som van de impactintensiteit van een materiaal of proces, vermenigvuldigd met de bijbehorende massa die in een bepaald jaar door het systeem stroomt. Deze berekening wordt afzonderlijk uitgevoerd voor verschillende levensfasen van producten, zodat inzichtelijk wordt waar en wanneer milieueffecten optreden. Voor de milieu-impactanalyse is gebruikgemaakt van meerdere impactcategorieën conform de ReCiPe-methode. De impact wordt daardoor niet beperkt tot één enkele indicator, maar omvat een bredere set milieueffecten.

De milieu-impact omvat de processen die samenhangen met de productie en het op de markt brengen van klimaatinstallaties, alsmede de processen die plaatsvinden aan het einde van de levensduur, gericht op inzameling en verwerking. Processen buiten deze scope, zoals bouwkundige maatregelen die samenhangen met de gebouwschil, zijn niet meegenomen in de impactberekening. Ook infrastructuur en kapitaalgoederen maken geen onderdeel uit van het gemodelleerde systeem. Ook de transport van goederen is niet in kaart gebracht. De focus van het impact-model ligt op de materiaal gerelateerde impacts in kaart te brengen.

Binnen de toegepaste modelopzet is het energieverbruik in de gebruiksfase van klimaatinstallaties niet integraal meegenomen. Dit betekent dat de milieu-impact die samenhangt met het elektriciteits- of gasverbruik tijdens de operationele levensduur van installaties buiten beschouwing is gelaten. Als gevolg daarvan is het effect van efficiëntere klimaatinstallaties die mogelijk niet op de markt komen vanwege levensduurverlenging van bestaande systemen eveneens niet inzichtelijk gemaakt binnen dit model. De analyse richt zich daarmee niet op verschillen in operationele energieprestaties tussen oude en nieuwe installaties, maar uitsluitend op de materiaal- en procesgerelateerde milieu-impact binnen de vastgestelde systeemgrenzen.

Een specifiek onderdeel van de gebruiksfase dat wél is meegenomen, betreft de milieu-impact als gevolg van emissies van koudemiddelen. Tijdens de gebruiksfase treden bij klimaatinstallaties verliezen van koudemiddelen op, onder meer door lekkage tijdens normaal gebruik, onderhoud en service. Deze emissies veroorzaken een directe milieu-impact van de gebruikte koudemiddelen. In deze PGA zijn deze emissies expliciet meegenomen, conform de methodiek en aannames beschreven in een eerdere TNO-studie naar emissies van koudemiddelen in klimaatinstallaties⁷³. Daarbij is aangenomen dat een deel van het toegepaste

⁷³ [Notitie: Duiding Milieuprestatie Warmtepompen in de bestaande bouw](#)

koudemiddel gedurende de levensduur van installaties vrijkomt naar de atmosfeer, wat leidt tot additionele klimaatimpact in de jaren waarin deze emissies plaatsvinden. De emissies van koudemiddelen zijn in het model gedifferentieerd naar type koudemiddel. Voor elk koudemiddeltype zijn emissiefactoren toegepast, die rekening houden met het verliespercentage en de bijbehorende klimaatimpact.

Voor de verwerkingsfase aan het einde van de levensduur worden uitsluitend de processen meegenomen die expliciet binnen de scope van de PGA zijn gemodelleerd. Dit betreft onder meer inzameling, voorbehandeling en verdere verwerking van materialen. Daarbij wordt uitgegaan van de gemodelleerde routing van materialen, bijvoorbeeld via demontage en scheiding of via meer algemene mechanische verwerking. De milieu-impact van deze processen wordt toegekend aan het jaar waarin de betreffende materiaalstroom vrijkomt en wordt verwerkt.

Secundaire materialen die uit recyclingprocessen voortkomen, worden in het milieu-impact model als materiaalstromen zonder voorafgaande milieubelasting het systeem binnengebracht. Dit betekent dat er geen milieu-impact uit eerdere levenscycli wordt toegerekend aan deze materialen. De berekening omvat uitsluitend de impact van de inzameling en verwerking binnen de huidige systeemgrenzen. In lijn met deze benadering wordt geen gebruikgemaakt van systeemuitbreiding of toerekening van vermeden primaire productie. De analyse richt zich daarmee op het beschrijven van feitelijke emissies en milieueffecten die binnen het geanalyseerde systeem optreden.

Een belangrijk uitgangspunt van de toegepaste methodiek is de temporele toerekening van milieu-impact. De impact wordt altijd toegerekend aan het jaar waarin deze daadwerkelijk plaatsvindt. Dit betekent dat de milieu-impact van productie en marktintroductie van een klimaatinstallatie wordt meegenomen in het jaar waarin het product op de markt komt. Wanneer hetzelfde product pas decennia later aan het einde van de levensduur komt, wordt de milieu-impact van inzameling en verwerking toegerekend aan dat latere jaar. Deze werkwijze sluit direct aan bij de dynamische modellering van materiaalstromen en maakt het mogelijk om de ontwikkeling van milieu-impact door de tijd heen te analyseren.

Voor alle processen zijn huidige, representatieve emissiefactoren gebruikt, deze processen worden in paragraaf A.2.3 toegelicht. Er is geen veronderstelling gemaakt over toekomstige verbeteringen in productie- of recyclingtechnologieën. De resultaten laten daarmee zien welke milieu-impact samenhangt met de huidige inrichting van productieketens en verwerkingsprocessen, gegeven de omvang en timing van de gemodelleerde materiaalstromen. Eventuele veranderingen in emissie-intensiteit als gevolg van technologische ontwikkeling en bijvoorbeeld verduurzaming van de energiemix vallen buiten de scope van deze analyse.

A.2.2 Methode

Python en Brightway25 (Mutel, 2017)⁷⁴ vormen de basis voor het synthetiseren van de benodigde data. Het milieu-impact model maakt gebruik van dezelfde data als het materiaalstroom model, al wordt de data anders gestructureerd. Voor de uitleg van de methode wordt onderscheid gemaakt tussen de productiefase, een reparatie, en de einde-levensfase. De productiefase is specifiek voor elk product, terwijl de einde-levensfase meer generieke activiteiten bevat. De gebruikersfase wordt niet meegenomen in dit onderzoek tenzij er reparaties plaatsvinden.

Het milieu-impact model is gebaseerd op LCA maar volgt niet de normale structuur van het bouwen van een LCA, maar een modulaire LCA methode zoals beschreven in Steubing & Mutel (2016).⁷⁵ In een modulaire LCA worden onderdelen van de levenscyclus opgeknipt in verschillende losse onderdelen. Door verschillende versies van dezelfde onderdelen te maken die van elkaar verschillen kan een modulaire LCA verschillende scenario's simuleren. Zo kunnen de eerste delen van de LCA hetzelfde blijven terwijl de eindelevensfase verschilt tussen twee scenario's omdat elke versie een andere module voor die fase gebruikt

Voor dit onderzoek zijn de modules opgeknipt in componenten (290), producten (37), en verschillende eindelevensfase-activiteiten (23). Alle materialen en elementen voor elk component worden meegenomen in de component-modules als inputs. Vervolgens worden de milieu-impacts berekend volgens de ReCiPe impact categorieën voor elke module.

Om de tijdsdimensie en verschillende scenario's mee te kunnen nemen, wordt er een resultatenoverzicht gemaakt voor elke tijdlijn, voor elk scenario. Voor elke tijdlijn, voor elk scenario worden oude en nieuwe hoeveelheden vergeleken en vervangen als de hoeveelheden verschillen van jaar op jaar. Dit levert unieke resultaten per LCA module op, die aangeroepen worden door het materiaalstroommodel wanneer berekeningen voor een bepaald jaar en scenario worden gedaan.

⁷⁴ Mutel, C. (2012). Brightway: An open source framework for Life Cycle Assessment. *Journal of Open Source Software*, 2(12), 236.

⁷⁵ Steubing, B., Mutel, C., Suter, F. et al. Streamlining scenario analysis and optimization of key choices in value chains using a modular LCA approach. *Int J Life Cycle Assess* 21, 510–522 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1015-3>.

A.2.3 Processen

Zoals beschreven in de methode, bestaan de resultaten van het milieu-impact uit impact resultaten van verschillende modules. De productmodules worden gebruikt in de productiefase, de componentmodules in de reparaties, en de eindelevensmodules in de eindelevensfase.

A.2.3.1 Productiefase

De gebruikte data voor klimaatinstallaties bestaat uit de volgende levels: element, materiaal, component, product. Elk product bestaat uit een set componenten, die componenten bestaan zelf weer uit materialen, en die materialen bestaan uit elementen. Voor elk element, materiaal, component, en product bestaat een eigen activiteit. Een product maakt alleen gebruik van componenten als input, een component alleen van materialen, en een materiaal alleen van elementen.

Omdat de elementen alleen uit zichzelf bestaan, gebruikt elk materiaal dezelfde elementen als basis. Dit betekent dat er 23 metalen en 1 rest materiaal als element bestaan in de PGA elektronica. Er bestaan verschillende versies van dezelfde materialen omdat dezelfde materialen voor verschillende producten uit een verschillende ratio van elementen kunnen bestaan. Dit geldt ook voor componenten; dezelfde componenten, zoals printplaten, bestaan uit verschillende ratio's van materialen omdat een printplaat voor een telefoon kleiner is dan een laptop. Voor zowel een airco als een warmtepomp kan een component met dezelfde functie bestaan uit verschillende materialen of verschillende hoeveelheden materialen vanwege de grootte en de functionaliteit.

De extractie van de elementen, het verwerken van die elementen tot bruikbare materialen, het verwerken van de materialen in componenten, en het in elkaar zetten van producten uit die componenten wordt als één product gemodelleerd. Wanneer een product van de productiefase naar de gebruiksfase beweegt wordt de hele milieu-impact van dat product toegepast in één keer, en niet onderverdeeld in verschillende stappen als extractie, verwerking, en fabricatie. Dit reduceert de dimensies voor berekeningen zonder precisie van de resultaten te verliezen.

A.2.3.2 Reparaties

Voor elk product dat door het materiaalstroom model beweegt, bestaat er voor elk jaar een kans dat het product kapot gaat. Voor elk kapot product bestaat er een kans dat het gerepareerd kan worden. Dit wordt gemodelleerd als het vervangen van een component. Het resultaat daarvan is dat de milieu-impact van het maken van de nieuwe component dat geïnstalleerd wordt, wordt toegekend aan de totale impact van dat product. Hierna kan het product weer een bepaalde tijd mee tot een ander component het begeeft.

A.2.3.3 Einde-levensfase

Wanneer een product aan het einde van zijn leven is, begint de einde-levensfase. In deze fase wordt, waar mogelijk, bruikbaar materiaal uit het product gehaald, en wordt de rest verbrand. In het milieu-impact model wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten van afvalmanagement; specifieke activiteiten en algemene activiteiten. Sommige producten of componenten hebben specifieke waardeketens voor recycling terwijl de andere producten dezelfde behandeling krijgen. **Tabel A.20** hieronder geeft een overzicht van de recycling activiteiten die toegepast zijn.

Tabel A.20: Overzicht van recycling methoden toegepast

NAAM	TYPE	NOTITIES
manual_dismantling	algemeen	voor het uit elkaar halen van grote apparaten
shredding	algemeen	voor het shredden van componenten exclusief PCV
PCB_shredding_separation	precisie	voor het shredden van printplaten
cables	precisie	recyclen van kabels voor koper terugwinning
aluminium_scrap_remelting	precisie	terugwinnen van materiaal
aluminium_scrap_refining	precisie	terugwinnen van materiaal
copper_scrap_refining	precisie	terugwinnen van materiaal
plastics_incineration	precisie	terugwinnen van materiaal
aluminium_incineration	precisie	terugwinnen van materiaal
zinc_incineration	precisie	terugwinnen van materiaal
steel_incineration	precisie	terugwinnen van materiaal
copper_incineration	precisie	terugwinnen van materiaal
gold_recovery_from_scrap	precisie	terugwinnen van materiaal
silver_recover_from_scrap	precisie	terugwinnen van materiaal
palladium_recovery_from_scrap	precisie	terugwinnen van materiaal
shredder_fraction_incineration	algemeen	verbranden van overgebleven materiaal
PET_recycling	precisie	terugwinnen van materiaal
PE_recycling	precisie	terugwinnen van materiaal
PP_recycling	precisie	terugwinnen van materiaal
PS_recycling	precisie	terugwinnen van materiaal
PVC_recycling	precisie	terugwinnen van materiaal
plastic_recycling	algemeen	verbranden van overgebleven materiaal

A.2.4 LCA achtergrond data

Elk proces gebruikt in het milieu-impact model is opgebouwd uit een combinatie van achtergrond processen. Het grootste deel van deze processen is afkomstig uit ecoinvent 3.12, de nieuwste versie van ecoinvent met geupdate data rondom plastics en metalen. Hoewel ecoinvent een sterke basis is, is deze aangevuld met data uit de wetenschappelijke literatuur. Voor de mijn- en verwerkingsstappen van verschillende kritieke materialen, specifiek verschillende metalen, is data gebruikt van Lai et al. (2026), waar verschillende CRM waardeketens in meer detail gemodelleerd worden. Deze data was gemodelleerd op basis van ecoinvent 3.10.1, en is daarom eerst aangepast aan de nieuwe ecoinvent versie die hier gebruikt is. **Tabel A.21** hieronder geeft een overzicht van welk materiaal met welke data gemodelleerd is. Voor alle andere materialen, waaronder plastics, is ecoinvent data gebruikt.

A.2.4.1 Aannames

De gebruikte data bevat niet elk mogelijk element en materiaal, waardoor beide levels een “rest” -element of -materiaal bevatten. Deze reststromen kunnen verschillende dingen bevatten, zoals verschillende soorten plastic. Omdat de meeste elektronische apparaten voor consumenten veel plastic bevatten, wordt aangenomen dat de reststromen voor elektronische apparaten plastics zijn. Voor deze plastics nemen we ABS as proxy voor de behuizing.

Twee uitzonderingen zijn printplaat en LCD componenten. Omdat printplaten voor een groot deel uit een speciaal resin bestaan en bijna alle apparaten printplaten bevatten, worden de reststromen in printplaten gemodelleerd als “PCB resin”. Voor LCDs geldt hetzelfde, die worden gemodelleerd op basis een aangepaste LCD activiteit uit ecoinvent. Deze versie bevat geen materialen die worden meegenomen in de materiaalstromen zodat er niet dubbel geteld wordt.

A.2.4.2 Materiaaldata bronnen

Tabel A.21 hieronder presenteert een overzicht van de gebruikte bronnen voor elk metaal.

Tabel A.21: Overzicht van databron voor elk gemodelleerde metaal

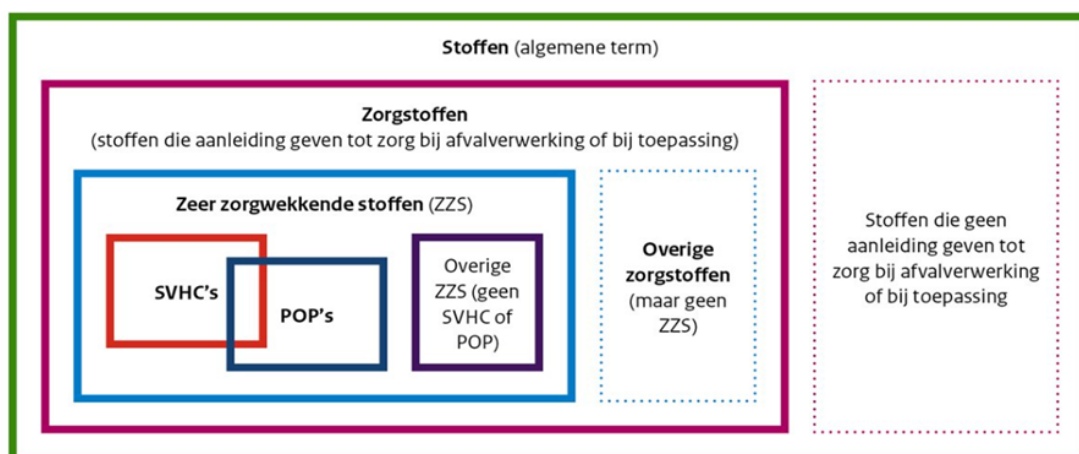
NAAM	SYMBOOL	BRON
Zilver	Ag	Lai et al. (2026)
Aluminium	Al	Lai et al. (2026)
Goud	Au	Lai et al. (2026)
Kobalt	Co	Lai et al. (2026)
Koper	Cu	Lai et al. (2026)
Dysprosium	Dy	Lai et al. (2026)
Europium	Eu	Lai et al. (2026)
Ijzer	Fe	Lai et al. (2026)
Galium	Ga	ecoinvent 3.12
Indium	In	Lai et al. (2026)
Magnesium	Mg	Lai et al. (2026)
Neodymium	Nd	Lai et al. (2026)
Nikkel	Ni	Lai et al. (2026)
Palladium	Pd	ecoinvent 3.12
Praseodymium	Pr	Lai et al. (2026)

Antimoon	Sb	Lai et al. (2026)
Scandium	Sc	ecoinvent 3.12
Silicium	Si	ecoinvent 3.12
Samarium	Sm	Lai et al. (2026)
Tin	Sn	ecoinvent 3.12
Tantaal	Ta	ecoinvent 3.12
Wolfraam	W	Lai et al. (2026)
Yttrium	Y	Lai et al. (2026)
Zink	Zn	ecoinvent 3.12

Bijlage B

Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) in klimaatinstallaties

Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) zijn chemische stoffen die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens, bijvoorbeeld omdat ze kankerverwekkend zijn of de voortplanting belemmeren, of omdat ze negatieve gevolgen kunnen hebben voor het milieu. Zorgstoffen worden in Nederland als 'zeer zorgwekkende stof' aangeduid o.a. als ze voldoen aan de criteria van artikel 57 van REACH, ook als ze nog niet op Europees niveau als 'SVHC' zijn aangeduid. Ook stoffen die in bepaalde wettelijke kaders als prioritair worden aangemerkt worden als ZZS beschouwd. Het gaat dan bv. om prioritaire stoffen uit het OSPAR-verdrag en de kaderrichtlijn water. De groep ZZS is veel groter dan alleen de SVHC's, zie Figuur B.1.



Figuur B.1: Schematische weergave van categorieën stoffen. Het buitenste en grootste kader vertegenwoordigt 'Stoffen (algemene term)'. Daarbinnen bevindt zich het kader 'Zorgstoffen' en 'Stoffen die geen aanleiding geven tot zorg bij afvalverwerking of toepassing'. Het kader zorgstoffen omvat op zijn beurt de kaders 'Zeet zorgwekkende stoffen (ZZS)' en 'Overige stoffen (maar geen ZZS)'. Binnen het kader 'Zeet zorgwekkende stoffen (ZZS)' zijn drie subcategorieën: 'SVHC's', 'POP's' en 'Overige ZZS (geen SVHC of POP)'. De subcategorieën SVHC's en POP's kennen een beperkte overlap².

Sinds 14 november 2024 zijn alle PFAS-stoffen in Nederland officieel geclassificeerd als ZZS. Dit betekent dat voor deze groep een minimalisatieplicht geldt: bedrijven moeten de uitstoot naar lucht en water tot het minimum beperken.

B.1 F-gassenverordening

Om het broeikasewect van F-gassen te beperken is de F-gassenverordening van kracht. De hoeveelheid F-gassen die jaarlijks geproduceerd en geïmporteerd mogen worden op de Europese markt wordt beperkt en stapsgewijs teruggebracht met als uiteindewijk doel een uitfasering in 2050. Een overzicht van F-gassen staat in bijlage I en II van de EU verordening over deze broeikasgassen, EU 2024/573 (EU, 2024).

In bijlage IV van de herziene F-gassenverordening staat een lijst met verbodsbepalingen inzake het in de handel brengen van verschillende F-gassen in verschillende soorten apparatuur. In veel gevallen zijn deze bepalingen gekoppeld aan specifieke groepen F-gassen, zoals HFK's, of F-gassen met een GWP boven een bepaalde drempelwaarde.

Sommige F-gassen zijn per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) of stoffen waarvan is aangetoond of vermoed wordt dat zij tot PFAS worden afgebroken. Ook HFO-koudemiddelen zoals HFO-1234yf en HFO-1234ze behoren tot deze categorie van stoffen. Om deze reden is de F-gassenverordening in 2024 herzien en zijn de voorwaarden voor onder meer koelinstallaties, airco's en warmtepompen uitgebreid naar HFO-bevattende installaties. Concreet betekent dit dat (net zoals voor HFK's, PFK's en SF₆) de uitstoot van HFO's naar de atmosfeer verboden is en alle technisch en economisch haalbare maatregelen moeten worden getroffen om de uitstoot te vermijden. Koel-, airco en warmtepompinstallaties die 1 kg of meer aan HFO's bevatten moeten regelmatig gekeurd worden op lekkage.⁷⁶

B.2 PFAS-restrictie

Scope

Het Europees Agentschap voor Chemische Stoffen (ECHA) heeft in augustus 2025 een bijgewerkt restrictiedossier gepubliceerd om het gebruik, de productie en het in de handel brengen van PFAS te beperken onder REACH. PFAS worden gedefinieerd als stoffen die ten minste één volledig gefluoreerde methylgroep (CF₃-) of methyleengroep (-CF₂-) bevatten, zonder dat er waterstof (H), chloor (Cl), broom (Br) of jodium (I) aan gebonden is⁷⁷.

De definitie van PFAS in het restrictievoorstel omvat het merendeel van de F-gassen die onder de F-gassenverordening vallen, maar sommige F-gassen vallen niet onder de PFAS-restrictie. Zo zijn SF₆, HFC-23 (CHF₃) en HFC-152a (C₂H₄F₂) bijvoorbeeld geen PFAS. In totaal zijn er 43 commerciële F-gassen als relevant geïdentificeerd in het kader van het PFAS-restrictievoorstel, waarvan vijf niet onder de gehanteerde PFAS-definitie vallen. PFAS worden onder de restrictie als één groep beschouwd omdat ze gemeenschappelijke gevaarlijke eigenschappen hebben: de PFAS die onder het restrictiedossier vallen zijn zeer persistent of degraderen (op termijn) naar zeer persistente afbraakproducten.

Tijdslijn

Het Wetenschappelijke Comité van ECHA voor Risicobeoordeling (RAC) heeft de evaluatie van het voorstel afgerond. De verwachting is dat het Wetenschappelijke Comité voor Sociaal-Economische Analyse (SEAC) zijn beoordeling eind 2026 zal afronden⁷⁸. ECHA zal de adviezen van RAC en SEAC vervolgens aan de Europese Commissie toesturen, waarna de Commissie, in overleg met EU-lidstaten, het voorstel maakt op basis van het dossier.

⁷⁶ <https://www.vlaanderen.be/veka/energie-en-klimaatbeleid/energie-en-klimaatbeleid-voor-ondernemingen/f-gassen/20-februari-2024-nieuwe-f-gassenverordening-gepubliceerd>

⁷⁷ De volledige definitie zoals opgenomen in het restrictievoorstel is als volgt: Elke stof die ten minste één volledig gefluoreerde methylgroep (CF₃-) of methyleengroep (-CF₂-) bevat, zonder dat daaraan waterstof (H), chloor (Cl), broom (Br) of jodium (I) is gebonden. Stoffen die uitsluitend de volgende structurele elementen bevatten, vallen buiten de reikwijdte van de voorgestelde beperking: CF₃-X of X-CF₂-X', waarbij X = -OR of -NRR' en X' = methyl (-CH₃), methyleen (-CH₂-), een aromatische groep, een carbonylgroep (-C(O)-), -OR'', -SR'' of -NR''R'''; en waarbij R/R'/R''/R''' een waterstofatoom (-H), methylgroep (-CH₃), methyleengroep (-CH₂-), een aromatische groep of een carbonylgroep (-C(O)-) is (background document, p.28).

⁷⁸ <https://echa.europa.eu/nl/-/echa-announces-timeline-for-pfas-restriction-evaluation>

Markt

Het restrictievoorstel vermeldt per sector en toepassingsgebied de volumes F-gassen die jaarlijks nieuw op de markt worden gebracht, wat de voorraad is en de hoeveelheid dat afgedankt wordt.

Het totaal jaarlijks volume aan F-gassen komt uit op 9 857 ton voor productie van systemen, 202 355 ton in systemen die in gebruik zijn (technische voorraad) en 9 896 ton in systemen die worden ontmanteld. Het merendeel van de F-gassen bevindt zich dus in systemen die in gebruik zijn. Naar schatting wordt van de PFAS die zich in systemen aan het einde van hun levensduur bevinden ~72% gerecycled, ~5% gereclameerd en ~13% vernietigd. Er zijn verschillende manieren voor vernietiging, waaronder thermisch (verbranding), waarbij volgens het Montreal protocol⁷⁹ eisen worden gesteld aan de efficiëntie: 99.99% van de F-gassen moet vernietigd worden.

Hydrofluoro-olefines (HFOs) en hydrochlorofluoro-olefines (HCFOs) worden in toenemende mate gebruikt. Deze twee groepen F-gassen zijn geïntroduceerd om de hoge bijdrage van HFKs en PFKs aan de opwarming van de aarde te beperken. Het aandeel van HFOs en HCFOs wordt geschat op ~23% van het totale volume F-gassen in 2022.

Tabel B.1: Geschat jaarlijks totaal volume F-gassen voor stationaire air conditioning en voor alle toepassingen samen. Aangepast van: 'Table A.40. Overall PFAS tonnages for different sub-uses of fluorinated gases estimated for EEA [t/y]' in Annex A van het Background Document van het PFAS-restrictievoorstel.

	Totaal PFAS, midpoint [t/y] ¹		
Volumes	In nieuwe producten	Totale (technische) stock	Volume F-gassen in afgedankte producten.
Stationaire airconditioning	9 857 (19% van totaal)	202 355 (31% van totaal)	9 896 (38% van totaal)
Totaal F-gassen	51 108	654 564	25 971

De categorie stationaire airconditioning bestaat uit:

- › Airconditioning voor huishoudelijk gebruik en huishoudelijk gebruik van warmtepompen voor ruimteverwarming;
- › Commerciële airconditioning en warmtepompen;
- › Warmtepomp huishoudelijk gebruik (wasdrogers).

De EU-markt voor airconditioning heeft de afgelopen 25 jaar een sterke groei doorgemaakt. Aanvankelijk vond de groei vooral plaats in de commerciële sectoren, maar inmiddels ook in de particuliere sector. Naar verwachting zal de vraag in beide sectoren in de komende 30 jaar ongeveer verdubbelen (PFAS-restrictie dossier, BD).

B.3 Verbod op F-gassen

Het PFAS restrictievoorstel stelt voor om de productie, gebruik en in de handel brengen van F-gassen die onder de PFAS-definitie te verbieden (18 maanden nadat de restrictie van kracht wordt). Wat betreft stationaire air conditioning zijn er twee uitzonderingen:

⁷⁹ <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>

- › Koudemiddelen in HVACR-apparatuur in gebouwen waar nationale veiligheidsnormen en bouwvoorschriften het gebruik van alternatieven verbieden.
- › Koudemiddelen (en schone brandblusmiddelen en isolatiegassen) voor onderhoud en bijvullen van bestaande HVACR-systemen (en brandblus- en schakelmateriaal) die vóór 18 maanden na de inwerkingtreding (EiF) op de markt zijn gebracht (of na 18 maanden als onderdeel van een andere derogatie).

1. Beschrijving van de emissies in de (circulaire) keten

Er zijn grofweg drie fasen te onderscheiden waarbij emissies van koudemiddelen op kunnen treden, namelijk productie, gebruik en afvalverwerking. Elk van deze stappen wordt hieronder toegelicht.

Productie: Emissies van F-gassen en koelmiddelen kunnen optreden bij het produceren van F-gassen en het produceren van de apparaten met koudemiddelen.

Gebruik: Lekkage van koudemiddelen kan optreden, variërend van een klein lek dat lang onopgemerkt kan blijven, tot een catastrofaal lek waarbij een installatie instantaan volledig leegloopt. Ook treedt koudemiddellekkage op bij het uitvoeren van onderhoud en reparaties. De zienswijzen over hoeveel koudemiddel er weglekt lopen sterk uiteen. Geelen & Van Gerwen (2021) hanteren als vuistregel dat er jaarlijks 1 tot 30% van de koudemiddevulling weglekt.⁸⁰

Zij geven aan dat de in de literatuur gepresenteerde lekpercentages sterk verschillen, specifiek voor slechts een kleine groep toepassingen is en daardoor zelden veralgemeniseerd kan worden. Er wordt in het hun rapport gerekend met 2% lekkage per jaar gerekend voor “standaard kleine huishoudelijke warmtepompen”. Om lekkage tijdens gebruik zo veel mogelijk te voorkomen zijn in de recente aanpassing van de F-verordening (2024)⁸¹ de vereisten voor certificatie strenger voor monteurs en bedrijven die werken met F-gassen. Monteurs die onderhoud plegen aan installaties met HFO's of natuurlijke koudemiddelen, moeten nu hiervoor ook een erkenning hebben.

Bij de terugname, verwerking, recycling of vernietiging van koudemiddel komt een gedeelte vrij in de atmosfeer. In het kader van de (aanpassingen in de F-gassenverordening) heeft CE Delft in opdracht van ministerie van KGG in kaart gebracht in hoeverre Nederland op dit moment voldoet aan deze verordening.⁸² CE Delft concludeert dat ondanks het bestaande systeem voor de inzameling én verwerking van AEEA, niet alle F-gassen op correcte wijze worden verwerkt dan wel verwijderd. De geschatte lekstromen bedragen meer dan 30% van alle F-gassen. Het risico op emissie van F-gassen is het grootst vóórdat apparaten in het formele inzamelsysteem terecht komen⁸³. Vooral bij niet-gecertificeerde schroothandelaren bestaat het risico dat apparaten op basis van materiaalwaarde worden verwerkt, zonder het aftappen van F-gassen. Zelfs wanneer koudemiddelen zorgvuldig worden afgetapt, blijft een aanzienlijk deel van de fluorkoolwaterstoffen (F-gassen) achter in de compressorolie. Om lekkage van deze F-gassen te voorkomen, is het belangrijk dat de verwerking plaatsvindt bij gespecialiseerde verwerkers. Daarnaast zit een groot risico op lekverliezen bij de demontage en het ontkoppelen

⁸⁰ Geelen & van Gerwen (2021). Studie naar de huidige positie van natuurlijke koudemiddelen in warmtepompen en de toekomstverwachtingen https://energy-innovation.nl/documents/611/Natuurlijke_koudemiddelen_in_warmtepompen_-_8_juni_2021.pdf

⁸¹ Verordening (EU) 2024/573 van het Europees Parlement en de Raad van 7 februari 2024 betreffende gefluoreerde broeikasgassen, tot wijziging van Richtlijn (EU) 2019/1937 en tot intrekking van Verordening (EU) nr. 517/2014

⁸² CE Delft 240505 Naleving van de F-gassenverordening Def.pdf

⁸³ CE Delft (2025). Naleving van de F-gassen verordening. https://ce.nl/wp-content/uploads/2026/01/CE_Delft_240505_Naleving_van_de_F-gassenverordening_Def.pdf

van warmtepompen, airco's en koelunits. Een verwerker van AEEA met F-gassen gaf aan dat ongeveer 30 tot 50% van alle apparaten F-gassen (gedeeltelijk) vervlieden, omdat het apparaat lek is of reeds afgetapt door een installateur. Deze schatting neemt alle apparaten mee waarbij F-gassen (deels) vervlieden of correct zijn afgetapt, en bevat dus ook F-gassen die correct zijn afgetapt door de installateur.

Wat betreft de risico als gevolg van export naar niet OECD landen: vanaf 12 maart 2025 wordt de uitvoer verboden van bepaalde producten die gefluoreerde broeikasgassen (F-gassen) met een Global Warming Potential (GWP) van 1.000 of meer bevatten. Het is niet helemaal duidelijk uit de rapportage van CE Delft of er een risico is op illegale export van warmtepompen en airco's of dat dit vooral speelt voor koelkasten en vriezers door ook onder de F-gassen verordening vallen.⁸⁴

In het restrictiedossier is de totale uitstoot van F-gassen becijferd op 79 ton tijdens het produceren van producten (apparaten), 9 036 ton tijdens gebruik en 4 211 ton bij einde levensduur (Tabel B.2). Met name emissies tijdens het gebruik van stationaire airconditioning hebben dus een significant aandeel in de totale emissie van F-gassen. Het Duitse Umweltbundesamt (UBA) schatte emissies tijdens gebruik zelfs op 12 193 ton per jaar.

Tabel B.2: Geschatte F-gas emissies in 2021 voor stationaire air conditioning en voor alle toepassingen samen (ton/jaar). Aangepast van: 'Table B.58. Estimated overall annual emissions of fluorinated gases from the different sub-uses in 2021 [t/y], including emissions from manufacture of new products, emissions from technical stock, and emissions from the decommissioning phase' in Annex B van het Background Document van het PFAS-restrictievoorstel.

	Totale emissies, F-gassen, midpoint [t/y]		
Volumes van	Bij het produceren van producten	Totale technische stock	Afdankfase
Stationaire airconditioning	79	9 036	4 211
Totaal F-gassen	1 671	46 264	10 687

Naar verwachting zullen emissies van F-gassen in de toekomst verder toenemen (PFAS restrictiedossier, annex E). Dit wordt veroorzaakt door marktgroei, maar een precieze voorspelling is lastig, omdat cijfers over marktgroei van specifieke toepassingen ontbreken. Wel zal volgens stakeholders het vervangen van apparatuur door nieuwere apparatuur met lagere lekpercentages, emissies doen afnemen.

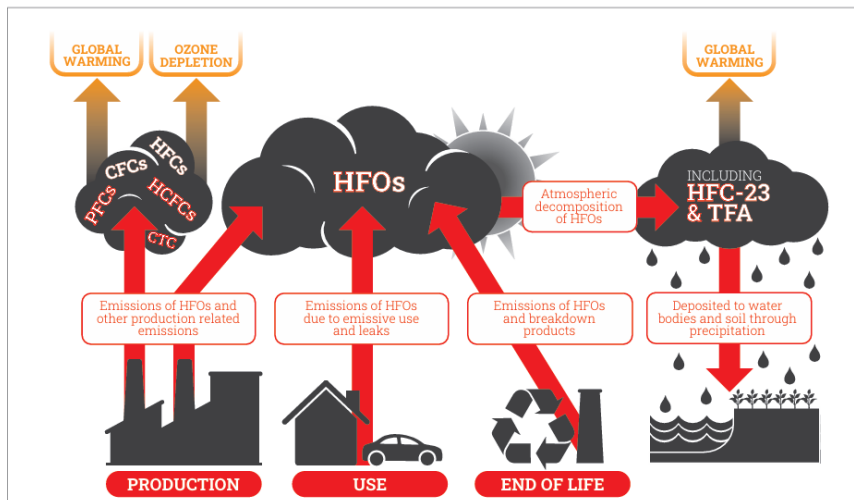
Geëmitteerde F-gassen (HFK's en HFO's) worden de atmosfeer afgebroken tot HF, carbonylfluoride, HCl en zogenaamde korte keten fluorcarbonzuren zoals Trifluorazijnzuur (TFA). De mate waarin TFA als afbraakproduct vrijkomt varieert per koudemiddel. In de laatste paragraaf is een lijst met koudemiddelen opgenomen met informatie over de toepassing in klimaatinstallaties en de mate van bijdrage aan TFA emissies.

TFA is zeer mobiel en persistent en kan zich via neerslag verspreiden naar de bodem en het oppervlaktewater. Metingen van TFA in milieucompartimenten wijzen op wijdverspreide aanwezigheid in regen- en oppervlaktewater.⁸⁵

⁸⁴ CE Delft (2025).

⁸⁵ https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2024-11/Advies_14434A02_i-drw_richtwaarde_TFA.pdf

Figure 3: Environmental impacts during the lifecycle of HFOs



Figuur B.2: Emissies van HFO's in de productie-, gebruik- en afvalfase. Vanuit HFO's ontstaan via atmosferische afbraak de reactieproducten HFC-23 (stof met hoge klimaatimpact) en TFA. TFA komt via neerslag in bodem en water terecht. Bron: EIA⁸⁶

Een in 2020 gepubliceerde studie naar de aanwezigheid van TFA in arctische ijslagen toont aan dat de concentraties al aan het oplopen zijn en de onderzoekers concluderen dat er een verband is met het gebruik van HFO-koudemiddelen⁸⁷. UNEP (Verenigde Naties) schat dat tussen 2020 en 2100 tussen de 31,5 en 51,9 miljoen ton TFA zal worden gevormd uit atmosferische afbraak van koudemiddelen⁸⁸. Deltares heeft de bronnen van TFA in Nederland onderzocht en op een rij gezet maar heeft de bijdrage per bron niet kunnen kwantificeren door een gebrek aan (meet)gegevens.⁸⁹

F-gassen dragen dus bij aan de (cumulatieve) blootstelling van mens en milieu aan PFAS. Voor TFA ligt er een voorstel om de stof Europees niveau als giftig voor de voortplanting te classificeren.⁹⁰ Op basis van mogelijke gezondheidsrisico's en de toenemende concentraties in het milieu (als gevolg van slechte afbreekbaarheid), is er wereldwijd bezorgdheid over de emissie van HFK en HFO koudemiddelen naar het milieu.⁹¹ De fabrikanten van deze stoffen, en veel producenten van apparaten met deze stoffen, betwijfelen dat er een milieuprobleem met TFA's als afbraakproduct van koudemiddelen kan optreden omdat de lange termijn gezondheidsrisico's nog niet helemaal duidelijk zijn.⁹²

⁸⁶ EIA (2025). Persistent Problems The hidden impacts of hydrofluoroolefins, the latest generation of fluorinated gases. <https://eia-international.org/wp-content/uploads/2025-EIA-UK-Persistent-Problems-Single-Pages.pdf>

⁸⁷ Citation: Pickard, H. M., Criscitiello, A. S., Persaud, D., Spencer, C., Muir, D. C. G., Lehnerr, I., et al. (2020). Ice core record of persistent short-chain fluorinated alkyl acids: Evidence of the impact from global environmental regulations. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087535. <https://doi.org/10.1029/2020GL087535>

⁸⁸ Mark L. Hanson, Sasha Madronich, Keith Solomon, Mads P. Sulbaek Andersen, Timothy J. Wallington, Trifluoroacetic Acid in the Environment: Consensus, Gaps, and Next Steps, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Volume 43, Issue 10, 1 October 2024, Pages 2091–2093, <https://doi.org/10.1002/etc.5963>

⁸⁹ Deltares (2025). Trifluorazijnzuur in Nederland : literatuurstudie naar het voorkomen en mogelijke bronnen van trifluorazijnzuur (TFA) in Nederland. https://publications.deltares.nl/11211543_004_0002.pdf
<https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/german-agencies-classify-tfa-as-toxic-substance>

⁹⁰ Hans Peter H. Arp, Andrea Gredelj, Juliane Glüge, Martin Scheringer, and Ian T. Cousins.

The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA) *Environmental Science & Technology* 2024 58 (45), 19925–19935. DOI: 10.1021/acs.est.4c06189

⁹² Geelen & van Gerwen (2021). Studie naar de huidige positie van natuurlijke koudemiddelen in warmtepompen en de toekomstverwachtingen https://energy-innovation.nl/documents/611/Natuurlijke_koudemiddelen_in_warmtepompen_-_8_juni_2021.pdf

Lijst van toegepaste koudemiddelen

Op basis van informatie van publieke informatie (websites) van de sector, informatie uit het restrictiedossier is onderstaande tabel samengesteld met (meest voorkomende) koudemiddelen in warmtepompen en airco's. Voor zover bekend is er geen bestaand overzicht beschikbaar voor Nederland. In 2020 heeft het Duits milieuministerie een marktanalyse gedaan (Geelen & van Gerwen, 2021), de resultaten en verwachte trends zijn hieronder ook opgenomen. De koudemiddelen die in deze marktanalyse voorkomen staan bovenaan in de tabel. Het valt op dat er een trend is naar meer natuurlijke koudemiddelen (propaan) en mengsels met HFO's. Indien van toepassing is in de laatste kolom per koudemiddel aangegeven of afbraak tot TFA van toepassing is, en zo ja in welke mate (Behringer et al, 2021).

In het restrictiedossier is ook informatie beschikbaar over alternatieven voor F-gassen zoals propaan, koolstofdioxide, water en lucht. Geen van deze alternatieven zijn geschikt voor alle toepassingen, bijvoorbeeld vanwege eigenschappen zoals ontvlambaarheid (koolwaterstoffen), toxiciteit (ammoniak) of de noodzaak voor hoge druk (CO₂). Uit het onderzoek blijkt dat voor de meeste toepassingen kunnen echter wel geschikte alternatieven worden gevonden (PFAS restrictiedossier, annex E). In het restrictiedossier wordt bijvoorbeeld verwezen naar een rapport van Infinitus Energy Solutions en Entropy Cooling Solutions⁹³, waarin wordt geconcludeerd dat er natuurlijke koudemiddelen (koolwaterstoffen, CO₂, ammoniak), met een lage milieu impact, beschikbaar zijn voor veel warmtepomp toepassingen. Een studie van David et al. (2017) laat zien dat ammoniak een goed alternatief kan zijn voor grootschalige elektrische warmtepompen voor stadsverwarming. Daarnaast geven stakeholders aan dat propaan, HFC-32 (CH₂F₂) geschikte alternatieven kunnen zijn voor warmtepompen, en dat elastocalorisch koelen binnen 5 jaar gecommercialiseerd kan worden. Bestaande warmtepompen die F-gassen gebruiken kunnen doorgaans echter niet worden omgebouwd voor gebruik van alternatieve koudemiddelen.

⁹³ In opdracht van het Netherlands Enterprise Agency for the Energy Top Sector

Tabel B.3: Lijst met koudemiddelen toegepast in warmtepompen & airco's.

Type koudemiddel	ASHRAE-code	Stofnaam	PFAS	TFA vorming bij afbraak in atmosfeer	Huidige toepassingen	overzicht van de procentuele inzet van koudemiddelen voor nieuwe huishoudelijke warmtepompen in Duitsland
Synthetisch, mengsel	R-410a	mengsel van difluormethaan en pentafluorethaan (HFC-125)	Ja	- (c)	warmtepompen en airco's	2015: 40% 2020: 35% 2030:0%
Synthetisch, HFK	R-32	Difluoromethaan	Nee	- (c)	o.a. monoblock airco's en warmtepompen	2015; 0% 2020: 20% 2030:12%
Synthetisch, mengsel	R-407c	Mengsel van R32 (CH ₂ F ₂), R125 (CH ₂ CF ₃), and R134a (CF ₃ CH ₂ F) in een 23/25/52 ratio (gewicht)	Ja	Zie R134a voor de pure stof	warmtepompen	2015: 54% 2020:20% 2030: 0%
Synthetisch, HFK	R-134a	1,1,1,2-tetrafluorethaan (ook: norfluraan)	Ja	7-20% (b)	(industriële) koelinstallaties, warmtepompen, air conditioning (huishoudelijk en commercieel)	2015; 6% 2020: 0% 2030: 0 %
Synthetisch, mengsel	R-454C/R455A/R454B, R454A, R449A, R513A)	Blends of R-32 (difluoromethane) met 31-78.5% R-1234yf (2,3,3,3-tetrafluoropropene)	Ja	R 454C: 79% (c) R455A: 76% (c) R454B: 31% (c) R-513A: up to 65% (c)	warmtepompen	2015; 0% 2020: 12% 2030: 50 %
Natuurlijk	R-290	propaan	Nee	-	Alle typen warmtepompen	2015; 0% 2020: 10% 2030: 30 %
Synthetisch, HFO	R-1234ze	1,3,3,3-tetrafluoropropen	Ja	<10% (b)	Huishoudelijke en commerciële air conditioning (stationary air conditioning en koelmachines)	n.v.t

Synthetisch, HFO (mengsel)	R-448A	Mengsel met R-1234ze	Ja	Zie R-1234ze voor de pure stof		n.v.t.
Synthetisch, HFO	R-1234yf	2,3,3,3-tetrafluoropreen	Ja	100% (b)	Huishoudelijke en commerciële air conditioning (stationary air conditioning en koelmachines)	n.v.t.
Synthetisch, HCFO	R-1224yd	(Z)-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene	Ja	100% (b)	Huishoudelijke en commerciële air conditioning (stationary air conditioning en koelmachines) en warmtepompen	n.v.t.
Synthetisch, HCFO	R-1224yd(Z)	(Z)-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene	Ja	100% (b)	Water- en ruimteverwarming (warmtepompen)	n.v.t.
Natuurlijk	R-600	butaan	Nee	-	Hoge temperatuur warmtepompen	n.v.t.
Natuurlijk	R-717	ammoniak	Nee	-		n.v.t.
Natuurlijk	R-744	kooldioxide	Nee	-	Warmtepompen (maar in NL nog in kleine mate)	n.v.t.
Synthetisch	R-227ea Gebruikt in mengsels	1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane	ja	100% (b)		n.v.t.

Bijlage C

MIS analyse

C.1 Leeswijzer en uitleg MIS analyse

In een Missie-gedreven Innovatie Systeem (MIS) analyse staat een wenselijke transitie centraal - het behalen van de missie, in dit geval circulaire klimaatinstallaties in 2050. Een transitie vindt enerzijds plaats door het ontwikkelen van nieuwe wenselijke circulaire strategieën (verminderen, substitutie, levensduurverlenging en hoogwaardige verwerking), en anderzijds door het afbouwen van bestaande praktijken die het behalen van de missie in de weg staan. Een transitie wordt gekenmerkt door complexiteit, waardoor doorgaans zowel de op te lossen problemen, als de beste oplossingen voor deze problemen, ter discussie staan. Circulaire strategieën zijn daardoor het best te beschouwen als 'oplossingsrichtingen', een logica voor het oplossen van een bepaald probleem. Circulaire strategieën verschillen onderling dus in hoe ze 'het probleem' oplossen, maar kunnen dus onderling ook verschillen in 'wat het probleem is'. Een transitie vormt daarmee dus een *arena*, waarin verschillende problemen en circulaire strategieën concurreren (of elkaar versterken).

De MIS analyse onderzoekt op welke manieren de dynamiek binnen het innovatiesysteem (de actoren, technologieën, regels, denken en doen) de ontwikkeling van verschillende circulaire strategieën bevordert of tegenwerkt. Inzicht in deze dynamiek is kwalitatief van aard, waardoor de MIS analyse zich hoofdzakelijk baseert op interviews met experts. De onderstaande typen experts zijn geraadpleegd. In 13 interviews zijn in totaal 15 experts geraadpleegd. In de tekst wordt verwezen naar interviews in de vorm van "(intX,Y,Z)".

NB: de MIS analyse is gebaseerd op interviews, en daarmee op ervaringen en percepties van actoren. De lezer dient de tekst en bevindingen dan ook te bezien vanuit de sterktes en beperkingen die deze methode met zich meebrengt.

Geïnterviewde actoren
Rijkswaterstaat
Ministerie van I&W
RVO
Technische branchevereniging
Nederlandse producent van klimaatinstallaties
Belangenvereniging particulieren
Installatieadviseur
Refurbisher
Installatiebedrijf
Recyclers
Toeziethouder afvalverwerking

De MIS analyse heeft de volgende onderdelen:

› **Structuur analyse en probleem-oplossing diagnose**

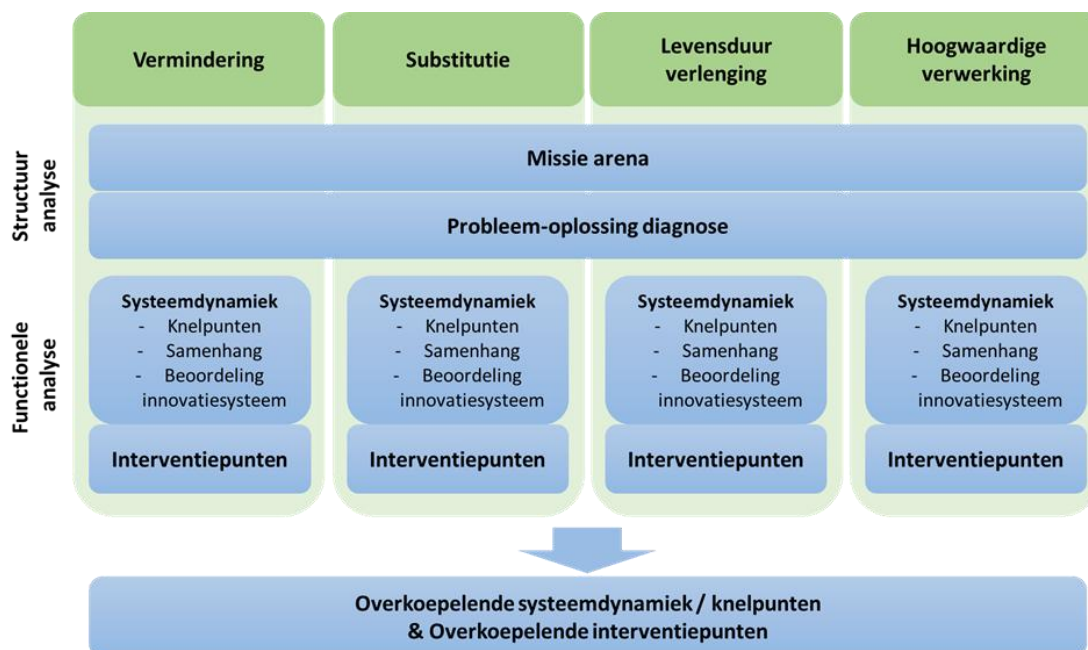
Als context wordt eerst de structuur van het **innovatiesysteem** en **missie arena** in beeld gebracht, hierbij voortbouwend op het hoofdstuk Keten in beeld. Hierin wordt geschetst hoe actoren gepositioneerd zijn: 1) op de as van *programming* (het stellen van kaders en beleid, sectorcoördinatie) versus *performance* (ketenactiviteiten, 'de praktijk'), en 2) de mate van invloed op het systeem. Vervolgens wordt in de **Probleem-oplossing diagnose** in kaart gebracht welke probleemstellingen er heersen in de arena, welke circulaire maatregelen het sterkst naar voren komen, en op welke manier circulaire strategieën en maatregelen steun of hinder ondervinden vanuit de probleemstellingen. Hierbij worden ook gemiste kansen in probleem-oplossing koppelingen benoemd.

› **Functionele analyse**

Vormt het hart van de MIS analyse. Hierin wordt per circulaire strategie de huidige systeemdynamiek en de invloed daarvan geanalyseerd. Dit gebeurt met gebruik van zogenaamde innovatiesysteemfuncties (zie onderstaande tabel). Deze functies vertegenwoordigen sleutelprocessen die gezamenlijk randvoorwaardelijk zijn voor de transitie. Omdat de nadruk van dit onderzoek ligt op het benutten van kansen middels interventies, worden **knelpunten** zo veel mogelijk herkenbaar vanuit de praktijk geïdentificeerd. Innovatiesysteemfuncties worden in de analyse benut als theoretische basis om observaties te duiden, en ervoor te zorgen dat er geen belangrijke dynamieken vergeten worden. Ook worden de functies gebruikt om een relatieve scoring te geven, waarbij een lage score duidt op een functie die slecht functioneert, en een hoge score duidt op een functie die goed functioneert. Hiermee wordt een indicatie gegeven van op welke functies de systeemdynamiek het meest knelt, wat ingangen geeft voor interventiepunten. Belangrijker echter is de samenhang tussen functies binnen de systeemdynamiek – deze samenhang wordt in de vorm van een diagram en met toelichting gepresenteerd per circulaire strategie en bij de prominentere strategieën, per maatregel. Op basis van deze samenhangende systeemdynamiek, wordt in samenhang een set interventiepunten (**kansen**) aangedragen die de systeemdynamiek kunnen verbeteren. We spreken in de MIS analyse van 'interventiepunten' en niet interventies, omdat interventiepunten duiden op een denkrichting – vertaling naar concrete beleidsinstrumenten, waar dit mogelijk is, vindt plaats in Hoofdstuk 4.

Op basis van bovenstaande analytische stappen volgt een integratie van overkoepelende knelpunten, met daaraan gekoppeld overkoepelende interventiepunten.

De samenhang van analytische stappen wordt in onderstaande figuur uitgebeeld.



Tabel C.1: Tek Overzicht innovatiesysteemfuncties en toelichting. Zie Elzinga et al. (2023; 2024) voor verdere uitleg

Innovatiesysteemfunctie	Toelichting
F1 Ondernemerschap	Activiteit door bedrijven of organisatie gericht op het ontwikkelen, experimenteren met, en opschalen van circulaire oplossingen.
F2 Kennisontwikkeling	Kennisontwikkeling over nieuwe technologieën, producten, regels en de markt zijn nodig om te kunnen innoveren.
F3 Kennisverspreiding	Kennis en know-how moet uitgewisseld worden tussen partijen die geïnteresseerd zijn in het versnellen van nieuw oplossingen.
F4 Directionaliteit	Innovatie is per definitie onzeker, maar wordt vergemakkelijkt als er eenduidige visie en sturing is omtrent het maatschappelijke probleem en hoe de verschillende circulaire strategieën een bijdrage kunnen leveren.
F5 Marktformatie	Het creëren van een ondersteunende selectieomgeving door het verbeteren van marktcondities en -prikkelers voor circulariteit. Denk aan wet- en regelgeving, standaarden, businessmodellen en aanbestedingscriteria.
F6 Mobiliseren van middelen	Actoren dienen werk te verzetten om middelen beschikbaar te krijgen in het innovatiesysteem. Denk hierbij aan financiële, materiële, menselijke en infrastructurele middelen om de ontwikkeling en opschaling van innovaties te realiseren en versnellen.
F7 Legitimiteit creëren	Vernieuwing kan weerstand oproepen en (commerciële) belangen pogen de status quo in stand te houden. Door het creëren van een ondersteunende socio-institutionele omgeving kan legitimiteit en draagvlak voor nieuwe probleemstellingen en nieuwe oplossingen worden gecreëerd. Denk aan aspecten als beeldvorming, verankerde routines en cultuur, lobby invloed.
F8 Coördinatie	De ontwikkeling van circulaire strategieën vergt coördinatie tussen en binnen beleid en de keten. Het behalen van de missie vereist coördinatie tussen circulaire strategieën. Deze coördinerende rol kan vervuld worden door overheden, bedrijven, NGO's, brancheverenigingen of consortia van actoren.

C.2 Probleem-oplossing diagnose

Toelichting op probleemstellingen

De missie van circulaire klimaatinstallaties bevindt zich in een complex landschap van problemen en oplossingen. Ten eerste is afhankelijk van het geraadpleegde document en het jaartal waar het bij circulaire economie om zou moeten gaan. Het circulaire beleid van Nederland is historisch gezien een 'uitbouw' van afvalverwerkingsbeleid. Vanuit afvalbeleid staat centraal dat afval op een veilige en milieuvriendelijke manier wordt verwerkt. Voor installaties specifiek zijn daar de aandachtspunten van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) zoals PFAS koudemiddelen in airco's en warmtepompen. In de loop der tijd is daar recycling als pijler bij gekomen. Circulariteitsbeleid vormt historisch gezien een uitbouw op dit afval- en recycling beleid, maar legt meer nadruk op waarde in plaats van puur het materiaal. Circulariteit onderscheidt zich ook van afvalbeleid door meer op globale impacts gericht te zijn zoals CO₂, globale biodiversiteit, land- en watergebruik. Waarin afvalbeleid wel globaal is ingesteld, is het voorkomen van schade door e-waste in minder welvarende landen. Dit agendapunt lijkt echter in beleidsstukken meer naar de achtergrond verdwenen met de opkomst van de strategische autonomie agenda rond kritieke materialen. Circulair beleid en afvalbeleid zullen naar verwachting meer van elkaar onderscheiden raken, als gevolg van het onderbrengen van circulair beleid bij EZK.

In beleidsstukken valt op: de gangbare redenering achter circulaire economie is om materiaal en de waarde daarvan te behouden, echter in doelstellingen recente beleidsstukken (zoals dashboard doelen in de NPCE) komt dit minder naar voren. Dit lijkt te komen door een verschuiving richting meetbaarheid/indicatoren in opvolgende generaties van de NPCE om een uniform doel centraal te stellen. Echter maakt deze nadruk minder duidelijk wat de visie/wenselijke toekomst is waar de missie op mikt.

C.3 Functionele analyse

C.3.1 Vermindering

Tabel C.2: Functioneren van het innovatiesysteem rond Vermindering

Functie	Toelichting
F1 Ondernemerschap <i>Activiteit door bedrijven en praktijk experimentatie met nieuwe oplossingen</i>	• Risicomijding door opdrachtgevers, ontwerpers en installateurs leidt tot weinig toepassen van vermindering. • Verdienmodel installateurs niet gericht op installatie-arm. • Ontwikkelaars zien liever af van juridische en technische complexiteit rond collectieve systemen, individueel is simpeler. • Installatie-arm geeft win-win voor systeembouwer met warmtebalans W-W pompen. Echter ligt ontwerpkeuze bij opdrachtgever. • Ondernemerschap bestaat in passieve concepten, maar blijft veelal beperkt tot vrijstaande/losse niche projecten.
F2 Kennisontwikkeling	• Passieve en collectieve concepten geven ingewikkeldere ontwerp vraag dan installaties.

<i>Ontwikkeling van kennis, technologie, R&D, onderzoek etc.</i>	- Gebrek aan modellen voor berekenen temperatuurs-overschrijdingen comfort bij passieve concepten. Onzekerheid voor ontwerpers. - Gebrek aan tooling en data voor doorrekenen MPG score van nieuwe concepten in VO. - Onduidelijkheid rond uitruil tussen energiebesparing en materiaalbesparing (installatie-arm vergt vaak thermische massa, dus materiaal)
F3 Kennisverspreiding <i>Uitwisseling van kennis en know-how in de keten</i>	- Onbekendheid van installatie-arme concepten. Wel uitwisseling in professionele netwerken. - Warmtenetten bekend, collectieve systemen binnen één gebouw ook bekend, maar complexer (zie overige functies). - Gevestigde ISSO handleiding interpretatie stuurt aan op traditionele oplossingen.
F4 Directionaliteit <i>Visie en sturing m.b.t. uitdagingen en oplossingsrichtingen</i>	- Sturende kaders vooral gericht op targets energietransitie. Kaders sturen aan op vervanging, en leiden momenteel tot individuele all-electric oplossingen. - installatie-rijke oplossingen scoren goed genoeg (binnen BENG en MPG); opdrachtgever geen noodzaak voor passief of collectief. - MPG weinig aangescherpt, en uitzondering gemaakt voor compacte woningen. Hybride warmtepomp verplichting weer ingesteld.
F5 Marktformatie <i>Selectiecriteria, prikkels, marktvoorkeuren, verdienmodellen, experimentatieruimte</i>	- Marktvoorkeur voor gemak en zekerheid en lage investeringskosten t.o.v. TCO. - Kosten en baten van vermindering liggen versnipperd over keten. O.a. lagere aansluitkosten en gebruikskosten zijn niet relevant voor opdrachtgever. - Vermindering sterke waardepropositie bij niche MPG-kritieke projecten (compacte woningbouw), echter valt niche weg door uitzondering verscherping MPG (zie F4)
F6 Mobiliseren van middelen <i>Resources en infrastructuur</i>	- Enkel intrinsiek gemotiveerde opdrachtgevers zijn bereid hogere kosten (investering, engineering etc) van vermindering maatregelen te dragen - Veel bestaande woningen weinig geschikt voor installatie-arm (isolatie potentie etc.).
F7 Legitimiteit <i>Beeldvorming, routines en cultuur, lobby</i>	- Passieve maatregelen hebben nog geen sterk vertrouwen of positief imago. Echter achterliggende idee van energiebesparing wel onderschreven, ook bijv. vanuit BENG. - Hoge bovenwettelijke comfort eisen bepalen ontwerp. Passief wordt gezien als risicovol. (zie F2) - Installaties bieden meer gemak en zekerheid voor bewoner dan bouwkundige ingrepen - Sterk gevestigde routines in keten rond traditionele oplossingen

	• Netcongestie een mogelijk sterke driver voor installatie-arm, maar staat vrijwel niet op de agenda
F8 Coördinatie <i>Ketenorganisatie en ketenverhoudingen</i>	• Afwijken van standaard oplossingen verhoogt complexiteit in samenwerking en coördinatievraag. Weinig opdrachtgevers gaan deze uitdaging aan. • (Wettelijke) taak- en rolverdelingen in keten versnipperen kosten en baten (zie F5) • Weinig tot geen beleid of sectorcoördinatie op ontwikkelen van passieve maatregelen.

C.3.2 Levensduurverlenging

Levensduurverlenging - Hergebruik en revisie

Afvalwetgeving

Stichting OPEN wordt afgerekend op het behalen van inzamel en recycling doelstellingen, en **niet op hergebruik**. Deze doelstellingen geven formeel de prikkel om inzamelen en verwerken van goed herbruikbare installaties te prioriteren boven hergebruik. Hier komt bij dat installaties vaak ZZS bevatten, zoals PFAS koudemiddelen in warmtepompen, die op specifieke correcte manier moeten worden verwerkt.

Afvalstatus werkt belemmerend voor hergebruik. Afdankte installaties zijn vanaf het moment van afdanken formeel afval, wat alleen door cenelec gecertificeerde partijen mag worden geopend, aangepast etc. Vaak bevat een afdankte installatie nog prima functionerende componenten. Omdat echter de afvalstatus over het gehele product geldt, mag een **component niet** zomaar **hergebruikt** worden. Door vereiste kennis en kosten zijn m.n. mkb refurbishers gehinderd in ondernemerschap (int-e5,12). De verklaring einde afvalstaat om afdankte producten weer te mogen verkopen voegt ook **complexiteit en kosten** toe. De **interpretatie** van wat wel of geen **afval** is, en dus wanneer men in overtreding is met refurbishment of verkoop, **verschilt** flink tussen toezichthouders (ILT en lokale omgevingsdiensten), wat ook willekeur en onzekerheid oplevert voor ondernemers (int-e13).

Afdanken van klimaatinstallaties heeft extra complexiteit omdat gebouweigenaren of particulieren vaak ontzorgd worden door betrokkenheid van een installateur, maar dit wel tot gevolg heeft op moment dat een installatie wordt verwijderd in een woning, de installateur de eigenaar wordt. Daarmee is de installatie formeel afdankt en juridisch gezien afval geworden. Wanneer de afvalstatus eenmaal is toegekend, is hergebruik ingewikkeld – einde afvalstatus kan alleen verkregen worden middels strenge tests en procedures. Hergebruik op installatie niveau is wel mogelijk wanneer de eigenaar dezelfde blijft (formeel geen afdanking), bijvoorbeeld wanneer een corporatie een CV-ketel voor een ander pand herbestemt.

Revisie kan eenvoudiger plaatsvinden indien de installatie niet verwijderd wordt, maar **componenten worden uitgewisseld**. Een component krijgt niet direct een afvalstatus toegekend zoals een verwijderde installatie. Een voorbeeld van revisie van componenten is het refurbishen van printplaten van CV ketels en warmtepompen door Inxeon.

Financiële kaders sturen hoofdzakelijk aan op het helpen voldoen van producenten aan hun wettelijke plicht, tegen zo laag mogelijke **kosten**. Huidige **vergoedingen** richting inzamelpunten, bekostigd vanuit de afvalbeheersbijdrage, zijn bijvoorbeeld **niet beschikbaar** voor inzameling voor hergebruik (int-e13).

Tabel C.3: Functioneren van het innovatiesysteem rond levensduurverlenging van klimaatinstallaties

Functie	Toelichting
F1 Ondernemerschap <i>Activiteit door bedrijven en praktijk experimentatie met nieuwe oplossingen</i>	Onderhoud en reparatie - Gebrek aan kennis over actuele technische status en verval garantie bij gebrek aan onderhoudscontract vormen risico's voor installateurs. - Tekort aan onderhoudspartijen in de markt. Een installateur kan vaak maar enkele merken onderhouden. Circulair productontwerp en uitvraag - Risicomijding en afwachten door producenten vanwege willekeur beleid. Echter ook grote en succesvolle koplopers actief die niet afwachten. - Schaarste aan bekwaam personeel geeft sterke waardepropositie vanuit installateurs voor versnellen en vereenvoudigen on-site reparatie middels modulair ontwerp. - Succesvolle ketensamenwerkingen waarin kosten en baten circulair productontwerp verenigd worden door behoud eigendom door producent en hechte samenwerking met installateur. Hergebruik en revisie - Refurbishment loopt aan tegen hoge arbeidskosten. Echter is revisie van onderdelen rendabel zonder sociale arbeid, en zijn er initiatieven in opkomst rond revisie van pompen en ventilatieboxen. - Verschuiving van rol 'sloper' naar '(de)installateur' moeizaam (waardeverlies bij inzameling), mede door tekort aan bekwaam personeel (F6) - Producenten leggen vanuit risico's aansprakelijkheid voorwaarden op voor revisie, kan revisie bemoeilijken.
F2 Kennisontwikkeling <i>Ontwikkeling van kennis, technologie, R&D, onderzoek etc.</i>	Onderhoud en reparatie - Noodzaak tot onderhoud lange tijd onderschat door industrie. Inmiddels wel bekend. - Goedkoper segment warmtepompen gebrek aan reparatie informatie. Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Circulaire PVE's opgesteld in coalities om handvaten te bieden voor uitvraag vanuit opdrachtgevers en ontwerpers. - MPG-rekenmethodiek aannames nemen impactreductie van circulariteit onvoldoende mee. Nog te weinig tooling en data voor doorrekenen MPG circulaire opties in VO. - Internationale producenten hebben vaak geen milieudata, want MPG wordt enkel in Nederland gehanteerd. - Gebrek aan kennis over restwaarde van herbruikbare (circulaire) installaties hindert waardepropositie richting opdrachtgever en business case hergebruik/revisie.

F3 Kennisverspreiding <i>Uitwisseling van kennis en know-how in de keten</i>	Onderhoud en reparatie - Bewustzijn en kennis over TCO onder huishoudens beperkt. - Goedkoper segment warmtepompen gebrek aan reparatie informatie. Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Circulaire PvE's zijn opgesteld in coalities en buyer groups om handvaten te bieden voor uitvraag door opdrachtgevers. - Veel programma's en kennisuitwisseling in netwerken. - Gebrek aan continuïteit betrokkenheid leidt tot onzekerheid over technische status en restwaarde installatie (zie oorzaak F8)
F4 Directionaliteit <i>Visie en sturing m.b.t. uitdagingen en oplossingsrichtingen</i>	Onderhoud en reparatie - Gebrek aan sturing op standaardisatie en repareerbaarheid in productontwerp, m.n. warmtepompen. - Gebrek aan sturing op kennisniveau en afsluiten onderhoudscontracten door particulieren. Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Energiezuinigheid overschaduwde overwegingen rond materiaal. - Ontwerpvoorschriften en PvE's sturen aan op nieuw en bewezen etc. - Instabiliteit NL beleid, weinig verscherping MPG en uitzondering compacte woningbouw leidt tot wegvallen waardepropositie circulair bij MPG-kritieke projecten. - UPV en afvalwetgeving sturen op inzameling en correcte verwerking i.p.v. hergebruik.
F5 Marktformatie <i>Selectiecriteria, prikkels, marktvoorkeuren, verdienmodellen, experimentatieruimte</i>	Onderhoud en reparatie - Particulieren gericht op aanschafkosten en korte termijn, niet op TCO en onderhoud. Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Circulariteit niet nodig om te voldoen aan selectiekaders (BENG, MPG). Gebouw domineert over installaties in MPG rekensom. - Opdrachtgevers gericht op aanschafkosten en korte termijn, niet op TCO en onderhoud. Alleen intrinsiek gemotiveerde opdrachtgevers bereid tot initiële meerkosten - Baten modulaire ontwerpen zitten bij installateurs (vlotte uitwisseling onderdelen), kosten bij producenten. - Weinig concurrentie voordeel te behalen voor producenten op circulariteit. Schaalgrootte marktafzet ontbreekt nog door verschil tussen Nederlandse en Europese selectiekaders voor circulariteit. Hoge investeringen (opstellen milieudata, productielijnen) voor producenten niet goed terug te verdienen.

F6 Mobiliseren van middelen <i>Resources en infrastructuur</i>	Onderhoud en reparatie - Schaarste bekwaam personeel. - Goedkoper segment warmtepompen gebrek aan reserve onderdelen en reparatie circuit. Circulair productontwerp en uitvraag - Alleen intrinsiek gemotiveerde opdrachtgevers bereid tot meerkosten. - Eisen aan financiering door publieke opdrachtgevers hinderen investering in circulair. Langere terugverdien/tijdshorizon vaak niet toegestaan. - Subsidies zijn vooral gericht op energieprestaties en aardgasvrij maken van woningen, niet op circulariteit. Hergebruik en revisie - Retourlogistiek voor revisie vormt uitdaging, gebrek aan stabiele stroom en kwaliteit toelevering herbruikbare installaties. Succesvolle voorbeelden bestaan, in vorm van langdurige samenwerkingen tussen onderhoudsinstallateurs en refurbishers. - Groothandels beginnen rol van logistieke schakel voor retourlogistiek steeds meer te vervullen.
F7 Legitimiteit <i>Beeldvorming, routines en cultuur, lobby</i>	Onderhoud en reparatie - Besef daalt in dat onderhoud nodig is bij warmtepompen. Wordt niet meer tegengesproken door industrie. Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Circulariteit ondergeschikt aan energiezuinigheid, investeringskosten en korte financiële horizon bij opdrachtgevers. Publieke opdrachtgevers hebben meer motivatie en ambities op circulair. - Beeld bestaat nog dat circulair/refurbished duurder is dan traditioneel.
F8 Coördinatie <i>Ketenorganisatie en ketenverhoudingen</i>	Onderhoud en reparatie - Gebrek aan standaardisatie van installaties leidt tot slechte repareerbaarheid. - Duidelijke kaders (normeringen) maken duidelijk waar installateurs aan moeten voldoen. - Gebrek aan Circulair productontwerp en uitvraag, hergebruik en revisie - Coalities, onderzoeksprogramma's, buyer groups e.d. samenwerkingen voor kennisproductie en opstellen van uitgangspunten - Traditionele ketenrollen (Opsplitsing oplevering en onderhoud) leidt tot gebrek aan continuïteit in betrokkenheid (zie F3). - Nederlands MPG format (NMD) wijkt af van EU normen voor milieudata

	• Succesvolle ketensamenwerkingen waarin baten en kosten circulair verenigd worden door behoud eigendom door producent en hechte samenwerking met installateur. • Succesvolle ketensamenwerkingen waarin installateurs en refurbishers componenten uitwisselen.
--	--

C.3.3 Hoogwaardige verwerking (incl. recyclaat)

Onderstaand wordt in tabel-vorm het functioneren van het innovatiesysteem rond recycling samengevat en beoordeeld, en vervolgens wordt de fase van ontwikkeling aangeduid.

Tabel C.4: Functioneren van het innovatiesysteem rond Recycling

Functie	Toelichting
F1 Ondernemerschap <i>Activiteit door bedrijven en praktijk experimentatie met nieuwe oplossingen</i>	• Recyclers zijn gericht op nieuwe ontwikkelingen maar opschaling blijft lastig. • Operationele knelpunten bemoeilijken hoogwaardige recycling en verhogen kosten. • Onjuiste verwerking blijft plaatsvinden door (kleine) installateurs. • Kostengedreven werkwijze in keten. Logistieke partijen belang bij efficiëntie, geen intrinsiek belang bij waardebehoud.
F2 Kennisontwikkeling <i>Ontwikkeling van kennis, technologie, R&D, onderzoek etc.</i>	• Technologie en kennis is al vrij ver ontwikkeld voor CRMs en plastics. • DPP in ontwikkeling, ontbreken hiervan echter grote hindernis voor CRMs recycling (herkenbaarheid en demontage informatie). • Relatief veel onderzoek, echter wel vaak one-off en hoger theoretisch gehalte, mist toepasbaarheid voor recyclers.
F3 Kennisverspreiding <i>Uitwisseling van kennis en know-how in de keten</i>	• Kennis over hoeveelheden en locatie CRMs wordt nog niet genoeg gedeeld (of bestaat nog niet). • Gebrek aan probleem-oplossing ketenbenadering hindert uitwisseling tussen voorkant en achterkant keten. • Recyclers concurreren op basis van eigen proces-ontwikkeling, geen uitwisseling van kennis. • Kleine installateurs vaak niet op hoogte van vereisten correcte inzameling.
F4 Directionaliteit <i>Visie en sturing m.b.t. uitdagingen en oplossingsrichtingen</i>	• Gebrek aan sturing op recyclaat. • Virgin te goedkoop, geen incentives producenten voor toepassen recyclaat • Afvalverwerking gericht op voldoen aan UPV tegen lage kosten. • Sturing op gewicht onderbelicht plastics en CRMs. • Bijtende regels ARBO en UPV (niet tillen in geheel, wel inleveren in geheel)

F5 Marktformatie <i>Selectiecriteria, prikkels, marktvoorkeuren, verdienmodellen, experimentatieruimte</i>	• Incentives opbrengsten oud ijzer / export versus kosten voor correcte verwerking • Geen marktprikkels om recyclaat (plastics of CRMs) toe te passen • Hoge materiaal-eisen hinderen toepassing van recyclaat • Recyclers concurreren op prijs, daardoor weinig ruimte voor minder-rendabele materialen of processen.
F6 Mobiliseren van middelen <i>Resources en infrastructuur</i>	• Vanuit Stichting OPEN tenders investeringsgelden beschikbaar – echter is business case vanuit markt-vraag veel bepalender en algemene sturing is op lage kosten. • Recyclers proberen waar mogelijk te investeren in nieuwe technologie voor plastics en CRMs. • Schade aan afvalstromen door versnippering en kostengedreven werkwijze in keten. Lekstromen door afdanken in zwart circuit. • CRM verwerking vereist Europese schaal en bundeling stromen. Huidige wetgeving maakt transport afvalstroom lastig voor recyclers. Reductie van materiaal/unit vergroot noodzaak opschaling CRM verwerking.
F7 Legitimiteit <i>Beeldvorming, routines en cultuur, lobby</i>	• Recycling is stevig gevestigd, breed onderschreven. Strategische autonomie voegt extra urgentie toe rond CRMs. • Van hoogwaardige recycling van plastics en CRMs ziet nog niet hele keten meerwaarde. • Vertegenwoordiging van keten in beleidsproces is niet altijd gebalanceerd.
F8 Coördinatie <i>Ketenorganisatie, ketenverhoudingen en coördinatie</i>	• Ketenpartijen ervaren governance van UPV als te gesloten, omdat ketenpartijen soms op ingrijpende wijze werkprocessen aanpassen om te helpen aan de UPV te voldoen, maar geen directe inspraak hebben. • Ketenbenadering ontbreekt nog. UPV richt op eind-verwerking, producenten nemen geen initiatief om met recyclers in gesprek te gaan over recyclaat (int9)

Bijlage D

Onderbouwing beleidsanalyse

In de onderstaande bijlage is de kopie van het bijlage rapport: “Minder installeren voor een beter klimaat” opgenomen.

Minder **installeren** voor een beter klimaat

**Beleidsonderzoek Productgroep Analyse
Klimaatinstallaties**



Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving

Auteurs

Cécile van Oppen
Gerben Broekhuijsen
Gwen Aartsma

Datum

Augustus 2026

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Hoofdstuk 1. Aanleiding	4
Context. Klimaatinstallaties	5
Hoofdstuk 2. Onderzoeksaanpak	6
Context. Relevant beleid	8
Hoofdstuk 3. Belemmeringen en beleidsopties	11
Hoofdstuk 4. Conclusies en aanbevelingen	28
Hoofdstuk 5. Reflectie: materiaalarm als integrale sleutel	31
Bijlage 1. Verdieping knelpunten en belemmeringen	32
Bijlage 2. Bronnen	36

Samenvatting.

Het klimaatbeleid heeft een grote impuls gegeven aan het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Als gevolg hiervan is een stijging in het materiaalgebruik van klimaatinstallaties te zien. Sinds 2016 gelden circulaire economiedoelen in Nederland. Voor de productgroep klimaatinstallaties zien we een spanning tussen het klimaatbeleid enerzijds en het circulaire beleid anderzijds.

Circulaire beleid is vaak een toevoeging op bestaand energie- en afvalbeleid, en daardoor niet stevig of integraal genoeg gepositioneerd is. Doelen voor het verduurzamen van de gebouwde omgeving en sturingsmechanismen zoals de BENG zijn leidend op gebouw- en gemeentelijkniveau. Vaak zijn circulaire doelstellingen, zoals een 25% verlaging van de MKI of een verlenging van de levensduur met 50% zoals opgenomen in het NPCE, enkel bekend bij koplopers. Ook zijn instrumenten zoals de MPG nog onvoldoende sterk ontwikkeld om daadwerkelijk te sturen op een lagere milieu-impact van de productgroep klimaatinstallaties.

Circulariteit kan een oplossing bieden om verschillende beleidsdoelen integraal te benaderen. Een meer circulaire omgang met klimaatinstallaties – en met name het gebruik van minder installaties – kan juist een oplossing bieden waardoor verschillende beleidsdoelen zoals een lager energieverbruik, verminderde netcongestie en verminderd materiaalgebruik.

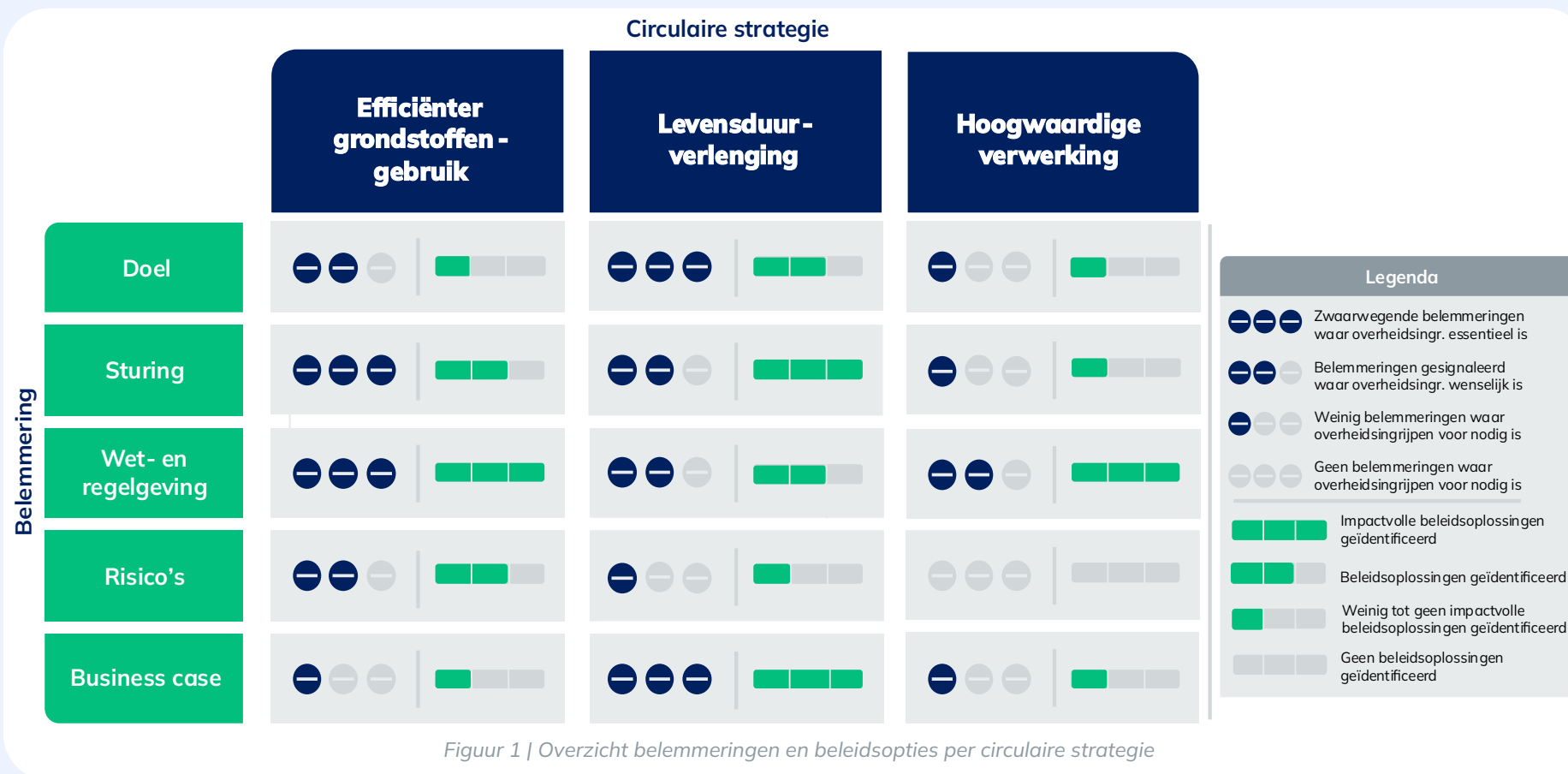
De belangrijkste belemmeringen die zijn opgehaald in deze beleidsanalyse (onderdeel van de Productgroep Analyse (PGA) klimaatinstallaties) zijn:

1. **Onderontwikkelde doelen:** circulaire ambities voor klimaatinstallaties zijn nog beperkt vertaald naar concrete, afrekenbare doelen op gebouwniveau, waardoor partijen zich met name richten op klimaatdoelen.
2. **Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig:** er wordt vooral gestuurd op energiebesparing en elektrificatie, terwijl sturing op materiaalreductie, installatie-arme concepten en collectieve oplossingen veelal ontbreekt.
3. **Wet- en regelgeving:** regels en rekenmethodes sluiten niet altijd aan op circulariteit, waardoor circulaire keuzes ingewikkelder of risicovoller worden.

4. **Risicomijndendheid door onbekendheid:** beperkte ervaring en onzekerheid over prestaties/kwaliteit leiden tot voorkeur voor 'bewezen' lineaire oplossingen en overdimensionering.
5. **Business case (nog) niet aantrekkelijk:** kosten en opbrengsten vallen vaak bij verschillende partijen, terwijl arbeid voor refurbishment relatief duur is en financiële prikkels vooral nieuwe verkoop en vervanging belonen.

De Rijksoverheid heeft een belangrijke rol in het oplossen van bovenstaande belemmeringen. In deze analyse gekeken naar interventies die door de Rijksoverheid kunnen worden geïnitieerd. Deze interventies zijn als volgt:

1. **Geef circulariteit prioriteit en maak het gelijkwaardig aan andere beleidsdoelen:** geïntegreerde oplossingen kunnen energieverbruik, materiaalimpact en netcongestie verminderen.
2. **Maak het makkelijker om te kiezen voor installatie-arm:** stimuleer installatie-arme oplossingen door regelgeving en normen zo aan te passen dat reductie van zowel energie- als materiaalgebruik beter wordt beloond.
3. **Zorg voor onafhankelijke totstandkoming van normen:** zorg ervoor dat normen onafhankelijker worden ontwikkeld zodat circulaire oplossingen niet worden belemmerd.
4. **Zet in op handhaving om kwaliteitscontrole te verbeteren:** meer handhaving kan overdimensionering tegengaan en circulaire productkeuzes afdwingen.
5. **Herontwerp de UPV om levensduurverlenging te faciliteren:** door bijvoorbeeld hergebruikdoelen te expliciteren en ecomodulatie binnen de productgroep op te nemen.
6. **Overheid: jaag vraag aan als opdrachtgever:** de overheid kan een doorslaggevende rol spelen door vraag te creëren voor installatie-arme en circulaire oplossingen.
7. **Maak businessmodellen rondom hergebruik aantrekkelijker:** verbeter de businesscase voor hergebruik door fiscale prikkels te verschuiven van arbeid naar grondstoffen, en door een infrastructuur voor hergebruik op te zetten.



Hoofdstuk 1. Aanleiding

Klimaatinstallaties in de circulaire transitie

De Rijksoverheid heeft de ambitie om toe te werken naar een volledig circulaire economie in 2050. Om inzicht te krijgen in de voortgang richting deze doelen publiceert het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) iedere twee jaar de Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER). Deze rapportage vormt een belangrijke basis voor beleidsvorming en -bijsturing op nationaal niveau. In aanloop naar de ICER 2027 is ervoor gekozen om weer voor een aantal productgroepen verdiepende productgroepanalyses (PGA's) uit te voeren, waaronder voor de productgroep klimaatinstallaties.

Klimaatinstallaties (warmtepompen, ventilatiesystemen en bijbehorende componenten) spelen een steeds grotere rol in de gebouwde omgeving. De energietransitie en aangescherpte eisen rond de energieprestaties van gebouwen zorgen ervoor dat klimaatinstallaties een groter aandeel krijgen in de totale milieu-impact van gebouwen. Dit komt doordat klimaatinstallaties vaak materiaal-intensief zijn. Ze bevatten relatief veel (en soms kritieke) grondstoffen met een hogere milieu-impact. Hierdoor beperken klimaatinstallaties enerzijds negatieve milieu-impact, door tijdens de levensduur (fossiel) energieverbruik te verminderen, en anderzijds brengt de productie negatieve milieu-impact met zich mee.

Naar circulaire klimaatinstallaties

Momenteel wordt de inzet van klimaatinstallaties met name opgeschaald door het vervangen van gasgestookte installaties naar installaties met een duurzamere opwekking in gebouwen. Hier valt nog veel winst te behalen, onder andere door circulaire strategieën toe te passen, zoals het plaatsen van minder klimaatinstallaties, levensduurverlenging van klimaatinstallaties in gebruik en verbeterde recycling aan het einde van de levensduur. Vanuit de overkoepelende PGA en MIS-analyse zien we dat het huidige beleid niet altijd stimulerend werkt voor circulaire klimaatinstallaties, of dat beleid circulaire oplossingen zelfs in de weg staat. Dit zien we ook terug in de Routekaart Circulaire klimaatinstallaties [1].

In de aankomende jaren wordt, mede naar aanleiding van het Klimaatakkoord en de eisen die dit stelt aan de gebouwde omgeving, een nog verdere toename in het materiaalverbruik verwacht voor klimaatinstallaties. Dit zien we ook terug in de overkoepelende analyse (PGA rapport, hoofdstuk 2.3, Materiaalgebruik in de keten) waar dit kwantitatief onderbouwd door TNO. Om de doelstellingen uit het geactualiseerde Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE 2025) te halen – een 25% lagere MKI in 2030 ten opzichte van 2016, zal naast levensduurverlenging en goede verwerking van afgedankte installaties, ook gestuurd moeten worden op het reduceren van het aantal klimaatinstallaties.

Vanwege de dominantie van beleid dat stuurt op het reduceren van het energieverbruik van gebouwen, is er nog beperkte aandacht geweest voor circulaire klimaatinstallaties. Deze studie biedt een overzicht van de huidige belemmeringen voor circulaire klimaatinstallaties. Ook worden beleidsopties geïnventariseerd waarmee deze belemmeringen weggenomen kunnen worden.

Doelen NPCE circulaire klimaatinstallaties

- Een 25% lagere MKI in 2030 ten opzichte van 2016
- Een verhoging van de functionele gemiddelde levensduur met 50% in 2030 ten opzichte van 2016
- Hoogwaardig hergebruik of hoogwaardige recycling van 100% van de componenten in installaties in 2030.

Leeswijzer

Dit rapport schetst eerst de context rondom klimaatinstallaties in Nederland. Daarna volgt de onderzoeksaanpak, de belangrijkste belemmeringen en beleidsopties en de conclusies en aanbevelingen. Er wordt afgesloten met een reflectie op de resultaten van het onderzoek en de bredere implicaties voor de circulaire transitie en de rol van klimaatinstallaties. Deze beleidsanalyse bouwt voort op inzichten uit de andere werkpakketten binnen de PGA Klimaatinstallaties.

Context. Klimaatinstallaties

Klimaatinstallaties in de gebouwde omgeving

Klimaatinstallaties spelen een belangrijke rol in de gebouwde omgeving. Ze zijn essentieel voor een aangenaam binnenklimaat in gebouwen, waardoor gebouwen geschikt zijn om in te verblijven, wonen en werken. De aanwezigheid en werking van klimaatinstallaties is daarmee direct van invloed op het comfort, de gezondheid en de productiviteit van de gebruikers.

Het ontwerp en de realisatie van klimaatinstallatie volgen in belangrijke mate de wettelijke eisen zoals vastgesteld in het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Dit wordt vaak aangevuld met eisen of wensen vanuit gebouweigenaren en gebruikers. Klimaatinstallaties worden momenteel vooral gebruikt om warmte in te brengen tijdens de winter. Ook worden ze steeds meer gebruikt voor verkoeling in de zomer of voor het brengen van verse lucht in een ruimte door middel van mechanische ventilatie.

Gefragmenteerd en complex ketenlandschap

De keten van klimaatinstallaties kenmerkt zich door een sterk gefragmenteerd landschap. Er is een groot aantal fabrikanten actief; Alleen al voor warmtepompen zijn er meer dan 100 merken of types. Ook is er een groot aantal installateurs en onderhoudspartijen actief in Nederland. Vaak leveren die twee los van elkaar diensten. Het komt vaak voor dat een installatie is geplaatst door een installateur, terwijl een andere partij het onderhoud verzorgt.

Hoewel er enkele grote (internationaal opererende) spelers actief zijn in het landschap, bestaat een groot deel van de markt uit lokale en regionale partijen die op relatief kleine schaal installaties realiseren. Installateurs produceren doorgaans zelf geen producten, maar combineren en integreren componenten van verschillende fabrikanten. Zij fungeren daarmee vaak als zogenoemde systeemintegrator en dragen de verantwoordelijkheid voor de goede werking van het totale systeem, alhoewel zij beperkte invloed hebben op het ontwerp of de productkeuze van afzonderlijke onderdelen.

Klimaatinstallaties maken deel uit van internationale toeleverketens en bestaan uit technisch complexe producten met een breed scala aan materialen, waaronder metalen, kunststoffen en vaak ook onderdelen waarvoor kritieke materialen nodig zijn. De herkomst van componenten en materialen ligt vaak buiten Nederland, waardoor nationale beleidsinstrumenten slechts indirect invloed hebben op ontwerp- en productieprocessen. Tegelijkertijd maakt deze internationale schaal de keten gevoelig voor leveringszekerheid en geopolitieke ontwikkelingen, wat de relevantie van circulaire strategieën verder vergroot.

Risico's en verantwoordelijkheden

De verantwoordelijkheid die bij installateurs ligt voor het functioneren van het binnenklimaat leidt in de praktijk tot een risicomijdende houding. Installateurs worden vaak pas laat in het bouwproces betrokken, bijvoorbeeld na vergunningsverlening, wanneer belangrijke ontwerpkeuzes al zijn vastgelegd. Zij hebben doorgaans beperkte invloed op uitgangspunten zoals gebouwontwerp of energieconcept en zijn zelden betrokken bij instrumenten zoals de Milieuprestatie Gebouwen (MPG).

Wanneer installaties niet goed functioneren, kunnen de herstelkosten hoog zijn, omdat aanpassingen vaak ingrijpende sloop- en herstelwerkzaamheden vereisen. Dit versterkt de neiging tot overdimensioneren: liever iets te groot dan het risico lopen dat het systeem onvoldoende presteert. Dit draagt bij aan een hoger materiaalgebruik en bemoeilijkt de toepassing van circulaire ontwerpprincipes.

Aandacht voor milieu-impact

In de sector is weinig aandacht (geweest) voor de milieu-impact van klimaatinstallaties. Dit hangt samen met het gefragmenteerde, internationale landschap en dat een installatie lastig te modelleren is. Fabrikanten beschikken in toenemende mate over milieudata, maar deze is niet altijd toegespitst op de Nederlandse context. Hierdoor blijven installaties relatief onderbelicht in integrale milieuafwegingen op gebouwniveau.

Hoofdstuk 2. Onderzoeksaanpak

Productgroepanalyse Klimaatinstallaties

Deze beleidsanalyse is uitgevoerd als onderdeel van de Productgroepanalyse (PGA) Klimaatinstallaties ten behoeve van de Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER). Binnen de PGA Klimaatinstallaties werken meerdere partijen samen aan verschillende onderdelen van de PGA, namelijk TNO en de Universiteit Utrecht. Deze beleidsanalyse bouwt voort op de inzichten uit de andere onderdelen.

Beleidsanalyse circulaire klimaatinstallaties

Belemmeringen in de praktijk

Om te komen tot een overzicht van de belemmeringen in de praktijk is gebruik gemaakt van de MIS-analyse klimaatinstallaties (zie figuur 1). De knelpunten uit de MIS (vanuit een beleidscontext) zijn aangevuld met knelpunten uit interviews en met aanvullend onderzoek. De knelpunten zijn geclusterd om te komen tot een aantal hoofdbelemmeringen.

Beleidsopties en instrumenten

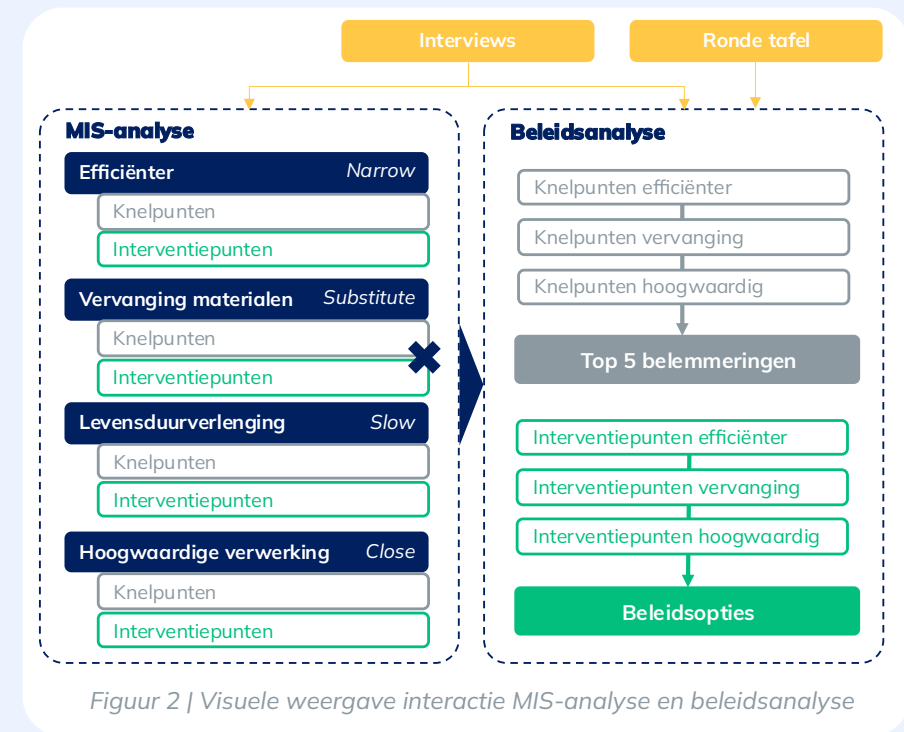
Het beleidsonderzoek is gestart vanuit bestaand Nederlands en Europees beleid op het snijvlak van circulaire economie, energie en de gebouwde omgeving. Vervolgens is gekeken naar welke knelpunten nog niet worden opgelost door bestaand beleid. Dit heeft geleid tot de lijst aan beleidsopties en -interventies per belemmering.

Afbakeningen binnen het onderzoek

Het onderzoek kent enkele expliciet afbakeningen, namelijk:

- De beleidsanalyse richt zich primair op structurele en beleidsmatige belemmeringen en niet op projectspecifieke of technische knelpunten;
- De geanalyseerde beleidsopties zijn specifiek gericht op circulaire klimaatinstallaties en geen algemene belemmeringen binnen de woningbouw- of klimaatinstallatiesector (een voorbeeld is risicomijdendheid in de bouw over het algemeen, er is enkel gekeken hoe dit versterkend werkt bij circulaire klimaatinstallaties);

- De nadruk ligt op een systemisch perspectief: belemmeringen en beleidsopties worden niet geïsoleerd benaderd, maar geplaatst binnen de bredere beleids- en ketencontext;
- Beleidsmaatregelen die niet effectief zijn gebleken of juist al (volledig) geïmplementeerd zijn, zijn bewust buiten beschouwing gelaten;
- De analyse richt zich op woning- en utiliteitsbouw. Dit is aanvullend op de kwantitatieve analyse uitgevoerd door TNO, die enkel naar woningbouw heeft gekeken;
- Op basis van de potentiële impact van substitutie (uit de kwantitatieve analyse van TNO en dynamiek uit de MIS analyse van UU) is gekozen om



Figuur 2 | Visuele weergave interactie MIS-analyse en beleidsanalyse

beleidsopties voor substitutie niet verder te onderzoeken, aangezien het Nederlandse beleid minimaal effect heeft op deze strategie.

Circulaire keuzes in de keten (clusters)

Circulaire keuzes rondom klimaatoplossingen kunnen op verschillende momenten gemaakt worden. Hoe eerder in het proces een keuze gemaakt wordt, hoe meer negatieve milieu-impact bespaard kan worden. Die circulaire strategieën hieronder worden gevat in het cluster **Efficiënter grondstoffengebruik**.

- **Refuse** | Voordat er gekozen wordt voor het plaatsen van een klimaatinstallatie kan ook nog gekozen kan worden voor (vrijwel) geen installaties, door passief/installatie-arm te bouwen.
- **Reduce** | Als er eenmaal gekozen is om niet passief te bouwen, en wel een verwarmingsooplossing in te zetten, dan kan hier gekozen worden voor een materiaal besparende oplossing met een collectief systeem of bij de keuze voor een individuele installatie, een installatie met minder materiaal door ander ontwerp of een kleinere installatie

Als eenmaal gekozen is voor een klimaatinstallatie, kunnen bij installatie, onderhoud en gebruik kunnen circulaire keuzes gemaakt worden. Die circulaire strategieën hieronder worden gevat in het cluster **Levensduurverlenging**.

- **Ontwerp en onderhoud** | Levensduurverlenging bij de huidige eigenaar of gebruiker realiseren door ontwerp voor levensduurverlenging, en het onderhoud van de installaties
- **Reuse** | Hergebruikt waarbij de levensduur van installaties wordt verlengd door deze opnieuw te gebruiken in een andere context
- **Repair** | Het repareren van klimaatinstallaties zodat deze langer meegaan
- **Refurbish** | verouderde of geretourneerde installaties opknappen, renoveren of reviseren door reparatie en vervanging van onderdelen
- **Remanufacture** | verouderde of geretourneerde installaties vrijwel volledig uit elkaar halen om onderdelen opnieuw bij elkaar te brengen tot een nieuw product

Ook na het afdanken kunnen circulaire keuzes gemaakt worden om milieu-impact te verlagen en zo veel mogelijk onderdelen en materialen in het systeem te houden. Die circulaire strategie hieronder wordt gevat in het cluster

Hoogwaardige verwerking.

- **Recycle** | afvalmateriaal van installaties verwerken tot nieuwe producten of grondstoffen

Voor een overzicht van deze circulaire clusters, zie figuur 3 hieronder.



Context. Relevant beleid



Energy Performance of Buildings Directive (EPBD IV)

De herziene EPBD IV is het centrale EU-instrument om de gebouwde omgeving richting een volledig koolstofvrije gebouwvoorraad in 2050 te brengen [2]. De richtlijn versnelt de verduurzaming van zowel nieuwe als bestaande gebouwen. Dit wordt o.a. gedaan door minimum prestatie-eisen vast te stellen, zero-emission buildings voor de nieuwbouw te introduceren en een Nationaal Renovatieplan inclusief routekaart verplicht te stellen.

In aanvulling op eisen ten aanzien van de operationele uitstoot van gebouwen worden ook eisen gesteld ten aanzien van de volledige levenscyclus emissies van gebouwen – de Whole Lifecycle Global Warming Potential (WLC-GWP). De aandacht wordt hierbij verbreed van enkel de operationele emissies naar ook de materiaalgebonden emissies in de materiaalproductie, onderhoud en einde levensduur.



Klimaatakkoord

Het Klimaatakkoord richt zich op de verduurzaming van respectievelijk de gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, landbouw en landgebruik en elektriciteit. Voor de gebouwde omgeving is de doelstelling om in 2030 2,4 Mton minder CO₂ uit te stoten dan in het referentiescenario [3]. In het Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (PVGO) worden energiebesparing, verduurzaming van warmtevoorziening en het stapsgewijs uitfasen van aardgas gecombineerd.

De kern van de uitvoering ligt bij de wijkgerichte aanpak onder regie van gemeenten. Eigenaren van woningen en utilitair vastgoed worden door diverse maatregelen ook aangezet tot verdere verduurzaming. In het PVGO worden de volgende – voor klimaatinstallaties – relevante beleidsdoelen geformuleerd:

- 1 miljoen hybride warmtepompen
- 500.000 warmtenetaansluitingen

- 120.000 utiliteitsgebouwen verduurzaamd



Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)

De ESPR vormt het centrale regelgevingskader voor duurzaam productontwerp voor verschillende productgroepen, waarbij productspecifieke maatregelen worden uitgewerkt (via gedelegeerde handelingen). De verordening is op 18 juli 2024 in werking getreden als vervanging van de Ecodesign Richtlijn en bevordert duurzamere en meer circulaire producten in de EU [4]. De ESPR richt zich op alle fysieke producten, waaronder ook klimaatinstallaties zoals laag temperatuur verwarmingen en lokale ruimteverwarmers [5].

De belangrijkste bepalingen van de ESPR zijn onder meer:

- Gedelegeerde handelingen moeten duurzaamheid, repareerbaarheid, *upgradability*, demontage, revisie en recycleerbaarheid van producten bevorderen
- De introductie van verplichte digitale productpaspoorten voor gereguleerde productgroepen (naar verwachting in 2026-2027) moet productinformatie inzichtelijk maken, waaronder materialen, componenten, reparatie-instructies, demontagestappen, gerecycled materiaal en gevaarlijke stoffen
- Energie-efficiëntieregels moet de energieconsumptie van elektronica beperken
- Gedelegeerde handelingen moeten voortijdige veroudering tegengaan door bijvoorbeeld verlengde softwareondersteuning (*upgradability*), batterijlevensduur en componentkwaliteit
- De vernietiging van onverkochte consumentenproducten is verboden
- Verplichte Green Public Procurement (GPP) regels moeten de vraag naar duurzame producten stimuleren



Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE)

Het NPCE [6] is een programma van de Rijksoverheid om te komen tot een volledig circulaire economie in 2050. Binnen het (geactualiseerde) NPCE wordt circulaire economie als een middel gepositioneerd voor het behalen van diverse doelen: het reduceren van CO₂ uitstoot, landgebruik en waterverbruik; maar ook voor leveringszekerheid.

Circulaire (ontwerp) strategieën kunnen de afhankelijkheid van nieuwe kritieke materialen verlagen door bijvoorbeeld *minder* kritieke materialen te gebruiken, *andere* materialen te gebruiken (substitutie), in te zetten op levensduurverlenging van bestaande producten, en tot slot eisen te stellen aan hoogwaardige recycling van kritieke materialen.

Binnen het geactualiseerde programma NPCE 2023-2030 is onderhavig onderzoek naar de vermindering van het gebruik van *virgin* kritieke grondstoffen door ontwerp aangekondigd. Ook wordt binnen het NPCE een relatie gelegd naar kritieke materialen bij consumentenelektronica en de maakindustrie. Voor de maakindustrie wordt dit onderwerp nader uitgewerkt in productspecifieke routekaarten.



Critical Raw Materials Act (CRMA)

De Critical Raw Materials Act (CRMA), officieel Verordening (EU) 2024/1252 van 11 april 2024, stelt een Europees kader vast om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen

De CRMA stelt vier specifieke streefcijfers (*benchmarks*) vast om de afhankelijkheid van derde landen te verminderen en de interne keten te versterken tegen 2030:

- Winning (*extraction*): De winningscapaciteit in de EU moet ten minste 10% van het jaarlijkse verbruik van strategische grondstoffen dekken
- Verwerking (*processing*): De verwerkingscapaciteit in de EU moet ten minste 40% van het jaarlijkse verbruik kunnen produceren
- Recycling: De recyclingcapaciteit in de EU moet ten minste 25% van het jaarlijkse verbruik van strategische grondstoffen kunnen dekken

- Diversificatie: Geen enkel derde land (landen buiten de EU of EEA) mag in meer dan 65% van het jaarlijkse verbruik van een strategische grondstof voorzien



WEEE

De Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) richtlijn (2012/19/EU) vormt het Europese kader voor het beheer van afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA). Het primaire doel is het beschermen van het milieu en de volksgezondheid door het voorkomen en verminderen van de negatieve effecten van e-waste door preventie van afval, het stimuleren van hergebruik, betere inzameling en meer hoogwaardige verwerking.

Een van de kernprincipes onder de WEEE-richtlijn is uitgebreide producentenverantwoordelijkheid. Dit betekent dat producenten en importeurs van elektrisch en elektronisch apparatuur financieel en organisatorisch verantwoordelijk zijn voor de inzameling en verwerking van hun producten aan het einde van de levensduur. Onder de WEEE-richtlijn moeten lidstaten systemen inrichten voor de gescheiden inzameling en passende behandeling van e-waste, met bindende doelstellingen voor inzamel- en verwerkingspercentages. De WEEE-richtlijn wordt in 2026 herzien.



F-Gassen verordening

De vernieuwde F-gassen verordening (2024) voorziet in het reguleren en uitfasen van zeer krachtige gefluoreerde broeikasgassen. Deze broeikasgassen hebben een extreem hoog *Global Warming Potential* (GWP) en worden daarom versneld uitgefaseerd naar natuurlijke koudemiddelen.

Klimaatinstallaties waarop de verordening van toepassing is zijn o.a. airconditioning, warmtepompen en koelinstallaties. Producten die nu nog F-gassen bevatten moeten geleidelijk worden afgebouwd naar lagere emissies en uiteindelijk tot een compleet verbod op bepaalde toepassingen. Daarbij zijn er specifieke grenzen aan het GWP en een afbouwpad met jaartallen wanneer producten moeten voldoen. Zo ligt er voor 2035 een verbod op F-gassen in alle nieuwe split-airconditioning en warmtepompen tot en met een vermogen van 12kW.

Aankomende wet- en regelgeving klimaatinstallaties

Het beleidslandschap rond klimaatinstallaties is zich steeds meer aan het vormen. Met name vanuit de Europese Unie komen veel verordeningen en richtlijnen die ook klimaatinstallaties binnen scope hebben. Elk beleidsinstrument heeft impact op een specifieke plek in de keten. Ook zijn sommige instrumenten meer verplichtend van aard, en andere instrumenten meer richtinggevend. Onderstaand overzicht geeft de belangrijkste instrumenten weer.

Aankomende wet- en regelgeving

Verplichtend

F-gassen verordening. Stapsgewijs verbod op gefluoreerde broeikasgassen (F-gassen) die ook in klimaatinstallaties zitten.

Energy Performance for Buildings Directive IV (EPBD-IV; Nederlandse invulling). De Rijksoverheid heeft de taak om de plafondwaarden te stellen voor WLC-GWP. De gestelde plafondwaarden kunnen ervoor zorgen dat er meer integraal wordt gestuurd op materiaalgebonden en operationele emissies.

Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Stelt eisen aan het ontwerp van bijna alle producten die in de EU worden verkocht om ze meer duurzaam, reparabel en circulair te maken. Er worden productspecifieke handreikingen gemaakt, o.a. voor klimaatinstallaties. Enkele 'horizontale' eisen zoals reparabiliteit kunnen er ook voor zorgen dat producten langer mee zullen gaan.

Construction Products Regulation (CPR). Stelt eisen voor bouwproducten voor de Europese interne markt in het kader van functionaliteit, veiligheid en milieubescherming.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Stelt producenten en importeurs verantwoordelijk voor de inzameling en verantwoorde verwerking van afgedankt elektrisch en elektronisch afval (AEEA), waaronder klimaatinstallaties. De WEEE wordt dit jaar gereviseerd, waarbij de verwachting is dat er aanpassingen zullen komen m.b.t. hogere inzameldoelstellingen, verhoogde aandacht voor kritieke materialen en een mogelijke omzetting naar een Verordening.

Energy Performance for Buildings Directive IV (EPBD-IV). Eisen ten aanzien van de WLC-GWP van gebouwen, ofwel de integrale emissies van een gebouw.

AVV Stichting Open. In de nieuwe Algemeen Verbindende Verklaring (AVV; afspraken met de Nederlandse overheid over o.a. prestaties) is Stichting OPEN overgegaan op de *WEEE-generated* doelstelling, waarmee hoogwaardig hergebruik ook beter wordt gefaciliteerd. In het Actieplan 2025-2030 worden nadrukkelijke inspanningen benoemd die zowel hoogwaardig hergebruik als meer inzameling van klimaatinstallaties mogelijk moeten maken.

Richtinggevend

Scope	Efficiënter grondstoffen - gebruik	Levensduur - verlenging	Hoogwaardig verwerken
EU	■	■	■
NL	■	■	■
EU	■	■	■
EU	■	■	■
EU	■	■	■
EU	■	■	■
NL	■	■	■

Figuur 4 | Aankomende wet- en regelgeving klimaatinstallaties

Hoofdstuk 3. Belemmeringen en beleidsopties

Gelijkwaardigheid van beleid moet nog volgen

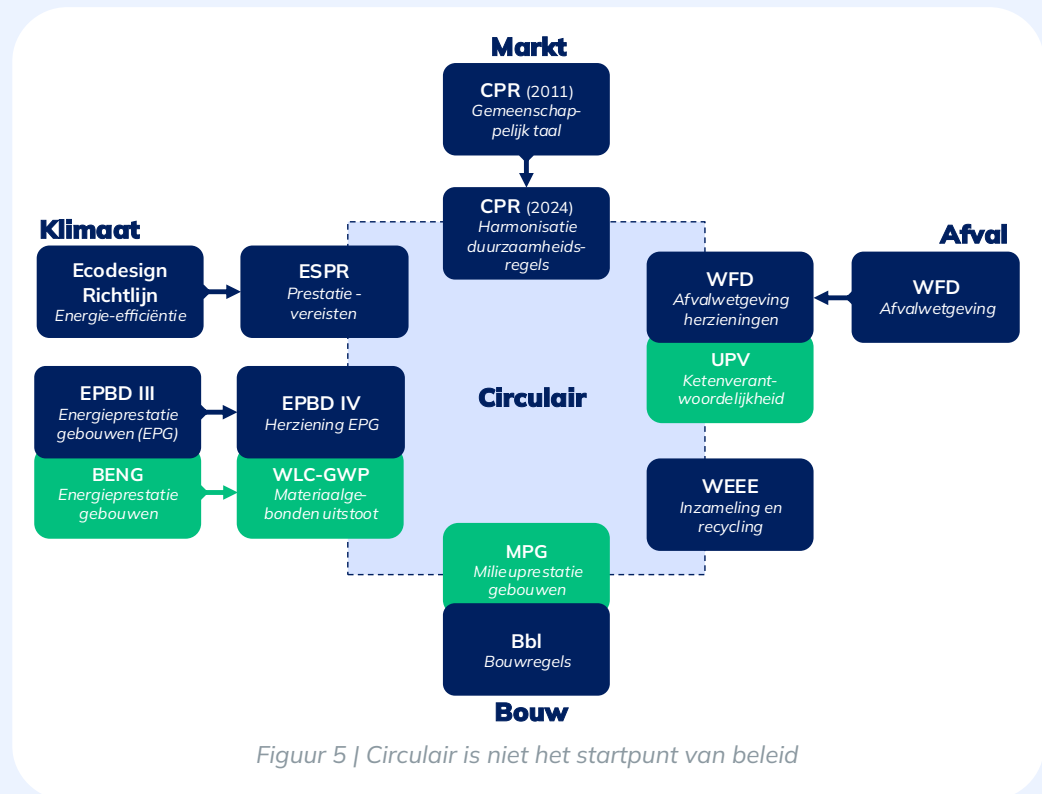
In het bredere beleidsveld zien we dat circulaire beleidsinstrumenten vaak een toevoeging zijn op bestaand (met name Europees) beleid (waaronder klimaat, markt, afval of bouwregelgeving – zie figuur 5) of zijn oorsprong heeft in andere beleidsdoelstellingen. Er is geen circulair beleid dat vanaf de oorsprong stuurt op circulariteit (buiten recycling om).

Ondanks dat dit betekent dat circulariteit geïntegreerd wordt in andere wet- en regelgeving, heeft dit tot op heden nog niet geleid tot voldoende **prioriteit**; Circulariteit is niet stevig genoeg gepositioneerd ten opzichte van de andere beleidsdoelstellingen. Dit valt deels te verklaren vanuit de tijdlijn waarop circulair beleid werd ontwikkeld, en in de tijd later kwam dan klimaatbeleid, bouwregelgeving of afvalbeleid. Hierdoor was de logische keuze om circulair beleid in bestaand beleid te voegen, maar was het niet het startpunt van het huidige beleid. Hierdoor is het tot nu toe minder ver uitgewerkt of getest en zijn andere beleidsdoelstellingen bekender.

Wetgeving komt vanuit andere domeinen en wordt nu omgezet en aangepast zodat deze ook (deels) op circulariteit sturen, maar wordt nog onvoldoende als **integraal** ervaren. Dit komt doordat circulaire doelen en regels toegevoegd zijn aan bestaande, bekende doelen en regels. Denk aan hernieuwbare energiedoelen vanuit klimaatbeleid en veiligheidsregels vanuit bouwbeleid. Ook worden de verschillende doelstelling soms als tegenstrijdig ervaren.

Het beleid dat het dichtst bij circulair beleid kwam, was afvalwetgeving. **Hoogwaardige circulaire strategieën** zoals verminderen van de inzet van producten (waaronder klimaatinstallaties) misten tot voorkort in wetgeving en hiermee loopt dit nog achter op recyclingwetgeving.

De vraag is: kan circulair beleid gelijkwaardig worden aan ander beleid?



Figuur 5 | Circulair is niet het startpunt van beleid

Belemmeringen als kapstok voor beleidsopties

Om gerichte beleidsopties te kunnen bieden die handelingsperspectief geven richting circulaire klimaatinstallaties, is het essentieel om de belemmeringen die de transitie vertragen te begrijpen. Zo kunnen er gerichte beleidsopties per belemmering geformuleerd worden. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste belemmeringen, een verzameling van de gevonden knelpunten in de eerder genoemde MIS-analyse (zie Hoofdstuk 2 in de overkoepelende analyse of bijlage 1 in dit document), beschreven met de gevonden beleidsopties om deze belemmeringen waar mogelijk weg te nemen.

De belemmeringen dienen als kapstok voor het verkennen van de beleidsmatige aangrijpingspunten. De volgorde waarin zij worden gepresenteerd is bedoeld om structuur aan te brengen en impliceert geen strikte prioritering.

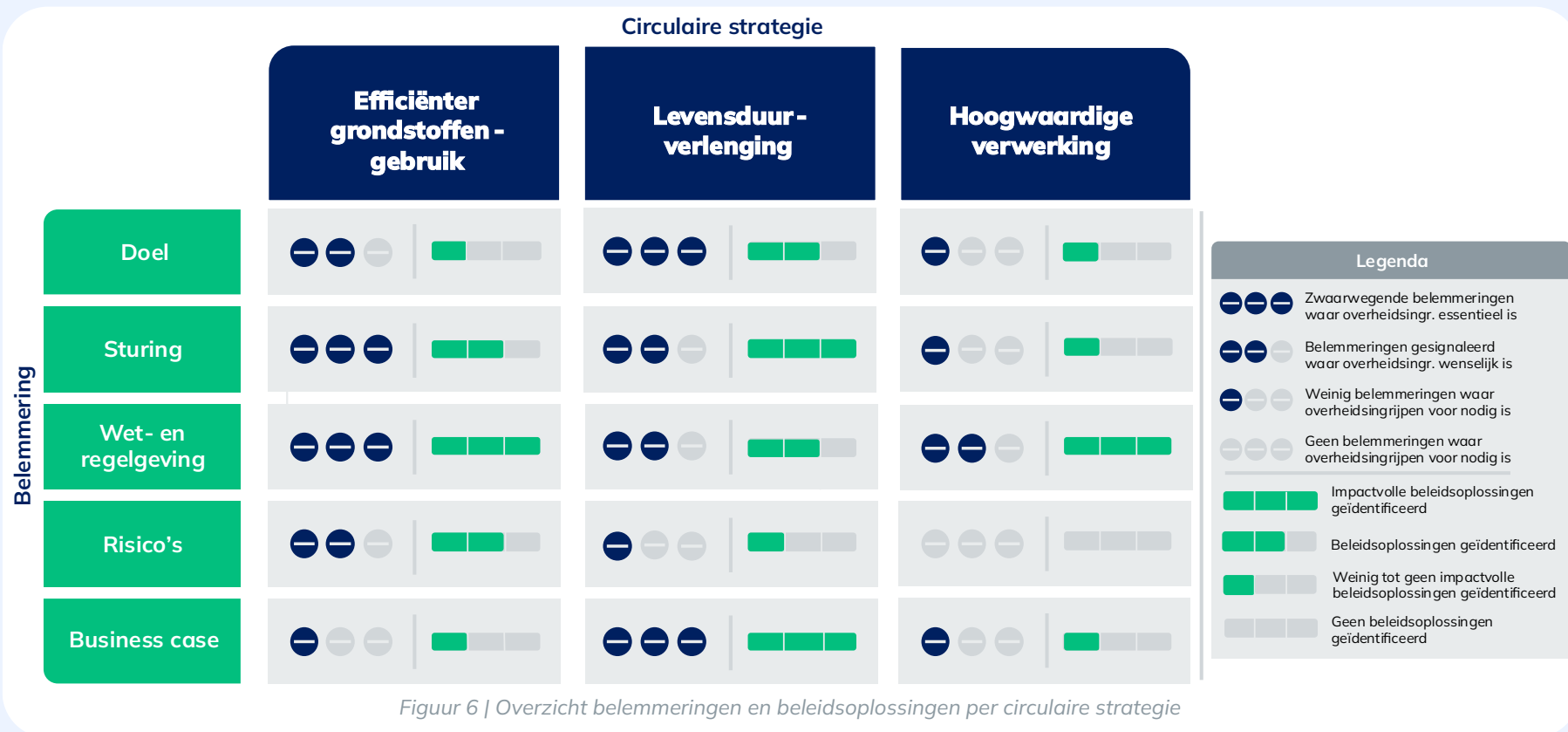
De vijf hoofdbelemmeringen

De vijf belemmeringen die zijn geïnventariseerd in dit onderzoek zijn:

1. **Onderontwikkelde doelen:** circulaire ambities voor klimaatinstallaties zijn nog beperkt vertaald naar concrete, gezamenlijke doelen op gebouwniveau (energie, materiaal én comfort), waardoor partijen vooral optimaliseren op deeldoelen vanuit andere domeinen (energie, afval, etc.).
2. **Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig:** prikkels sturen vooral op energiebesparing en elektrificatie, terwijl sturing op materiaalreductie, installatie-arme concepten en collectieve oplossingen ontbreekt of wordt tegengewerkt.
3. **Wet- en regelgeving:** regels en rekenmethodes sluiten niet altijd aan op circulariteit (bijv. rond comfort, certificering en verwerking), waardoor circulaire keuzes ingewikkelder of risicovoller worden.
4. **Risicomijndendheid door onbekendheid:** beperkte ervaring en onzekerheid over prestaties/kwaliteit (bijv. installatie-arm, hergebruik, refurbished) leiden tot voorkeur voor 'bewezen' lineaire oplossingen en overdimensionering.
5. **Business case (nog) niet aantrekkelijk:** kosten en opbrengsten vallen vaak bij verschillende partijen, terwijl arbeid (onderhoud/reparatie) relatief duur is en de financiële prikkels vooral nieuwe verkoop en vervanging belonen.

Beleidsopties gericht op de Rijksoverheid

De Rijksoverheid is voor alle geïdentificeerde hoofdbelemmeringen de belangrijkste actor om de belemmeringen op te lossen. Vanuit de MIS-analyse zien we dat ook andere actoren met diverse interventiepunten ondersteunend kunnen zijn aan deze beleidsopties. Alleen voor de losse beleidsopties is vrijwel altijd de Rijksoverheid aan zet.



Belemmering 1. Onderontwikkelde doelen

Ondanks doelen voor klimaatinstallaties in het geactualiseerde Nationaal Programma Circulaire Economie [6], is het doel om circulair om te gaan met klimaatinstallaties nog niet zo ver ontwikkeld als andere doelstellingen. Prioritering en integraliteit vormen hier vooralsnog een probleem. Ook zijn de doelen voor velen (nog) onbekend of onduidelijk. Denk bijvoorbeeld aan klimaatbeleid: In de energietransitie ligt de focus momenteel met name op tempo maken. Zo veel mogelijk gebouwen moeten verduurzaamd worden, waarbij klimaatinstallaties ook een deel van de oplossing vormen. Omdat de inzet van klimaatinstallaties zo lang is gepositioneerd als deel van de oplossing voor het klimaatprobleem, heerst er nog veel onbekendheid over het belang van (het reduceren van) de materiaalgebonden uitstoot van klimaatinstallaties [7]

Beleidsoplossingen doelen

Efficiënter grondstoffenverbruik

Toelichting 1.N.1. | Refuse Bouwen met minder materiaal van klimaatinstallaties dient verschillende doelen tegelijk. Zo kan het leiden tot energiebesparing tijdens gebruik (geen overdimensionering), wat weer leidt tot minder netcongestie. Ook steunt het de doelen om over te gaan op hernieuwbare bronnen (in dit geval: minder CV-ketels die gas verbruiken. Sturing hierop vindt nu enerzijds plaats via energiedoelstellingen (van het gas af) en anderzijds op verwachte milieukosten in MKI. De verschillende beleidsdoelen – verduurzaming van de gebouwde omgeving, circulaire klimaatinstallaties en netcongestie – zijn niet integraal met elkaar verbonden. Dat is terug te zien in de praktijk, want er wordt nog weinig passief/installatie-arm gebouwd. Installateurs, bouwers, adviseurs en architecten hebben beperkte ervaring met passief of installatie-arm bouwen om tot een gezond en aangenaam leefklimaat te komen. Juist door deze doelen integraal te verbinden worden oplossingen met minder materiaal bekender als kansrijke oplossing voor verschillende uitdagingen en stijgt de bekendheid.

Toelichting 1.N.2 | Reduce Het ontbreekt aan doelen op circulaire productoplossingen en de installatie hiervan (denk aan een collectieve of individuele, circulaire klimaatinstallaties. Ook ontbreekt hier kennis over in de sector [1]. Er bestaan wel doelen in het NPCE, maar deze richten zich enkel op het verlagen van de MKI. Deze doelstelling wordt niet door vertaald naar de uitvoering (bv. bouwregelgeving).

Beleidsoplossing 1.N.1 | Refuse Zorg voor integrale doelen waar verduurzamen van de gebouwde omgeving, materiaalbesparing en netcongestie samenkomen en afgestemd zijn. Formuleer hiervoor een beleidsdoel om te komen tot win-win situatie waarin energiebesparing en materiaalbesparing samengaan met andere doelstellingen. Hou rekening in het opstellen van de doelen dat deze verder gaan dan de doelen in het NPCE (en verder dan alleen nieuwbouw van gebouwen).

Beleidsoplossing 1.N.2 | Reduce Zorg voor gerichte en afrekenbare doelen op circulaire productoplossingen en de installatie hiervan. Zorg daarnaast dat er meer bekendheid komt op de doelen uit het NPCE rond circulaire klimaatinstallaties in het algemeen, om zo de bekendheid rondom de milieu-impact van klimaatinstallaties te verhogen [1] [7].

Levensduurverlening	<u>Toelichting 1.S.1 Ontwerp en onderhoud</u> Hoewel een effectdoel is geformuleerd over het verlengen van de functionele gemiddelde levensduur van klimaatsystemen met 50% t.o.v. 2016 [1], wordt deze doelstelling niet vertaald naar de uitvoering zoals producenten of gebouweigenaren.	<u>Beleidsoplossing 1.S.1 Ontwerp en onderhoud</u> Formuleer een doelstelling voor producenten of gebouweigenaren op een uitvoerbaar niveau. Daarnaast wordt er de nieuwe Algemeen verbindende verklaring (Avv) van Stichting OPEN aangegeven dat de prestaties voortaan aan de hand van de WEEE-generated methodiek worden bepaald. Hoewel in deze methodiek beter rekening wordt gehouden met hergebruik, reparatie of voorbereiden van hergebruik [16] – ontbreekt een concrete doelstelling op hergebruik. Zorg voor een concrete doelstelling op hergebruik binnen de UPV, waarop de UPV maar ook de producenten en importeurs afgerekend kunnen worden. Het is denkbaar dat een concrete doelstelling op hergebruik het beste werkt door over te stappen naar een systeem van Individuele Producenten Verantwoordelijkheid (IPV) in plaats van een UPV met een Producer Responsibility Organization (PRO), waarbij individuele producenten en/of importeurs verantwoordelijk zijn voor het behalen van (recycle- en) hergebruikdoelstellingen [15].
Hoogwaardige verwerking	<u>Toelichting 1.C.1 Recyclen</u> Hoewel een effectdoel is geformuleerd over het 100% hoogwaardig recyclen aan het einde van de levensduur [1], zijn er nog geen afrekenbare doelen gesteld op de inname van afgedankte installaties voor partijen die daadwerkelijk betrokken zijn bij de end-of-life fase zoals woningcorporaties, installateurs of sloop- en renovatiebedrijven. Verschillende eigenaren van klimaatinstallaties weten daarom ook nog niet dat deze bij het einde van de levensduur hoogwaardig verwerkt moeten worden [8] [9].	<u>Beleidsoplossing 1.C.1 Recyclen</u> Stel afrekenbare doelen op de inname van klimaatinstallaties aan het einde van de levensduur voor partijen die ook betrokken zijn bij de end-of-life fase zoals woningcorporaties, installateurs of sloop- en renovatiebedrijven. Door bij deze partijen een prikkel neer te leggen kan dit leiden tot producthergebruik of betere verwerking [8].

Belemmering 2. Sturing ontbreekt of is tegenstrijdig

Wanneer gekeken wordt naar de sturing richting circulaire klimaatoplossingen, wordt zichtbaar dat er ofwel ontbrekende, ofwel tegenstrijdige sturing bestaat. Sturing richt zich nu nog vaak op energiebesparing of de overstap naar hernieuwbare energie en nog weinig op materiaalgebruik [1]. Daarnaast ontbreekt er sturing op systeemoplossingen waarbij minder klimaatinstallaties nodig zijn, zoals collectieve oplossingen of installatie-arm bouwen.

Beleidsoplossingen sturing

Toelichting 2.N.1 | Refuse Op dit moment wordt passief/installatie-arm bouwen en renoveren niet gestimuleerd. Op gebouwniveau wordt er gestuurd op het beperken van (milieubelastend) materiaalgebruik door middel van de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG). Alleen zien we in de praktijk dat de systematiek rondom de MPG onvoldoende goed werkt om daadwerkelijk te sturen op minder installaties. Dit komt voornamelijk doordat er in de Nationale Milieudatabase (NMD) beperkte accurate informatie beschikbaar is waardoor de milieu-impact van installatietechniek wordt onderschat [10].

Voor specifiek klimaatinstallaties is een doel vastgesteld op het verlagen van de MKI [1], maar desondanks wordt hier niet direct op gestuurd. We zien eerder dat door de interpretatie van wetgeving en normen er grotere installaties worden aangebracht.

Toelichting 2.N.2 | Reduce Vaak wordt er door bestaande normen gestimuleerd om meer materiaal te gebruiken, en niet minder [11] [12]. BENG-eisen richten zich op een energiezuinig ontwerp, wat vaak gehaald kan worden door meer materiaal toe te voegen, denk aan isolatiemateriaal, zonnepanelen en (zwaardere) klimaatinstallaties. Deze focus op het toevoegen van materiaal komt deels door de huidige normen rondom sturing op temperatuurcomfort in koude omstandigheden, die niet zonder klimaatinstallaties gehaald kunnen worden [13] [12]. Voorbeelden van installatie-arm bouwen die niet worden gewaardeerd door de BENG zijn passief koelen of natuurlijke ventilatie [12]. Daarnaast presteren collectieve installaties (die minder materiaal per woning nodig hebben) vaak slechter in de energieprestatieberekeningen. Deze collectieve installaties zijn lastiger in te voeren en moeten forfaitaire waarden gebruiken. Hiermee is de route naar individuele installaties veel makkelijker.

Beleidsoplossing 2.N.1 | Refuse 2.N.1 Stimuleer installatie-arm bouwen en renoveren. Denk daarbij aan het verstrekken van subsidies zodat ook collectieve oplossingen om materiaal te besparen of passieve oplossingen (certificaat) waarbij natuurlijke elementen worden ingezet voor energiereductie. Energiesubsidies worden nu op apparaat en vermogen toegekend, een kleiner vermogen in combinatie met passieve maatregelen zou meer beloond moeten worden. Daarbij kan het helpen om ook de gebruiker te laten nadenken over gedragsmaatregelen i.p.v. de technologische of een materiaal oplossing. Voorbeelden zijn passieve zonnewering en zonbewust ontwerp (zeer effectieve maatregelen voor warmteoverlast en energiereductie in de winter) te stimuleren middels subsidies (in plaats van extra koelinstallaties of grotere warmtepomp) [11].

Beleidsoplossing 2.N.2 | Reduce Richt de bestaande sturing zo in dat collectieve en installatie-arme oplossingen niet worden benadeeld in energieprestatieberekeningen. Actualiseer daarvoor de BENG-normering en de comforteisen in het Bbl (bijv. minimale ruimtetemperaturen), zodat deze concepten worden beloond (makkelijker in te voeren of beter gelijkwaardig in te voeren) in plaats van tegengewerkt [11].

Toelichting 2.N.3 | Reduce De extra materialen en installatietechniek die indirect wordt gestimuleerd door de BENG en de ontwerpkeuzes, verbetert de energieprestatie, maar verhoogt tegelijkertijd de materiaalgebonden milieu-impact. Dit zou terug te zien moeten zijn in de MPG-berekening, maar die is momenteel nog niet streng genoeg genormeerd is om de keuze voor een uitgebreide installaties te remmen [12]. Hierdoor ontstaat er geen sturing om meer installatie-arm te ontwerpen. Daarbij ontbreekt veel milieudata waardoor de voordelen van installatie-arm ontwerpen ook niet goed inzichtelijk is [10].

Toelichting 2.N.4 | Reduce Bij renovatie van bestaande gebouwen hebben (klimaat)installaties een relatief groter aandeel in de milieu-impact. Er is op dit moment geen sturing voor renovaties, zoals de MPG bij nieuwbouw [1].

Toelichting 2.N.5 | Reduce Op verschillende fronten bestaat een conflict tussen sturingsmechanismen. Naast de BENG die schuurt met de MPG, is er ook schuring te zien met andere domeinen zoals sturing op veiligheid [7]. Ook hanteert Nederland een eigen database en rekenregels voor milieu-impact, waardoor milieudata van installatieproducten internationaal lastig te vergelijken zijn [7]. Vanuit de EU komen regels voor harmonisatie hiervan door de invoering van de *Construction Product Regulation* (CPR). Zolang deze regels nog niet zijn ingevoerd, of zodra er toch niet-geharmoniseerd gewerkt wordt, blijft de versnippering rondom milieusturing bestaan.

Beleidsoplossing 2.N.3 | Reduce Het meewegen van de totale milieu-impact bij de verduurzaming van gebouwen kan simultaan met de introductie van de whole-lifecycle-global-warming-potential (WLC-GWP) indicator (verplichting uit de EPBD-IV); Met de invoering van de Europese EPBD IV moet de impact op het klimaat over de gehele levenscyclus (energie én materiaal) worden berekend op het energielabel per 1-1-2028 [1] [12]. Dit dwingt tot een betere afweging tussen extra installatietechniek en de materiaalgebonden impact daarvan, mits de grenswaarden scherp genoeg zijn zodat er ook sturing en noodzaak ontstaat voor installatie-arm ontwerp.

Beleidsoplossing 2.N.4 | Reduce Een uniforme sturingsmethodiek voor renovatie- en verbouw is noodzakelijk om integraal te kunnen sturen op de milieu-impact van klimaatinstallaties in (grootschalige) renovatieprojecten. Ontwikkel een integrale afweging van milieu-impact bij energierenovaties door doorontwikkelen van de MPG of een WLC-GWP eis alleen ook renovaties en verbouwingen [1]. Daarnaast kan er gelijk aan de BENG1, 2 en 3 nagedacht worden om vanuit een instrument als MPG te sturen op circulariteitsdoelstellingen. Doormiddel van een MPG1, 2 en 3, als aanvulling op de WLC-GWP om de circulariteitsdoelstellingen niet uit het oog te verliezen en wel afrekenbare doelstellingen op gebouwniveau te hebben.

Toelichting 2.N.5 | Reduce Zorg dat de NMD goed op de hoogte is van de Europese harmonisatie van de rekenregels die momenteel onder de vlag van Ecoplatform wordt gedaan. NMD heeft gekozen om niet mee te gaan in deze harmonisatie, maar zou na afloop wel de geharmoniseerde rekenregels kunnen overnemen. Vanwege het internationale karakter van de markt voor installatieproducten is het belangrijk om eenduidige rekenregels te hebben, zodat producenten niet voor de Nederlandse markt aparte EPD's hoeven te maken (zie ook 2.N.3) [E1].

Toelichting 2.N.6 | Reduce De milieu-impact van de productie van klimaatinstallaties is nog onvoldoende bekend om hiermee te kunnen sturen [1]. Ook wordt de milieu-impact positiever geschat dan deze daadwerkelijk is [10]. Dit komt onder andere doordat vaak de milieudata in de Nationale Milieudatabase (NMD) ontbreekt waardoor er gerekend wordt met gegevens die de milieu-impact onderschatten.

Toelichting 2.S.1 | Ontwerp en onderhoud Installaties kunnen niet altijd uit elkaar worden gehaald of (deels) vervangen worden in een gebouw wanneer reparatie of vervanging van onderdelen nodig is. Dit komt door de installaties zelf, maar ook door de inpassing in de schil of draagstructuur van het gebouw [11]. De Europese Commissie is bezig met nieuwe productspecifieke Ecodesign richtlijnen, waarbij producten meer circulair ontworpen moeten worden om aan bepaalde prestatievereisten te voldoen. De implementatie loopt nog, waardoor voor klimaatinstallaties nog geen eisen bekend zijn, vooralsnog lijken de eisen t.a.v. klimaatinstallaties met name gericht te zijn op energie-efficiëntie [5], [14].

Beleidsoplossing 2.N.6 | Reduce Maak het mogelijk dat de milieu-impact van klimaatinstallaties volledig in te voeren is, waarbij missende klimaatinstallatie onderdelen en systemen aangevuld moeten worden [10]. Het is noodzakelijk dat de Nationale Milieudatabase (NMD) met meer en betere milieuverklaringen (categorie 1, 2 en 3) voor installatiecomponenten wordt ingericht. Met betere milieudata van klimaatinstallaties is het ook mogelijk om de milieu-impact eerlijk te vergelijken in MPG berekeningen en toekomstige WLC-GWP berekeningen. Eerdergenoemde harmonisatie (2.N.5) is hier een belangrijke aanjager van.

Beleidsoplossing 2.S.1 | Ontwerp en onderhoud Zorg voor sturing op levensduurverlenging door vervangbaarheid van onderdelen bij klimaatoplossingen [1]. In de periode 2025-2030 wordt er gewerkt aan een horizontale EcoDesign eis voor repareerbaarheid [5]. Om toe te werken naar meer circulaire klimaatinstallaties is het belangrijk dat deze horizontale eis ook wordt opgenomen in productspecifieke EcoDesign eisen voor klimaatinstallaties.

Ook kan worden ingezet op sturing via het bestaande Right to repair voor consumenten. Hierbij worden van de Europese Unie fabrikanten verplicht om reparaties aan te bieden tegen een eerlijke prijs voor consumenten. Ook moeten reserveonderdelen voor minimaal tien jaar beschikbaar blijven, dit is ook een horizontale eis in het Ecodesign Working Plan [4]. Echter vallen klimaatinstallaties hier nog niet onder [15] (Dutch New Energy Research Warmtepomp Trendrapport). Door klimaatinstallaties hier wel onder te laten vallen, wordt reparatie beter toegankelijk voor consumenten.

Toelichting 2.S.2 | Ontwerp en onderhoud Om op korte termijn materiaalimpact te besparen (en beter uit te komen in de MPG), worden koperen buizen vaak vervangen door kunststof. Deze hebben echter een lagere levensduur. Hierdoor is er aan de voorkant een lagere milieu-impact, maar moet een installatie(onderdeel) eerder vervangen worden dan nodig. Vaak moet de hele installatie vervangen worden als deze niet voldoende losmaakbaar is [16].

Toelichting 2.S.3 | Ontwerp en onderhoud & reuse Sinds 2026 hanteert Stichting OPEN de WEEE-*generated* doelstelling, waarbij wordt gestuurd op de hoogwaardige verwerking van minimaal 85% in gewicht van de ingezamelde elektronica waaronder klimaatinstallaties [19]. Deze nieuwe doelstelling heeft geen nadelig effect op reparatie en hergebruik [20]. De doelstelling van het 50% verlengen van de functionele levensduur van klimaatinstallaties [1] is echter niet vertaald naar de uitvoering zoals producenten of gebouweigenaren. Binnen de MPG is het mogelijk om de levensduur van klimaatinstallaties te verlengen, wat een gunstig effect kan hebben op de MPG – echter is dit met name een inschatting vooraf.

Beleidsoplossing 2.S.2 | Ontwerp en onderhoud Door te sturen op losmaakbaarheid van onderdelen, maar ook van kanalen en leidingen, wordt de hergebruikpotentie van installaties groter [11]. Ook wordt hierdoor de kans op levensduurverlenging groter, doordat de onderdelen die eerder kapot gaan vervangen kunnen worden. Er is alleen nog geen bepalingsmethode of indicator die de losmaakbaarheid of uitwisselbaarheid van klimaatinstallaties bepaalt. Er is wel een Losmaakbaarheidsindex [17], alleen is die opgesteld om te meten in hoeverre bouw- en installatie onderling verbonden en gaat niet zozeer over de losmaakbaarheid of aanpasbaarheid binnen een verwarmings- of luchtsysteem. Stimuleer het opstellen van een bepalingsmethode voor losmaakbaarheid en aanpasbaar maken van installatiesystemen (verwarming, koeling, ventilatie en regeltechniek). Gelijk aan de losmaakbaarheidsindex of de Franse repareerbaarheidsindex voor elektronica [18] kan dit geïnitieerd worden door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Beleidsoplossing 2.S.3 | Ontwerp en onderhoud & reuse In het herontwerpen van de UPV is Ecomodulatie een mogelijkheid. Hierbij kunnen producenten en/of importeurs die inzetten op een meer circulair ontwerp een lagere afdracht doen dan partijen die daar niet op inzetten. Een dergelijk systeem is al door andere UPV's in Nederland toegepast (bijv. Verpact voor verpakkingen, Textiel). Onder de nieuwe Avv worden de eerste stappen gezet richting een dergelijke tariefdifferentiatie zowel tussen verschillende productgroepen die vallen onder elektrisch en elektronisch apparatuur (EEA), maar ook al binnen bepaalde productgroepen wordt deels ingezet op tariefdifferentiatie. Ecomodulatie zou een stimulans kunnen zijn voor producenten en importeurs om over te gaan naar een meer circulair ontwerp [16]. Hiervoor is wel een geaccepteerde meetmethodiek nodig die het circulaire ontwerp van een klimaatinstallatie in kaart brengt (zie 2.S.2).

Toelichting 2.S.1 | Refurbish Bij het inzetten van een refurbished klimaatinstallatie, heeft deze niet standaard een betere MPG-score, waardoor dit geen stimulerend effect heeft. Dit komt met name doordat er geen eenduidige manier is om een lagere milieupact toe te kennen aan een gere refurbished product – immers is het onderdeel dat is vervangen mogelijk bij elk product anders waardoor het een andere milieupact kent [21].

Toelichting 2.C.1 | Recycle Met de eerdergenoemde doelstelling van Stichting OPEN vanuit de WEEE-generated, wordt gestuurd op het hoogwaardig verwerken van het afval dat ingezameld wordt (verwerking van minimaal 85% in gewicht van de ingezamelde elektronica). Stichting OPEN wordt op het al dan niet halen van deze doelstelling afgerekend, maar niet de partijen waarbij het afval ontstaat (bijv. gebouweigenaren, slopers).

Toelichting 2.C.2 | Recycle Het is onbekend waar welke klimaatinstallaties in gebruik zijn [8]. Hierdoor is het niet duidelijk hoeveel klimaatinstallaties mogelijk in welke periode vrij komen, of op welke groepen gefocust kan worden om te zorgen dat zo veel mogelijk klimaatinstallaties na afdanken terug te krijgen.

Toelichting 2.C.3 | Recycle Het ontbreekt op het moment aan sturing op het terugwinnen van materialen uit gebouwen die (vrijwel geheel) gesloopt worden. De Critical Raw Materials Act schrijft onder andere voor dat recyclingcapaciteit van kritieke materialen in de EU ten minste 25% van het jaarlijkse verbruik van strategische grondstoffen moet kunnen dekken [22]. Om hieraan te voldoen zal meer gestuurd moeten worden op het terugwinnen van materialen, ook van klimaatinstallaties. Bijvoorbeeld het inzetten van urban miners kan helpen om materialen te winnen uit gebouwen die grondig gerenoveerd of gesloopt gaan worden [1].

Beleidsoplossing 2.S.4 | Refurbish Zorg voor duidelijke richtlijnen om ook voor refurbished producten een milieuverklaring te kunnen maken, zodat er een verbeterde MKI-score ontstaat bij het inzetten van refurbished klimaatinstallaties [21].

Beleidsoplossing 2.C.1 | Recycle Voor veel elektronica is vorig decennium de Verwijderingsbijdrage afgeschaft als apart zichtbaar bedrag op de bon. Een stevige verwijderingsbijdrage kan er echter wel voor zorgen dat er een (financiële) prikkel ontstaat voor de gebouweigenaar- of sloper om te zorgen voor de juiste inzameling en verwerking van afgedankte klimaatinstallaties in een end-of-life situatie.

Beleidsoplossing 2.C.2 | Recycle Verbeterde registratie van klimaatinstallaties kan ondersteunen in de monitoring en mogelijke terugwinning na afdanken. Er kan een voorbeeld genomen worden aan de monitoring van Cv-ketels in gebruiksduur onder de BRL 6000-25 registratie [8].

Beleidsoplossing 2.C.3 | Recycle Zorg voor sturing op het terugwinnen van materialen uit gebouwen die grondig gerenoveerd of gesloopt worden, bijvoorbeeld in het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) of aankomende herziening van de WEEE (Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparatuur Richtlijn). Vanuit strategische autonomie kan als eerste ingezet worden op het terugwinnen van kritieke grondstoffen.

Belemmering 3. Wet- en regelgeving

Momenteel conflicteert bestaande wet- en regelgeving in sommige gevallen met het doel om circulaire klimaatoplossingen te bieden. Dit komt met name door de focus op energiewetgeving, waar wetgeving collectieve oplossingen kan vermoeilijken en stuurt op het toevoegen van apparatuur of materiaal ten behoeve van de energietransitie [7] [11]. Daarnaast ontbreekt wetgeving rondom langere levensduur van producten.

Beleidsoplossingen wet- en regelgeving

Toelichting 3.N.1 | Reduce Op dit moment staat bestaande wet- en regelgeving collectieve oplossingen in de weg, met name in gebouwen met gedeeld eigendom of collectief beheer, zoals in appartementencomplexen met een (gespikkelde) VvE of woningcorporatie. In zulke situaties is vaak gezamenlijke besluitvorming of instemming van een grote meerderheid (vaak >75%) nodig, wat verandering in de weg kan staan. Voor collectieve warmtenetten worden de besluitvormingsregels waarschijnlijk binnenkort aangepast, waarbij een volstreekte meerderheid (>50%) voldoende is [23] (Amendement Grinwis en Bontenbal [36576-20](#)). Naast besluitvorming kan ook de splitsingsakte voor problemen zorgen, omdat gemeenschappelijke klimaatoplossingen door individuele woningen lopen. De wet schrijft voor dat alle beperkte gerechtigden hiermee in moeten stemmen, zoals de hypotheekverstrekkers of erfverpachters [24]. Voor individuele oplossingen is dit vaak niet noodzakelijk waardoor dat de makkelijkere keuze is.

Toelichting 3.N.2 | Refuse Installatie-arme oplossingen lopen tegen bestaande wet- en regelgeving aan [7]. Een voorbeeld hiervan is dat bouwregelgeving (Bbl) alleen 'verblijfsruimten' kent waar functionele eisen over zijn. Om invulling te geven aan die functionele eisen worden vanuit rekenmethodieken en normen keuzes gemaakt over welke type installaties en de grootte (vermogen) van de klimaatinstallaties. Alleen zijn deze normen zijn gebaseerd op veilige aannames en verouderde uitgangspunten (bijv. -10 gr.) wat mogelijk leidt tot overdimensionering. In de regel constateren experts dat deze normen en de manier van werken in de sector leidt tot eerder meer installaties dan een installatie-arme oplossing [E2].

Beleidsoplossing 3.N.1 | Reduce Bouw tegenstrijdige wetgeving, waar mogelijk, af. Een belangrijke set aan regels die collectieve klimaatoplossingen vertraagt, bevindt zich in de splitsingsakte voor VvE's. Maak hiervoor het maatschappelijk belang van verduurzaming explicieter in de wet, zodat dit zwaarder kan wegen dan het individuele eigendomsrecht [24].

Beleidsoplossing 3.N.2 | Refuse Zorg voor differentiatie en integrale prestaties van de verblijfsruimten in regels. Dan kan er tijdens de bouw meer ingespeeld worden op de behoeften van de bewoners en hiermee installatie-armer gebouwd worden. Bijvoorbeeld: TOjuli stuurt op het voorkomen van oververhitting, wat vaak neerkomt op het toevoegen van koeling. Toevoegen van actieve koeling zou alleen mogelijk moeten zijn als alle andere (passieve) oplossingen geprobeerd zijn: zonwering/oriëntatie, zomer/nacht ventilatie, etc.

Daarnaast zou er met klein aantal aanpassingen in bouwregelgeving vanuit bewezen factoren (zoals luchtdichtheid) installatie-arm ontwerp een logischer gevolg zijn, zeker als deze ook dan beter wordt beloond in de indicatoren (MPG en BENG).

Levensduurverlening	<u>Toelichting 3.N.3 Reduce</u> Ondanks de verplichting vanuit de EPBD-IV om installaties <i>fit for purpose</i> te ontwerpen [7] [25], wordt er in de huidige praktijk vaak nog overgedimensioneerd [11] . (Zie ook 3.N2.) Hierdoor wordt meer materiaal (en energie in de gebruiksfase) gebruikt dan nodig is voor de situatie in het gebouw.	<u>Beleidsoplossing 3.N.3 Reduce</u> Pas normen aan om overdimensionering van klimaatinstallaties te voorkomen en zorg voor kennisdeling en handhaving op <i>fit for purpose</i> zoals omschreven in de EPBD-IV [12].
	<u>Toelichting 3.S.1 Repair</u> Wetgeving zegt onvoldoende over de reparatiemogelijkheden, inclusief rechten, voor consumenten [1] zie onder andere Bijlage II van de <i>Right to Repair</i> Richtlijn [26] voor de lijst met producten die hieronder vallen en het ontbreken van klimaatinstallaties)	<u>Beleidsoplossing 3.S.1.1 Repair</u> Breid de horizontale reparabiliteitsindex binnen de <i>Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)</i> uit naar productspecifieke Ecodesign eisen voor klimaatinstallaties. <u>Beleidsoplossing 3.S.1.2 Repair</u> Ga in gesprek over de mogelijkheid van uitbreiding van de Right to repair regels, zodat ook klimaatinstallaties in de consumentencontext vallen onder het recht op reparatie.
	<u>Toelichting 3.S.2 Reuse</u> Een andere hobbel die hergebruik van bouwmaterialen in de praktijk vooralsnog bemoeilijkt, betreft de wet- en regelgeving rondom certificering en kwaliteitsgaranties van teruggewonnen onderdelen [27] [12].	<u>Beleidsoplossing 3.S.2 Reuse</u> Zorg dat de wet- en regelgeving rondom certificering en kwaliteitsgaranties in lijn is met de wensen om hergebruik mogelijk te maken [1].
Hoogwaardige verwerking	<u>Toelichting 3.S.3 Reuse</u> De afzetmarkt voor gebruikte klimaatinstallaties is nog klein [28]. Het ontbreekt op het moment nog aan wetgeving rondom het verplichten van hergebruik van klimaatinstallaties die nog niet aan het einde van de levensduur zijn.	<u>Beleidsoplossing 3.S.3 Reuse</u> Het (verplicht) laten opnemen van inkoopvoorwaarden waarbij hergebruikte of refurbished onderdelen de voorkeur krijgen boven nieuwe, tenzij dit technisch niet haalbaar is. Ook wel 'Second use tenzij' genoemd [1].
	<u>Toelichting 3.C.1 Recycle</u> Het volume van inzameling van klimaatinstallaties is nog erg laag. Niet alle producten die aan het einde van de levensduur zijn, komen ook terecht bij de formele inzamel- en verwerkingsroutes [8] [29]. Voor consumenten is er momenteel ook geen prikkel om de oude installatie in te leveren bij de juiste partij [8].	<u>Beleidsoplossing 3.C.1 Recycling</u> Afgifteplicht: Er is een pleidooi voor een wettelijke afgifteplicht, waarbij consumenten en bedrijven verplicht worden om afgedankte elektronische apparatuur (waaronder warmtepompen) in te leveren bij gecertificeerde inzamellocaties om te voorkomen dat waardevolle materialen uit de logistieke keten "lekken"
	<u>Toelichting 3.C.2 Recycling</u> Afval verschepen buiten de EU is verboden als het gaat om gevaarlijk afval voor nuttige toepassing [30]. Deze regeling maakt dat gebruikte installaties in Europa moeten worden verwerkt. Handhaving op dit gebied is echter nog een uitdaging, waardoor er in realiteit nog wel gevaarlijk afval wordt verscheept. [30]	<u>Beleidsoplossing 3.C.2 Recycling</u> Strengere handhaving van de Europese wetgeving rondom het verschepen van afval [30].

Toelichting 3.C.3 | Recycling Er is nog te weinig handhaving t.a.v. de juiste inzameling en verwerking aan de achterkant van de keten. Handhaving vindt in werkelijkheid meer plaats bij gecertificeerde locaties (CENELEC-certificaten) dan bij niet-gecertificeerde verwerkers.

Beleidsoplossing 3.C.3 | Recycling Zet in op meer handhaving, voornamelijk bij niet-gecertificeerde verwerkers.

Belemmering 4. Risicomijdendheid door onbekendheid

Van oudsher is de bouw risicomijdend, onder andere door de zeer gedetailleerde en uitgebreide regelgeving en doordat de risico's bij bouwers en (onder)aannemers wordt neergelegd [12]. Investeerders willen daarentegen over het algemeen niet te veel risico lopen [12]. Door de dynamiek in de bouwkolom en rondom klimaatinstallaties, leidt deze risicomijdende houding vaak tot een rem op circulaire keuzes. Ook speelt onbekendheid en gedeelde verantwoordelijkheid rondom installatie-arme oplossingen een rol in de lage toepassing ervan [11] (MIS-analyse).

Beleidsoplossingen risicomijdendheid

Toelichting 4.N.1 | Refuse Passief/installatie-arm bouwen vereist specialistische kennis en een andere benadering van ontwerp en bouw [1]. Ook kunnen collectieve oplossingen als ingewikkelder worden ervaren en ontbreekt het hier ook nog aan kennis [12] (MIS-analyse). Bouwen met een grote installatie is de veilige keuze en huidige subsidies zijn geënt zijn op energietransitie zonder materiaalreductie mee te nemen. Hierdoor wordt dit nog weinig toegepast. Dit kan doorbroken worden door stimulering van installatie-arm bouwen, maar dit wordt op dit moment nog niet gedaan [12].

Toelichting 4.N.2 | Refuse & reduce Bouwers zijn over het algemeen geneigd om risico's uit de weg te gaan. Dat is begrijpelijk vanuit de bestaande structuren (o.a. door de Wet kwaliteitsborging bouw), maar het pakt nadelig uit voor het werken met nieuwe (circulaire) producten of oplossingen. Opdrachtgevers die met nieuwe (circulaire) producten willen bouwen hebben geregeld moeite om aannemers te vinden die hun plan willen uitvoeren. De huidige garantiesystemen stimuleren de risicomijdendheid [9].

Beleidsoplossing 4.N.1.1 | Refuse Een inventarisatie van voorbeeldprojecten (d.m.v. een voorbeeldboek of website) rondom passief/installatie-arm bouwen, collectieve circulaire oplossingen of circulaire klimaatinstallaties kunnen het kennisniveau in de sector verhogen. Met een voorbeeldrol en als opdrachtgevende aanjager kan de Rijksoverheid dit zelf oppakken.

Beleidsoplossing 4.N.1.2 | Refuse Stimuleer projecten rondom installatie-arm of passief met gerichte subsidies. Mogelijkheden rondom voldoen aan passief huis principes (incl. certificaat) of installatie-arm specifieke eisen kunnen ervoor zorgen dat partijen deze concepten serieus gaan onderzoeken.

Beleidsoplossing 4.N.2.1 | refuse & reduce Zorg in de inkoopvoorwaarden voor uniforme garanties en contractvoorwaarden die de circulariteit van systemen waarborgen.

Beleidsoplossing 4.N.2.2 | refuse & reduce Ontwikkel een garantiefonds vanuit de overheid, waar de Rijksoverheid een 'aandeel' neemt in de risico's [31] [9].

Levensduurverlening	<u>Toelichting 4.N.3 Refuse & reduce</u> Onder eindgebruikers/bewoners is nog weinig bekend over de mogelijkheden rondom circulaire klimaatoplossingen [11]. Vaak wordt een klimaatoplossing vergeleken met een nieuwe Cv-ketel [15]. Het is voor consumenten niet duidelijk dat circulaire klimaatoplossingen anders werken.	<u>Beleidsoplossing 4.N.3 Refuse & reduce</u> Lokale overheden als afzender: Gemeenten spelen een cruciale rol door eenduidig en eenvoudig te communiceren richting hun inwoners over verduurzamingsopties [32] Een eerste stap is bijvoorbeeld het Energiehuis, een loket waar gebouweigenaren en bewoners van maatschappelijk vastgoed op één plek terecht kunnen voor betrouwbare informatie, ondersteuning en ontzorging bij verduurzaming van woning of gebouw, zoals in de EPBD-IV is afgesproken [25].
	<u>Toelichting 4.S.1 Reuse</u> Bij verschillende onderdelen worden diverse redenen gegeven om onderdelen of producten niet her te gebruiken. Denk aan angst voor lekkages bij het hergebruiken van leidingwerk of de angst voor slijtage bij producten die bewegende onderdelen bevatten. Enkel technische oplossingen bieden gaat hier de risicomijdende houding niet zomaar veranderen, aangezien aannemers en bouwers de risico's dragen en risicomijdend ingesteld zijn.	<u>Beleidsoplossing 4.S.1 Reuse</u> Ontwikkel een garantiesysteem voor secundaire bouwmaterialen [9].
	<u>Toelichting 4.S.3 Refurbish</u> Er is nog veel onbekendheid over de kwaliteit van refurbished onderdelen. Vaak wordt er nog wantrouwend gekeken, waardoor de keuze voor een nieuw product of onderdeel snel gemaakt is [1]. Aannemers en installateurs zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van de geleverde producten. Hierdoor zullen zij niet snel een refurbished installatie aanraden, als deze mogelijk eerder kapot kan gaan dan een nieuw product.	<u>Beleidsoplossing 4.S.1 Refurbish</u> Het opschalen en verbreden van het Keurmerk Refurbished installaties kan het vertrouwen in de markt voor refurbished installaties vergroten [1], [33], [34].
Hoog-waardige	<i>Geen belemmeringen gevonden vanuit risicomijdendheid</i>	<i>N.v.t.</i>

Belemmering 5. Business case (nog) niet aantrekkelijk

De business case voor circulaire klimaatoplossingen is niet altijd voldoende om deze de voorkeur te geven ten opzichte van lineaire oplossingen. Dit is terug te zien in de gehele keten. Aan de voorkant stimuleert de huidige manier van werken individuele oplossingen, aangezien dit makkelijker geld oplevert. Circulaire oplossingen kosten namelijk (of hebben de perceptie dat) vaak meer tijd en hiermee meer geld. Hetzelfde geldt voor onderhoud en hergebruik. Arbeidskosten liggen hoog en partijen verdienen vaak vooral aan de producten zelf [21] en voor gebruikers is vaak niet duidelijk of onderhoud en reparatie echt bijdraagt aan een verlaagd kostenplaatje op de lange termijn. Ook aan het eind van de keten zijn er geen prikkels die betrokken partijen aanzetten om materialen en onderdelen terug te winnen.

Beleidsoplossingen business case

Toelichting 5.N.1 | Refuse & reduce Het kiezen voor minder installaties is niet in het belang van de installateur en producent. Bij collectieve oplossingen is het daarnaast zo dat veel bewoners niet weten wat de voordelen zijn, zowel in milieu-besparing als in kostenbesparing en vermindering van energieverbruik (Agentschap NL). Naar verwachting komt er een sturingsprikkel (niet financieel) met de komst van EPBD-IV, waarbij gestuurd gaat worden op impact berekend over de gehele levensduur (Copper8). Zolang deze sturing niet in praktijk is gebracht, blijft een prikkel uit en is de sector gebaat bij een financiële prikkel om meer installatie-arm te bouwen of meer collectieve oplossingen te kiezen.

Toelichting 5.N.2 | Refuse Momenteel is het kostenplaatje voor passieve/installatie-arm oplossingen vaak onbekend binnen de bouwkolom, terwijl het geld dat bespaard kan worden door het verminderen van de hoeveelheid klimaatinstallaties in gebouwen, kan gestoken worden in oplossingen om een woning voldoende warm en koel te houden - denk aan isolatie [12]. Hierdoor kunnen de kosten gelijk blijven of lager worden.

Beleidsoplossing 5.N.1 | Refuse & reduce Economische prikkels kunnen ingevoerd worden om passief/installatie-arm bouwen, collectieve oplossingen en circulaire installaties te stimuleren. Zo stelt bijvoorbeeld de *Net Zero Industry Act* dat het een mogelijkheid is om subsidies voor warmtepompen aan te passen aan de bijdrage aan duurzaamheid (en resilience) [33]. Door dit te koppelen aan de belasting van het materiaal op het milieu, wordt de keuze voor weinig materiaal voor installateurs en bewoners financieel beloond. Daarnaast kan de lange termijn financiële besparing voor gebruikers en eigenaren inzichtelijk worden gemaakt zodat er naast de aanschafprijs ook de financiële baten over de levensduur inzichtelijk worden. De bekendheid en het inzichtelijk maken waar kantelpunten liggen (bijvoorbeeld met voorbeeldenboek incl. financiële doorrekeningen) voor gebruikers en eigenaren is essentieel om vraag naar deze oplossingen aan te jagen.

Beleidsoplossing 5.N.2 | Refuse Verzamel voorbeeldprojecten en deel daarbij ook de benodigde informatie over de kosten. Zorg dat dit breder bekend wordt onder bouwers en opdrachtgevers. Door bewijs te leveren dat het dus wél kan binnen de financiële kaders kunnen bedrijven dienstverlening op deze concepten afstemmen. Met name door de *total cost of ownership* (TCO) mee te nemen, kan ook aan de eindgebruikers getoond worden dat passief/installatie-arm op de lange termijn grote financiële besparingen oplevert tijdens het gebruik (energiekosten en vervangingskosten).

Levensduurverlening	<u>Toelichting 5.S.1 Ontwerp en onderhoud & reuse & repair</u> De kosten van arbeid voor (her)installatie, onderhoud en reparatie liggen vaak hoog in vergelijking met de kosten voor de installaties [8] [12]. Circulaire keuzes kosten vaak meer arbeidsuren. Zodra er een financiële overweging gemaakt wordt, is het soms makkelijker om een geheel nieuwe installatie te kiezen, in plaats van een circulaire oplossing [12] [9].	<u>Beleidsoplossing 5.S.1 Ontwerp en onderhoud & reuse & repair</u> Zet in op een belastingverschuiving van arbeid naar grondstoffen [8] [9]. Hierdoor wordt de inzet van arbeid voor reparaties goedkoper, en wordt de inzet van nieuwe materialen duurder.
	<u>Toelichting 5.S.1 Ontwerp & onderhoud</u> In het huidige model van produceren, installeren, gebruiken, afdanken, zit geen (financiële) prikkel om producten zo materiaal- en energiezuinig te maken door de producent of installateur en wordt niet ingezet op maximale levensduur.	<u>Beleidsoplossing 4.S.1 Ontwerp & onderhoud</u> Stimuleer businessmodellen waar verantwoordelijkheden bij de producent liggen zoals <i>Product as a Service</i>. De gebruiker krijgt bijvoorbeeld een prestatiegarantie en betaalt voor het gebruik, terwijl de fabrikant verantwoordelijk is voor de werking en het onderhoud [15].
	<u>Toelichting 5.S.2 Reuse</u> Om de business case van circulaire producten te verbeteren bestaat de margeregeling. Bij de margeregeling mogen ondernemers over de toegevoegde waarde (bijv. arbeid en toegevoegde materialen) btw vragen, in plaats van over het gehele verkoopbedrag. Dit geldt voor gebruikte producten die zijn ingekocht zonder btw. Deze regeling geldt al, maar is vaak niet bekend.	<u>Beleidsoplossing 5.S.2 Reuse</u> Op basis van enkele interviews is gebleken dat er onbekendheid is over de margeregeling voor bedrijven die kiezen voor een hergebruikmodel. De bekendheid hiervan kan vergroot worden in het kader van de circulaire economie.
	<u>Toelichting 5.S.3 Reuse</u> Consumenten zien reparaties vaak als duur. Door de kosten van reparaties te verlagen, kunnen meer consumenten kiezen voor reparatie.	<u>Beleidsoplossing 5.S.3 Reuse</u> Verlaag de btw op reparaties, waardoor het voor individuele consumenten goedkoper is om te kiezen voor reparaties.
	<u>Toelichting 5.S.4 Reuse</u> Het aanbod van gebruikte klimaatinstallaties voor hergebruik en refurbishment is nog erg laag. Ook ontbreekt het nog aan logistieke oplossingen om vraag en aanbod aan elkaar te kunnen koppelen [1]. Hierdoor worden de klimaatinstallaties die wel hergebruikt of gerefurbished kunnen worden, nog weinig ingezet voor hergebruik. Wanneer vraag en aanbod goed op elkaar worden aangesloten, kunnen de kosten omlaag gebracht worden.	<u>Beleidsoplossing 5.S.4 Reuse</u> Zet in op betere retourlogistiek om het aanbod voor hergebruik en refurbishment te vergoten [1].
Hoogwaardige	<u>Toelichting 5.S.5 Onderhoud & reuse & refurbishment</u> Voor onderhoud, hergebruik en refurbishment is vaak relatief veel arbeid nodig, waardoor het snel aantrekkelijker is om een nieuwe klimaatoplossing te kopen [34].	<u>Beleidsoplossing 5.S.5 Reuse</u> Door belasting te verschuiven van arbeid naar grondstoffen (milieu-impact) wordt arbeid goedkoper en het gebruik van virgin grondstoffen duurder. Dit maakt het onderhouden, hergebruiken en refurbishen van klimaatinstallaties aantrekkelijker [34].
	<u>Toelichting 5.C.1 Recycling</u> Er is een stimuleringsregeling opgezet om zoveel mogelijk afgedankte elektronica bij gecertificeerde verwerkers te krijgen. Desondanks is er door de hoge oud-ijzer prijzen is er een incentive voor partijen die oude installaties weghalen om deze niet via de formele wegen aan te bieden [8].	<u>Beleidsoplossing 5.C.1 Recycling</u> Stel een hoge verwijderingsbijdrage (opnieuw) in waardoor vastgoedeigenaren, installateurs en sloopbedrijven een financiële prikkel hebben om afgedankte klimaatinstallaties via formele wegen in te dienen. Zorg dat deze bijdrage hoog genoeg is waardoor het aantrekkelijker wordt om voor de formele inzamelingsroute te kiezen.

Hoofdstuk 4. Conclusies en aanbevelingen

De verduurzaming van de gebouwde omgeving zorgt naar verwachting voor een sterke toename in het gebruik van materiaal (Hoofdstuk 3 - TNO). Het huidige beleidslandschap richt zich namelijk op het veranderen van energieverbruik in de gebouwde omgeving, wat vaak met het toevoegen van klimaatinstallaties wordt gerealiseerd. Hierdoor wordt onvoldoende ingezet op materiaalbesparing. Dit staat haaks op de doelstelling in het Nationaal Programma Circulaire Economie, waarbij wordt ingezet op 25% reductie in MKI in 2030 (t.o.v. 2016). Deze doelstelling is echter nog beperkt doorvertaald naar uitvoerend beleid, normen en prikkels.

Oplossingen die zowel klimaatdoelen als circulaire doelen dienen bestaan wel, maar beleid stuurt hier onvoldoende op. De grootste winst ligt aan de voorkant van de keten: minder of kleinere installaties door installatie-arm en collectief ontwerp. Tegelijkertijd zijn ook interventies nodig om bestaande installaties langer te gebruiken (levensduurverlenging), waaronder door businessmodellen aantrekkelijker maken, vraag te vergroten, en het UPV-instrument zo in te richten dat hergebruik niet alleen kan, maar ook wordt gestimuleerd.

De aanbevelingen hieronder richten zich op de beleidsknoppen waarmee de Rijksoverheid deze beweging kan versnellen:

1. Geef circulariteit prioriteit en maak het gelijkwaardig aan andere beleidsdoelen

De verschillende doelstellingen die betrekking hebben op klimaatinstallaties zijn nog niet integraal verweven (bijv. verduurzaming gebouwde omgeving, circulariteit, netcongestie). Hierdoor zien we dat door de markt in een bepaalde hiërarchie wordt gewerkt aan de doelstellingen, en dat de circulaire doelen onvoldoende mee worden genomen, terwijl ze juist ook onderdeel van de oplossing kunnen zijn. Het kiezen voor installatie-arm of collectieve energieconcepten verlaagt immers de energievraag van gebouwen, zet minder druk op het net, en draagt bij aan de doelstelling om minder primair materiaal te gebruiken. De optelsom van het huidige beleid stuurt tot op heden eerder op meer materiaal dan minder.

2. Maak het makkelijker om te kiezen voor installatie-arm

Een belangrijke, vaak nog onderbelichte strategie, is het voorkomen van klimaatinstallaties of het veel kleiner maken van deze installaties. Door de energievraag op gebouwniveau verder te reduceren kan de behoefte aan klimaatinstallaties aanzienlijk worden beperkt. Dit vraagt om overkoepelende doelstellingen die niet enkel gericht zijn op de energietransitie of op de grondstoffentransitie, maar op een combinatie van deze twee met als uitgangspunt reductie van energie én materiaal.

Met een aantal kleine aanpassingen in bouwregelgeving vanuit bewezen factoren (zoals luchtdichtheid) kan een installatie-arm ontwerp een logisch gevolg zijn als deze ook dan beter wordt beloond in de doorvertaling naar de indicatoren (MPG/BENG).

Veranker deze integrale sturing door de Whole Life Cycle-Global Warming Potential (WLC-GWP) uit de EPBD IV, voor zowel nieuwbouw als renovaties in te voeren. Daarbij is het ook belangrijk dat de Rijksoverheid – die haar eigen grenswaarden mag bepalen voor de WLC-GWP – ook ambitieus genoeg is in het stellen van grenswaarden waardoor inzetten op installatie-arm voldoende wordt beloond.

3. Zorg voor onafhankelijke totstandkoming van normen

Bij het effectief sturen op integrale doelen zijn de onderliggende normen, bepalingmethoden en indicatoren essentieel in de doelmatigheid.

We zien in deze beleidsanalyse dat er diverse normen zijn die een meer circulaire omgang met klimaatinstallaties in de weg staat. Dit heeft zowel te maken met berekeningswijze en interpretatie van de BENG indicator (achterliggende bepalingsmethode NTA 8800) wat in combinatie met risicomijdende houding vaak leidt tot een overdimensionering van de klimaatinstallatie. Ondersteunende normen (bijv. door ISSO gemaakt) die bedoeld zijn om te normaliseren belemmeren nu de route naar de circulaire klimaatinstallaties door een stapeling van verouderde of veilige aannames, en verkeerde uitgangspunten.

Ook is het van belang dat de NMD op de hoogte is van de Europees geharmoniseerde rekenregels om de milieu-impact van klimaatinstallaties. Zodra Ecoplatform deze harmonisatie gereed heeft kan de NMD deze overnemen waardoor meer producten beschikbaar komen voor het maken een MPG en er beter gestuurd kan worden op de milieu-impact van installatietechniek. En daarnaast is het van belang dat het fundament van dit systeem: de Nationale Milieudatabase (NMD), vulling vanuit Europese regelgeving (Ecodesign, CPR, Digitaal productpaspoort) niet in de wegstaat. Vooral fabrikanten van klimaatinstallaties bedienen een Europese markt.

De normen, bepalingsmethode en indicatoren worden vaak door commissies (publiek private samenwerkingen) bepaald die in mindere mate belang hebben bij de transitie naar een circulaire economie. Zo zitten in normcommissies o.a. brancheorganisaties, fabrikanten en leveranciers die belang hebben bij de verkoop van meer klimaatinstallaties.

In de transitie naar een circulaire economie is het van belang dat niet alleen het beleid integraal wordt gepositioneerd, maar ook dat sturingsinstrumenten deze integraliteit faciliteren. In het geval van circulaire klimaatinstallaties is het wenselijk dat de totstandkoming van normen en bepalingsmethoden een meer onafhankelijk karakter krijgt dat gedreven is door wetenschap, en waarin voldoende plek is voor integraliteit van beleidsdoelen. Daarbij ligt er een grote kans voor organisaties (o.a. ISSO) om de integraliteit in die doelen goed en onderbouwd door te vertalen naar normen.

4. Zet in op handhaving om kwaliteitscontrole te verbeteren

Betere handhaving kan een meer circulaire omgang met klimaatinstallaties in gang zetten en verbeteren. Niet alleen door de handhaving zelf, maar ook doordat handhaving een keten in gang kan zetten voor interne kwaliteitssystemen.

Op bouwwerk niveau zien we dat handhaving invloed kan hebben op het voorkomen van overdimensionering (conform artikel 13 dient een installatie *fit for purpose te zijn* onder EPBD IV). Ook kan handhaving invloed hebben op de definitieve productselectie door de MPG ook onderdeel te laten uitmaken van de kwaliteitsborging [35]. In de praktijk zien we dat er afgeweken wordt van de klimaatinstallaties die in de MPG worden meegenomen, maar dat enkel vergelijkbare technische prestaties en vergelijkbare kosten hierin een afweging vormen. Wanneer de MPG in een *as-built* situatie wordt meegenomen als

onderdeel van de kwaliteitsborging kan er ook een controle plaatsvinden op de daadwerkelijk toegepaste klimaatinstallaties. Dit kan ertoe leiden dat een keten in gang komt, namelijk dat milieu-impact óók een afweging wordt bij de definitieve productselectie.

Op productniveau zien we dat betere handhaving gewenst is bij de *end-of-life* fase. Hoewel de kwantitatieve analyse van TNO geen onderscheid maakt in de omvang van de formele en informele routes van recycling, is het algemeen bekend dat er een significante stroom aan klimaatinstallaties in de informele circuits belandt. Eerder onderzoek heeft ook laten zien dat er beperkte handhaving is op de nodige certificering (CENELEC) voor verwerking. Door in te zetten op deze handhaving kan een extra stimulans ontstaan voor verwerkers om te kiezen voor CENELEC-certificering.

5. Herontwerp de UPV om levensduurverlenging te faciliteren

In de nieuwe Algemeen verbindende verklaring (Avv) van Stichting OPEN wordt aangegeven dat de prestaties voortaan aan de hand van de *WEEE-generated* methodiek worden bepaald. Hoewel in deze methodiek beter rekening wordt gehouden met hergebruik, reparatie of voorbereiden van hergebruik [19] – ontbreekt een concrete doelstelling op hergebruik.

Het is denkbaar dat een dergelijke concrete doelstelling op hergebruik het beste werkt door over te stappen naar een systeem van Individuele Producenten Verantwoordelijkheid (IPV) waarbij individuele producenten en/of importeurs verantwoordelijk zijn voor het behalen van recycle- en hergebruikdoelstellingen [34].

Een andere maatregel die sterker meegenomen kan worden in het herontwerpen van de UPV is Ecomodulatie – waarbij producenten en/of importeurs die inzetten op een meer circulair ontwerp een lagere afdracht doen dan partijen die daar niet op inzetten. Een dergelijk systeem is al door andere UPVs in Nederland toegepast (bijv. bij Verpact voor verpakkingen, of bij textiel). Onder de nieuwe Avv worden de eerste stappen gezet richting een dergelijke tariefdifferentiatie zowel tussen verschillende productgroepen die vallen onder elektrisch en elektronisch apparatuur (EEA), maar ook al binnen bepaalde productgroepen wordt deels ingezet op tariefdifferentiatie. Ecomodulatie zou een stimulans kunnen zijn voor producenten en importeurs om over te gaan naar een meer circulair ontwerp [19].

6. Overheid: jaag vraag aan als opdrachtgever

Naast de rol als wetgever kan de overheid ook een belangrijke rol spelen als opdrachtgever. Een van de opgehaalde belemmeringen betreft dat er nog onvoldoende vraag is naar zowel installatie-arm, als naar gerefurbished klimaatinstallaties. Zowel de Rijksoverheid (bijv. Rijksvastgoedbedrijf), Provincies als Gemeentes kunnen een belangrijke rol spelen in het aanjagen van deze vraag. Hierbij is het belangrijk dat de vraag eenduidig gesteld wordt, zodat de markt er ook consistent op kan inzetten.

Met het PvE circulaire klimaatinstallaties [36] worden al stappen gezet om de vraag te harmoniseren. Installatie-arm en hergebruik kunnen hier nog beter in geïntegreerd worden. En het is van belang dat overheden dergelijke documenten vaker benutten in hun aanbestedingen.

7. Maak businessmodellen rondom hergebruik aantrekkelijker

Businessmodellen rondom hergebruik in de keten van klimaatinstallaties komen maar mondjesmaat van de grond. Dit komt onder andere doordat het repareren en refurbishen van klimaatinstallaties vaak arbeidsintensief is. De inzet van arbeid drukt zwaar op de business case van partijen die inzetten op reparatie en refurbishment omdat de fiscale lasten van arbeid erg hoog zijn. Een *tax shift* van arbeid naar grondstoffen helpt om de business case van levensduurverlenging van klimaatinstallaties aantrekkelijker te maken [21].

De overheid kan ook een initiërende rol nemen in het opzetten van een infrastructuur waarbij klimaatinstallaties terug worden gebracht naar logistieke hubs waar ze gesorteerd en gecontroleerd kunnen worden alvorens ze door te sturen naar een partij die de installaties repareert of refurbished. Een dergelijke infrastructuur kan in samenwerking met Stichting OPEN worden opgezet zodat afgekeurde klimaatinstallaties alsnog hoogwaardig kunnen worden verwerkt. Een gezamenlijke infrastructuur verhoogt het volume en verlaagt de kosten wat ook kan helpen in het rondrekenen van de business case voor hergebruik.

Hoofdstuk 5. Reflectie: materiaalarm als integrale sleutel

Integrale benadering van doelen kan door te kiezen voor materiaal-arme oplossingen Doordat circulair beleid met name in bestaand beleid wordt geïntegreerd, is het vooralsnog vooral aan aanvulling op bestaande doelen en regels. Hierdoor heeft het de potentie om goed afgestemd te zijn op bestaand beleid, maar vooralsnog mist er integraliteit of ligt prioriteit bij ander beleid. Zo zien we dat bijvoorbeeld energiebeleid in sommige gevallen (indirect) conflicterend werkt. Hierdoor wordt onvoldoende ingezet op het integraal behalen van energie- en materiaaldoelen, terwijl dit wel kan door in te zetten op het verminderen van klimaatinstallaties en materiaal-arme oplossingen.

Integrale benadering brengt extra, rechtvaardige voordelen Het integraal benaderen van deze doelen heeft verschillende bijkomende voordelen die onvoldoende worden benut. Installatie-arme oplossingen zorgen voor een verlaagde energievraag van gebouwen, wat kan leiden minder problemen omtrent netcongestie. Ook brengt dit financiële verlichting voor huishoudens, aangezien er minder energie wordt verbruikt. Met name voor huishoudens in energiearmoede kan dit een enorm voordeel zijn. Echter dergelijke oplossingen (denk ook aan isoleren, ventileren) worden nu vaak bij huishoudens toegepast die meer te besteden hebben. Juist de huishoudens die hier het meeste baat bij hebben, blijven buiten bereik. De vraag is daarom hoe het stimuleren van klimaat-arme oplossingen juist de huishoudens kan bereiken die hier de meeste voordelen uit halen. De eerste stap is het meenemen van rechtvaardigheid in het opstellen van circulair beleid.

Arbeid als grootste kostenpost Het huidige verdienmodel rond klimaatinstallaties is gericht op meer (nieuwe) installaties. Arbeid is vaak de grootste kostenpost en druk hiermee op de marges die bedrijven maken. Dit leidt tot de vraag hoe minder installatietechniek of langere levensduren van installatietechniek zich verhouden tot de economische belangen van bestaande ketenspelers. De maatregelen met de meeste potentie zijn mogelijk niet in het

belang van het verdienmodel van de bestaande ketenspelers. Met enkel stimuleringsmaatregelen zal de markt zelf deze omslag niet maken. Stevige maatregelen en extra begeleiding zijn noodzakelijk om dit te realiseren.

Materiaalarm de standaard maken vraagt om een nieuwe manier van kijken Tot slot zien we dat huidige beleid en opgestelde normen vaak gebaseerd zijn op een cultuur waar 'overvloed' als oplossing wordt ingezet. Denk aan veiligheidsnormen, waarbij vaak meer materialen en maatregelen moesten leiden tot veiligere situaties. Met voldoende gaswinning binnen Nederland was er geen noodzaak om overdimensionering tegen te gaan en te besparen op omvang van installaties. Dergelijke normen sluiten daardoor (nog) niet aan op de nieuwe werkelijkheid waarbij veiligheid en hernieuwbare energiebronnen hand in hand moeten gaan met zuinigheid. Het veranderen van deze werkwijze vraagt om een cultuuropslag, om een nieuwe manier van kijken; Leren kijken vanuit efficiëntie. Dit is de enige manier waarop de energietransitie en materiaaltransitie verenigbaar zijn. Ook vanuit andere maatschappelijke opgaves zoals netcongestie en leveringszekerheid m.b.t. kritieke materialen is een goede balans tussen materiaal én energie nodig en biedt een besparings- en efficiëntiebelik de oplossing. Technisch gezien is dit mogelijk, er zijn mogelijkheden om met minder materiaal comfortabele gebouwen te realiseren of renoveren. Echter is beleid (en hiermee de keten) nog niet ingericht om deze afwegingen goed inzichtelijk te maken. Zonder een nieuwe manier van kijken die verankerd wordt in beleid, zal materiaalarm als oplossing nooit slagen.

Bijlage 1. Verdieping knelpunten en belemmeringen

Uit de MIS-analyse van de Universiteit Utrecht zijn systeemodynamische knelpunten gekomen. Deze knelpunten vormden de basis voor de hoofdbelemmeringen in dit onderzoek.

Onderstaande tabel geeft de koppeling tussen de MIS-knelpunten en de hoofdbelemmeringen weer. De belemmering *Versnippering* is niet meegenomen als hoofdbelemmering in de beleidsanalyse, omdat dit de huidige stand van het landschap betreft en niet direct een aangrijpingspunt voor beleid vormt.

Tabel 1. Overzicht koppeling MIS-knelpunten en hoofdbelemmeringen beleidsonderzoek

MIS-indeling	MIS-knelpunt	Hoofdbelemmering
Installatie-arm	Nadruk op aanschafkosten i.p.v. TCO. Beleid en subsidies vanuit energietransitie stuurt aan op vervanging installaties (van gas af) Installatie-rijk scoort goed genoeg voor BENG + MPG (geen aanscherping & uitzondering compacte woningen) Onbekendheid van passieve maatregelen, ingewikkelde ontwerpvrage. Gebrek aan rekenmodellen installatie-arm	Sturing
	Wetgeving en rolbepalingen verhinderen afstemming kosten en baten Bovenwettelijke temperatuur comfort eisen zijn leidend in ontwerp nieuwbouw	Wetgeving
	Weinig opdrachtgevers gericht op installatie-arm en bereid tot afwijkende aangaan extra kosten en complexiteit Onbekendheid van passieve maatregelen, ingewikkelde ontwerpvrage. Gebrek aan rekenmodellen installatie-arm (herhaling) Uitvoering draagt risico klachten over temperatuur comfort. Gevestigde praktijk gericht op installaties ipv passief	Risicomijdend
	Weinig opdrachtgevers gericht op installatie-arm en bereid tot afwijkende aangaan extra kosten en complexiteit (herhaling)	Business case
	Veel bestaande woningen onvoldoende geschikt voor installatie-arm	Versnippering

Collectieve systemen	Bestaande situaties ingewikkelder voor collectieve systemen	Versnippering
	Ingewikkeldere ontwerpvrage en uitvoering. Meer systeemintegratie vereist meer coördinatie Voorkeur tegen juridische complexiteit rond gedeeld eigendom en onderhoud Weinig opdrachtgevers gericht op installatie-arm en bereid tot afwijkende aangaan extra kosten en complexiteit	Risicomijndend
	Individuele oplossingen scoren goed genoeg voor BENG + MPG (geen aanscherping & uitzondering compacte woningen)	Sturing
	Weinig opdrachtgevers gericht op installatie-arm en bereid tot afwijkende aangaan extra kosten en complexiteit	Business case
Levensduurverlenging	Instabiel NL beleid. Gebrek aan geharmoniseerde normering milieuprestaties. Gebrek aan Europese marktschaal MPG rekent impactreductie van circulariteit onvoldoende mee. Gebrek tooling en data voor doorrekenen MPG circulaire opties in VO Kaders sturen op energie en gebouw, niet op circulariteit installaties	Sturing
	Instabiel NL beleid. Gebrek aan geharmoniseerde normering milieuprestaties. Gebrek aan Europese marktschaal (herhaling)	Wetgeving
	Instabiel NL beleid. Gebrek aan geharmoniseerde normering milieuprestaties. Gebrek aan Europese marktschaal (herhaling)	Doel
	Instabiel NL beleid. Gebrek aan geharmoniseerde normering milieuprestaties. Gebrek aan Europese marktschaal (herhaling) Opdrachtgevers gericht op aanschafkosten en korte termijn, niet op TCO en onderhoud. Beeldvorming circulair als duurder Gebrek aan vereniging kosten en baten circulair in structuur samenwerking en financiën Gebrek aan stabiele, groot genoeg vraag. Gebrekkige business case voor circulair productontwerp Waardepropositie circulair productontwerp niet aligned met criteria opdrachtgever	Business case
	Sterk verankerd model van opgesplitste ketenverantwoordelijkheid	Versnippering
Onderhoud en reparatie	Geen standaardisatie in installaties. Right to repair nog niet verankerd Geen sturing op kennisniveau en afsluiten onderhoud door particulieren.	Sturing
	Geen standaardisatie in installaties. Right to repair nog niet verankerd (herhaling)	Wetgeving
	Wildgroei ontwerpen, matige repareerbaarheid, gebrek aan reparatie info & onderdelen. Algemene schaarste bekwaam personeel. Installateurs kunnen maar enkele merken onderhouden. Inpassing zonder oog op onderhoud. Krap bemeten technische ruimtes en plaatsing op daken (tegen geluidsverlies). Gebrek afstemming keten. Tekort aan onderhoudspartijen.	Versnippering

	Gebrekkige legitimiteit en kennis over noodzaak onderhoud en focus van particulieren op aanschafprijs i.p.v. TCO. Particulieren sluiten geen onderhoudscontracten af.	Business case
	Risico voor installateurs; weigering onderhoudscontracten. Gebrekkige legitimiteit en kennis over noodzaak onderhoud en focus van particulieren op aanschafprijs i.p.v. TCO. Particulieren sluiten geen onderhoudscontracten af.	Risicomijdend
Hergebruik en revisie	Kaders sturen op energie en gebouw, niet op circulariteit in installaties. Enkel intrinsiek gemotiveerde opdrachtgevers zijn gericht op circulariteit. Onduidelijkheid over restwaarde. Twijfels over kwaliteit refurbished. Virgin materiaal te goedkoop. Installateurs betere klantreis bij nieuw.	Sturing
	Gevestigde PvE's en aanbestedingspraktijken sturen aan op nieuw en bewezen. Onvoldoende compensatie voor arbeidsintensiteit en subsidies gericht op energiezuinigheid i.p.v. circulariteit. Gebrek aan stabiele, groot genoeg vraag. Gebrekkige business case voor hergebruik en refurbishment. Virgin materiaal te goedkoop. Installateurs betere klantreis bij nieuw. (herhaling) Onvoldoende kwaliteit en organisatie retourstroom door ketenfragmentatie en gebrek aan (bekwaam) personeel (van 'sloper' naar 'demonteur').	Business case
	Juridische belemmering vanuit weerstand producenten rond aansprakelijkheid na revisie, en regelgeving gericht op verwerking i.p.v. hergebruik.	Risicomijdend
	Gebrek aan standaardisatie leidt tot grote variatie en gebrekkige demontabele ontwerpen, waardoor arbeidsintensiteit verergert. Onvoldoende kwaliteit en organisatie retourstroom door ketenfragmentatie en gebrek aan (bekwaam) personeel (van 'sloper' naar 'demonteur'). (herhaling)	Versnippering

Inzameling	Governance van UPV neemt de realiteit van installateurs onvoldoende mee. Onjuiste verwerking van ZZS en lekstromen in inzameling.	Versnippering
	Bijtende regels rondom ARBO en UPV (niet tillen als geheel, wel inleveren als geheel). Kleine installateurs zijn vaak niet op de hoogte van vereisten voor correcte inzameling. Handhaving heeft beperkte middelen en slagkracht (betrappen moet heterdaad).	Sturing
	Incentives: opbrengsten van oud ijzer / export versus kosten voor correcte verwerking.	Business case
Hoogwaardige verwerking	Gebrek aan sturing op recyclaat. Virgin materiaal is te goedkoop en er zijn geen incentives voor producenten om recyclaat toe te passen. Operationele knelpunten bemoeilijken hoogwaardige recycling en verhogen de kosten. Afvalverwerking is gericht op het voldoen aan UPV tegen lage kosten. Sturing op gewicht onderwaardeert kritieke grondstoffen (CRMs) en plastics. Geen markt voor recyclaat en geen business case voor opschaling van CRM- en plasticsrecycling. Gebrek aan schaalgrootte voor investeringen door een gebrek aan EU-markt en uitwisseling.	Business case
	Afvalverwerking is gericht op het voldoen aan UPV tegen lage kosten. Sturing op gewicht onderwaardeert kritieke grondstoffen (CRMs) en plastics. (herhaling) Gebrek aan herkenbaarheid en informatie over CRMs in producten.	Sturing
	Schade aan afvalstromen door versnippering en een kostengedreven werkwijze in de keten. Operationele knelpunten bemoeilijken hoogwaardige recycling en verhogen de kosten. (herhaling)	Versnippering
	Hoge materiaaleisen rond technische eigenschappen en veiligheid.	Wetgeving

Bijlage 2. Bronnen

Geraadpleegde experts

Aanduiding	Beschrijving
E1	Expert 1 LCA expert
E2	Expert 2 Expert installatiearm bouwen
E3	Expert 3 Aanbieder collectieve installaties
E4	Expert 4 Belegger
E5	Expert 5 Woningcorporatie
E6	Expert 6 Specialist circulaire klimaatinstallaties
E7	Expert 7 Ontwikkelaar van installatiearm concept
E8	Expert 8 Aanbieder refurbished onderdelen
E9	Expert 9 Producent en aanbieder as-a-Service concept
E10	Expert 10 Specialist van ILT
E11	Expert 11 Installateur
E12	Expert 12 Onderzoeker op het vlak van garanties en hergebruik

Literatuurlijst

- [1] Circulaire Maakindustrie & Circulaire Bouweconomie, „Routekaart Circulaire Klimaatinstallaties,” 2025.
- [2] Europese Commissie, „Richtlijn (EU) 2024/1275 van het Europees Parlement en de Raad betreffende de energieprestatie van gebouwen (herschikking),” 2024.
- [3] Rijksoverheid, „Klimaatakkoord,” 2019.
- [4] Europese Commissie, „Verordening (EU) 2024/1781 betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van vereisten inzake ecologisch ontwerp voor duurzame producten”.
- [5] Europese Commissie, „Ecodesign for Sustainable Products and Energy Labelling Working Plan 2025-2030,” 2025.
- [6] Rijksoverheid, „1e actualisatie van het Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030,” 2025.
- [7] Copper8, „Situatieschets klimaatinstallaties: in relatie tot aanstaande Europese beleidsveranderingen,” 2025.
- [8] Copper8 & Merosh, „Naar een circulaire keten voor klimaatinstallaties,” 2022.
- [9] Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, „Aanpak circulair slopen en hergebruik '25 - '30,” 2026.
- [10] Copper8, „Verborgen impact installatietechniek,” 2026.
- [11] Lenteakkoord 2.0, „Whitepaper Installatie-armeer bouwen,” 2024.

-
- [12] Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, „Bouwen met toekomst,” 2025.
- [13] Transitieteam Circulaire Bouweconomie, „Van koplopers naar,” 2025.
- [14] E. Commission, „Guidelines accompanying Regulation 2016/2281 with regard to ecodesign requirements for air heating products, cooling products, high temperature process chillers and fan coil units,” 2018.
- [15] Dutch New Energy Research, „Warmtepomp trendrapport 24/25,” 2025.
- [16] Copper8, „Verkenning Retourstromen Klimainstallaties,” 2026.
- [17] D. R. e. S. W. A. Alba Concepts, „Circulair Buildings, Meetmethodiek Losmaakbaarheid 2.0,” 2021.
- [18] R. Francaise, „Indices of durability and repairability,” 2025. [Online]. Available: <https://entreprendre.service-public.gouv.fr/vosdroits/F38092?lang=en>.
- [19] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Avv Stichting OPEN,” 2026.
- [20] Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, „Kamerstuk 36 600 XII,” 2024.
- [21] Copper8 & DGBC, „Circulaire klimaatinstallaties: tien voorbeelden van circulaire klimaatinstallaties, een analyse naar de kantelpunten en handelingsperspectief om te starten,” 2026.
- [22] Europese Commissie, „Verordening 2024/1252 Het opzetten van een kader om een veilige en duurzame levering van essentiële grondstoffen te waarborgen,” 2024.
- [23] Kamerstuk 36576-28, „Amendement Grinwis en Bontebal doorzettingsmacht voor verenigingen van eigenaren voor een aansluitovereenkomst op een collectieve warmtevoorziening,” 2025.
- [24] Berenschot, „Verduurzaming en de rol van de splitsingsakte,” 2025.
- [25] Europese Commissie, „Richtlijn 2024/1275 energieprestaties van gebouwen,” 2024.
- [26] Europese Commissie, „Richtlijn 2024/179 gemeenschappelijke regels ter bevordering van de reparatie van goederen,” 2024.
- [27] AT Osborne, „Circulaire materialen in de bouw,” 2021.
- [28] Alba Concept, LBP Insight & SGS Search, „Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid,” 2023.
- [29] Stichting OPEN, „Actieplan 2025 - 2030,” 2024.
- [30] Europese Commissie, „Verordening 2024/1157 afvaltransporten,” 2024.
- [31] Copper8, „Circulaire bouweconomie: Regisseren is vooruitzien,” 2024.
- [32] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, „Programma Verduurzaming gebouwde omgeving,” 2026. [Online]. Available: <https://www.volkshuisvestingnederland.nl/onderwerpen/verduurzamen-en-verbeteren/programma-verduurzaming-gebouwde-omgeving>. [Geopend Juni 2026].
- [33] T. Nederland, „Keurmerk Refurbished,” 2026. [Online]. Available: <https://www.technieknederland.nl/extra/keurmerk-refurbished>.
- [34] Sweco, „Garanties op Hergebruik en Refurbished Installaties,” 2026.
- [35] Europese Commissie, „Verordening 2024/1735 Kader van maatregelen ter versterking van het Europese ecosysteem voor de productie van klimaatneutrale technologieën,” 2024.
- [36] Copper8 & Rebel, „Klimmen op de R-ladder met UPV,” 2022.
- [37] Sybren Bosch, Bert Krikke & Gijs Derks, „Beter sturen op circulaire prestaties in kwaliteitsborging,” 2025.
- [38] Merosch, „PvE circulaire klimaatinstallaties,” 2026.
- [39] Europese Commissie, „Study on the Critical Raw Materials for the EU,” 2023.
- [40] Binnenklimaat Nederland, „Persbericht – CIRCO Hergebruik Ketentrack Luchtbehandelingsinstallaties van start!,” 2025. [Online]. Available: <https://www.binnenklimaatnederland.nl/nieuws/circo-hergebruik-ketentrack-luchtbehandelingsinstallaties-van-start/>.

[41] Dutch New Energy Research, „Nationaal Warmtepomp Trendrapport 2026,” 2026.

[42] AEDES, „Toolbox verduurzaming gemengde VvE's voor woningcorporaties,” 2024.



Over ons

Copper8 is een Social Enterprise en sinds 2016 trotse B Corp. We werken hard aan de transitie naar een duurzame economie. Dat doen we niet alleen door te adviseren, maar ook door tijd te investeren in onderzoek en vernieuwing. Samen met onze opdrachtgevers verkennen we continu de randen van de transitie en spelen we in op wat nodig is om onze idealen dichterbij te brengen.

Contact

020 261 02 89

info@copper8.com

Kom langs

100 Watt gebouw, 8^e verdieping
James Wattstraat 100
Amsterdam

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl