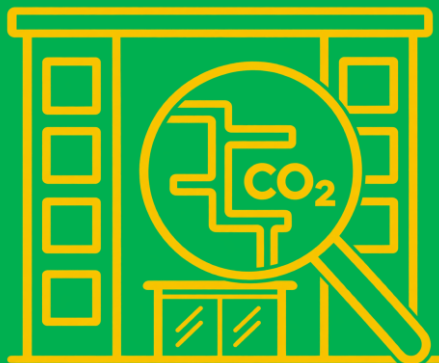


De CO₂-impact van morgen wordt vandaag ontworpen

Van pilot naar betrouwbare keuzes voor gebouwinstallaties



Kernboodschap	Installatiekeuzes van vandaag bepalen tientallen jaren materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik. Deze pilot laat zien dat CO ₂ -impact al vroeg in het ontwerp kan worden meegewogen en dat de keuze tussen concepten substantieel kan uitmaken. De belangrijkste opbrengst is inzicht in wat nodig is om zulke keuzes betrouwbaar, herhaalbaar en praktisch te kunnen maken.
Status document	Definitief
Datum	21 september 2026
Gezamenlijke pilot van	Rijksvastgoedbedrijf · Techniek Nederland · FME · BAM · Equans · VDK Groep · TU Delft · Life Cycle Vision
Opdrachtgever	Rijksvastgoedbedrijf
Projectcoördinatie en rapportage	Life Cycle Vision Bernd Karstenberg

Managementsamenvatting

Nu sturen op keuzes die tientallen jaren doorwerken

Belangrijke keuzes voor gebouwschil, gebruiksprofiel en installaties worden al in het schets- en voorlopig ontwerp gemaakt en werken tientallen jaren door in materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik. Juist in deze fase is de ruimte om de CO₂-impact te beïnvloeden het grootst.



Opdrachtgevers willen deze impact nu al kunnen meewegen in ontwerpkeuzes en uitvragen. Installateurs en ontwerpers willen de duurzaamheid van oplossingen aantoonbaar en onderling vergelijkbaar kunnen maken. Een breed gedragen en praktisch toepasbare basis daarvoor ontbreekt echter nog.

De urgentie neemt toe door de invoering van de Whole-Life Cycle Global Warming Potential (WLC-GWP). Vanaf 2028 wordt de WLC-GWP-berekening voor een eerste groep nieuwe gebouwen verplicht; vanaf 2030 wordt de toepassing verbreed en worden grenswaarden voor nieuwbouw ingevoerd.

Een WLC-GWP-berekening maakt de gebouwprestatie zichtbaar, maar laat niet vanzelf zien welke ontwerpkeuzes nodig zijn om deze te verbeteren. Deze pilot richt zich daarom op vroege ontwerpsturing, voordat belangrijke keuzes zijn vastgelegd.

Wat is onderzocht en door wie

De pilot onderzocht hoe opdrachtgevers, installateurs en adviseurs al in het schets- en voorlopig ontwerp installatieconcepten op CO₂-impact kunnen vergelijken. Het doel was te toetsen hoe een werkbare methode voor vroege ontwerpkeuzes kan worden opgebouwd.



Voor hetzelfde referentiekantoor zijn twee werktuigbouwkundige concepten en twee verlichtingsconcepten vergeleken. Over 50 jaar zijn productie van installatieonderdelen, vervangingen en energiegebruik in samenhang beoordeeld. De concepten zijn vanuit dezelfde functie en prestaties opgebouwd, passend gedimensioneerd en gekoppeld aan hoeveelheden, technische levensduren en milieugegevens. De pilot is bewust beperkt tot geselecteerde installaties en levenscyclusfasen.

Het Rijksvastgoedbedrijf was opdrachtgever. Techniek Nederland en FME brachten branche- en ketenperspectief in, BAM, Equans en VDK installatiekundige praktijkkennis en TU Delft milieukundige expertise. Life Cycle Vision coördineerde de pilot en verzorgde de technische uitwerking, analyse en rapportage.

Wat heeft de pilot geleerd?

De pilot laat zien dat installatieconcepten al vroeg op CO₂-impact kunnen worden vergeleken, mits zij dezelfde functie en prestaties leveren en vanuit dezelfde uitgangspunten worden beoordeeld. Net als bij een kostenraming kan de vergelijking van grof naar fijn worden opgebouwd: eerst de onderdelen die de conceptkeuze bepalen, later de verdere detaillering.

Dat deze vergelijking ertoe doet, blijkt uit de berekende verschillen. Binnen de gekozen scope lag de totale CO₂-impact van het werktuigbouwkundige concept W2 over 50 jaar circa 80% hoger dan die van W1. Bij de verlichtingsconcepten lag de berekende impact van E1 circa 30% hoger dan die van E2. Deze verschillen zijn casusspecifiek, maar laten zien dat installatiekeuzes substantieel kunnen doorwerken in de CO₂-impact.

De grootste uitdaging bleek niet het rekenen, maar het verkrijgen van bruikbare en vergelijkbare gegevens. De geraadpleegde milieuverklaringen uit de Nationale Milieudatabase konden voor deze conceptvergelijkingen niet worden gebruikt, omdat uitvoering, capaciteit, opgenomen onderdelen en systeemgrens onvoldoende duidelijk waren. Daarom waren andere bronnen, aanvullende productinformatie en bewerkingen nodig. Dit betreft de geraadpleegde gegevens en is geen algemene beoordeling van de NMD.



De methodiek werkt inhoudelijk, maar brede toepassing vraagt herbruikbare gegevens, gezamenlijke rekenafspraken en praktijktoetsing. Binnen de onderzochte scope was energieverbruik de grootste bijdrage; materiaalgebruik en vervangingen blijven echter onderdeel van dezelfde afweging en worden relatief belangrijker naarmate de CO₂-impact van energie verder afneemt. De resultaten vormen geen algemene rangorde en de pilot biedt nog geen gevalideerde basis om voor installaties inschrijvers op CO₂-score te rangschikken of deze als zelfstandig gunningscriterium te gebruiken.

Wat moet nu gebeuren?

De resultaten laten zien dat vroege vergelijking van installatieconcepten mogelijk is. Voor brede en reproduceerbare toepassing — en uiteindelijk ook voor het vergelijken van inschrijvers — ontbreekt echter nog een gevalideerde gezamenlijke basis. Daarvoor moeten ketenpartijen gezamenlijk de benodigde gegevens, systeemgrenzen en rekenafspraken vastleggen en in de praktijk toetsen.

Begin met één afgebakende toepassing die relevant is voor de CO₂-impact. Leg daarvoor prestaties, dimensionering, hoeveelheden, gebruik, levensduur, vervangingen en energie vast. Bouw daarbij modulair en schaalbaar volgens FODAR: vanuit de functie via opwekking, distributie, afgifte en regeling. Leg geen complete concepten als vaste varianten vast, maar maak componenten, onderdelen en rekenrelaties herbruikbaar.



Toets deze aanpak vervolgens in echte projecten en met verschillende gebruikers. Beoordeel of dezelfde uitgangspunten tot vergelijkbare resultaten en een onderbouwde ontwerpafweging leiden. Wat aantoonbaar werkt, kan daarna stapsgewijs worden uitgebreid.

Wie moet nu in beweging komen?

De vervolgstap vraagt samenwerking van de hele keten. Het ligt het meest voor de hand dat opdrachtgevers hierbij het initiatief nemen. Zij bepalen waarop in projecten wordt gestuurd, kiezen een eerste toepassing en bieden praktijkprojecten voor ontwikkeling en toetsing. Een duidelijke gezamenlijke vraag maakt zichtbaar welke informatie werkelijk nodig is en geeft marktpartijen richting om die kennis en gegevens beschikbaar te maken.

Het Rijksvastgoedbedrijf kan dit samen met andere opdrachtgevers organiseren. Daarbij moeten een trekker, mandaat, capaciteit en middelen worden geregeld. Wie deze trekkende rol vervult, is nog niet vastgesteld.



Iedere partij heeft een eigen rol. Opdrachtgevers formuleren als informatievragers de prestatievraag. Installateurs en adviseurs brengen systeem- en dimensioneringskennis in en gebruiken de informatie voor ontwerp en conceptvergelijking. Producenten en leveranciers verstrekken technische productinformatie en milieugegevens. Techniek Nederland en FME/Fedet kunnen de inbreng van hun achterban organiseren en de praktische werkbaarheid helpen toetsen. Ook beheer, controle en actualisatie van herbruikbare informatie moeten worden georganiseerd.

Zo wordt de informatievoorziening opgebouwd vanuit wat nodig is voor een ontwerpkeuze, in plaats van vanuit los beschikbare data.

Aansluiting op beleid en rekeninstrumenten

De praktijkgerichte ontwikkeling is de eerste stap en hoeft niet te wachten op aanpassingen van NMD, MPG of WLC-GWP. Het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO), Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), Stichting NMD en ontwikkelaars van rekeninstrumenten kunnen de ervaringen en gegevens uit pilot en vervolgprojecten benutten om ontwerpvergelijkingen en bredere gebouwberekeningen beter op elkaar te laten aansluiten. Door waar mogelijk dezelfde definities, uitgangspunten en gegevens te gebruiken, kan informatie voor meerdere toepassingen worden hergebruikt.



Snelle leesroute

Voor de hoofdboodschap en besluitvorming: **Managementsamenvatting en hoofdstuk 6**

Voor de onderzoeksresultaten: **hoofdstuk 3**

Voor methodiek en praktische toepassing: **hoofdstukken 4 en 5**

Voor technische onderbouwing en detailberekeningen: **bijlagen**

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting.....	2
1. Inleiding.....	7
1.1 Aanleiding en doel	7
1.2 Onderzoeksvragen en leeswijzer	8
2. Scope en onderzoeksmethodiek	9
2.1 Referentiegebouw en installatieconcepten.....	9
2.2 Afbakening en uitgangspunten	10
2.3 Dataverzameling, berekening en controle	11
3. Resultaten van de onderzochte concepten.....	13
3.1 Werktuigbouwkundige concepten	13
3.2 Elektrotechnische concepten	15
3.3 Gevoeligheden en reikwijdte van de resultaten	17
4. Methodiek voor dataopbouw en praktische toepasbaarheid	19
4.1 Bevindingen over data en systeemopbouw.....	19
4.2 Methodiek voor het opbouwen van bruikbare installatiedata	20
4.3 Praktische toepasbaarheid en reproduceerbaarheid	22
5. Betekenis voor praktijk en beleid	24
5.1 Rijksvastgoedbedrijf en opdrachtgevers	24
5.2 Techniek Nederland en de installatiesector	25
5.3 NMD, MPG en toekomstige WLC-GWP-systematiek	26
6. Conclusies en aanbevelingen	30
6.1 Hoofdconclusies.....	30
6.2 Aanbevelingen en vervolgstappen	31
Bijlagen	34
Bijlage A. Opdracht, projectorganisatie en scope.....	34
Bijlage B. Referentiegebouw en installatieconcepten	38
Bijlage C. Uitgangspunten, systeemafbakening en levensduren	42
Bijlage D. Databronnen, transparantie en toepasbaarheid	47

Bijlage E. Detailberekeningen en resultaten	52
Bijlage F. Gevoeligheids- en onzekerheidsanalyses	64
Bijlage G. Aandachtspunten, datalacunes en leerpunten	70
Bijlage H. Productschaling, systeemopbouw en dimensionering	75
Bijlage I. Relatie met NMD, MPG en WLC-GWP	82
Bijlage J. Bronnen, begrippen en afkortingen	88

1. Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding, het doel en de centrale onderzoeksvragen van de pilot. Daarbij wordt toegelicht welke vraag vanuit de oorspronkelijke opdracht centraal staat en hoe de uitgevoerde conceptvergelijkingen worden gebruikt om de methodiek en de benodigde informatievoorziening te toetsen.

1.1 Aanleiding en doel

Opdrachtgevers en installateurs willen de totale CO₂-impact over de levenscyclus meewegen bij de keuze van gebouwinstallaties. Daarvoor moeten installatieconcepten integraal en in samenhang met het gebouw en het gebruik kunnen worden vergeleken. In de praktijk ontbreekt hiervoor nog een voldoende bruikbare en gezamenlijke basis, zowel in de methodiek als in de beschikbare technische en milieugegevens.

Juist in de vroege ontwerpfase, het schets- en voorlopig ontwerp, worden belangrijke keuzes gemaakt over de opwekking van warmte en koude, het transport daarvan door het gebouw, de afgifte in de ruimten en de regeling van de installaties. In deze fase is de ruimte om wezenlijke keuzes te beïnvloeden doorgaans groot, terwijl nog niet alle producten en hoeveelheden bekend zijn. De keuzes hangen samen met de gebouwschil en het gebruik en werken langdurig door in het materiaalgebruik, de installatiecapaciteiten, vervangingen en het energiegebruik. Een bruikbare CO₂-vergelijking moet daarom al vroeg voldoende betrouwbaar en navolgbaar richting geven, met een detailniveau dat past bij de ontwerpbeslissing.

Deze noodzaak neemt toe door de invoering van de Whole-Life Cycle Global Warming Potential (WLC-GWP). Met WLC-GWP worden de materiaalgebonden en operationele broeikasgasemissies van een gebouw over de gehele levenscyclus samengebracht. Vanaf 2028 wordt voor nieuwe gebouwen groter dan 1.000 m² een WLC-GWP-berekening verplicht en vanaf 2030 worden voor nieuwe gebouwen met een energielabelplicht grenswaarden ingevoerd. De aangekondigde Nederlandse routekaart zal aangeven hoe deze grenswaarden en streefwaarden richting 2050 stapsgewijs worden ingevoerd.

Juist bij installaties is deze ontwikkeling relevant. Installatiekeuzes werken op twee manieren door in de WLC-GWP: via de materiaalgebonden impact van de toegepaste installatieonderdelen en vervangingen én via het gebouwgebonden energiegebruik tijdens de gebruiksfase. De WLC-GWP-methodiek maakt deze effecten uiteindelijk op gebouwniveau zichtbaar, maar biedt daarmee nog niet vanzelf de informatie om in een vroege ontwerpfase een onderbouwde keuze tussen installatieconcepten te maken. Daarvoor moet inzichtelijk zijn hoe verschillen in systeemopbouw, dimensionering, materiaalgebruik, levensduur en energiegebruik doorwerken in de CO₂-impact. Deze pilot richt zich op die ontwerpgerichte vergelijking.

Het doel van deze pilot is het toetsen van een methodiek waarmee verschillende installatieconcepten voor hetzelfde referentiegebouw op CO₂-impact kunnen worden vergeleken. De vergelijking moet opdrachtgevers ondersteunen bij hun ontwerpkeuzes en installateurs en adviseurs helpen deze keuzes technisch te onderbouwen. Daarbij wordt de CO₂-impact van de productie van de oorspronkelijke installatieonderdelen, van vervangingen en van het energiegebruik over een beschouwingsperiode van 50 jaar in samenhang beoordeeld. Om de methodiek eerst in een beperkte proef te toetsen, is binnen de beschikbare tijd en het beschikbare budget gekozen voor een selectie van zowel werktuigbouwkundige als elektrotechnische installatieconcepten. Deze selectie moest voldoende inzicht bieden om de methodiek te beproeven en te leren welke gegevens, bewerkingen en knelpunten bij de toepassing naar voren komen. Een volledige uitwerking van alle gebouwinstallaties was binnen deze pilot niet haalbaar.

Naast de berekende resultaten is onderzocht welke gegevens, aannames, afbakeningen en schalingsregels nodig zijn om dergelijke vergelijkingen uit te voeren. Tijdens de uitvoering bleek dat hiervoor aanzienlijk meer dataverzameling, technische interpretatie, controle en bewerking nodig was dan vooraf kon worden voorzien. De pilot maakt daarmee zichtbaar welke informatie en bewerkingen nodig zijn en waar aanvullende afspraken en herbruikbare gegevens nodig zijn. Dit biedt aanknopingspunten om de werkwijze in toekomstige projecten te vereenvoudigen en beter reproduceerbaar te maken. De praktische bruikbaarheid van die verdere uitwerking moet vervolgens in projecten worden getoetst.

Naast het toetsen van de methodiek is het opdoen van praktische en methodische leerpunten een doel van de pilot. De ervaringen met de dataverzameling, technische uitwerking, aannames en knelpunten zijn daarom vastgelegd in de hoofdtekst en nader uitgewerkt in de bijlagen. Zo blijft de opgedane kennis beschikbaar voor andere partijen en vervolgonderzoek. Toekomstige projecten kunnen hierop voortbouwen, waardoor herhaling van hetzelfde uitzoekwerk kan worden beperkt.

De conceptvergelijkingen zijn daarmee vooral gebruikt om de methodiek en de benodigde gegevens te toetsen. De berekende resultaten gelden voor het onderzochte referentiegebouw, de gekozen concepten en de gehanteerde uitgangspunten. Daaruit volgt niet dat hetzelfde concept in ieder gebouw de laagste CO₂-impact heeft.

1.2 Onderzoeksvragen en leeswijzer

De pilot richt zich op de volgende onderzoeksvragen:

1. Kunnen geselecteerde installatieconcepten voor hetzelfde referentiegebouw transparant en navolgbaar worden vergeleken op de CO₂-impact van productie, vervangingen en energiegebruik?
2. Welke gegevens en aannames zijn minimaal nodig, welke installatieonderdelen moeten worden meegenomen en hoe kunnen beschikbare gegevens worden omgerekend naar het onderzochte ontwerp?
3. Welke knelpunten en onzekerheden ontstaan bij het verzamelen, beoordelen, aanvullen en combineren van technische productgegevens, systeemgegevens en milieudata?
4. Welke stappen en afspraken zijn nodig om deze vergelijking in toekomstige ontwerpprojecten navolgbaar en praktisch uitvoerbaar toe te passen?

Hoofdstuk 2 beschrijft de scope, uitgangspunten en onderzoeksaanpak. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van de onderzochte werktuigbouwkundige en elektrotechnische concepten. Hoofdstuk 4 beschrijft wat de pilot heeft geleerd over de opbouw van bruikbare installatiedata en de praktische toepasbaarheid van de methodiek. Hoofdstuk 5 beschrijft wat de resultaten betekenen voor opdrachtgevers, de installatiesector en de verdere ontwikkeling van milieudata en toekomstige CO₂-berekeningen voor gebouwen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen. De technische onderbouwing, detailberekeningen en uitgebreidere leerpunten zijn opgenomen in de bijlagen.

2. Scope en onderzoeksmethodiek

Dit hoofdstuk beschrijft welke installatieconcepten binnen de pilot zijn onderzocht, welke systeem- en levenscyclusgrenzen daarbij zijn gehanteerd en hoe de gegevens zijn verzameld en verwerkt. Het hoofdstuk beschrijft daarmee de feitelijk uitgevoerde onderzoeksaanpak. De methodische lessen die hieruit volgen voor toekomstige toepassing worden in hoofdstuk 4 uitgewerkt.



2.1 Referentiegebouw en installatieconcepten

Voor de vergelijking is gebruikgemaakt van het RVO-referentiekantoor XL1. Voor de berekeningen is uitgegaan van een bruto vloeroppervlak van 26.560 m². Het referentiegebouw biedt een vaste basis, zodat verschillen in gebouwmvang en gebouwfunctie de vergelijking tussen de installatieconcepten niet beïnvloeden.

De installatieconcepten zijn functioneel opgebouwd volgens het FODAR-principe: functie, opwekking, distributie, afgifte en regeling. FODAR ordent daarmee de technische invulling vanuit de gevraagde functie: hoe de functie wordt opgewekt, gedistribueerd, afgegeven en geregeld. Per onderdeel kunnen verschillende technische oplossingen worden gekozen, die gezamenlijk het installatieconcept vormen. Deze ordening is in de pilot gebruikt om concepten functioneel vergelijkbaar af te bakenen en de daarvoor benodigde systemen en installatieonderdelen te bepalen. FODAR vormt daarbij een functionele structuur en geen volledige onderdelenlijst. De modulaire toepassing en verdere uitwerking van grof naar fijn worden in paragraaf 4.2 nader toegelicht.

Voor de werktuigbouwkundige installaties zijn twee concepten onderzocht:

Concept	Hoofdpzetz
W1	Lucht/water-warmtepomp met klimaatplafonds
W2	HR-ketels en luchtgekoelde koelmachine met inductie-units

Het klimaatplafond in W1 vervult naast de installatietechnische afgiftefunctie ook de bouwkundige plafondfunctie. Om beide concepten functioneel vergelijkbaar te beoordelen, is daarom bij W2 ook een bouwkundig verlaagd plafond onderdeel van de vergelijking.

Voor de elektrotechnische installaties is een afzonderlijke vergelijking gemaakt tussen twee bedieningsconcepten voor de verlichting:

Concept	Hoofdpzetz
E1	Verlichting bediend met schakelaars
E2	Verlichting geregeld met aanwezigheidsdetectie

Deze vergelijking richt zich specifiek op de invloed van regeling binnen de verlichtingsinstallatie van de onderzochte kantoor- en vergaderruimten. Voor beide varianten zijn hetzelfde aantal armaturen en hetzelfde functionele verlichtingsniveau gehanteerd. De vergelijking omvat daarmee niet de verlichting van het gehele referentiegebouw.

Voor alle concepten zijn zoveel mogelijk dezelfde gebouwkenmerken, gebruiksuitgangspunten en functionele prestaties gehanteerd. Hierdoor kan worden onderzocht welk effect de systeemkeuze heeft op de materiaalgebonden CO₂-impact, vervangingen en het energiegebruik tijdens de gebruiksfase.

De technische uitwerking van de concepten is opgenomen in bijlage B. De systeemaafbakening en de onderdelen die wel en niet in de berekeningen zijn meegenomen, worden beschreven in paragraaf 2.2 en nader onderbouwd in bijlage C.

2.2 Afbakening en uitgangspunten

De pilot richt zich op geselecteerde installatieconcepten en omvat niet de volledige werktuigbouwkundige en elektrotechnische installatie van het referentiegebouw. Deze beperkte scope was onderdeel van de onderzoeksopzet. Het doel is de werkwijze en onderlinge vergelijkbaarheid te toetsen aan de hand van een beperkt aantal representatieve toepassingen.

Voor de afbakening van de CO₂-berekening sluit de pilot aan bij de Europese indeling van de levenscyclus van gebouwen volgens EN 15978. Deze systematiek verdeelt de levenscyclus in modules voor productie, bouw, gebruik en einde levensduur. Voor de milieudata van producten is aangesloten bij EN 15804.

Binnen de pilot zijn de volgende onderdelen beoordeeld:

1. A1–A3: winning en verwerking van grondstoffen, transport naar de producent en productie van de oorspronkelijke installatieonderdelen;
2. B4: de productie-impact van vervangende installatieonderdelen gedurende de beschouwingsperiode van 50 jaar. Voor iedere vervanging is dezelfde A1–A3-impact gebruikt als voor het oorspronkelijke onderdeel. Dit is een vereenvoudigde invulling van vervanging: veranderingen in toekomstige productieprocessen en aanvullende activiteiten rond de vervanging zijn niet doorgerekend;
3. B6: het energiegebruik van de onderzochte installaties en componenten tijdens het gebruik van het gebouw, omgerekend naar CO₂-impact.

Figuur 2.1 geeft schematisch weer welke levenscyclusfasen binnen de pilot zijn meegenomen en welke buiten de gekozen scope vallen.



Figuur 2.1 – Levenscyclusfasen die binnen de pilot zijn meegenomen.

Niet meegenomen zijn onder meer transport naar de bouwplaats, montage, regulier onderhoud, reparatie, renovatie, sloop en afvalverwerking. Ook mogelijke voordelen of milieulasten van hergebruik en recycling na het einde van de levensduur vallen buiten de berekening. Deze afbakening betekent niet dat deze bijdragen nul of onbelangrijk zijn. De berekende verhoudingen tussen productie, vervangingen en energiegebruik gelden uitsluitend binnen de onderzochte systeemgrenzen. De pilot is daardoor geen volledige WLC-GWP-berekening of volledige CO₂-berekening over de gehele levenscyclus van het gebouw.

Voor de werktuigbouwkundige concepten zijn binnen de gekozen scope onderdelen van opwekking, distributie, afgifte en luchtbehandeling beschouwd. Ook de aardgasvoorziening van W-concept 2 en de voor de functionele vergelijking benodigde plafondfunctie zijn meegenomen. De materiaalgebonden impact en vervangingen van de regeltechnische componenten zijn buiten de scope gehouden. Ook zijn eventuele gevolgen van verschillen in aangesloten vermogen voor de omvang en materiaalgebonden impact van de elektrotechnische voedingsdistributie niet meegenomen.

Bij de elektrotechnische vergelijking zijn de armaturen, schakelaars of aanwezigheidsdetectoren en de direct aan de onderzochte bediening toe te rekenen bekabeling en hulpmaterialen meegenomen. Het verschil in energiegebruik tussen beide bedieningsconcepten is onderdeel van de vergelijking. De algemene voedingsdistributie, kabelgoten en overige elektrotechnische infrastructuur vallen buiten de systeemgrens. Deze afbakening is gekozen om binnen de beschikbare tijd en het budget naast de werktuigbouwkundige conceptvergelijking ook een elektrotechnische toepassing te onderzoeken. Bij de verlichting staat de regeling centraal, waarbij zowel de materiaalimpact van de benodigde componenten als het effect op het energiegebruik is meegenomen.

De resultaten vormen daarmee geen volledige CO₂-berekening van alle installaties in het gebouw. Zij gelden voor de geselecteerde systeemonderdelen, de onderzochte concepten en de gehanteerde uitgangspunten. De volledige afbakening is opgenomen in bijlage C.

2.3 Dataverzameling, berekening en controle

De installatieconcepten zijn voor het referentiegebouw uitgewerkt met behulp van Life Cycle Vision. De beschikbare documentatie van het referentiekantoor bevat slechts een deel van de gegevens die nodig zijn om de installaties te dimensioneren en het materiaal- en energiegebruik te bepalen. Aanvullende gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten zijn daarom met Life Cycle Vision vastgesteld op basis van geldende wet- en regelgeving, normen, ontwerprichtlijnen en gangbare marktuitlegangspunten. Hiermee ontstaat voor de berekening feitelijk een uitgebreid technisch programma van eisen.

Op basis van deze uitgangspunten bepaalt Life Cycle Vision de benodigde vermogens, capaciteiten, aantallen, leiding- en kanaallengten en overige installatiehoeveelheden. De uitgangspunten worden voor de onderzochte varianten zoveel mogelijk gelijk gehouden. Alleen waar de technische werking van een concept dit vereist, worden conceptspecifieke waarden toegepast.

De systeemopbouw is vervolgens aangevuld met de benodigde hoofd- en hulpcomponenten binnen de gekozen systeemgrens. De technische opbouw en hoeveelheden zijn mede beoordeeld met de betrokken installateurs.

Voor de materiaalgebonden CO₂-impact is gebruikgemaakt van PEP- en EPD-documenten, leveranciersinformatie en aanvullende product- en materiaalgegevens. De beschikbare informatie is technisch beoordeeld en waar nodig bewerkt om deze op een vergelijkbare basis te kunnen toepassen. De verzamelde gegevens zijn door TU Delft beoordeeld en waar nodig met behulp van SimaPro verwerkt tot CO₂-waarden voor A1–A3 conform EN 15804. Voor geselecteerde onderdelen zijn op basis van productvarianten, capaciteiten en afmetingen trendlijnen en rekenrelaties afgeleid.

De impact van vervangingen in B4 is bepaald op basis van de technische levensduur van de installatieonderdelen en een beschouwingsperiode van 50 jaar. Voor B6 is het berekende energiegebruik gekoppeld aan de gehanteerde CO₂-emissiefactoren.

De dataverzameling en berekeningen zijn iteratief uitgevoerd en tussentijds gecontroleerd met de betrokken partijen. Tijdens deze uitwerking bleek dat aanzienlijk meer aanvullende informatie, technische interpretatie en controle nodig was dan vooraf was voorzien. Deze verdieping was noodzakelijk om de conceptvergelijkingen verantwoord te kunnen uitvoeren en heeft tegelijkertijd inzicht gegeven in de gegevens en bewerkingen die nodig zijn om dergelijke vergelijkingen in toekomstige projecten sneller en reproduceerbaarder uit te voeren. Deze bevindingen worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

3. Resultaten van de onderzochte concepten

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de onderzochte werktuigbouwkundige en elektrotechnische concepten. De vergelijkingen zijn concrete toepassingen waarmee onderdelen van de methodiek zijn beproefd. De CO₂-impact is uitgesplitst naar de productfase A1–A3, vervangingen in B4 en het energiegebruik in B6 over een beschouwingsperiode van 50 jaar. De resultaten gelden uitsluitend voor de in hoofdstuk 2 beschreven systeemgrenzen en uitgangspunten.

Resultaten in één oogopslag

- Bij de werktuigbouwkundige concepten ligt de totale CO₂-impact van W2 over 50 jaar circa **80% hoger** dan die van W1.
- Bij de verlichtingsconcepten ligt de berekende CO₂-impact van E1 circa **30% hoger** dan die van E2.
- In beide vergelijkingen wordt het verschil vooral bepaald door het **energiegebruik tijdens de gebruiksfase**.
- De resultaten gelden voor het onderzochte gebouw, de gekozen systeemgrenzen en uitgangspunten en vormen **geen algemene rangorde van installatieconcepten**.

3.1 Werktuigbouwkundige concepten

Voor de werktuigbouwkundige installaties zijn twee functioneel vergelijkbare concepten onderzocht:

- W1: lucht/water-warmtepomp met klimaatplafonds;
- W2: HR-ketels en een luchtgekoelde koelmachine met inductie-units.

Het klimaatplafond van W1 vervult naast de installatietechnische afgiftefunctie ook de bouwkundige plafondfunctie. Om beide concepten functioneel vergelijkbaar te beoordelen, is daarom bij W2 ook een verlaagd bouwkundig plafond meegenomen.

Voor de hoofdvergelijking is bij W2 uitgegaan van een plafond met een vergelijkbaar kwaliteits- en materiaalniveau als het klimaatplafond. Hiervoor is een stalen plafondopbouw aangehouden. Hiermee wordt voorkomen dat bij W1 een hoogwaardige plafondfunctie volledig aan het installatieconcept wordt toegerekend, terwijl deze functie bij W2 niet of met een wezenlijk ander kwaliteitsniveau wordt meegenomen.

Tabel 3.1 – CO₂-impact werktuigbouwkundige concepten

Levenscyclusfase	W1 Warmtepomp en klimaatplafonds	W2 HR-ketels, koelmachine, inductie-units en verlaagd plafond
A1–A3 Productfase	1.314.380	1.327.298
B4 Vervangingen	706.682	732.483
B6 Energiegebruik	8.771.109	17.363.651
Totaal	10.792.171	19.423.432

Waarden in kg CO₂-eq over een beschouwingsperiode van 50 jaar.

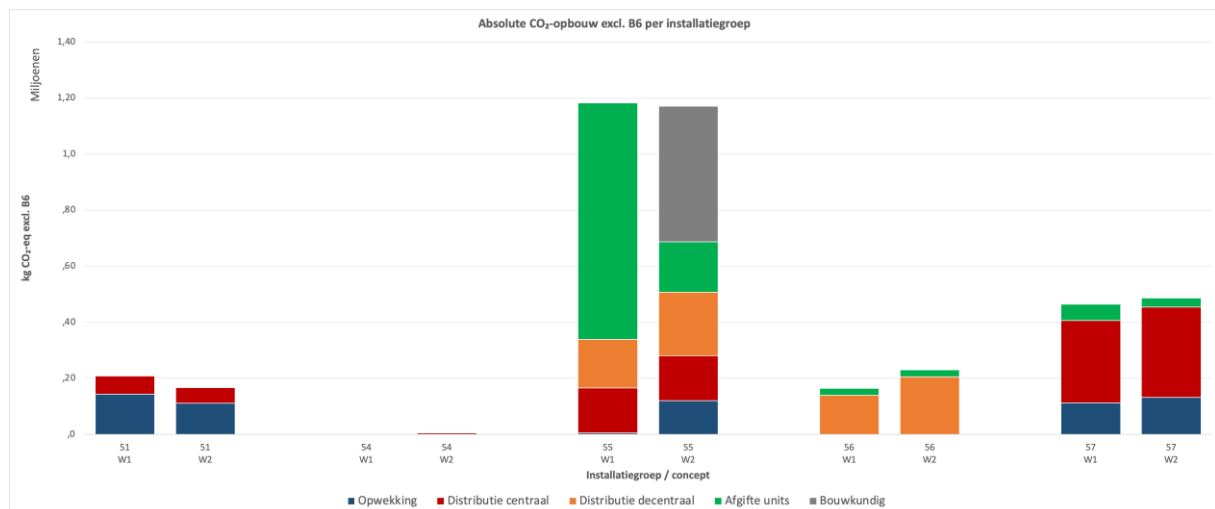
Bij de gekozen hoofdvergelijking, met een stalen verlaagd plafond bij W2, ligt de materiaalgebonden impact van productie en vervangingen dicht bij elkaar: circa 2,02 miljoen kg CO₂-eq voor W1 en circa 2,06 miljoen kg CO₂-eq voor W2. De invloed van een andere plafondopbouw wordt besproken in paragraaf 3.3.

Samen vertegenwoordigen productie en vervangingen 18,7% van de totale berekende impact van W1 en 10,6% van die van W2. Het lagere relatieve aandeel bij W2 betekent niet dat de absolute materiaalgebonden impact lager is, maar ontstaat doordat het energiegebruik van W2 hoger is.

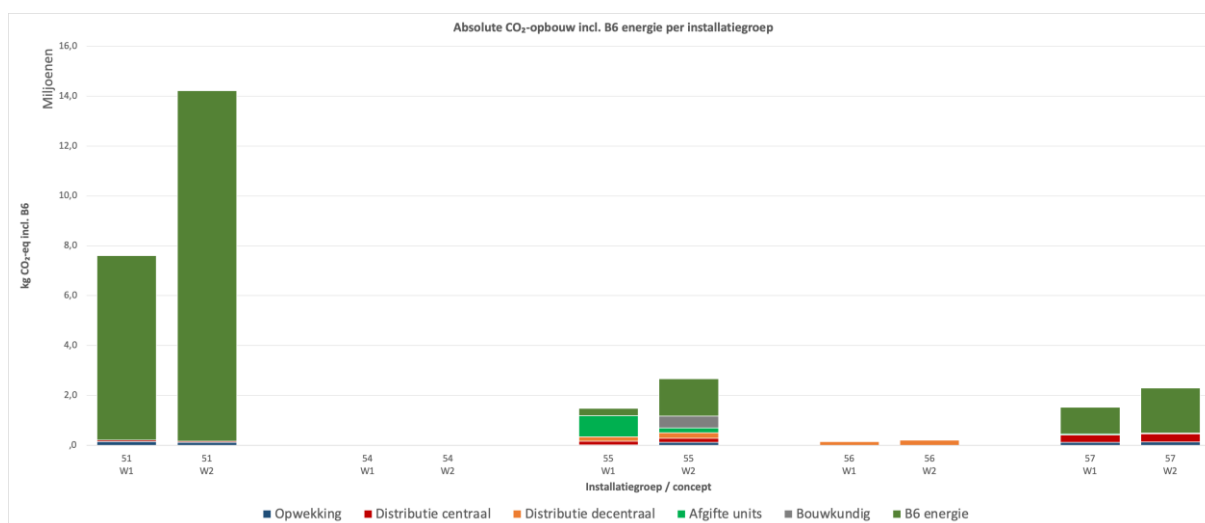
Binnen de gekozen systeemgrens vertegenwoordigt het energiegebruik 81,3% van de totale berekende impact van W1 en 89,4% van die van W2. De berekende impact van het energiegebruik ligt bij W2 circa 8,59 miljoen kg CO₂-eq hoger. Daardoor is de totale impact van W2 binnen de gekozen scope over 50 jaar circa 8,63 miljoen kg CO₂-eq, of circa 80%, hoger dan die van W1. Het verschil tussen beide concepten wordt in deze casus daarmee vooral bepaald door het energiegebruik.

De vergelijking laat daarnaast zien dat de functionele afbakening van belang is. Een installatieonderdeel kan meerdere functies vervullen. Wanneer een functie bij één concept in het installatiesysteem is geïntegreerd (zoals het klimaatplafond), moet deze functie bij het alternatief eveneens worden beschouwd om tot een gelijkwaardige vergelijking te komen. De plafondfunctie is daarom bij W2 als afzonderlijk bouwkundig onderdeel meegenomen.

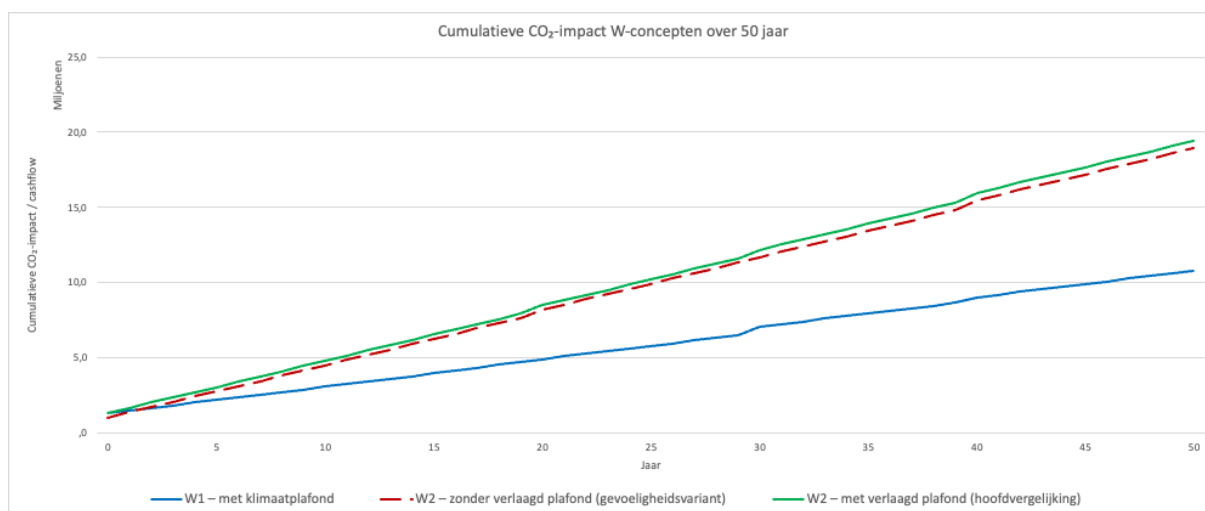
De figuren 3.1 en 3.2 tonen de resultaten van W1 en W2 per installatiegroep. De codes verwijzen naar: 51 warmteopwekking, 54 gassen, 55 koudeopwekking en -distributie, 56 warmtedistributie en 57 luchtbehandeling.



Figuur 3.1 – Berekende CO₂-impact van productie en vervangingen van W1 en W2 over 50 jaar, uitgesplitst naar installatiegroep.



Figuur 3.2 – Berekende CO₂-impact van W1 en W2 binnen de gekozen scope over 50 jaar, uitgesplitst naar installatiegroep en inclusief energiegebruik.



Figuur 3.3 – Cumulatieve CO₂-impact van W1 en W2 binnen de gekozen scope over 50 jaar, inclusief energiegebruik. W2 is weergegeven met verlaagd plafond voor de functioneel gelijkwaardige hoofdvergelijking en zonder verlaagd plafond als gevoeligheidsvariant.

De invloed van de toekomstige CO₂-impact van energie op deze verhouding wordt in paragraaf 3.3 nader toegelicht.

3.2 Elektrotechnische concepten

Voor de elektrotechnische installatie is het effect van twee bedieningsconcepten voor de verlichting onderzocht:

- E1: handmatige bediening met schakelaars;
- E2: automatische regeling met aanwezigheidsdetectie.

Deze vergelijking vormt binnen FODAR een voorbeeld van de invloed van R – regeling. Voor beide concepten zijn hetzelfde aantal armaturen en hetzelfde functionele verlichtingsniveau gehanteerd. Het verschil wordt bepaald door de bedieningscomponenten, de daarbij behorende bekabeling en hulpmaterialen en de invloed van de regeling op de branduren van de verlichting.

De vergelijking omvat in beide concepten 3.628 armaturen. Daarnaast zijn voor E1 schakelaars en voor E2 aanwezigheidsdetectoren meegenomen. Het eigen energiegebruik van de aanwezigheidsdetectie is in de berekening ook opgenomen.

Tabel 3.2 – CO₂-impact verlichtingsconcepten

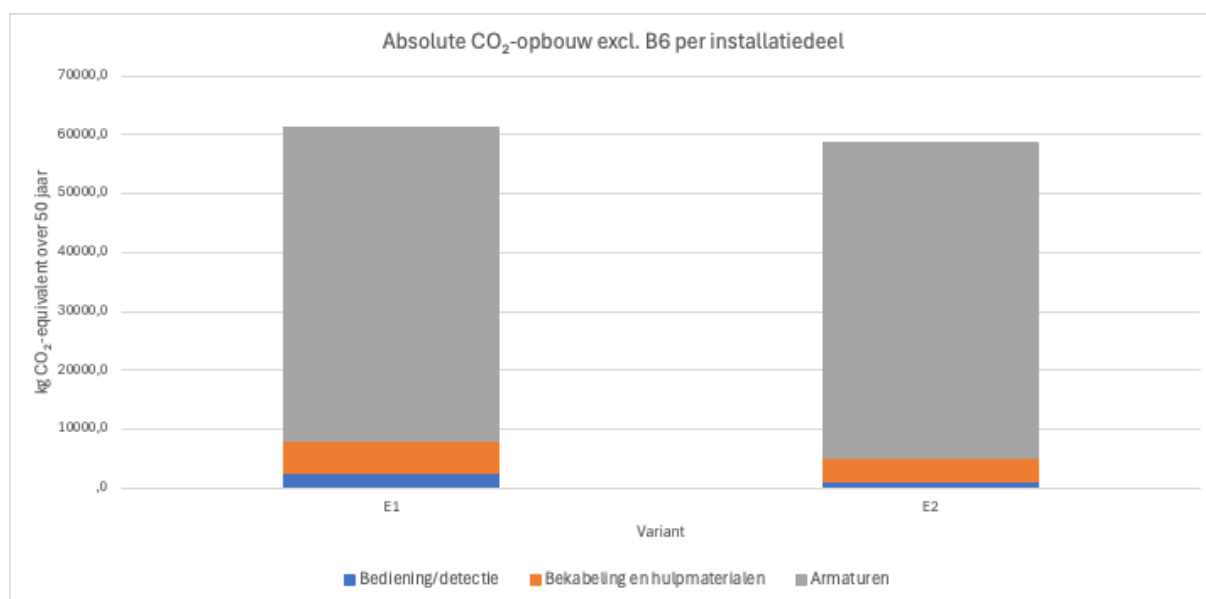
Levenscyclusfase	E1 Verlichting met schakelaars	E2 Verlichting met aanwezigheidsdetectie
A1–A3 Productfase	30.095	28.071
B4 Vervangingen	31.114	30.532
B6 Energiegebruik	1.988.081	1.519.000
Totaal	2.049.290	1.577.603

Waarden in kg CO₂-eq over een beschouwingsperiode van 50 jaar.

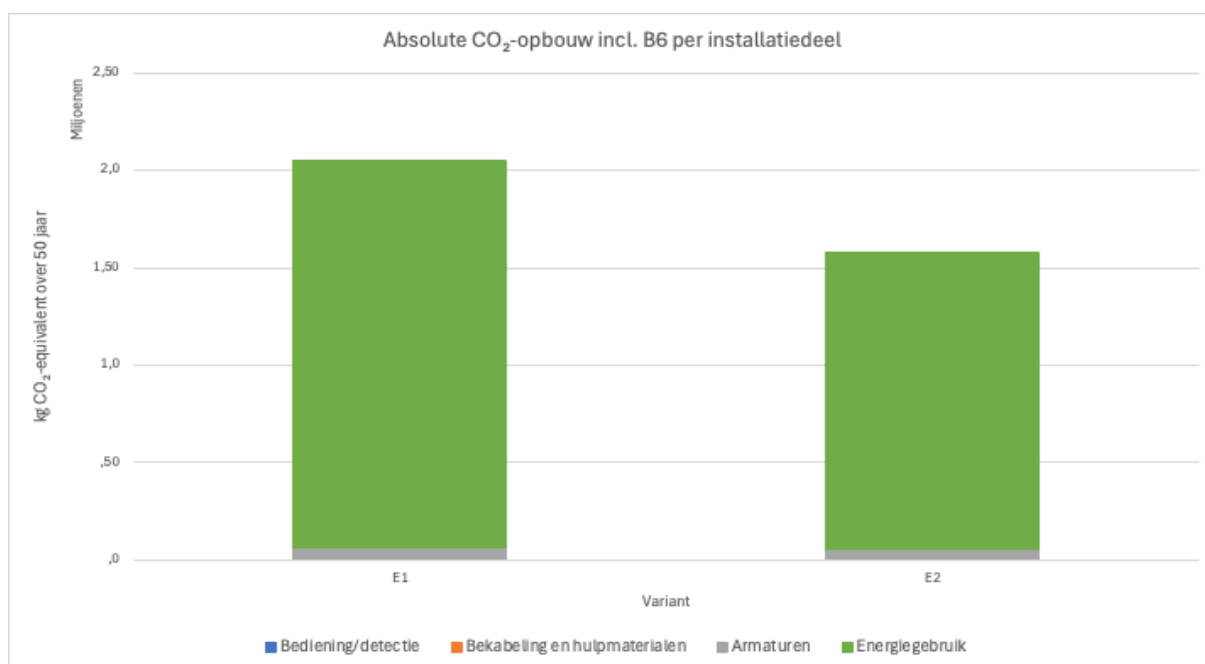
Figuur 3.4 laat zien dat de impact van productie en vervangingen bij beide concepten vooral wordt bepaald door de armaturen, die voor E1 en E2 gelijk zijn. Samen bedraagt de impact van productie en vervangingen circa 61.000 kg CO₂-eq voor E1 en circa 59.000 kg CO₂-eq voor E2. Het beperkte verschil ontstaat door de bediening of detectie en de bijbehorende bekabeling en hulpmaterialen. Figuur 3.5 laat zien dat de totale berekende impact van E1 binnen de gekozen uitgangspunten circa 472.000 kg CO₂-eq, of circa 30%, hoger is dan die van E2. Dit verschil wordt vrijwel volledig veroorzaakt door het lagere energiegebruik, waarvan de berekende impact bij E2 circa 469.000 kg CO₂-eq lager ligt.

Binnen de gekozen systeemgrens vertegenwoordigt het energiegebruik circa 97% van de totale impact bij handmatige schakeling en circa 96% bij aanwezigheidsdetectie. De invloed van de regeling wordt in deze casus daarmee vooral bepaald door het effect op het energiegebruik en niet door de materiaalgebonden impact van de regelcomponenten.

De circa 30% hogere berekende CO₂-impact van handmatige schakeling ten opzichte van aanwezigheidsdetectie is geen algemeen toepasbaar kengetal. Het effect is onder meer afhankelijk van de bezettingsgraad, bedrijfstijden, zonering en het gebruikersgedrag.



Figuur 3.4 – CO₂-impact van productie en vervangingen van E1 en E2 over 50 jaar, uitgesplitst naar bediening/detectie, bekabeling en hulpmaterialen en armaturen.



Figuur 3.5 – Berekende CO₂-impact van E1 en E2 binnen de gekozen scope over 50 jaar, inclusief energiegebruik.

3.3 Gevoeligheden en reikwijdte van de resultaten

Binnen de onderzochte systeemgrenzen heeft energiegebruik een groot aandeel in de berekende CO₂-impact. Deze percentages gelden voor de geselecteerde concepten en onderdelen. Ze beschrijven niet de verhouding tussen materiaal- en energie-impact van alle gebouwinstallaties of van het gehele gebouw. Naast verschillende installatieonderdelen en levenscyclusfasen ontbreekt de volledige bouwkundige materialisatie. Alleen de voor de conceptvergelijking benodigde plafondfunctie is meegenomen.

De uitkomsten zijn bovendien afhankelijk van de gehanteerde gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten. Bij de werktuigbouwkundige concepten gaat het onder meer om de dimensionering, systeemconfiguratie, technische levensduur, energieprestatie, plafondopbouw en de gehanteerde CO₂-emissiefactoren. De resultaten vormen daarom geen algemene rangorde waaruit kan worden afgeleid dat één installatieconcept onder alle omstandigheden de laagste CO₂-impact heeft.

De plafondfunctie die bij W1 in het klimaatplafond is geïntegreerd, moet voor een functioneel gelijkwaardige vergelijking ook bij W2 worden meegenomen. De variant van W2 zonder verlaagd plafond is daarom geen functioneel gelijkwaardig vergelijkingsconcept, maar is uitsluitend gebruikt om de invloed van deze afbakening zichtbaar te maken. Voor de hoofdvergelijking is bij W2 een stalen plafond van vergelijkbaar kwaliteitsniveau als het klimaatplafond aangehouden. Het verschil tussen W2 met en zonder dit plafond, zoals weergegeven in figuur 3.3, bedraagt circa 0,49 miljoen kg CO₂-eq voor productie en vervangingen gezamenlijk. Hiervan heeft circa 0,29 miljoen kg CO₂-eq betrekking op de productie en circa 0,19 miljoen kg CO₂-eq op vervangingen.

Daarnaast is onderzocht wat het effect is van een gangbaar eenvoudiger verlaagd plafond. De impact hiervan bedraagt voor productie en vervangingen gezamenlijk circa 0,15 miljoen kg CO₂-eq, waarvan circa 0,09 miljoen kg CO₂-eq voor de productie en circa 0,06 miljoen kg CO₂-eq voor vervangingen. Voor de productie komt dit indicatief overeen met circa 20 kg CO₂-eq per m² voor

het stalen kwaliteitsniveau tegenover circa 6 kg CO₂-eq per m² voor een standaard verlaagd plafond.

Het verschil tussen het stalen en het eenvoudiger verlaagde plafond bedraagt circa 0,34 miljoen kg CO₂-eq. Dit verschil is substantieel voor het plafond zelf en beïnvloedt ook de vergelijking van productie en vervangingen. Op de totale berekende impact van W2 over 50 jaar bedraagt het effect echter minder dan 2%. De keuze tussen deze plafondvarianten verandert binnen deze casus daarom niet welk concept de laagste totale berekende impact heeft. Dit illustreert dat een parameter voor een afzonderlijk systeemonderdeel een substantieel effect kan hebben op dat onderdeel, terwijl de invloed op de totale CO₂-impact over de levenscyclus beperkt blijft.

De toekomstige CO₂-impact van elektriciteit beïnvloedt de verhouding tussen materiaal- en energie-impact. Voor elektriciteit is in de hoofdvergelijking gerekend met een gemiddelde emissiefactor van 0,176 kg CO₂-eq/kWh over 50 jaar. Deze waarde is gebaseerd op methode 1 uit het WLC-GWP-onderzoek en houdt rekening met de verwachte ontwikkeling van de elektriciteitsmix gedurende de beschouwingsperiode. Bij een verdere verlaging van deze factor neemt, bij gelijkblijvend elektriciteitsgebruik, de berekende impact daarvan af en worden productie en vervangingen relatief belangrijker. Het grote energieaandeel in deze pilot is daarom geen reden om materiaalimpact buiten ontwerpafwegingen te laten. Beide bijdragen moeten in samenhang worden beoordeeld. De gevoeligheid voor de elektriciteitsfactor wordt nader uitgewerkt in bijlage F.

Bij de verlichting hangt het effect van aanwezigheidsdetectie af van de bezetting én van het schakelgedrag waarmee wordt vergeleken. Wanneer verlichting bij handmatige bediening tijdens afwezigheid blijft branden, kan aanwezigheidsdetectie de branduren beperken. Wanneer gebruikers de verlichting zelf consequent uitschakelen, is die aanvullende besparing kleiner. Ook de zonering en instellingen van de regeling beïnvloeden het resultaat. Het berekende verschil tussen E1 en E2 geldt daarom voor het in deze pilot gehanteerde gebruiks- en bedieningsprofiel.

De onderzochte W- en E-concepten zijn daarmee geen volledige kwantificering van alle mogelijke installatiesystemen. Zij vormen toepassingen waarmee is onderzocht hoe systeemkeuzes en bepalende parameters kunnen worden vertaald naar CO₂-impact, welke gegevens daarvoor nodig zijn en waar gevoeligheden en onzekerheden ontstaan. De uitgebreide detailresultaten en gevoeligheidsanalyses zijn opgenomen in de bijlagen E en F.

4. Methodiek voor dataopbouw en praktische toepasbaarheid

De pilot heeft naast de conceptvergelijkingen inzicht gegeven in de informatie en stappen die nodig zijn om installatieconcepten op CO₂-impact te vergelijken. Eerst wordt vastgelegd welke functies en prestaties de te vergelijken concepten moeten leveren en welke systemen en onderdelen daarvoor nodig zijn. Op basis van het gebouw, het gebruik en het gekozen concept worden de capaciteiten, hoeveelheden en het energiegebruik bepaald. De hoeveelheden worden gekoppeld aan passende milieudata. De technische levensduren en de beschouwingsperiode bepalen welke vervangingen worden toegerekend. Het energiegebruik wordt met emissiefactoren omgerekend naar CO₂-impact. Zo worden productie, vervangingen en energiegebruik vanuit dezelfde technische ontwerputgangspunten beoordeeld.

4.1 Bevindingen over data en systeemopbouw

Een belangrijk inzicht uit de pilot is het verschil tussen het bepalen van de milieu-impact van een afzonderlijk product en het vergelijken van een compleet installatieconcept. Voor een gedegen conceptvergelijking hebben opdrachtgevers en ontwerpers zowel inzicht in de volledige technische systeemopbouw als passende milieudata voor die opbouw nodig. Installatietechnisch moet worden vastgesteld welke systemen en componenten nodig zijn, hoe deze worden gedimensioneerd en welke hoofd- en hulpcomponenten gezamenlijk de gevraagde functie realiseren. Deze systeemopbouw bepaalt voor welke onderdelen milieudata nodig zijn.

FODAR biedt hiervoor een bruikbare functionele structuur. Vanuit de gevraagde functie wordt onderscheid gemaakt tussen opwekking, distributie, afgifte en regeling. Per onderdeel kunnen verschillende technische oplossingen worden gekozen, die gezamenlijk het installatieconcept vormen. Figuur 4.1 geeft deze functionele opbouw schematisch weer.



Figuur 4.1 – Functionele opbouw van installatieconcepten volgens FODAR.

FODAR vormt daarbij niet automatisch een volledige onderdelenlijst. Distributie bestaat bijvoorbeeld niet alleen uit leidingen. Ook isolatie, ophangingen, hulpstukken, afsluiters, kleppen en flenzen kunnen nodig zijn. Uit de pilot blijkt dat de leiding zelf, afhankelijk van de diameter, circa 46% tot 68% van de onderzochte materiaalgebonden CO₂-impact per meter vertegenwoordigt. Een belangrijk deel van de impact zit dus in de aanvullende onderdelen.

Een vergelijking van deze systeemopbouw met de binnen de pilot geraadpleegde NMD-gegevens was niet mogelijk. Uit de beschikbare informatie kon onvoldoende worden vastgesteld welke onderdelen waren inbegrepen en welke systeemgrenzen golden. De leidinganalyse betreft daarom een eigen technische uitwerking van de benodigde onderdelen en hun impact. De beperkingen van de geraadpleegde milieudata worden nader toegelicht in bijlage D.

Het vereiste detailniveau verschilt per toepassing en ontwerpbeslissing. De werktuigbouwkundige concepten zijn binnen de pilot op een technisch representatief concept- en systeemniveau uitgewerkt. Bij de verlichting zijn concrete armaturen, bedieningscomponenten, bekabeling en hulpmaterialen beschouwd. Beide toepassingen volgen dezelfde hoofdwerkwijze, met een

verschillende mate van productdetail. De onderliggende rekenoverzichten en voorbeelden van de afgeleide rekenrelaties zijn opgenomen in bijlage E, paragrafen E.5 tot en met E.10.

Volledige detailengineering tot op ieder afzonderlijk artikel is niet het uitgangspunt voor een vergelijking in de vroege ontwerpfase. Verdere uitwerking is nodig wanneer onzekerheden de conceptkeuze kunnen beïnvloeden. Een vergelijking tussen twee warmtepompconcepten is in deze pilot niet uitgevoerd; welk detailniveau daarvoor volstaat, is daarmee niet vastgesteld.

De pilot laat zien dat installatiekundige en LCA-deskundigheid elkaar aanvullen. Installatiekundige kennis is nodig om systeemopbouw, dimensionering, hoeveelheden, systeemgrenzen en volledigheid te beoordelen. LCA-deskundigheid is nodig om de bijbehorende product- en materiaalgegevens te beoordelen en naar CO₂-impact te vertalen. De technische herkenbaarheid van het product en de toepasbaarheid van de milieudata moeten daarbij gezamenlijk worden beoordeeld.

4.2 Methodiek voor het opbouwen van bruikbare installatiedata

Op basis van de pilot kan de volgende werkwijze worden onderscheiden. Per stap is in tabel 4.1 aangegeven welke informatie minimaal moet worden bepaald of vastgelegd om installatieconcepten op een navolgbare en onderling vergelijkbare wijze te kunnen beoordelen. De stappen vormen samen een keten: een afwijking of onvolledigheid in een vroege stap werkt door in de volgende stappen en kan daarmee ook de uiteindelijke CO₂-vergelijking beïnvloeden.

Tabel 4.1 - Stappen van de methodiek en minimaal benodigde informatie

Stap	Minimaal te bepalen of vast te leggen
1. Uitgangspunten en concepten	Gebouwenmerken, gebruik, functionele en technische eisen, relevante bedrijfstijden en gebruiksprofielen, beschouwingsperiode en functioneel vergelijkbare installatieconcepten volgens FODAR
2. Integrale dimensionering en hoofdhoeveelheden	Capaciteiten, vermogens, debieten, aantallen, lengten, afmetingen, energiegebruik per relevante installatie of component, technische levensduren en vervangingen
3. Systeem- en detailhoeveelheden	Vertaling van hoofdhoeveelheden naar technisch benodigde hoofd- en hulpcomponenten, inclusief relevante aantallen, hoeveelheden en systeemgrenzen
4. Benodigde milieu- en productdata	Voor welke producten, materialen en systeemonderdelen CO ₂ -data nodig zijn en welke technische productinformatie nodig is om deze gegevens correct toe te passen
5. Beoordelen en schaalbaar maken van data	Bron en versie, technisch product of materiaal waarop de waarde betrekking heeft, functionele eenheid, opgenomen onderdelen en systeemgrens, toepassingsbereik en waar mogelijk geschikte reken- of schaalrelaties
6. Berekening en gevoeligheden	A1–A3, B4 en B6, controle op systeemvolledigheid en beoordeling van parameters, onzekerheden en ontbrekende gegevens die de uitkomst of rangorde kunnen beïnvloeden
7. Vastleggen en verfijnen	Gebruikte uitgangspunten, bronnen, rekenrelaties, levensduren, toepassingsgrenzen en onzekerheden zodanig vastleggen dat deze reproduceerbaar kunnen worden hergebruikt en gedurende het ontwerp van grof naar fijn kunnen worden verfijnd

De tabel beschrijft welke soorten informatie nodig zijn; het vereiste detailniveau hangt af van de ontwerpbeslissing. In de vroege ontwerpfase worden eerst de conceptkeuzes en onderdelen uitgewerkt die naar verwachting de grootste invloed hebben. Waar productspecifieke gegevens ontbreken, kunnen onderbouwde referentiewaarden en rekenrelaties worden gebruikt, met vastgelegde bronnen, toepassingsgrenzen en onzekerheden. Wanneer die onzekerheden de conceptkeuze kunnen veranderen, is verdere uitwerking nodig. Dit sluit aan bij het werken met levensduurkosten: eerst de bepalende keuzes vergelijken en vervolgens verfijnen naarmate het ontwerp concreter wordt. Daarmee ondersteunt de methodiek ex-ante ontwerpsturing: vroeg

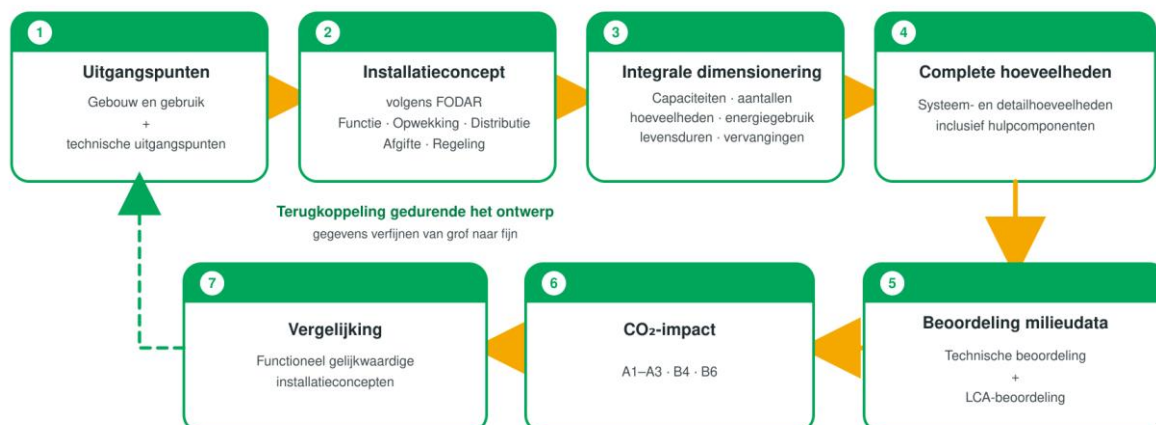
vergelijken met informatie die past bij de ontwerpbeslissing en deze later verfijnen naar een meer productspecifieke ex-post beoordeling/verantwoording. De technische uitgangspunten overlappen, maar de waardering in euro's en CO₂ vraagt om eigen rekenregels.

De eerste twee stappen vormen de technische basis van de vergelijking. De beschikbare informatie van het referentiegebouw bevatte niet alle gegevens die nodig waren om de installaties integraal te bepalen. Met Life Cycle Vision zijn daarom aanvullende uitgangspunten vastgesteld op basis van onder meer wet- en regelgeving, normen, ontwerprichtlijnen en gangbare marktingangspunten. Hiermee ontstaat feitelijk een technisch programma van eisen. Vervolgens zijn de concepten integraal doorgerekend en zijn onder andere capaciteiten, vermogens, aantallen, lucht- en waterhoeveelheden, leiding- en kanaalhoeveelheden, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen bepaald.

Deze stap is essentieel. Een onjuiste capaciteit beïnvloedt bijvoorbeeld niet alleen de keuze en omvang van de opwekker, maar ook distributie, afgifte, aantallen componenten en het energiegebruik. Ook B4 en B6 ontstaan dus al vanuit het technische ontwerp: technische levensduren bepalen het aantal vervangingen en het energiegebruik van de verschillende installaties en componenten bepaalt de operationele impact.

Vervolgens moeten de hoofdhoeveelheden worden vertaald naar de componenten waaruit het systeem daadwerkelijk bestaat. Bij distributie worden bijvoorbeeld leidinglengten en diameters vertaald naar leidingen en aanvullende onderdelen. Bij verlichting zijn de berekende aantallen verder vertaald naar concrete armaturen, schakelaars of detectoren, kabels en hulpmaterialen. Het vereiste detailniveau wordt daarbij bepaald door de ontwerpfase en de invloed van het onderdeel op de vergelijking.

Pas daarna wordt vastgesteld welke milieudata nodig zijn. Deze worden technisch en LCA-inhoudelijk beoordeeld en gekoppeld aan de bepaalde systeemhoeveelheden. Waar voldoende vergelijkbare productgegevens beschikbaar zijn, kunnen relaties worden afgeleid tussen bijvoorbeeld vermogen, capaciteit, diameter of afmeting en CO₂-impact. Daarmee hoeft niet voor iedere ontwerpvariant opnieuw voor elk onderdeel een afzonderlijk product te worden gezocht. Figuur 4.2 vat de beschreven werkwijze schematisch samen en laat zien hoe de verschillende stappen van uitgangspunten en systeemopbouw naar de uiteindelijke CO₂-vergelijking samenhangen.



Figuur 4.2 - Schematische weergave van de methodiek voor het vergelijken van installatieconcepten op CO₂-impact.

4.3 Praktische toepasbaarheid en reproduceerbaarheid

De benodigde inspanning voor het verzamelen, interpreteren, aanvullen en controleren van de gegevens bleek tijdens de pilot aanzienlijk groter dan vooraf was voorzien. Dit is tegelijkertijd een belangrijk onderzoeksresultaat. Door de concepten daadwerkelijk uit te werken is inzicht ontstaan in welke informatie nodig is, op welk detailniveau deze beschikbaar moet zijn en welke gegevens en rekenrelaties in toekomstige projecten kunnen worden hergebruikt.

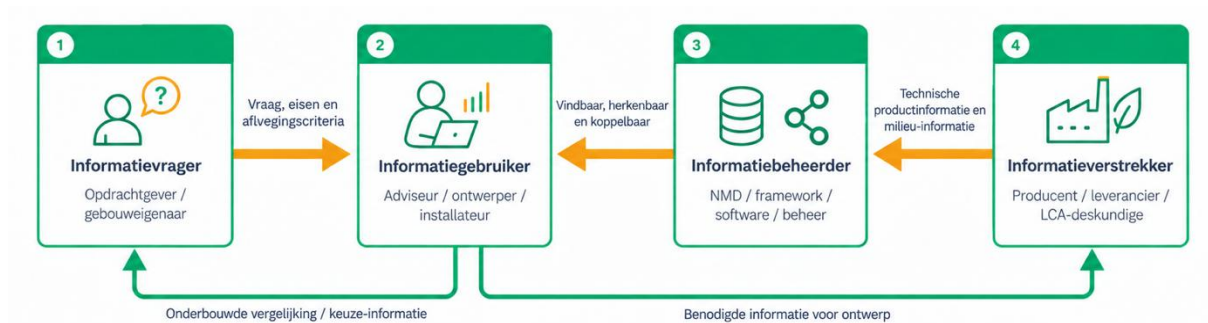
Voor praktische toepassing hoeft niet ieder onderdeel vanaf de eerste ontwerpfase productspecifiek te worden uitgewerkt. Voor distributiesystemen kan in een vroege fase bijvoorbeeld worden gewerkt met representatieve systeemopbouwen waarin naast de leidingen ook isolatie, ophangingen, appendages en hulpstukken zijn opgenomen.

Uit de pilot blijkt dat deze aanvullende onderdelen, afhankelijk van de leidingdiameter, circa 32% tot 54% van de onderzochte materiaalgebonden CO₂-impact per meter kunnen vertegenwoordigen. Een vast toeslagpercentage voor alle diameters en systeemconfiguraties is daarom niet representatief. Diameter- en configuratieafhankelijke rekenrelaties of transparant onderbouwde bandbreedten zijn hiervoor beter geschikt. Onderdelen die de uitkomst of conceptkeuze wezenlijk beïnvloeden, worden nauwkeuriger bepaald. Naarmate het ontwerp vordert, kunnen representatieve waarden worden vervangen door projectspecifieke hoeveelheden en producten. De technische uitwerking van dit voorbeeld is opgenomen in paragraaf 4.1 en bijlage H.

Reproduceerbaarheid vraagt daarbij meer dan het gebruik van hetzelfde rekeninstrument. Voor vergelijking tussen verschillende ontwerpvarianten of aanbieders zijn gezamenlijke afspraken nodig over functionele prestaties, gebruik, systeemgrenzen, dimensioneringsregels, levensduren en de toepassing van data. Conceptspecifieke verschillen moeten herkenbaar blijven; verschillen die alleen ontstaan door uiteenlopende rekenafspraken moeten zoveel mogelijk worden beperkt. Transparante vastlegging maakt een berekening controleerbaar, maar maakt afzonderlijk uitgewerkte varianten of aanbiedingen nog niet automatisch vergelijkbaar. Of verschillende partijen met gezamenlijke afspraken tot een voldoende vergelijkbare beoordeling komen, moet in vervolgtoeepassingen worden getoetst.

De inspanning in deze pilot maakt daarnaast duidelijk dat het opnieuw verzamelen en beoordelen van alle technische en milieudata per ontwerpvariant bredere toepassing belemmert. Voor herhaalbare toepassing is daarom een gezamenlijke informatiebasis nodig waarin onderliggende gegevens, systeemopbouwen, levensduren, rekenrelaties en gebruikte uitgangspunten volgens vaste afspraken kunnen worden vastgelegd, beoordeeld en opnieuw gebruikt. Daarmee kan een volgende toepassing voortbouwen op eerdere uitwerkingen in plaats van hetzelfde uitzoekwerk opnieuw uit te voeren.

Deze informatie komt niet bij één partij vandaan en wordt ook niet door één partij gebruikt. Voor de toepassing van de methodiek kunnen daarom vier functionele rollen worden onderscheiden. De informatievraager bepaalt de vraag, eisen en afwegingscriteria. De informatiegebruiker past de beschikbare informatie toe in de conceptvergelijking. De informatiebeheerder zorgt ervoor dat deze informatie herkenbaar, vindbaar, koppelbaar en beheersbaar beschikbaar is. De informatieverstrekker levert de benodigde technische productinformatie en milieu-informatie. Figuur 4.3 geeft deze rollen en informatiestromen schematisch weer.



Figuur 4.3 – Rollen en informatie-uitwisseling in de keten voor het vergelijken van installatieconcepten op CO₂-impact.

De informatie-uitwisseling verloopt daarbij niet uitsluitend in één richting. De informatiegebruiker vertaalt de vraag van de informatievragers naar een technisch bruikbare vergelijking en koppelt de resultaten terug. Tegelijkertijd wordt bij de toepassing zichtbaar welke informatie ontbreekt, onvoldoende herkenbaar is of niet goed kan worden toegepast. Deze terugkoppeling is nodig om de informatiebasis en de wijze van ontsluiting verder te verbeteren. Dit vraagt ook afspraken over beheer, toegang, gebruiksrechten, actualisatie en bescherming van project- en bedrijfsinformatie. De inrichting en verdeling van deze verantwoordelijkheden vallen buiten deze pilot.

De verdere technische onderbouwing van de databronnen, systeemopbouw, onzekerheden en distributieberekeningen is opgenomen in de bijlagen D, F, G en H. Hoofdstuk 5 beschrijft welke consequenties deze methodiek en de bijbehorende informatieketen hebben voor opdrachtgevers, de installatiesector en de verdere ontwikkeling en ontsluiting van milieudata.

5. Betekenis voor praktijk en beleid

De pilot heeft een methodiek voor het vergelijken van installatieconcepten op CO₂-impact beproefd. De uitvoering vroeg veel aanvullende technische uitwerking, dataverzameling, interpretatie en controle. Voor deze vergelijkingen zijn gezamenlijke rekenafspraken en technisch bruikbare, herbruikbare gegevens nog onvoldoende beschikbaar. Daardoor moeten partijen veel van dit werk zelf uitvoeren. Het telkens opnieuw uitvoeren van dit zoekwerk maakt toepassing voor iedere ontwerpvariant te arbeidsintensief en tijdrovend.

Voor bredere toepassing is daarom een gezamenlijke basis nodig van eenduidige technische uitgangspunten, systeemgrenzen, rekenregels en herbruikbare gegevens. De in paragraaf 4.3 onderscheiden rollen van informatievragers, informatiegebruikers, informatiebeheerder en informatieverstrekker maken zichtbaar dat deze basis alleen in samenhang tussen de betrokken partijen kan functioneren. Dit hoofdstuk beschrijft wat dit vraagt van opdrachtgevers, de installatiesector en de partijen die technische informatie en milieudata verstrekken, beheren en ontsluiten.

5.1 Rijksvastgoedbedrijf en opdrachtgevers

Voor het Rijksvastgoedbedrijf en andere opdrachtgevers biedt de methodiek een basis om CO₂ eerder mee te nemen bij variantenstudies en ontwerpbeslissingen. Installatieconcepten moeten daarbij als samenhangend systeem worden beoordeeld volgens FODAR (Functie, Opwekking, Distributie, Afgifte en Regeling). Ook de bouwkundige keuzes die de dimensionering en het energiegebruik van installaties beïnvloeden, moeten in de vergelijking worden betrokken.

Bouwkundige uitgangspunten beïnvloeden immers de benodigde verwarmings- en koelcapaciteiten, de omvang van installaties en het energiegebruik tijdens de gebruiksfase. Keuzes die vroeg in het ontwerp worden gemaakt, zoals oriëntatie, glaspercentage en zonwering, kunnen daardoor doorwerken in zowel het installatieconcept als de CO₂-impact daarvan. De pilot heeft deze bouwkundige varianten niet afzonderlijk onderzocht. Het grote aandeel van energiegebruik binnen de onderzochte systeemgrenzen onderstreept het belang van ontwerpkeuzes die het energiegebruik beïnvloeden.

Juist deze afweging moet op conceptniveau kunnen plaatsvinden. Het is praktisch niet uitvoerbaar om voor meerdere ontwerpvarianten eerst het volledige bouwkundige en installatietechnische ontwerp tot detailniveau uit te werken. Daarvoor is te veel detailengineering en productinformatie nodig, terwijl belangrijke ontwerpkeuzes dan al zijn gemaakt. De in hoofdstuk 4 beschreven werkwijze van grof naar fijn biedt hiervoor een richting: eerst de bepalende keuzes vergelijken met onderbouwde referentiewaarden en rekenrelaties, en verder detailleren wanneer onzekerheden de ontwerpbeslissing kunnen beïnvloeden. Of deze aanpak met voldoende betrouwbaarheid en een aanvaardbare inspanning kan worden toegepast, moet in vervolgprojecten worden getoetst.

Het Rijksvastgoedbedrijf stelt al eisen aan de materiaalgebonden CO₂-impact van het gehele gebouw. De opdrachtnemer moet volgens de daarvoor geldende rekenafspraken aantonen dat het gebouw aan deze eisen voldoet. Dit moet worden onderscheiden van het vergelijken van installatieconcepten tijdens het ontwerp en van het beoordelen van aanbiedingen op basis van een gunningscriterium. Deze pilot onderzoekt welke technische uitwerking en gegevens nodig zijn voor de conceptvergelijking. De methodiek vervangt daarmee niet de voorgeschreven berekening voor het aantonen van de bouwprestatie.

Een betrouwbare vergelijking is alleen mogelijk wanneer varianten vanuit dezelfde functionele en technische basis worden beoordeeld. Dit is met name van belang wanneer CO₂-prestaties onderdeel worden van een uitvraag of aanbesteding. Een lage berekende waarde kan het gevolg

zijn van een beter ontwerp, maar ook van een kleinere systeemgrens, ontbrekende onderdelen, andere gebruiksuitgangspunten of afwijkende brondata.

De pilot richt zich op het vergelijken van installatieconcepten om vroeg in het ontwerp keuzes te kunnen maken. Daarvoor zijn technisch representatieve gegevens en transparante, onderling consistente rekenafspraken nodig. Deze werkwijze kan worden ontwikkeld en beproefd terwijl de formele WLC-GWP-systematiek verder wordt uitgewerkt. De aansluiting tussen beide toepassingen is relevant voor verdere ontwikkeling, maar een volledige toets aan de WLC-GWP-systematiek maakte geen onderdeel uit van deze pilot.

Voor de ontwerpvergelijking zijn afspraken nodig over:

- systeemgrenzen en mee te nemen bouwkundige en installatietechnische onderdelen;
- dimensionering en bepaling van capaciteiten, aantallen en hoeveelheden;
- technische levensduren en vervangingen;
- databronnen, rekenrelaties en omgang met ontbrekende gegevens;
- energiescenario's en emissiefactoren voor B6;
- controle van systeemvolledigheid en resultaten.

De methodiek biedt daarmee een inhoudelijke basis voor integrale variantenstudies en ontwerpsturing. Met de huidige gegevensvoorziening vraagt toepassing echter nog veel projectspecifieke dataverzameling, interpretatie en controle. Voor brede toepassing en voor gebruik als zelfstandig of zwaarwegend gunningscriterium zijn verdere standaardisatie van de gegevensbasis en duidelijke beoordelingsregels nodig. Anders bestaat het risico dat verschillen in afbakening en informatie worden beloond in plaats van een aantoonbaar beter ontwerp.

Opdrachtgevers kunnen gezamenlijk het initiatief nemen om deze vergelijkingsbasis met de betrokken ketenpartijen te ontwikkelen en in projecten te beproeven. Een eerste stap is een beperkte toepassing met duidelijke functionele eisen, gezamenlijke rekenafspraken en vastlegging van de gebruikte gegevens en resultaten. Daarmee kan worden onderzocht welke informatie herbruikbaar is, welke kennis ontbreekt en welke inspanning een volgende toepassing vraagt. Het doel is stapsgewijs een bruikbare ontwerpaanpak op te bouwen. Een uitgewerkte en getoetste gunningssystematiek is een afzonderlijke vervolgstap.

5.2 Techniek Nederland en de installatiesector

Het praktisch en schaalbaar toepasbaar maken van de methodiek vraagt samenwerking. Installateurs en adviseurs kennen de systeemopbouw, dimensionering en hoeveelheden. Fabrikanten en leveranciers beschikken over technische productinformatie. LCA-deskundigen beoordelen en verwerken de milieudata. Deze kennis moet worden verbonden om tot bruikbare conceptvergelijkingen te komen.

Het is niet realistisch om deze informatie voor iedere ontwerpvariant opnieuw volledig te verzamelen, interpreteren en beoordelen. Het initiatief voor de keuze en praktische ondersteuning van een gezamenlijke methodiek hoort bij opdrachtgevers en, waar nodig, de overheid. De installatiesector kan hieraan bijdragen met generieke installatiekundige kennis over systeemgrenzen, hoofd- en hulpcomponenten, dimensionerings- en hoeveelheidsregels, technische levensduren en relaties tussen capaciteit, afmeting, materiaalgebruik en CO₂-impact.

Het doel is daarbij niet om vaste hoeveelheden per vierkante meter voor te schrijven. De pilot laat juist zien dat hoeveelheden afhangen van gebouw, gebruik, systeemkeuze en dimensionering.

Generieke kennis moet daarom worden gebruikt om vanuit projectspecifieke hoofdhoeveelheden op een reproduceerbare wijze de bijbehorende systeem- en detailhoeveelheden af te leiden.

De methodiek hoeft niet voor ieder onderdeel op hetzelfde detailniveau te worden toegepast. De werktuigbouwkundige installaties zijn in de pilot op representatief concept- en systeemniveau uitgewerkt, terwijl de verlichting door een installateur tot component- en artikelniveau is bepaald. Beide benaderingen passen binnen dezelfde methodiek en laten zien dat dezelfde hoofdwerkwijze met verschillende detailniveaus kan worden toegepast.

Bij verdere ontwikkeling is het belangrijk verschillende soorten ontbrekende informatie te onderscheiden. Het kan gaan om ontbrekende milieudata, onvoldoende technische productinformatie, een onduidelijke systeemgrens, ontbrekende hulpcomponenten, ontbrekende ontwerpgegevens of een ontbrekende schaalrelatie. Deze problemen vragen verschillende oplossingen. Een transparante standaardwaarde of bandbreedte kan bijvoorbeeld tijdelijk bruikbaar zijn voor een minder bepalend onderdeel; een technisch noodzakelijk onderdeel volledig weglaten is iets anders.

Herbruikbare materiaal- en productgegevens hebben ook waarde buiten de ontwerpvergelijking, bijvoorbeeld voor bedrijfs- en ketenrapportages, waaronder waar van toepassing de CSRD-rapportage. Die toepassingen kennen eigen afbakeningen en rekenregels. Ook voor onderdelen zonder eigen energiegebruik, zoals leidingen, isolatie en ophangingen, zijn materiaalgegevens nodig om de impact van productie en vervangingen te bepalen. Het grote energieaandeel in de onderzochte concepten maakt het daarom niet minder nodig om materiaalgegevens beschikbaar en bruikbaar te maken.

Techniek Nederland kan bijdragen door installatiekundige kennis en praktijkervaring bijeen te brengen en de toepasbaarheid met haar leden te toetsen. FME en betrokken brancheverenigingen kunnen de inbreng van fabrikanten en leveranciers ondersteunen, waaronder technische productinformatie en milieudata. Installateurs, adviseurs en LCA-deskundigen verbinden deze informatie aan bruikbare conceptvergelijkingen. Wie de gezamenlijke gegevensbasis beheert, de kwaliteit borgt en de verdere ontwikkeling organiseert, moet afzonderlijk worden afgesproken. Deze verantwoordelijkheden liggen niet vanzelfsprekend bij Techniek Nederland.

5.3 NMD, MPG en toekomstige WLC-GWP-systematiek

Bruikbaarheid en toegankelijkheid van gegevens

De pilot laat zien dat verdere ontwikkeling van installatiedata meer vraagt dan alleen het beschikbaar maken van extra milieuverklaringen. Om een milieuwaarde binnen een installatieconcept toe te passen moet ook duidelijk zijn op welk technisch product deze betrekking heeft, welke onderdelen zijn inbegrepen, welke functionele eenheid geldt en voor welke capaciteit of configuratie de waarde representatief is.

De bruikbaarheid van de geraadpleegde milieudata verschilde per bron. Verschillende PEP- en EPD-documenten konden rechtstreeks of na bewerking worden toegepast. De binnen deze pilot geraadpleegde NMD-gegevens zijn niet als directe rekenbron gebruikt, omdat voor deze analyse onvoldoende technische informatie beschikbaar was om onder meer materiaalsamenstelling, opgenomen onderdelen, configuratie en afbakening voldoende te beoordelen. Dit betreft de voor deze pilot geraadpleegde gegevens en is geen algemene beoordeling van de NMD.

Een conceptvergelijking combineert milieudata van producten met technische systeemkennis en projectspecifieke ontwerpgegevens. De benodigde hoeveelheden en systeemconfiguraties worden vanuit het ontwerp bepaald. Deze gegevens hoeven niet allemaal in de NMD te worden

opgeslagen, mits de milieudata en de technische informatie die nodig is voor een juiste toepassing eenduidig met elkaar verbonden zijn.

Wel zijn gemeenschappelijke definities, herkenbare product- en systeemkoppelingen en afspraken over kwaliteit en versiebeheer nodig. Daarmee moeten gegevens via verschillende gangbare kanalen en rekeninstrumenten bruikbaar kunnen worden ontsloten. Een gebruiker moet kunnen vaststellen wat een milieuwaarde vertegenwoordigt, welke onderdelen zijn inbegrepen en binnen welk toepassingsgebied deze kan worden gebruikt. Daarbij moeten toegangs- en gebruiksrechten duidelijk zijn; hergebruik betekent niet dat vertrouwelijke projectgegevens openbaar moeten worden.

Voor de MPG zijn naast de milieuwaarde ook de meegenomen onderdelen, hoeveelheden, technische levensduren en vervangingen van belang. Bij WLC-GWP wordt daarnaast ook het gereguleerde gebouwgebonden energiegebruik tijdens de gebruiksfase beoordeeld. Materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik moeten daarom vanuit dezelfde technische ontwerputgangspunten worden bepaald.

Bij de beoordeling van MPG-uitkomsten moet onderscheid worden gemaakt tussen drie mogelijke knelpunten:

- Milieudata ontbreken of zijn onvoldoende toepasbaar op het onderzochte product of concept.
- Vaste rekenregels of standaardwaarden sluiten niet altijd aan op de projectspecifieke situatie.
- Technisch relevante onderdelen of effecten vallen buiten de afbakening van de berekening.

Deze knelpunten vragen verschillende oplossingen. Meer productgegevens toevoegen lost bijvoorbeeld geen beperking in de rekenregels op. Bijlage I werkt dit onderscheid nader uit.

Digitale beschikbaarheid en uitwisseling van milieudata kunnen dit proces ondersteunen, maar zijn op zichzelf niet voldoende. De gegevens moeten technisch herkenbaar, goed afgebakend en koppelbaar zijn aan capaciteit, configuratie en systeemopbouw. Snellere digitale uitwisseling van technisch onvoldoende herkenbare informatie lost het probleem van volledigheid en vergelijkbaarheid niet op.

Stapsgewijs ontwikkelen en toepassen

Voor verdere ontwikkeling kan het Framework Installaties uit 2022, dat de ordening en modellering van bouwwerkinstallaties binnen de NMD beschrijft, dienen als basis voor een modulaire gegevensstructuur. Deze structuur verbindt technische productinformatie, installatiekundige concept- en systeemkennis, milieudata, technische levensduren en rekenrelaties. De opbouw begint volgens FODAR bij de gevraagde functie. Van daaruit worden mogelijke installatieconcepten modulair opgebouwd uit opwekking, distributie, afgifte en regeling, met daarin representatieve configuraties, hoofd- en hulpcomponenten en producten. Per module moet duidelijk zijn welke onderdelen zijn opgenomen, voor welke toepassing en capaciteit de informatie representatief is en welke standaardwaarden, bandbreedtes en reken- en schaalrelaties zijn gebruikt.

Bij de koppeling van milieuverklaringen aan systeemmodules moet worden vastgesteld welke hoofd- en hulpcomponenten al in de milieuwaarden zijn opgenomen en welke afzonderlijk moeten worden toegevoegd. Onduidelijkheden in deze afbakening moeten zichtbaar blijven.

Begin met de meest toegepaste concepten en producten en geef prioriteit aan keuzes met de grootste CO₂-impact of invloed op de conceptkeuze. In de vroege ontwerpfase kunnen onderbouwde referentieconfiguraties, standaardwaarden en bandbreedtes worden gebruikt. De modules en rekenrelaties moeten een duidelijk technisch toepassingsbereik hebben. Vanuit de

gebouw- en gebruiksuitgangspunten worden passende modules geselecteerd, samengevoegd en gedimensioneerd. Daarbij moet worden beoordeeld of de moduleopbouw en gebruikte rekenrelaties passen bij de benodigde uitvoering en capaciteit.

Ontbrekende gegevens mogen niet zonder onderbouwing tot een gunstiger berekende impact leiden. Naarmate het ontwerp en de gegevensbeschikbaarheid vorderen, kunnen deze worden vervangen door projectspecifieke capaciteiten, hoeveelheden, configuraties en producten. Zo kan de gegevensbasis stapsgewijs van grof naar fijn worden uitgebreid en bijgewerkt, terwijl zichtbaar blijft welke gevolgen iedere concept-, configuratie- of productkeuze heeft voor materiaalgebruik, vervangingen en CO₂-impact.

Voor het energiegebruik tijdens de gebruiksfase (B6) kunnen de rekenmethode, prestatieparameters en scenario's worden gestandaardiseerd, maar niet de uitkomst als vaste product- of systeemwaarde. Het energiegebruik wordt bepaald door het gebouw, het gebruik, het installatieconcept, de dimensionering en de regeling en moet daarom projectspecifiek worden bepaald.

Een mogelijk vervolg is om de praktische werkwijze voor vroege ontwerpsturing parallel aan de verdere ontwikkeling van NMD, MPG en WLC-GWP te ontwikkelen en in projecten te toetsen. Hiervoor hoeft niet te worden gewacht op een volledige aanpassing van deze systemen. Bij vroege ontwerpsturing worden alternatieven vergeleken met gegevens die passen bij de ontwerpbeslissing. Voor formele berekeningen en rapportages gelden de gegevensvereisten en rekenregels van de betreffende toepassing. Door gemeenschappelijke definities en herkenbare gegevenskoppelingen te gebruiken, kan worden toegewerkt naar hergebruik tussen deze toepassingen. De inrichting en taakverdeling van dit vervolg moeten afzonderlijk worden afgesproken.

Wettelijke aanleiding en praktische uitvoerbaarheid

De invoering van WLC-GWP geeft een concrete aanleiding om ook de praktische ontwerpsturing op CO₂-impact verder te ontwikkelen. Uiterlijk 1 januari 2027 wordt een Nederlandse routekaart opgesteld waarin wordt aangegeven hoe de broeikasgasemissies van nieuwe gebouwen stapsgewijs worden teruggebracht en welke grens- en streefwaarden richting 2050 worden voorzien. Vanaf 2028 moet voor nieuwe gebouwen met een gebruiksoppervlakte groter dan 1.000 m² een WLC-GWP-berekening worden opgesteld en op het energielabel worden vermeld. Vanaf 2030 gelden WLC-GWP-eisen voor nieuwe gebouwen waarvoor een energielabel verplicht is.

Juist bij installaties is deze ontwikkeling relevant. De keuze van een installatieconcept werkt door in zowel de materiaalgebonden impact van de toegepaste installatieonderdelen en vervangingen als in het gebouwgebonden energiegebruik tijdens de gebruiksfase. Daarmee kunnen installaties via beide onderdelen invloed hebben op de WLC-GWP van een gebouw. De omvang van die invloed is projectspecifiek en hangt onder meer af van het gebouw, het gebruik, de gekozen installatieconcepten en de gehanteerde systeemgrenzen.

Een WLC-GWP-berekening op gebouwniveau maakt echter niet vanzelf inzichtelijk welke installatiekeuze in een vroege ontwerpfase passend is. Daarvoor moeten alternatieven technisch vergelijkbaar worden opgebouwd en moeten systeemopbouw, dimensionering, materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik in samenhang worden beoordeeld. De toegevoegde waarde van deze pilot ligt juist in die stap: het onderzoeken welke informatie en werkwijze nodig zijn om installatieconcepten al tijdens het ontwerp op CO₂-impact te vergelijken en daarmee gericht te kunnen sturen.

Wanneer hiervoor geen technisch samenhangende en herbruikbare gegevensbasis beschikbaar is, blijft voor iedere ontwerpvergelijking veel projectspecifieke dataverzameling, interpretatie en

bewerking nodig. Dit vergroot de uitvoeringslast en het risico dat uitkomsten worden beïnvloed door verschillen in afbakening, gegevenskwaliteit of aannames in plaats van door werkelijke verschillen tussen installatieconcepten.

De nadere relatie met NMD, MPG, WLC-GWP, digitale gegevensuitwisseling en relevante externe onderzoeken wordt uitgewerkt in bijlage I.

6. Conclusies en aanbevelingen

De pilot onderzocht of opdrachtgevers, adviseurs en installateurs al in de vroege ontwerpfase onderbouwd kunnen kiezen tussen installatieconcepten op basis van CO₂-impact. Daarvoor zijn geselecteerde werktuigbouwkundige en elektrotechnische concepten voor hetzelfde referentiegebouw over een periode van 50 jaar uitgewerkt en vergeleken op productie, vervangingen en energiegebruik. De berekende verschillen laten zien dat de keuze tussen installatieconcepten substantieel kan doorwerken in de CO₂-impact. De belangrijkste bredere opbrengst van de pilot is inzicht in hoe zo'n vergelijking moet worden opgebouwd, welke informatie daarvoor nodig is en wat nog moet worden ontwikkeld om deze werkwijze eenvoudig en herhaalbaar in projecten te kunnen toepassen.

6.1 Hoofdconclusies

1. Installatieconcepten kunnen al vroeg op CO₂-impact worden vergeleken

De pilot laat zien dat verschillende installatieconcepten voor hetzelfde gebouw op een navolgbare manier kunnen worden vergeleken. Voorwaarde is dat zij dezelfde functie en prestaties leveren en vanuit dezelfde uitgangspunten voor gebouw en gebruik worden beoordeeld.

De vergelijking begint bij de gevraagde Functie. Vervolgens wordt het installatieconcept volgens FODAR opgebouwd uit Opwekking, Distributie, Afgifte en Regeling. Per onderdeel wordt bepaald welke technische oplossing, capaciteit en hoeveelheid nodig is. Deze worden gekoppeld aan materiaalgebruik, technische levensduur, vervangingen en energiegebruik. Zo kunnen productie, vervangingen en energiegebruik vanuit dezelfde technische basis worden beoordeeld.

Dat deze vergelijking ertoe doet, blijkt uit de berekende verschillen. Binnen de gekozen scope lag de totale CO₂-impact van W2 over 50 jaar circa 80% hoger dan die van W1. Bij de verlichtingsconcepten lag de berekende impact van E1 circa 30% hoger dan die van E2. De aanpak werkt inhoudelijk, maar vergde in deze pilot nog veel extra uitzoek-, controle- en rekenwerk. De resultaten zijn gebonden aan het onderzochte gebouw, de gekozen concepten en de gehanteerde uitgangspunten en vormen daarom geen algemene rangorde van installatieconcepten.

2. Een vroege keuze vraagt samenhangende informatie op het juiste detailniveau

Voor een goede keuze in het schets- en voorlopig ontwerp hoeft nog niet ieder afzonderlijk product of hulpstuk bekend te zijn. Wel moeten de onderdelen en verschillen worden meegenomen die de conceptkeuze kunnen beïnvloeden. Gebouw en gebruiksprofiel, prestaties, systeemopbouw, capaciteit, hoeveelheden, levensduur, materiaalgebruik en energiegebruik moeten daarbij vanuit dezelfde uitgangspunten worden bepaald.

De vergelijking kan van grof naar fijn worden opgebouwd. In een vroege fase kan worden gewerkt met representatieve waarden en transparante reken- en schaalrelaties; later worden deze vervangen door specifiekere hoeveelheden en producten. Net als bij een kostenraming moet het detailniveau passen bij de beslissing die op dat moment wordt genomen. Vereenvoudigingen mogen de keuze tussen concepten niet ongemerkt veranderen.

Materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik moeten samen worden beoordeeld. Binnen de onderzochte scope was energiegebruik de grootste bijdrage, maar materiaal en vervangingen blijven relevant en worden bij gelijkblijvende overige omstandigheden relatief belangrijker wanneer de CO₂-impact van de energievoorziening afneemt. Ook gebouwschil en gebruik beïnvloeden de benodigde installaties en het energiegebruik. De pilot geeft daarom geen

generieke CO₂-verdeling van het gebouw; de resultaten gelden binnen de onderzochte scope en uitgangspunten.

3. De beschikbare technische informatie en milieudata sluiten nog onvoldoende op elkaar aan

Een belangrijk knelpunt bleek niet de berekening zelf, maar het verkrijgen van gegevens die technisch voldoende duidelijk en bruikbaar zijn voor de vergelijking.

Voor een milieuwaarde moet duidelijk zijn op welk product deze betrekking heeft, welke uitvoering en capaciteit worden bedoeld, welke onderdelen zijn inbegrepen en waar de grens van de berekende waarde ligt. Bij de voor deze pilot geraadpleegde gegevens uit de Nationale Milieudatabase (NMD) kon dit voor de onderzochte toepassingen onvoldoende worden vastgesteld. Daarom waren andere bronnen, technische productinformatie en aanvullende bewerkingen nodig. Deze bevinding geldt voor de in deze pilot geraadpleegde gegevens en is geen algemene beoordeling van de gehele NMD.

Alleen meer milieuverklaringen beschikbaar maken lost dit probleem niet op. Technische informatie en milieudata moeten zo met elkaar verbonden zijn dat duidelijk is wat een waarde voorstelt en hoe deze binnen een installatieconcept kan worden gebruikt. Ook moet bekend zijn welke aanvullende hoofd- en hulpcomponenten nodig zijn om het systeem technisch compleet te maken.

4. Praktische toepassing vraagt modulaire en schaalbare bouwstenen, hergebruik en toetsing in projecten

Het is niet werkbaar om het uitzoekwerk uit deze pilot in ieder project opnieuw te doen. Voor bredere toepassing moeten technische kennis, rekenrelaties en milieugegevens daarom herbruikbaar worden gemaakt.

Een modulaire en schaalbare opbouw volgens FODAR biedt hiervoor een basis. Complete installatieconcepten hoeven niet als vaste varianten te worden vastgelegd. In plaats daarvan worden herbruikbare bouwstenen gecombineerd en waar nodig omgerekend naar de benodigde capaciteit en uitvoering. Het detailniveau groeit mee met het ontwerp: eerst de bepalende onderdelen voor de conceptkeuze, later de verdere detaillering.

Daarvoor zijn gezamenlijke afspraken nodig over prestaties, systeemgrenzen, uitgangspunten, kwaliteit, beheer en actualisatie. De aanpak moet vervolgens in projecten door verschillende gebruikers worden getoetst op eenvoud, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid.

6.2 Aanbevelingen en vervolgstappen

De conclusies leiden tot twee samenhangende sporen. Het eerste spoor richt zich op de inhoud en schaalbaarheid van de werkwijze; het tweede op de organisatie en toepassing. De voorgestelde volgorde is: kies een eerste toepassing, leg de vergelijkingsbasis vast, maak kennis en gegevens herbruikbaar en toets de aanpak in projecten. Breid daarna stapsgewijs uit.

Spoor 1 – Inhoud en schaalbaarheid

1. Werk eerst één concrete toepassing goed uit

Begin met een afgebakende installatie, functie of module die relevant is voor de CO₂-impact en voldoende overzichtelijk is om de werkwijze goed te kunnen toetsen. Het doel is niet om direct alle

installaties volledig uit te werken, maar eerst te bepalen of verschillende gebruikers met dezelfde uitgangspunten tot een vergelijkbare ontwerpafweging kunnen komen.

Leg voor deze eerste toepassing gezamenlijk vast welke functie en prestaties moeten worden geleverd, welke onderdelen bepalend zijn voor de conceptkeuze, welke systeemgrenzen gelden en hoe capaciteit, aantallen en hoeveelheden worden bepaald. Leg ook vast welke uitgangspunten worden gebruikt voor het gebruik van het gebouw, levensduur, vervangingen, materiaalgebruik en energiegebruik. Werk daarbij van grof naar fijn. In het schets- en voorlopig ontwerp hoeven nog niet alle producten en hulpstukken bekend te zijn. Begin met de hoofdcomponenten en andere onderdelen die de keuze tussen concepten daadwerkelijk kunnen beïnvloeden. Naarmate het ontwerp verder wordt uitgewerkt, kan de vergelijking worden verfijnd met specifiekere hoeveelheden en producten. De nauwkeurigheid moet, net als bij een kostenraming, passen bij de beslissing die op dat moment wordt genomen. Maak daarbij aannames, onzekerheden en ontbrekende gegevens zichtbaar. Dat in deze fase alleen de bepalende onderdelen worden uitgewerkt, betekent niet dat de overige onderdelen onbelangrijk zijn; deze kunnen later nodig zijn voor een completere beoordeling.

2. Maak modules en gegevens herbruikbaar en schaalbaar

Bouw voort op de modulaire werkwijze volgens FODAR. Leg complete installatieconcepten niet als vaste varianten vast, maar maak componenten, onderdelen en rekenrelaties herbruikbaar, zodat daarmee projectspecifieke concepten kunnen worden samengesteld. Leg per bouwsteen vast wat is opgenomen, voor welke toepassing en capaciteit de gegevens gelden, welke materiaal- en milieugegevens zijn gebruikt, welke levensduur wordt gehanteerd en hoe naar andere capaciteiten of afmetingen kan worden geschaald. Ontsluit deze informatie via gangbare gegevenskanalen en rekeninstrumenten; schrijf geen exclusieve database of software voor.

Spoor 2 – Organisatie en toepassing

3. Laat opdrachtgevers het initiatief nemen en organiseer de bijdrage van de keten

Het Rijksvastgoedbedrijf kan samen met andere opdrachtgevers een eerste toepassing kiezen en de verdere uitwerking met de keten organiseren. Daarbij moeten een trekker, mandaat, capaciteit en middelen worden geregeld; wie deze rol vervult en hoe deze wordt gefinancierd, is binnen de pilot niet vastgesteld.

Iedere partij draagt vanuit de eigen rol bij: opdrachtgevers formuleren de vraag en leveren praktijkprojecten, installateurs en adviseurs de ontwerp- en systeemkennis en producenten en leveranciers de product- en milieugegevens. Brancheorganisaties zoals Techniek Nederland en FME/Fedet kunnen de inbreng van hun achterban organiseren en de praktische werkbaarheid mede toetsen; milieudeskundigen en ontwikkelaars van rekeninstrumenten ondersteunen de verwerking en toetsing. De ontwerpgerichte werkwijze hoeft niet binnen de NMD te worden ontwikkeld of te wachten op aanpassingen van formele rekenmethoden. Waar mogelijk moeten definities en gegevens wel aansluiten op NMD, MPG en WLC-GWP, zodat informatie kan worden hergebruikt. De praktijkervaring uit vervolgprojecten kan door VRO, Stichting NMD en ontwikkelaars van rekeninstrumenten worden benut om deze aansluiting verder te verbeteren.

4. Toets de aanpak in projecten en breid daarna stapsgewijs uit

Toets de eerste toepassing in echte projecten en laat waar mogelijk verschillende gebruikers met dezelfde uitgangspunten werken. Beoordeel of zij tot vergelijkbare resultaten komen, hoeveel extra inspanning nodig is en of systeemgrenzen, rekenrelaties en schaalregels in de praktijk

duidelijk en bruikbaar zijn. Controleer ook of aannames of vereenvoudigingen de uiteindelijke conceptkeuze kunnen veranderen.

Verbeter de aanpak eerst op basis van deze praktijkervaring. Gebruik de praktijktoets om vast te stellen waar de aanpak betrouwbaar kan worden toegepast en waar nog verdere uitwerking nodig is. Breid deze daarna stapsgewijs uit naar andere installaties en gebouwtypen. Leg daarbij ook vast hoe de herbruikbare kennis en gegevens worden beheerd, gecontroleerd, geactualiseerd en van een versie worden voorzien.

Zo ontstaat een groeipad waarbij niet wordt gewacht op volledige en perfecte gegevens voor alle installaties, maar waarbij de werkwijze stap voor stap wordt opgebouwd vanuit toepassingen die in de praktijk aantoonbaar werken.

De pilot biedt daarmee nog geen algemeen gevalideerde basis voor het rangschikken van inschrijvers voor installaties op basis van een CO₂-score of voor een zelfstandig gunningscriterium, ook niet wanneer alleen de materiaalgebonden CO₂-impact wordt beoordeeld. Daarvoor moeten de vergelijkingsbasis, systeemgrenzen, gegevens en beoordelingsregels eerst verder worden uitgewerkt en in projecten worden getoetst.

Bijlagen

Bijlage A. Opdracht, projectorganisatie en scope

Deze bijlage beschrijft de oorspronkelijke opdracht, de betrokken partijen en de afbakening van de pilot. Daarnaast wordt samengevat welke resultaten en aanvullende inzichten de uitvoering heeft opgeleverd ten opzichte van de oorspronkelijke onderzoeksopzet.

A.1 Opdracht en beoogde resultaten

Het pilotproject 'Methodiek voor het sturen op CO₂-impact van installaties in de ontwerpfase' is uitgevoerd voor het Rijksvastgoedbedrijf en Techniek Nederland, in samenwerking met FME, betrokken installatiebedrijven en TU Delft. De formele opdracht is verstrekt door het Rijksvastgoedbedrijf. Techniek Nederland was betrokken vanuit branche- en beleidsperspectief en leverde een inhoudelijke en financiële bijdrage aan de uitvoering van de pilot.

Doel van de pilot is het toetsen van een methodiek waarmee de CO₂-impact van installatieconcepten op conceptniveau inzichtelijk en onderling vergelijkbaar kan worden gemaakt. Uitgangspunt daarbij is dat installaties als samenhangende systemen worden beschouwd volgens FODAR: functie, opwekking, distributie, afgifte en regeling.

De oorspronkelijke opdracht richt zich op:

- vergelijking van geselecteerde installatieconcepten voor A1–A3, vervangingen in B4 en energiegebruik in B6;
- inzicht in aannames, systeemgrenzen, schalingsregels en datalacunes;
- analyse van relevante varianten en gevoeligheden;
- ontwikkeling van bruikbare waarden en rekenrelaties op systeemniveau;
- het vastleggen van bevindingen, leerpunten en voorwaarden voor bredere toepassing.

De pilot is daarmee niet alleen gericht op de uitkomst van enkele conceptvergelijkingen, maar ook op de vraag welke informatie en werkwijze nodig zijn om dergelijke vergelijkingen in toekomstige projecten sneller en reproduceerbaar te kunnen uitvoeren.

A.2 Projectorganisatie

De pilot is uitgevoerd als gezamenlijk project waarin opdrachtgeversperspectief, branchekennis, installatiekundige praktijkkennis en inhoudelijke deskundigheid zijn samengebracht. De belangrijkste rollen en bijdragen zijn weergegeven in tabel A.1.

Tabel A.1 - Projectorganisatie en bijdragen

Partij	Betrokken medewerker(s)	Rol en bijdrage
Rijksvastgoedbedrijf	John Kalkman	Formeel opdrachtgever; inbreng vanuit ontwerpbesluitvorming en toekomstige toepassing van de methodiek binnen projecten en de vastgoedportefeuille
Techniek Nederland	Jeroen Bart; Laurens de Vrijer	Inbreng vanuit branche- en beleidsperspectief; beoordeling van de praktische toepasbaarheid voor de installatiesector; verbinding met sectorale ontwikkelingen en inhoudelijke en financiële bijdrage aan de pilot
Life Cycle Vision	Bernd Karstenberg; Roland Halle	Projectcoördinatie, technische uitwerking van referentiegebouw en installatieconcepten, bepaling van capaciteiten, aantallen, hoeveelheden, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen, integrale analyse en rapportage
TU Delft / Stichting Sustainability Impact Metrics	Joost Vogtländer	Beoordeling en verwerking van product- en materiaalgegevens en bepaling van CO ₂ -waarden voor A1-A3 met behulp van SimaPro
FME	Paul Borghouts	Ondersteuning bij het ontsluiten van leveranciers- en productinformatie
BAM	Patrick Juijn	Installatiekundige praktijkkennis en beoordeling van systeemopbouw, hoeveelheden, hulpcomponenten en gangbare technische oplossingen
Equans	Maurits van Riemsdijk	Installatiekundige praktijkkennis en beoordeling van systeemopbouw, hoeveelheden, hulpcomponenten en gangbare technische oplossingen
VDK Groep	Matthijs Gall	Installatiekundige praktijkkennis en beoordeling van systeemopbouw, hoeveelheden, hulpcomponenten en gangbare technische oplossingen

Tijdens de uitvoering bleek dat juist de combinatie van deze deskundigheid noodzakelijk is. Technische ontwerp-kennis, systeemkennis, productinformatie en LCA-kennis waren niet bij één partij beschikbaar en moesten gedurende de pilot iteratief worden samengebracht.

A.3 Referentiegebouw, concepten en scope

Voor de vergelijking is gebruikgemaakt van het RVO-referentiekantoor XL1 met een bruto vloeroppervlak van 26.560 m².

Voor de werktuigbouwkundige installaties zijn twee concepten onderzocht:

1. lucht/water-warmtepomp met een vierpijps klimaatplafondsysteem;
2. HR-ketels en een luchtgekoelde koelmachine met een vierpijps inductie-unitsysteem.

Het klimaatplafond vervult tevens een bouwkundige plafondfunctie. Om beide concepten functioneel vergelijkbaar te beoordelen, is bij het tweede concept ook een bouwkundig verlaagd plafond meegenomen.

Voor de elektrotechnische installaties zijn twee regelconcepten voor de verlichting onderzocht:

1. handmatige bediening met schakelaars;
2. automatische regeling met aanwezigheidsdetectie.

De pilot betreft bewust geen volledige W- en E-installatie van het referentiegebouw. Binnen W zijn geselecteerde onderdelen van opwekking, distributie, afgifte en luchtbehandeling beschouwd. De materiaalgebonden impact van de volledige regeltechniek en de gevolgen van verschillen in elektrisch aangesloten vermogen voor de algemene voedingsdistributie vallen buiten de scope.

Binnen E zijn de verlichting van de onderzochte kantoor- en vergaderruimten, de bediening en de direct daaraan toe te rekenen bekabeling en hulpmaterialen meegenomen. De vergelijking omvat niet de verlichting van het gehele referentiegebouw. Algemene voedingsdistributie, kabelgoten en overige elektrotechnische infrastructuur vallen buiten de scope.

De exacte technische systeemgrenzen worden nader beschreven in bijlage C. Het referentiegebouw en de installatieconcepten zijn verder uitgewerkt in bijlage B.

A.4 Levenscyclusfasen en beschouwingsperiode

De beschouwingsperiode bedraagt 50 jaar. Binnen de pilot zijn drie onderdelen van de levenscyclus beschouwd.

Module	Omschrijving
A1–A3	Grondstoffen, transport naar productie en productie
B4	Vervangingen: productie-impact van vervangende installatieonderdelen gedurende de beschouwingsperiode, berekend met dezelfde A1–A3-impact als voor het oorspronkelijke onderdeel
B6	Operationeel energiegebruik

Andere levenscyclusfasen, waaronder A4, A5, B2, B3, B5 en C1–C4, zijn niet in de berekeningen opgenomen. De pilot betreft daarmee geen volledige Whole Life Carbon-berekening van het referentiegebouw.

De technische levensduren bepalen de vervangingen in B4. Voor B6 zijn de berekende energiehoeveelheden gekoppeld aan de gehanteerde CO₂-emissiefactoren. De verdere uitgangspunten en rekenregels zijn opgenomen in bijlage C.

A.5 Resultaten ten opzichte van de opdracht

De geselecteerde werktuigbouwkundige en elektrotechnische concepten zijn binnen de afgesproken scope technisch uitgewerkt en voor A1–A3, B4 en B6 met elkaar vergeleken. Ook zijn de systeemgrenzen, uitgangspunten, technische levensduren, gevoeligheden, schaalmogelijkheden en datalacunes onderzocht. Op basis hiervan is de methodiek uit hoofdstuk 4 nader uitgewerkt en getoetst.

Voor geselecteerde onderdelen zijn waarden en rekenrelaties afgeleid. Daarmee is een eerste basis voor hergebruik beschikbaar. De pilot heeft geen breed toepasbare en gevalideerde gegevensbasis voor installatieconcepten opgeleverd. Voor toepassing buiten de onderzochte concepten zijn aanvullende gegevens, beoordeling en toetsing nodig.

Tijdens de uitvoering bleek dat voor een verantwoorde conceptvergelijking aanzienlijk meer technische uitwerking, dataverzameling, interpretatie en controle nodig was dan vooraf was voorzien. Beschikbare informatie kon niet zonder verdere bewerking aan complete

installatieconcepten worden gekoppeld. Aanvullende technische uitgangspunten moesten worden bepaald, hoofdhoeveelheden moesten worden vertaald naar hoofd- en hulpcomponenten en product- en milieudata moesten gezamenlijk installatiekundig en milieukundig worden beoordeeld.

Deze uitwerking heeft naast de conceptvergelijkingen inzicht opgeleverd in de informatieketen die voor toekomstige toepassing nodig is. De pilot maakt duidelijk welke technische ontwerpgegevens, systeemkennis, productinformatie, milieudata, levensduren en rekenrelaties moeten worden verbonden en welke deskundigheid daarbij nodig is. De belangrijkste opbrengsten zijn samengevat in tabel A.2.

Tabel A.2 - Belangrijkste opbrengsten van de pilot

Onderdeel	Opbrengst
Conceptvergelijkingen	Vergelijking van geselecteerde W- en E-concepten voor A1-A3, B4 en B6
Technische uitgangspunten	Inzicht in de gebouw-, gebruiks- en installatiegegevens die nodig zijn voor integrale dimensionering
Systeemopbouw	Inzicht in de vertaling van hoofdhoeveelheden naar hoofd- en hulpcomponenten en het benodigde detailniveau
Dataopbouw	Inzicht in benodigde productinformatie, milieudata, technische afbakening en combinatie van installatiekundige en LCA-kennis
Schaling	Onderzoek naar schaalmogelijkheden op basis van capaciteiten, afmetingen en productvarianten en afleiding van geselecteerde rekenrelaties
Gevoeligheden	Inzicht in parameters die de conceptvergelijking en de benodigde nauwkeurigheid beïnvloeden
Praktische toepasbaarheid	Inzicht in een werkwijze van grof naar fijn en in de voorwaarden waaraan de gegevensvoorziening moet voldoen om deze werkwijze praktisch toe te passen
Datalacunes en vervolg	Inzicht in welke gegevens structureel beter beschikbaar en onderling verbonden moeten worden

Een belangrijk aanvullend resultaat is dat voor de onderzochte concepten veel uitzoek-, interpretatie- en controlewerk is uitgevoerd en vastgelegd. De opgedane kennis over systeemopbouw, gegevensbronnen, schaalmogelijkheden en datalacunes biedt een basis voor vervolgtoeepassingen. De bruikbaarheid buiten de onderzochte concepten en uitgangspunten moet daarbij opnieuw worden beoordeeld en waar nodig worden getoetst.

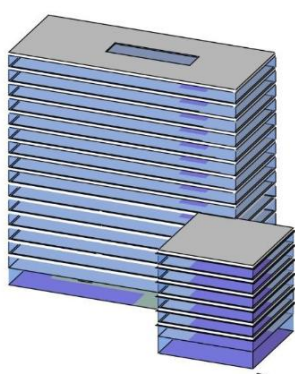
De in dit rapport en de bijbehorende uitwerkingen vastgelegde kennis vormt het vertrekpunt voor een vervolg. Daarin kunnen gegevens en rekenrelaties geschikt worden gemaakt voor hergebruik, aangevuld en getoetst. Dit vraagt samenwerking tussen opdrachtgevers en de betrokken ketenpartijen, met afspraken over kwaliteit, beheer, toegang en gebruiksrechten. Zo kunnen vervolgprojecten voortbouwen op de pilot en kan herhaling van hetzelfde uitzoekwerk worden beperkt.

Bijlage B. Referentiegebouw en installatieconcepten

Deze bijlage beschrijft het referentiegebouw en de installatieconcepten die binnen de pilot zijn onderzocht. De bijlage legt daarmee de technische vergelijkingsbasis vast. De precieze systeemgrenzen, levenscyclusfasen en inclusies en exclusies zijn opgenomen in bijlage C.

B.1 Referentiegebouw

Voor de pilot is gebruikgemaakt van het RVO-referentiekantoor XL1. Het gebouw is gebruikt als vaste gebouwbasis voor de vergelijking en niet om de oorspronkelijke installatieconcepten van het referentiegebouw te beoordelen. Voor de pilot zijn afzonderlijke W- en E-concepten samengesteld.



28 Kantoor XL1

Figuur B.1 - Referentiegebouw XL1

Voor de berekeningen zijn de volgende hoofdkenmerken gehanteerd.

Tabel B.1 - Hoofdkenmerken referentiegebouw

Kenmerk	Uitgangspunt
Gebouwtype	Zeer groot kantoorgebouw
Referentie	RVO-referentiekantoor XL1
Bruto vloeroppervlak	26.560 m ²
Hoofdfunctie	Kantoor
Beschouwingsperiode	50 jaar

Het referentiegebouw bestaat uit twee gekoppelde bouwdelen: een hoger rechthoekig deel met zestien bouwlagen en een lager deel met zeven bouwlagen.

De beschikbare documentatie bevatte slechts een deel van de gegevens die nodig waren om de installaties integraal te dimensioneren en het materiaal- en energieverbruik te bepalen. De ontbrekende gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten zijn daarom door Life Cycle Vision aangevuld en vastgesteld op basis van wet- en regelgeving, normen, ontwerprichtlijnen en gangbare marktuitsgangspunten. Deze uitgangspunten vormen gezamenlijk de technische rekenbasis voor de pilot.

Op basis hiervan zijn voor de verschillende concepten onder meer capaciteiten, aantallen, debieten, lengten, afmetingen, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen bepaald. De uitgangspunten zijn voor de varianten zoveel mogelijk gelijk gehouden. Alleen waar de technische werking van een concept dit vereist, zijn conceptspecifieke waarden toegepast.

De verdere uitgangspunten en de invloed hiervan op dimensionering en hoeveelheden worden beschreven in bijlagen C en H.

B.2 Werktuigbouwkundige installatieconcepten

Voor de werktuigbouwkundige vergelijking zijn twee concepten onderzocht die binnen de gekozen scope dezelfde functies voor verwarming, koeling en ventilatie vervullen.

Concept W1 - Lucht/water-warmtepomp met klimaatplafonds

Concept W1 is gebaseerd op een lucht/water-warmtepomp voor de opwekking van warmte en koude. De distributie vindt plaats via een vierpijps warmte- en koudedistributiesysteem. De afgifte in de gebruiksruidten wordt verzorgd door vierpijps klimaatplafonds.

Het klimaatplafond vervult zowel de installatietechnische functie van warmte- en koudeafgifte als de bouwkundige plafondfunctie. Binnen dit concept is daarom geen afzonderlijk verlaagd bouwkundig plafond toegevoegd.

Concept W2 - HR-ketels, koelmachine en inductie-units

Concept W2 is gebaseerd op HR-ketels voor de warmteopwekking en een luchtgekoelde koelmachine voor de koudeopwekking. De benodigde aardgasvoorziening behoort tot dit concept. De distributie vindt plaats via warmte- en koudecircuits en de afgifte in de gebruiksruidten via vierpijps inductie-units.

Inductie-units vervullen niet de bouwkundige plafondfunctie. Om de twee concepten functioneel vergelijkbaar te beoordelen, is daarom bij W2 ook een verlaagd bouwkundig plafond meegenomen. Voor de hoofdvergelijking is hiervoor een stalen plafond van een vergelijkbaar kwaliteits- en materiaalniveau als het klimaatplafond gehanteerd. De invloed van een eenvoudiger standaardplafond wordt afzonderlijk onderzocht in de gevoeligheidsanalyse in bijlage F.

Tabel B.2 - Functionele opbouw W-concepten

Onderdeel	Concept W1	Concept W2
Functie	Verwarmen, koelen en ventileren	Verwarmen, koelen en ventileren
Opwekking	Lucht/water-warmtepomp	HR-ketels en luchtgekoelde koelmachine
Energiedrager	Elektriciteit	Aardgas en elektriciteit
Distributie	Vierpijps warmte- en koudedistributie	Warmte- en koudedistributie
Afgifte	Klimaatplafonds	Vierpijps inductie-units
Plafondfunctie	Geïntegreerd in klimaatplafond	Afzonderlijk bouwkundig plafond
Regeling	Functioneel aanwezig	Functioneel aanwezig

De tabel geeft de functionele hoofdstructuur weer. Binnen de berekening zijn daarnaast, voor zover relevant binnen de gekozen systeemgrens, de benodigde distributie, luchtbehandeling en hulpcomponenten meegenomen. De exacte inclusies en exclusies staan in bijlage C. De uitwerking van distributie naar leidingen, isolatie, ophangingen, appendages, flenzen en hulpstukken wordt nader beschreven in bijlage H.

B.3 Elektrotechnische installatieconcepten

Voor de elektrotechnische installaties is een afzonderlijke vergelijking uitgevoerd naar de invloed van de bediening en regeling van de verlichting in de onderzochte kantoor- en vergaderruimten. Het aantal armaturen en het functionele verlichtingsniveau zijn voor beide varianten gelijk gehouden. Het verschil betreft de wijze van bediening, de daarvoor benodigde componenten en het effect op het energiegebruik. De vergelijking omvat niet de verlichting van het gehele referentiegebouw.

Concept E1 - Handmatige schakeling

Bij concept E1 wordt de verlichting lokaal met schakelaars bediend. Binnen de onderzochte functionele gebieden zijn opgenomen:

- 3.628 armaturen;
- schakelaars;
- de direct daarbij behorende bekabeling en hulpmaterialen.

Concept E2 - Aanwezigheidsdetectie

Bij concept E2 wordt de verlichting automatisch geregeld met aanwezigheidsdetectie. Binnen de onderzochte functionele gebieden zijn opgenomen:

- 3.628 armaturen;
- aanwezigheidsdetectoren;
- de direct daarbij behorende bekabeling en hulpmaterialen;
- het eigen energiegebruik van de aanwezigheidsdetectoren.

De aanwezigheidsdetectie beïnvloedt het aantal branduren van de armaturen. Dit effect is verwerkt in het energiegebruik van de verlichting. De genoemde aantallen en systeemopbouw zijn binnen de pilot door een installateur verder uitgewerkt tot component- en artikelniveau.

Tabel B.3 - Opbouw verlichtingsconcepten

Onderdeel	E1 Handmatige schakeling	E2 Aanwezigheidsdetectie
Armaturen	3.628	3.628
Bedieningscomponenten	schakelaars	aanwezigheidsdetectoren
Bekabeling en hulpmaterialen	Conceptspecifiek	Conceptspecifiek
Eigen energiegebruik bediening	Niet afzonderlijk van toepassing	Meegenomen
Bediening	Handmatig	Automatisch op basis van aanwezigheid

De vergelijking omvat uitsluitend de geselecteerde verlichting en de direct daaraan toe te rekenen onderdelen. De verdere afbakening is opgenomen in bijlage C.

B.4 Opzet van de vergelijkingen

De werktuigbouwkundige en elektrotechnische concepten zijn als twee afzonderlijke vergelijkingen onderzocht.

De werktuigbouwkundige vergelijking betreft:

- W1: lucht/water-warmtepomp met klimaatplafonds;
- W2: HR-ketels en een luchtgekoelde koelmachine met inductie-units en een afzonderlijk bouwkundig plafond.

De elektrotechnische vergelijking betreft:

- E1: verlichting met handmatige schakelaars;
- E2: verlichting met aanwezigheidsdetectie.

Beide elektrotechnische varianten zijn toegepast binnen dezelfde gebouw- en werktuigbouwkundige basis met lucht/water-warmtepomp en klimaatplafonds. Hierdoor wordt het verschil tussen E1 en E2 niet beïnvloed door een afwijkend werktuigbouwkundig concept.

Voor alle varianten zijn dezelfde gebouw- en gebruiksuitgangspunten gehanteerd, voor zover het onderzochte concept geen afwijkende technische uitgangspunten vereist. De vergelijking is daarmee gericht op het effect van de conceptkeuze en niet op verschillen die voortkomen uit een andere gebouwbasis.

De W- en E-resultaten worden afzonderlijk beoordeeld. Voor een aanvullende combinatie moet worden gecontroleerd of de uitgangspunten op elkaar aansluiten en of onderdelen en energiegebruik niet dubbel worden geteld. Ook na deze controle beschrijft de gecombineerde uitkomst uitsluitend de onderzochte onderdelen en geen volledige CO₂-impact van alle gebouwinstallaties.

Bijlage C. Uitgangspunten, systeemafbakening en levensduren

Deze bijlage legt de belangrijkste uitgangspunten, systeemgrenzen en levensduuraannames van de pilot vast. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt welke onderdelen en levenscyclusfasen in de berekeningen zijn opgenomen en welke buiten de vergelijking vallen. De bijlage vormt daarmee de technische afbakening voor de resultaten in de bijlagen E en F.

C.1 Algemene uitgangspunten en afbakening

Voor de onderzochte varianten zijn zoveel mogelijk dezelfde gebouw- en gebruiksuitgangspunten gehanteerd. Hiermee wordt voorkomen dat verschillen tussen de resultaten ontstaan door afwijkende aannames die niet samenhangen met de onderzochte conceptkeuze.

Tabel C.1 - Algemene uitgangspunten

Onderwerp	Uitgangspunt
Referentiegebouw	RVO-referentiekantoor XL1
Bruto vloeroppervlak	26.560 m ²
Gebruiksfunctie	Hoofdzakelijk kantoor
Beschouwingsperiode	50 jaar
Vergelijkingsbasis	Functioneel gelijkwaardige concepten
Berekeningsomgeving	Life Cycle Vision
Materiaalgebonden impact	A1-A3 en vervangingen in B4
Operationeel energiegebruik	B6
Indicator	kg CO ₂ -eq

De documentatie van het referentiegebouw bevat niet alle gegevens die nodig zijn om de installaties integraal te dimensioneren. Aanvullende gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten zijn daarom met Life Cycle Vision bepaald op basis van wet- en regelgeving, normen, ontwerprichtlijnen en gangbare marktuutgangspunten.

Vanuit deze technische basis zijn voor de onderzochte concepten onder meer capaciteiten, vermogens, debieten, aantallen, lengten, afmetingen en energiehoeveelheden bepaald. Ook technische levensduren en de daaruit volgende vervangingen zijn in de berekening opgenomen. Daarmee worden zowel de materiaalgebonden als de operationele effecten vanuit dezelfde technische ontwerpuutgangspunten opgebouwd.

De pilot omvat geen volledige berekening van alle bouwkundige en installatietechnische onderdelen van het referentiegebouw. De resultaten gelden uitsluitend voor de geselecteerde concepten en de hierna beschreven systeemgrenzen.

C.2 Levenscyclusfasen en beschouwingsperiode

De beschouwingsperiode bedraagt 50 jaar. Binnen de pilot zijn de volgende levenscyclusmodules meegenomen.

Tabel C.2 - Beschouwde levenscyclusmodules

Module	Omschrijving	Toepassing
A1-A3	Grondstoffen, transport naar productie en productie	Materiaalgebonden impact van de initiële installatie
B4	Vervanging	Productie-impact van vervangende onderdelen gedurende 50 jaar, berekend met dezelfde A1-A3-impact als voor het oorspronkelijke onderdeel
B6	Operationeel energiegebruik	Energiegebruik van de onderzochte installaties en componenten

Niet meegenomen zijn onder meer A4 en A5, regulier onderhoud en reparatie in B2 en B3, renovatie in B5, watergebruik in B7, de eindelevensduurfasen C1-C4 en module D.

Deze uitsluiting betekent niet dat deze fasen bij een volledige Whole Life Carbon-beoordeling niet relevant zijn. Zij vallen buiten de gekozen onderzoeksomvang van deze pilot. De berekende resultaten mogen daarom niet worden beschouwd als een volledige WLC-GWP-berekening van het referentiegebouw.

C.3 Systeemgrenzen W- en E-concepten

Werktuigbouwkundige vergelijking

De W-vergelijking omvat twee functioneel vergelijkbare concepten voor verwarming, koeling en ventilatie.

Tabel C.3 - Systeemgrens werktuigbouwkundige concepten

Onderdeel	W1 Warmtepomp en klimaatplafond	W2 HR-ketels, koelmachine en inductie-units
Warmteopwekking	Lucht/water-warmtepomp	HR-ketels
Koudeopwekking	Lucht/water-warmtepomp	Luchtgekoelde koelmachine
Energiedrager	Elektriciteit	Elektriciteit en aardgas
Aardgasvoorziening	Niet van toepassing	Meegenomen
Warmte- en koudedistributie	Meegenomen	Meegenomen
Afgifte	Vierpijps klimaatplafond	Vierpijps inductie-units
Luchtbehandeling en luchttransport	Meegenomen	Meegenomen
Direct benodigde hulpcomponenten binnen scope	Meegenomen	Meegenomen
Bouwkundige plafondfunctie	Geïntegreerd in klimaatplafond	Afzonderlijk verlaagd plafond meegenomen
Materiaalgebonden volledige regeltechniek/GBS	Niet meegenomen	Niet meegenomen

Het klimaatplafond vervult zowel een installatietechnische afgiftefunctie als een bouwkundige plafondfunctie. Voor een functioneel gelijkwaardige vergelijking is bij W2 daarom een afzonderlijk bouwkundig plafond opgenomen. Voor de hoofdvergelijking is uitgegaan van een stalen plafond met een vergelijkbaar kwaliteits- en materiaalniveau. De invloed van een eenvoudiger plafond wordt afzonderlijk beoordeeld in bijlage F.

De systeemgrens omvat niet de volledige werktuigbouwkundige installatie. Onder meer sanitaire installaties, drinkwater en warm tapwater, afvoerinstallaties, brandbestrijding, terreininstallaties en overige W-installaties vallen buiten de vergelijking. Ook de materiaalgebonden impact en vervangingen van de volledige regeltechniek en gebouwbeheersystemen zijn niet meegenomen.

De invloed van verschillen in elektrisch aangesloten vermogen op de omvang en materiaalgebonden impact van de algemene elektrotechnische voedingsdistributie is eveneens niet in de W-vergelijking opgenomen.

Elektrotechnische vergelijking

De E-vergelijking is beperkt tot de verlichting van de onderzochte kantoor- en vergaderruimten en omvat twee verschillende bedieningsconcepten:

1. handmatige bediening met schakelaars;
2. automatische regeling met aanwezigheidsdetectie.

Binnen deze vergelijking zijn opgenomen:

- armaturen;
- schakelaars of aanwezigheidsdetectoren;
- direct aan deze installatie toe te rekenen bekabeling;
- buizen, dozen en overige direct benodigde hulpmaterialen;
- energiegebruik van de verlichting;
- eigen energiegebruik van de aanwezigheidsdetectoren.

De centrale en decentrale voedingsdistributie, verdeelinrichtingen, transformatoren, kabelgoten, algemene kabeldraagsystemen, noodverlichting en overige E-installaties vallen buiten deze vergelijking. De huidige pilotafbakening maakt daarmee expliciet dat de E-resultaten uitsluitend betrekking hebben op de onderzochte verlichting en bediening.

De W- en E-resultaten zijn afzonderlijke vergelijkingen. Voor een aanvullende combinatie moet worden gecontroleerd of de uitgangspunten op elkaar aansluiten en of onderdelen en energiegebruik niet dubbel worden geteld. Ook na deze controle omvat de gecombineerde uitkomst uitsluitend de onderzochte onderdelen en niet alle gebouwinstallaties.

C.4 Technische levensduren en vervangingen

Voor de opgenomen installatieonderdelen zijn technische levensduren gehanteerd. Deze levensduren bepalen hoeveel vervangingen gedurende de beschouwingsperiode van 50 jaar aan B4 worden toegerekend.

De technische levensduur sluit aan op de wijze waarop in beheer en meerjarenonderhoudsplanningen wordt beoordeeld wanneer een installatieonderdeel naar verwachting moet worden vervangen. De binnen de pilot gehanteerde levensduren zijn onderdeel van de technische gegevens in Life Cycle Vision en de onderliggende componentberekeningen.

Omdat de levensduuraanname rechtstreeks doorwerkt in B4, moeten de gebruikte waarden, bronnen en toepassingsvoorwaarden herleidbaar zijn. Voor vervolgtoeepassingen wordt aanbevolen gezamenlijke referentielevensduren af te spreken. Daarbij kan worden onderzocht hoe wordt aangesloten op levensduurgegevens voor beheer en onderhoud, waaronder NEN 2767-2, en op de uitgangspunten voor referentielevensduren en levensduurschatting in ISO 15686-8. Afwijkingen vanwege gebruik, omstandigheden of voorgeschreven rekenregels moeten expliciet worden vastgelegd. Dit is een voorstel voor verdere afstemming en geen beschrijving van een binnen deze pilot vastgestelde landelijke standaard. Zo wordt voorkomen dat voor hetzelfde installatieonderdeel in milieuberekeningen en meerjarenonderhoudsplanningen verschillende vervangingsaannames worden gebruikt.

De oorspronkelijke installatie wordt opgenomen in A1–A3. De daaropvolgende vervangingen worden aan B4 toegerekend. De vervangingsfactor wordt bepaald uit de verhouding tussen de beschouwingsperiode en de technische levensduur:

Vervangingsfactor = $\max((50 \text{ jaar} / \text{technische levensduur}) - 1; 0)$

De vervangingsfactor kan een gebroken getal zijn. Bij een technische levensduur van 20 jaar bedraagt deze bijvoorbeeld 1,5: aan B4 wordt dan 1,5 maal de productie-impact van het onderdeel toegerekend. Dit is een rekenkundige toerekening over de beschouwingsperiode en geen planning van daadwerkelijke vervangingsmomenten.

Voor een vervanging is binnen de pilot dezelfde A1–A3-impact aangehouden als voor het oorspronkelijke onderdeel. Toekomstige veranderingen in materiaalgebruik, productietechnieken, productprestaties, recycling of de CO₂-impact van productie zijn niet afzonderlijk gemodelleerd.

De invloed van technische levensduur op de resultaten wordt nader beschouwd in bijlage F.

C.5 Operationeel energieverbruik en betekenis van de afbakening

Het operationele energieverbruik van de onderzochte concepten is met Life Cycle Vision bepaald vanuit dezelfde gebouw-, gebruiks- en technische uitgangspunten als de dimensionering van de installaties.

Binnen B6 zijn, voor zover van toepassing op de onderzochte concepten, meegenomen:

- elektriciteitsgebruik voor warmte- en koudeopwekking;
- elektriciteitsgebruik van pompen en ventilatoren;
- aardgasgebruik van de HR-ketels;
- elektriciteitsgebruik van de verlichting;
- eigen energiegebruik van de aanwezigheidsdetectoren.

Voor de verlichting is daarnaast het effect van de bedieningswijze op de branduren van de armaturen verwerkt. Daardoor wordt niet alleen de materiaalimpact van de regelcomponenten beoordeeld, maar ook het effect van de regeling op het energiegebruik.

Voor elektriciteit is in de hoofdvergelijking een gemiddelde emissiefactor van 0,176 kg CO₂-eq/kWh over de beschouwingsperiode van 50 jaar gehanteerd. Deze waarde is gebaseerd op methode 1 uit het WLC-GWP-onderzoek, waarbij vanaf het laatste beschikbare KEV-jaar de laatst beschikbare elektriciteitsmix wordt voortgezet. Het WLC-GWP-onderzoek komt hiermee uit op een gemiddelde van 0,176 kg CO₂-eq/kWh over 50 jaar.

Het aardgasgebruik van de HR-ketels is omgerekend naar kWh-equivalent en vervolgens eveneens gewaardeerd met de voor elektriciteit gekozen factor van 0,176 kg CO₂-eq/kWh. Ter vergelijking: CO₂-emissiefactoren.nl vermeldt voor aardgas in 2026 een factor van 2,134 kg CO₂-eq/Nm³, inclusief verbranding en voorketen. Omgerekend op onderwaarde bedraagt dit circa 0,243 kg CO₂-eq/kWh, circa 38% hoger dan de toegepaste factor.

Toepassing van deze gasfactor zou bij gelijkblijvend gasgebruik de berekende gasgerelateerde CO₂-impact verhogen. De totale impact van W2 stijgt procentueel minder, omdat W2 ook elektriciteitsgebruik en materiaalimpact omvat. De actuele gasfactor is geen vastgestelde gemiddelde waarde over 50 jaar en wordt hier uitsluitend als indicatieve vergelijking vermeld. De hoofdresultaten zijn hiervoor niet herberekend.

Omdat B6 binnen de onderzochte systeemgrenzen een groot aandeel in de resultaten heeft, hebben de energie-uitgangspunten en emissiefactoren een belangrijke invloed op de absolute uitkomst. De gevoeligheid hiervoor wordt daarom afzonderlijk behandeld in bijlage F.

De systeemaafbakening blijft bij de interpretatie van de resultaten essentieel. De opgenomen B6-percentages hebben betrekking op de geselecteerde installaties binnen de pilot en mogen niet worden geïnterpreteerd als het aandeel van energiegebruik in de volledige W-installatie, E-installatie of het totale gebouw.

Bijlage D. Databronnen, transparantie en toepasbaarheid

Deze bijlage beschrijft welke technische, product- en milieugegevens binnen de pilot zijn gebruikt en hoe deze zijn beoordeeld en verwerkt. Daarbij staat niet alleen de beschikbaarheid van een milieuwaarde centraal, maar vooral de vraag of de waarde technisch herkenbaar en toepasbaar is binnen het onderzochte installatieconcept. De bijlage beschrijft tevens hoe met ontbrekende gegevens, schaalverschillen en controle is omgegaan.

D.1 Databronnen en benodigde informatie

Voor de conceptvergelijkingen was informatie nodig uit verschillende bronnen. Geen enkele bron bevatte alle gegevens die nodig waren om vanuit een gebouw en installatieconcept tot complete hoeveelheden en CO₂-impact te komen.

Tabel D.1 - Belangrijkste informatiebronnen binnen de pilot

Bron	Toepassing
Life Cycle Vision	Gebouw- en gebruiksuitgangspunten, dimensionering, capaciteiten, aantallen, lengten, oppervlakken, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen
PEP- en EPD-documenten	Milieugegevens van producten, productseries en materialen
Leveranciersinformatie, productbladen en catalogi	Capaciteiten, afmetingen, gewicht, technische uitvoering, materiaalopbouw en productvarianten
Materiaalspecificaties	Samenstelling en massa van toegepaste materialen
NMD	Geraadpleegd voor beschikbare milieuverklaringen en vergelijking met andere bronnen
Installatiekundige praktijkkennis	Systeemopbouw, hoofd- en hulpcomponenten, dimensionering, hoeveelheden en gangbare technische oplossingen
SimaPro / TU Delft	Beoordeling en waar nodig verwerking van product- en materiaalgegevens naar CO ₂ -impact voor A1–A3
Technische levensduurgegevens	Bepaling van vervangingen in B4

Voor toepassing van een milieuwaarde binnen een installatieconcept is meer nodig dan alleen een CO₂-getal. Afhankelijk van het product zijn onder meer de volgende gegevens nodig:

- technische functie;
- type en configuratie;
- capaciteit, vermogen, afmeting of andere relevante schaalparameter;
- functionele eenheid;
- opgenomen en uitgesloten componenten;
- product- of systeemgrens;
- gewicht en, waar beschikbaar, materiaal Samenstelling;
- milieu-impact en opgenomen levenscyclusfasen;
- technische levensduur;
- bron, datum en versie;
- toepassingsgebied van de waarde.

Een materiaallijst met massa per materiaal is daarbij belangrijk voor verificatie, reconstructie, actualisatie en vergelijking. Hiermee kan worden beoordeeld of de milieuberekening past bij het technische product en kan de berekening zo nodig worden gereconstrueerd of geactualiseerd.

D.2 Systeemopbouw en installatiehoeveelheden

De benodigde milieudata kunnen pas worden vastgesteld nadat duidelijk is welke technische installatie moet worden beoordeeld. De systeemopbouw en hoeveelheden zijn daarom niet uit de beschikbare milieudata afgeleid, maar vanuit het gebouw, het gebruik en het gekozen installatieconcept.

Met Life Cycle Vision zijn eerst onder meer capaciteiten, vermogens, debieten, aantallen, leiding- en kanaallengten, afmetingen en energiehoeveelheden bepaald. Voor onderdelen waarbij materiaal- of snijverlies van toepassing is, zijn deze verliezen in de berekeningen meegenomen. Vervolgens is met installatiekundige praktijkkennis beoordeeld welke hoofd- en hulpcomponenten nodig zijn om het systeem binnen de gekozen afbakening representatief op te bouwen.

Deze tweede stap is essentieel. Een FODAR-onderdeel zoals distributie vertegenwoordigt niet alleen een leiding of kanaal. Afhankelijk van het systeem zijn bijvoorbeeld ook isolatie, ophangingen, hulpstukken, kleppen, flenzen en aansluitingen nodig. De analyse van de distributiesystemen laat zien dat deze aanvullende onderdelen een substantieel deel van de materiaalgebonden impact kunnen vertegenwoordigen. De technische uitwerking hiervan is opgenomen in bijlage H.

Het detailniveau is afgestemd op de toepassing. De werktuigbouwkundige systemen zijn binnen de pilot op representatief concept- en systeemniveau opgebouwd. Volledige detailengineering tot ieder afzonderlijk artikel was hiervoor niet noodzakelijk en zou een zeer grote aanvullende inspanning vragen. Bij de verlichting is de systeemopbouw door een installateur wel tot component- en artikelniveau uitgewerkt. Daarmee zijn binnen dezelfde methodiek verschillende detailniveaus onderzocht.

D.3 Verwerking van milieu- en productgegevens

Voor A1–A3 is gebruikgemaakt van verschillende PEP- en EPD-documenten, leveranciersinformatie en aanvullende product- en materiaalgegevens. Waar een PEP of EPD voldoende technische en milieukundige informatie bevatte en aansloot op het onderzochte product, kon deze rechtstreeks of na omrekening worden toegepast.

De geraadpleegde bronnen verschilden onder meer in:

- functionele eenheid;
- capaciteit en productvariant;
- opgenomen materialen en componenten;
- levenscyclusfasen;
- product- en systeemgrens;
- mate waarin massa en materiaalsamenstelling waren beschreven.

De binnen deze pilot geraadpleegde milieuverklaringen uit de Nationale Milieudatabase (NMD), afkomstig uit datacategorieën 1, 2 en 3, bleken niet bruikbaar voor het onderzoek. Uit de beschikbare informatie kon onvoldoende worden vastgesteld welke productuitvoering, capaciteit, onderdelen, technische configuratie en systeemgrens de milieuwaarden vertegenwoordigden. Daardoor kon niet worden aangetoond dat deze waarden op een uniforme en onderling vergelijkbare basis konden worden toegepast. Dit is een belangrijk knelpunt, omdat de NMD de aangewezen nationale bron is waar marktpartijen deze milieugegevens zoeken en verwachten te vinden. Voor de pilot moesten daarom andere beschikbare nationale en internationale product- en milieugegevens worden verzameld, beoordeeld en consistent verwerkt om een bruikbare en vergelijkbare invoerbasis op te bouwen. Deze bevinding geldt voor de binnen de pilot geraadpleegde milieuverklaringen in alle drie de datacategorieën en vormt geen algemene beoordeling van alle gegevens in de NMD.

De verzamelde product- en materiaal informatie is door TU Delft beoordeeld en waar nodig met SimaPro verwerkt tot CO₂-waarden voor A1–A3 volgens de gehanteerde EN 15804-systematiek. Hierbij was regelmatig aanvullende installatiekundige toelichting nodig om te beoordelen welk technisch product of systeemonderdeel de data vertegenwoordigde en welke componenten wel of niet in de waarde waren opgenomen.

Dit bevestigt het onderscheid tussen product- en systeemniveau. Voor een goed omschreven afzonderlijk product kan de milieukundige verwerking relatief eenduidig zijn. Voor toepassing in een installatieconcept moet daarnaast worden vastgesteld hoe het product technisch wordt toegepast en welke aanvullende componenten nodig zijn voor de functie van het systeem.

D.4 Trendlijnen, rekenrelaties en ontbrekende gegevens

De onderzochte installatieconcepten bevatten producten met verschillende capaciteiten en afmetingen. Voor geselecteerde productgroepen, waaronder warmtepompen en gasketels, zijn meerdere uitvoeringen of productvarianten met elkaar vergeleken en zijn waar mogelijk relaties afgeleid tussen een relevante technische parameter en de CO₂-impact. Voor enkele benodigde uitvoeringen was geen rechtstreeks toepasbare milieuwaarde beschikbaar. Hiervoor zijn de hieronder beschreven alternatieve benaderingen gebruikt. De invloed van deze benaderingen op de uitkomsten moet worden beoordeeld aan de hand van hun omvang en onzekerheid. Bijlage F beschrijft de gevoeligheden die binnen deze pilot zijn onderzocht.

Afhankelijk van het product kan dit bijvoorbeeld een relatie zijn met:

- vermogen of capaciteit;
- luchtdebiet;
- nominale diameter;
- lengte of oppervlakte;
- afmeting;
- productgewicht.

De gekozen parameter moet technisch verklarend zijn voor het materiaalgebruik van het betreffende product. Een relatie op basis van gewicht of vermogen is daarom niet automatisch voor iedere productgroep bruikbaar.

De afgeleide relatie geldt uitsluitend binnen het technische bereik en de productopbouw waarop deze is gebaseerd. Wanneer bij een groter of kleiner product de constructie, materiaalkeuze of technische werking verandert, kan een bestaande relatie niet zonder nadere beoordeling worden doorgetrokken.

Wanneer geen direct toepasbare waarde beschikbaar was, is binnen de pilot afhankelijk van de situatie gewerkt met een technisch vergelijkbaar product, een beschikbare materiaalopbouw, een afgeleide rekenrelatie of een andere transparant onderbouwde benadering. Voor toekomstige toepassing is het van belang daarbij steeds zichtbaar te houden welke bron of benadering is gebruikt en welke onzekerheid hieraan verbonden is.

In enkele analyses zijn daarnaast correcties gebruikt om onderdelen die niet voldoende door de beschikbare productdata werden afgedekt toch indicatief mee te nemen. Deze correcties zijn niet bedoeld als universele toeslagfactoren. Zij zijn gebruikt om te voorkomen dat relevante hulpcomponenten of productie- en systeemonderdelen geheel buiten beeld blijven en om de mogelijke significantie daarvan te kunnen beoordelen.

De nadere onzekerheidsanalyse is opgenomen in bijlage F. De technische uitwerking van schaal- en dimensioneringsrelaties voor distributiesystemen staat in bijlage H.

D.5 Levensduur, energiegebruik en emissiefactoren

De materiaalgebonden productdata zijn gecombineerd met de technische levensduren van de installatieonderdelen. De oorspronkelijke installatie is opgenomen in A1–A3 en de op basis van de technische levensduur berekende vervangingen zijn opgenomen in B4. De uitgangspunten hiervoor zijn beschreven in bijlage C.

Het operationele energiegebruik is afzonderlijk vanuit het technische ontwerp bepaald met Life Cycle Vision. Dit betreft onder meer het energiegebruik van warmte- en koudeopwekking, pompen, ventilatoren en verlichting. Bij de verlichting is tevens het effect van de regelstrategie op de branduren en het eigen energiegebruik van de aanwezigheidsdetectoren meegenomen.

Het energiegebruik is met de gehanteerde emissiefactoren omgerekend naar B6. Voor elektriciteit is in de hoofdvergelijking een gemiddelde emissiefactor van 0,176 kg CO₂-eq/kWh over 50 jaar gebruikt. Deze factor is in de oorspronkelijke berekening ook toegepast op het naar kWh omgerekende aardgasgebruik van W2. De betekenis en beperking van deze aanname zijn toegelicht in bijlage C.5. De onderzochte gevoeligheden voor energiegebruik en emissiefactoren zijn opgenomen in bijlage F.

Een belangrijk onderscheid is dat de product- en milieudata grotendeels aan producten of materialen zijn gekoppeld, terwijl B6 sterk projectafhankelijk is. Energiegebruik wordt bepaald door gebouw, gebruik, systeemconcept, dimensionering en regeling. Een vaste B6-waarde als productkenmerk is daarom niet geschikt voor vergelijking van verschillende gebouwen of installatieconcepten.

D.6 Controle en beperkingen

De gegevensverzameling en verwerking zijn iteratief uitgevoerd. Nieuwe technische informatie of verschillen tussen bronnen leidden waar nodig tot aanpassing van eerdere uitgangspunten, hoeveelheden of milieuwaarden.

De controle bestond onder meer uit:

- beoordeling van gebouwingangspunten, capaciteiten en hoeveelheden met Life Cycle Vision;
- installatiekundige controle van systeemopbouw en aanvullende componenten door de betrokken installateurs;
- beoordeling van product- en materiaalgegevens door TU Delft;
- vergelijking van verschillende bronnen waar dit mogelijk was;
- afstemming met FME en leveranciers over productinformatie;
- controle van opvallende waarden, verschillen en uitschieters;
- consequente toepassing van dezelfde uitgangspunten binnen de te vergelijken varianten.

De pilot heeft daarbij laten zien dat technische en milieukundige beoordeling niet volledig van elkaar kunnen worden gescheiden. Een LCA-deskundige kan beoordelen hoe product- en materiaalgegevens milieukundig moeten worden verwerkt, maar heeft bij complete installatieconcepten installatiekundige informatie nodig om de technische inhoud, systeemgrens en volledigheid te kunnen beoordelen. Omgekeerd is installatiekennis alleen onvoldoende voor de milieukundige verwerking.

Er is daarom bewust geen algemene kwalificatie zoals "hoog", "redelijk" of "beperkt" aan databronnen toegekend. Relevanter is om per toegepaste waarde vast te leggen:

- welke bron is gebruikt;
- welk technisch product of onderdeel deze vertegenwoordigt;
- welke systeemgrens geldt;
- of de waarde rechtstreeks is toegepast of is omgerekend of afgeleid;
- binnen welk bereik de waarde bruikbaar is;
- welke onzekerheden of ontbrekende informatie bekend zijn.

AI is binnen de pilot uitsluitend ondersteunend gebruikt bij het zoeken, ordenen en vergelijken van informatie, het signaleren van ontbrekende gegevens en het ondersteunen van analyses en rapportage. Waar AI bij het vinden of afleiden van informatie is ingezet, is deze waar mogelijk teruggevoerd op controleerbare productdocumentatie, leveranciersinformatie of andere inhoudelijk beoordeelde bronnen.

De uitgevoerde controles vergroten de navolgbaarheid en onderlinge consistentie van de vergelijking, maar nemen onzekerheden in brondata en aannames niet volledig weg. Bijlage F beschrijft de invloed van deze onzekerheden op de resultaten. Bijlage G behandelt de bredere leerpunten voor toekomstige dataverzameling en toepassing, en bijlage I plaatst de bevindingen in de context van NMD, MPG, WLC-GWP en digitale gegevensuitwisseling.

Bijlage E. Detailberekeningen en resultaten

Deze bijlage geeft de cijfermatige onderbouwing van de werktuigbouwkundige en elektrotechnische conceptvergelijkingen uit hoofdstuk 3. De resultaten gelden voor de in bijlage C beschreven systeemgrenzen en omvatten A1–A3, vervangingen in B4 en operationeel energiegebruik in B6 over een periode van 50 jaar. De berekeningswijze en gebruikte databronnen zijn beschreven in de bijlagen C en D.

E.1 Opzet van de berekening

De totale CO₂-impact binnen de onderzochte scope bestaat uit:

- A1–A3: materiaalgebonden impact van de oorspronkelijke installatie;
- B4: materiaalgebonden impact van vervangingen gedurende 50 jaar;
- B6: impact van het operationele energiegebruik.

De berekening is per installatieonderdeel opgebouwd. A1–A3 volgt uit de toegepaste hoeveelheid en de bijbehorende CO₂-waarde. B4 volgt uit de technische levensduur en het aantal toegerekende vervangingen. Voor B6 zijn de berekende energiehoeveelheden gekoppeld aan de gehanteerde emissiefactoren.

De waarden in deze bijlage zijn afgerond op hele kilogrammen CO₂-equivalent. Hierdoor kunnen op detailniveau geringe afrondingsverschillen voorkomen.

E.2 Resultaten werktuigbouwkundige concepten

De vergelijking betreft:

- W1: lucht/water-warmtepomp met vierpijps klimaatplafonds;
- W2: HR-ketels, luchtgekoelde koelmachine, vierpijps inductie-units en een afzonderlijk bouwkundig plafond.

Het klimaatplafond in W1 vervult tevens de bouwkundige plafondfunctie. Voor de hoofdvergelijking is daarom bij W2 een stalen verlaagd plafond met een vergelijkbaar kwaliteits- en materiaalniveau opgenomen.

Tabel E.1 - Totale CO₂-impact werktuigbouwkundige concepten

Levenscyclusmodule	W1 warmtepomp en klimaatplafonds	W2 HR-ketels, koelmachine, inductie-units en plafond	Vershil W2 ten opzichte van W1
A1–A3	1.314.380	1.327.298	12.918
B4	706.682	732.483	25.801
B6	8.771.109	17.363.651	8.592.542
Totaal	10.792.171	19.423.432	8.631.261

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar.

Voor A1–A3 en B4 gezamenlijk bedraagt de impact circa 2,02 miljoen kg CO₂-eq voor W1 en 2,06 miljoen kg CO₂-eq voor W2. De materiaalgebonden impact van beide concepten ligt bij deze functioneel gelijkwaardige uitgangspunten dus dicht bij elkaar.

Het verschil ontstaat vooral in B6. De impact van het energiegebruik is bij W2 circa 8,59 miljoen kg CO₂-eq hoger. Hierdoor is de totale impact van W2 circa 80% hoger dan die van W1.

Tabel E.2 - Aandeel per levenscyclusmodule

Levenscyclusmodule	W1	W2
A1–A3	12,2%	6,8%
B4	6,5%	3,8%
B6	81,3%	89,4%
Totaal	100%	100%

B6 is binnen de onderzochte systeemgrens bij beide concepten bepalend voor de totale impact. Deze percentages hebben alleen betrekking op de geselecteerde onderdelen binnen de pilot en niet op de volledige werktuigbouwkundige installatie.

E.2.1 Uitsplitsing concept W1

Tabel E.3 - Concept W1: warmtepomp en klimaatplafonds

Installatieonderdeel	A1–A3	B4	B6	Totaal
Warmteopwekking	95.106	113.858	7.405.480	7.614.444
Koudeopwekking, -distributie en afgifte	771.774	411.465	300.746	1.483.985
Warmtedistributie	124.656	40.215	3.446	168.317
Luchtbehandeling	322.844	141.145	1.061.437	1.525.425
Totaal	1.314.380	706.682	8.771.109	10.792.171

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar. In de onderliggende berekening zijn koudeopwekking, koudedistributie, koudeafgifte en onderdelen van het klimaatplafondsysteem in één modelcategorie opgenomen. Deze onderdelen zijn daarom in tabel E.3 niet verder uitgesplitst.

Binnen W1 wordt de totale impact vooral bepaald door het energiegebruik van de warmteopwekking. De relatief grote materiaalgebonden bijdrage van koudeopwekking, distributie en afgifte hangt mede samen met het klimaatplafondsysteem en de bijbehorende distributie.

E.2.2 Uitsplitsing concept W2

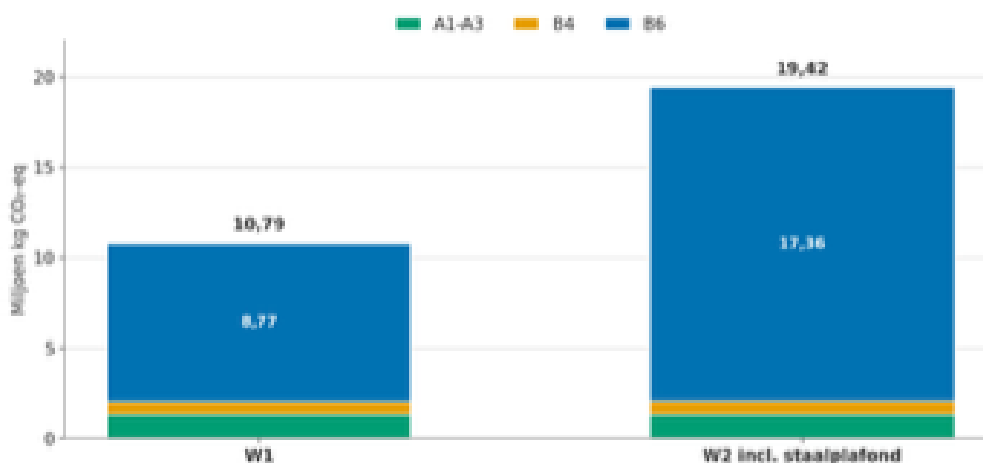
Tabel E.4 - Concept W2: HR-ketels, koelmachine, inductie-units en bouwkundig plafond

Installatieonderdeel	A1-A3	B4	B6	Totaal
Warmteopwekking	88.824	78.114	14.063.707	14.230.644
Aardgasvoorziening	3.803	951	0	4.754
Koudeopwekking, -distributie en afgifte	434.293	253.270	1.493.072	2.180.635
Warmtedistributie	176.885	53.272	3.546	233.703
Luchtbehandeling	333.145	153.310	1.803.327	2.289.782
Bouwkundig plafond	290.348	193.566	0	483.914
Totaal	1.327.298	732.483	17.363.651	19.423.432

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar.

De bestaande berekening van de installatietechnische onderdelen van W2 bedraagt zonder het bouwkundige plafond 1.036.950 kg CO₂-eq voor A1-A3, 538.917 kg CO₂-eq voor B4 en 17.363.651 kg CO₂-eq voor B6. Voor de functionele hoofdvergelijking is het plafond hier afzonderlijk aan toegevoegd.

De grootste bijdrage van W2 wordt geleverd door het energiegebruik van de warmteopwekking. Het bouwkundige plafond heeft een relevante invloed op de vergelijking van A1-A3 en B4, maar slechts een beperkte invloed op de totale impact over 50 jaar. De gevoeligheid voor de gekozen plafondkwaliteit wordt daarom afzonderlijk behandeld in bijlage F.



Figuur E.1 – Berekende CO₂-impact van W1 en W2 over 50 jaar, verdeeld over A1-A3, B4 en B6; W2 is inclusief het stalen plafond.

E.3 Resultaten elektrotechnische concepten

De elektrotechnische vergelijking betreft:

- E1: verlichting met handmatige schakelaars;
- E2: verlichting met aanwezigheidsdetectie.

Voor beide varianten zijn 3.628 armaturen toegepast. Daarnaast zijn schakelaars respectievelijk aanwezigheidsdetectoren opgenomen. Het verschil tussen de concepten wordt bepaald door de bedieningscomponenten, de direct bijbehorende bekabeling en hulpmaterialen en het effect van de regeling op het energiegebruik.

Tabel E.5 - Totale CO₂-impact verlichtingsconcepten

Levenscyclusmodule	E1 handmatige schakeling	E2 aanwezigheidsdetectie	Vershil E1 ten opzichte van E2
A1-A3	30.095	28.071	2.024
B4	31.114	30.532	582
B6	1.988.081	1.519.000	469.081
Totaal	2.049.290	1.577.603	471.687

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar.

Binnen de gehanteerde uitgangspunten heeft E1 circa 472.000 kg CO₂-eq meer impact dan E2, een verschil van circa 30%. Vrijwel het volledige verschil ontstaat in B6.

Tabel E.6 - Aandeel per levenscyclusmodule

Levenscyclusmodule	E1	E2
A1-A3	1,5%	1,8%
B4	1,5%	1,9%
B6	97,0%	96,3%
Totaal	100%	100%

Deze verdeling heeft uitsluitend betrekking op de onderzochte verlichting en bediening. Zij mag niet worden geïnterpreteerd als de verdeling van de volledige elektrotechnische installatie.

E.3.1 Uitsplitsing handmatige schakeling

Tabel E.7 - Concept E1: handmatige schakeling

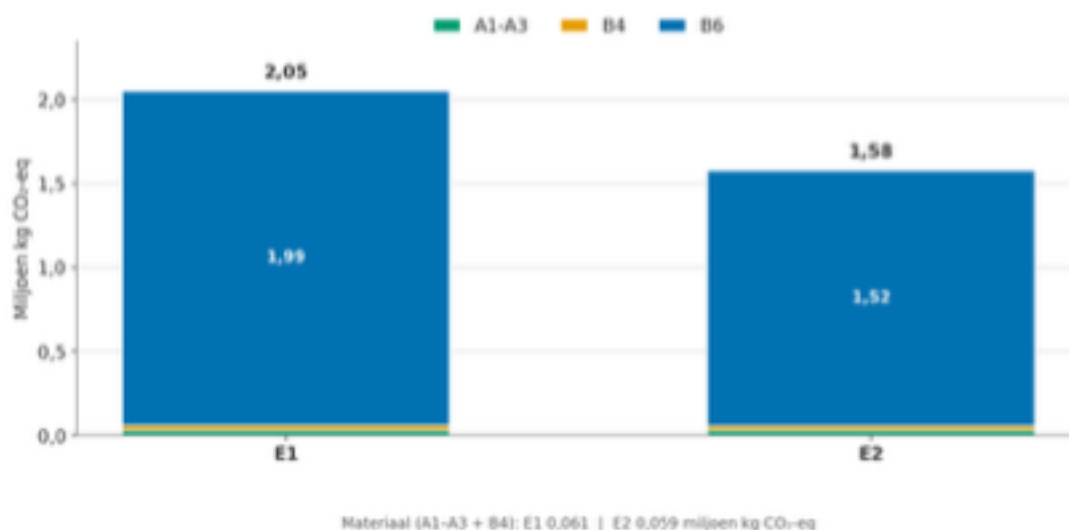
Onderdeel	A1-A3	B4	B6	Totaal
schakelaars	1.539	1.028	0	2.568
bekabeling en hulpmaterialen	5.326	0	0	5.326
armaturen	23.230	30.086	1.988.081	2.041.397
Totaal	30.095	31.114	1.988.081	2.049.290

E.3.2 Uitsplitsing aanwezigheidsdetectie

Tabel E.8 - Concept E2: aanwezigheidsdetectie

Onderdeel	A1-A3	B4	B6	Totaal
aanwezigheidsdetectoren	669	446	27.930	29.045
bekabeling en hulpmaterialen	4.172	0	0	4.172
armaturen	23.230	30.086	1.491.070	1.544.386
Totaal	28.071	30.532	1.519.000	1.577.603

De aanwezigheidsdetectoren veroorzaken zelf materiaalgebonden impact en energieverbruik. Daar staat tegenover dat de regeling de branduren van de armaturen verlaagt. Binnen de gehanteerde gebruiksaannames is de daardoor vermeden impact aanzienlijk groter dan de aanvullende impact van de detectoren.



Figuur E.2 – Berekende CO₂-impact van E1 en E2 over 50 jaar, verdeeld over A1-A3, B4 en B6.

E.4 Betekenis van de detailresultaten

De detailresultaten bevestigen dat de verschillende levenscyclusfasen in samenhang moeten worden beoordeeld.

Bij de werktuigbouwkundige concepten ligt de materiaalgebonden impact van A1–A3 en B4 bij een functioneel gelijkwaardige plafondkwaliteit dicht bij elkaar. De uiteindelijke rangorde wordt in deze casus vooral bepaald door het verschil in energiegebruik gedurende B6. De materiaalgebonden vergelijking is wel gevoelig voor de gekozen plafondopbouw; deze gevoeligheid wordt in bijlage F nader onderzocht.

Bij de verlichting is het verschil in materiaalgebonden impact klein ten opzichte van het effect van de regeling op B6. Dit laat zien dat ook een component met een relatief geringe eigen materiaalimpact via de technische werking een veel grotere invloed op de levenscyclusimpact kan hebben.

De detailtabellen maken daarnaast zichtbaar dat de resultaten niet zonder technische context mogen worden geïnterpreteerd. De W- en E-berekeningen hebben verschillende systeemgrenzen en vertegenwoordigen slechts geselecteerde delen van de gebouwinstallaties. Zij mogen daarom niet bij elkaar worden opgeteld als totale CO₂-impact van de installaties of van het gebouw.

De uitkomsten zijn bovendien casusgebonden. De gevoeligheid voor onder meer plafondkwaliteit, gebruik, energie-emissiefactoren, technische levensduur en systeemvolledigheid wordt nader behandeld in bijlage F.

De volgende rekenoverzichten tonen het detailniveau van de uitgevoerde pilot. Voor de werktuigbouwkundige concepten betreft dit een technisch representatieve uitwerking op concept- en systeemniveau; de verlichtingsconcepten zijn verder uitgewerkt tot component- en artikelniveau. De overzichten onderbouwen de samenvattende resultaten in tabellen E.1 tot en met E.8 en moeten worden gelezen binnen de beschreven systeemgrenzen en uitgangspunten.

E.5 rekenoverzicht W1: warmtepomp en klimaatplafonds

[illegible]

E.6 rekenoverzicht W2: HR-ketels, koelmachine, inductie-units en bouwkundig plafond

code	aantal	omschrijving	st	toelichting	prijs (euro)	prijs totaal [m2bv / %]	in totaal scope	A1-A3	technisch overtuigd [m2bv]	factor	B4	energiewaarde [kWh]	B6	totaal	juli	A1-A3	B4	B6	total	total score B6
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w	0%	0%	72%	72%	8%
51	1.924	verwarming	3	VRV unit	406.918	15,3	88.824	88.824	20	1,50	78.116	1.698.149	16.037.007	14.230.644	w					

E.7 rekenoverzicht E1: verlichting met handmatige schakeling;

code	aantal	eh	omschrijving	prijs [euroën]	prijs totaal [euro]	prijs totaal [euro/m²bv o]	in scope [%]	A1-A3	technische levensduur [jaren]	factor	B4	energie/yr [kWh]	B6	totaal	A1-A3	B4	B6	totaal
61.1			energieinodstroom & opwekking		90.474	3,7		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
61.2 & 61.7			aarding & bliksem		154.301	5,8		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
61.3			kanalisatie		754.821	29,7		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
61.4			energiedistributie middenspanning		140.467	5,7		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
61.5			energiedistributie laagspanning		393.576	14,8		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
62.2			krachtstroom. algemeen		290.007	10,9		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
63			verlichting		1.080.327	40,7		30.095			31.114	1.988.081	2.049.290	1%	2%	97%	100%	
63.2	1	post	lokale lichtschakeling	425.903		16,0	0%	buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
63.5	4.821	st	armaturen	117	563.781	21,2	0%	buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
			functioneel gebied															
	776	st	schakelaar					1.539	30	0,67	1.028	-	-	2.568	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
	1 post	st	bekabeling en hulpmaterialen					5.326	50	-	-	-	-	5.326	0,3%	0,0%	0,0%	0,3%
	3.628	st	armaturen					23.230	20	1,50	30.086	1.988.081	2.041.397	1,1%	1,1%	1,5%	99,6%	
63.6.700	1	post	bekabeling noodverlichting	23.278		0,9	0%											
63.6.100	595	st	noodverlichting decentraal losse accu	113	67.365	2,5	0%											
64.1			communicatie, signalen		0	0,0		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
64.2			communicatie, geluiden		6.442	0,3		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
64.3			communicatie, beelden		33.765	1,4		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
64.5			communicatie, geïntegreerde systemen		471.765	19,3		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
65.1			beveiliging, brandmeld & ontruiming		644.761	26,3		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
65.2			beveiliging, braak & toegangsbeheer		144.495	5,9		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
65.3			beveiliging overlast, detectie & alarmering		27.094	1,1		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
65.4			beveiliging, sociale alarmering		831	0,0		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
66.1			transport		2.036.418	83,2		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
75.2			vaste onderhoudsvoorzieningen		169.471	6,9		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
90.6			terreinvoorzieningen elektrotechnisch		59.399	2,4		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
60			E algemeen		0	0,0		buiten scope			buiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope	uiten scope
EAT installatie					6.612.857	249		30.0950			31.1143	0,0	1.988.080,9	2.049.290,2				

E.8 rekenoverzicht E2: verlichting met aanwezigheidsdetectie

code	aantal	eh	omschrijving	prijs [euro/en]	prijs totaal [euro]	prijs totaal [euro/m²bv o]	In scope [%]	A1-A3	technische levensduur [jaren]	factor	B4	energie/lf [kWh]	B6	totaal	A1-A3	B4	B6	totaal
61.1			energienoodstroom & opwekking		90.474	3,4		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
61.2 & 61.7			aarding & bliksem		154.301	5,8		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
61.3			kanalisatie		754.821	28,4		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
61.4			energiedistributie middenspanning		140.467	5,3		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
61.5			energiedistributie laagspanning		397.698	15,0		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
62.2			krachtstroom. algemeen		290.007	10,9		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
63			verlichting		1.136.947	42,8		buiten scope			30.532		1.519.000	1.577.603	2%	2%	96%	100%
63.2	1	post	lokale lichtschakeling	482.523		18,2	0%	buiten scope	15				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
63.5	4.821	st	armaturen	117	563.781	21,2	0%											
			functioneel gebied															
	776	st	aanwezigheids					669	30	0,67	446	-	27.930	29.045	0,0%	0,0%	1,8%	1,8%
	1 post	st	bekabeling en hulpmaterialen					4.172	50	-	-	-	-	4.172	0,3%	0,0%	0,3%	0,3%
	3.628	st	armaturen					23.230	20	1,50	30.086		1.491.070	1.544.386	1,5%	1,9%	94,5%	97,9%
63.6.700	1	post	bekabeling noodverlichting	23.278		0,9	0%											
63.6.100	595	st	noodverlichting decentraal losse accu	113	67.365	2,5	0%											
64.1			communicatie, signalen		0	0,0		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
64.2			communicatie, geluiden		6.741	0,3		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
64.3			communicatie, beelden		35.882	1,4		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
64.5			communicatie, geïntegreerde systemen		518.453	19,5		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
65.1			beveiliging, brandmeld & ontruiming		699.545	26,3		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
65.2			beveiliging, braak & toegangsbeheer		155.050	5,8		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
65.3			beveiliging overlast, detectie & alarmering		27.094	1,0		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
65.4			beveiliging, sociale alarmering		831	0,0		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
66.1			transport		2.036.418	76,7		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
75.2			vaste onderhoudsvoorzieningen		163.471	6,4		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
90.6			terreinvoorzieningen elektrotechnisch		59.399	2,2		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
60			E algemeen		0	0,0		buiten scope				buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope	buiten scope
			E&T-installatie		6.673.599	251		28.070,9			30.532,2	0,0	1.518.999,9	1.577.603,0				

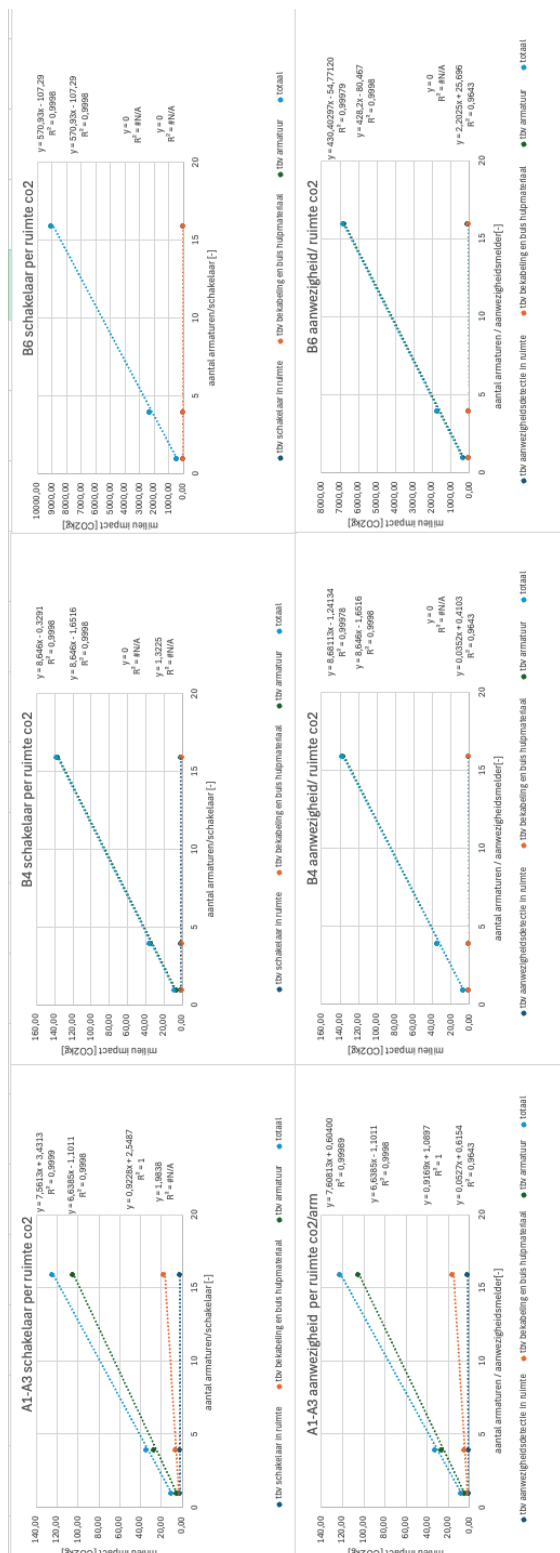
E.9 Detailvoorbeeld E1: referentiekantoorruimte met één schakelaar en vier armaturen

Dit voorbeeld laat voor één referentiekantoorruimte zien hoe één schakelaar, vier armaturen, bekabeling en hulpmaterialen zijn vertaald naar A1–A3, B4 en B6. Het illustreert het detailniveau waarop het verlichtingsconcept binnen de pilot is uitgewerkt.

		1 schakelaar en 4 armaturen (standaard kantoor van bv 20m2) 3.60x5.40									
Aantal	Eind	Omschrijving	A1-A3 CO2/leh	A1-A3 CO2 totaal	B4 per eenheid levensduur	B5 aantal ver- mogen	B6 per stuk vermogen	B6 periode/st energie kWh	CO2 A1-A3 (prod B4 (vervang B6 energie	CO2 B4 (vervang B6 energie	CO2
1	ST	3762253 GIRA WIP-SCH WIS ZKL BASISSELE	1,8	1,8	30	0,7	0,0	0,0	1,8	1,2	0,0
1	ST	3761063 GIRA WIP-SYSTEM 55 ZWIT	0,0	0,0	30	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	ST	GIRA AFDEKRAAM 1V ZWG ST55	0,0	0,0	30	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	ST	HOLLEWANDDOOS UHW50 16/19MM	0,1	0,1	30	0,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
4,00	M	DRAX HULT CCA 3X2.5	0,4	1,7	50	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
2,00	M	PVC BUIS 3/4 CR PLAFOND	0,2	0,4	50	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
2,00	M	PVC BUIS 3/4 CR IN WAND	0,2	0,4	50	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
12,00	ST	EURO-CLIP EC19 DS200	0,0	0,2	50	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
12,00	ST	PLUG FS DS100	0,0	0,1	50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
12,00	ST	PROF SPPLITS VZ 4.0X40 DS200	0,0	0,0	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,24	ST	HAMERBOOR 6X110 SDS	0,0	0,0	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,00	ST	ATTEMA 6041 DEKSEL AK2 GS 4X3PZW W8+DRAAD	0,5	0,5	50	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
1,00	ST	ATTEMA 2258 ONDERBAAK AKS SU IP40	0,2	0,2	50	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
3,00	ST	WAGO 221-415 LASKLEM 5V 0.14-4 +HENDEL	0,1	0,2	50	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
4,00	ST	2894093 BORA II 1200 3600LM 840 MPO	5,7	22,7	20	1,5	28,0	3200,4	22,7	34,1	2253,1
4,00	ST	WIELAND GST1813K1B5 15 30SW KOPPELSNOER 3X1.5 3M ZW GST18	0,9	3,5	50	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0
4,00	ST	AFVALBEHEERBIDRAGE ARMATUUR	0,0	0,0	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,00	ST	Aansluiting installatie op gang									
4,00	M	DRAX HULT CCA 3X2.5	0,4	1,7	50	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
1,00	ST	KABELDOOS AK2 SIGZ IP40	0,2	0,2	50	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
1,00	ST	BLINDDEKSEL AK2 IP40	0,1	0,1	50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
3,00	ST	WAGO 221-415 LASKLEM 5V 0.14-4 +HENDEL	0,1	0,2	50	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0

E.10 Voorbeeld van afgeleide rekenrelaties voor E1 en E2

De trendlijnen laten zien hoe het aantal armaturen en bedieningscomponenten doorwerkt in A1-A3, B4 en B6. Zij illustreren hoe detailgegevens binnen het onderzochte bereik kunnen worden vertaald naar rekenrelaties; toepassing buiten dit bereik vraagt opnieuw technische beoordeling.



Bijlage F. Gevoeligheids- en onzekerheidsanalyses

Deze bijlage beschrijft welke uitgangspunten de resultaten van de onderzochte concepten het sterkst beïnvloeden en in hoeverre deze invloed de conclusies kan veranderen. De analyse is niet bedoeld als volledige probabilistische onzekerheidsanalyse. Het doel is vooral onderscheid te maken tussen onzekerheden die de absolute uitkomst beïnvloeden en onzekerheden die ook de onderlinge rangorde van de concepten kunnen veranderen.

F.1 Doel en belangrijkste onzekerheden

De berekende resultaten zijn puntwaarden op basis van de in bijlage C vastgelegde uitgangspunten. De werkelijke impact kan afwijken door verschillen in gebouw, gebruik, dimensionering, technische levensduur, systeemopbouw en beschikbare product- en milieudata.

Voor de interpretatie zijn vooral de volgende onzekerheden relevant.

Tabel F.1 - Belangrijkste bronnen van onzekerheid

Onderwerp	Mogelijke invloed
Gebouw- en gebruiksuitgangspunten	Vermogens, capaciteiten, aantallen, hoeveelheden en energiegebruik
Dimensionering	Omvang van opwekking, distributie en afgifte
Systeemvolledigheid	Ontbrekende hoofd- of hulpcomponenten kunnen A1–A3 en B4 onderschatten
Product- en milieudata	Absolute materiaalgebonden impact en onderlinge verhouding
Technische levensduur	Aantal vervangingen in B4
Energiegebruik	Grote invloed op B6
CO ₂ -emissiefactoren	Absolute B6-impact en relatieve betekenis van materiaal en energie
Gebruiks- en bedrijfsuren	Vooraf bepalend voor B6
Toekomstige productontwikkeling	Niet gemodelleerd; kan A1–A3 en B4 van toekomstige vervangingen beïnvloeden

Niet iedere onzekerheid hoeft daarom met dezelfde nauwkeurigheid te worden onderzocht. Prioriteit ligt bij parameters die een groot aandeel in het resultaat hebben of de conceptkeuze kunnen beïnvloeden.

F.2 Gevoeligheid werktuigbouwkundige concepten

In de hoofdvergelijking bedraagt de totale impact circa 10,79 miljoen kg CO₂-eq voor W1 en circa 19,42 miljoen kg CO₂-eq voor W2. Het verschil bedraagt circa 8,63 miljoen kg CO₂-eq en ontstaat vrijwel volledig door B6.

Voor A1–A3 en B4 gezamenlijk liggen beide concepten bij de functioneel gelijkwaardige plafondvariant dicht bij elkaar:

- W1: circa 2,02 miljoen kg CO₂-eq;
- W2: circa 2,06 miljoen kg CO₂-eq.

Het berekende verschil in B6 is veel groter dan het berekende verschil in productie en vervangingen. Dit betekent echter niet dat daarmee ook de omvang van alle onzekerheden is vastgesteld. Onzekerheden in productdata, levensduren en hoeveelheden kunnen de materiaalgebonden vergelijking beïnvloeden. Hieronder wordt voor de plafondkeuze concreet onderzocht hoe dit doorwerkt in de materiaalgebonden en totale impact.

Gevoeligheid plafondkwaliteit

De plafondkeuze bij W2 laat goed zien dat de significantie afhangt van het schaalniveau waarop wordt gekeken.

Tabel F.2 - Gevoeligheid voor plafondkwaliteit bij W2

Plafondvariant	A1–A3	B4	A1–A3 + B4 plafond	Totale impact W2
Stalen plafond, hoofdvergelijking	circa 290.000	circa 194.000	circa 484.000	circa 19,42 miljoen
Gangbaar standaardplafond	circa 90.000	circa 60.000	circa 150.000	circa 19,09 miljoen

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar; de waarden van het standaardplafond zijn indicatief.

Bij het stalen plafond liggen W1 en W2 voor A1–A3 en B4 vrijwel gelijk. Met een eenvoudiger standaardplafond ligt de materiaalgebonden impact van W2 circa 0,30 miljoen kg CO₂-eq lager dan die van W1. Op de totale vergelijking over 50 jaar verandert hierdoor echter niet de rangorde: W1 blijft circa 8,3 miljoen kg CO₂-eq lager doordat het verschil in B6 veel groter is.

Dit voorbeeld laat zien dat een keuze voor één onderdeel belangrijk kan zijn voor de materiaalgebonden vergelijking, terwijl het effect op de totale levenscyclusimpact beperkt blijft. Zowel de impact op het onderdeel als de impact op de totale vergelijking moet daarom worden beoordeeld.

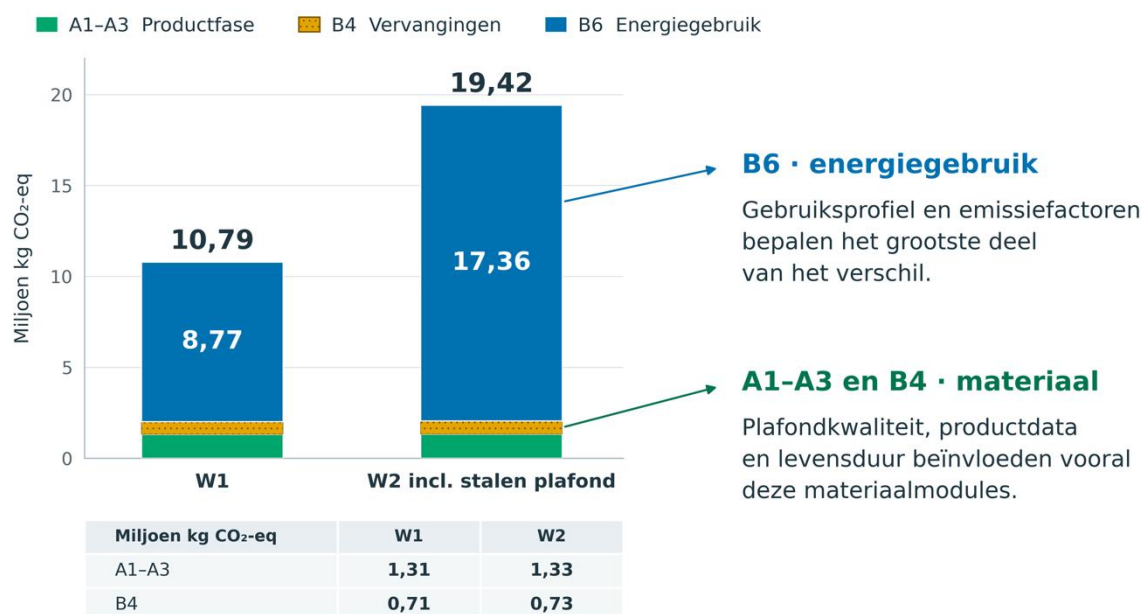
Energiegebruik en emissiefactoren

De werktuigbouwkundige vergelijking is gevoelig voor het berekende warmte- en koudegebruik, de rendementen van de opwekkers, hulpenergie en de emissiefactoren van elektriciteit en aardgas.

Voor elektriciteit gebruikt de hoofdvergelijking 0,176 kg CO₂-eq/kWh. Het WLC-GWP-onderzoek geeft voor alternatieve toekomstige elektriciteitsscenario's gemiddelden van 0,164 en 0,112 kg CO₂-eq/kWh. Een lagere elektriciteitsfactor verlaagt de absolute B6-impact en maakt A1–A3 en B4 relatief belangrijker.

Voor de W-concepten is een eenvoudige evenredige herberekening echter niet voldoende, omdat W2 naast elektriciteit ook aardgas gebruikt. Een zinvolle toekomstanalyse moet daarom de ontwikkeling van beide energiedragers consistent beschouwen. Een dergelijke volledige energiescenarioanalyse is binnen deze pilot niet uitgevoerd.

CO₂-impact over 50 jaar



Figuur F.1 – Berekende CO₂-impact van W1 en W2 over 50 jaar, met een toelichting op de bepalende parameters voor materiaal- en energie-impact. W2 is inclusief het stalen verlaagde plafond.

F.3 Gevoeligheid verlichting en gebruik

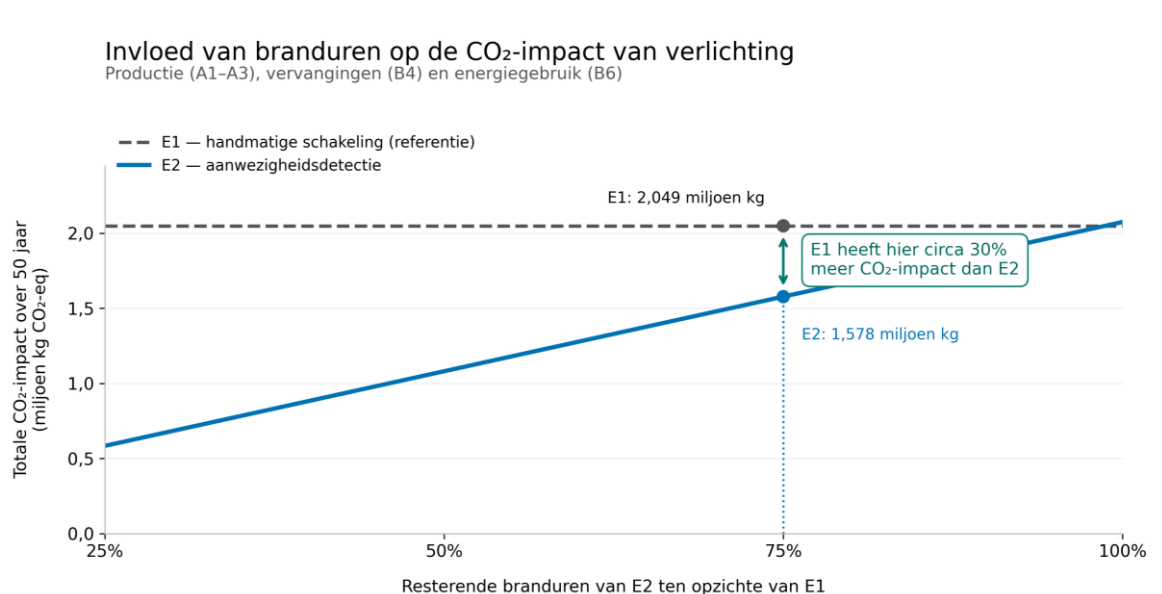
Bij de verlichting bedraagt het totale verschil tussen aanwezigheidsdetectie en handmatige bediening circa 472.000 kg CO₂-eq. Daarvan wordt circa 469.000 kg CO₂-eq veroorzaakt door het verschil in B6. De materiaalgebonden verschillen in A1-A3 en B4 zijn beperkt. De bestaande berekening laat daarmee zien dat de uitkomst vooral wordt bepaald door de daadwerkelijke vermindering van de branduren.

De belangrijkste gebruiksafhankelijke parameters zijn:

- bezettingsgraad;
- bedrijfstijden;
- gebruikersgedrag bij handmatige bediening;
- zonering;
- uitschakelvertraging en instellingen van de detectoren;
- geïnstalleerd verlichtingsvermogen;
- eigen energiegebruik van de detectoren.

De circa 30% hogere berekende CO₂-impact van E1 ten opzichte van E2 is daarom geen generiek kengetal. Een weinig gebruikte ruimte kan een veel groter voordeel hebben dan een ruimte die vrijwel continu bezet is. Omgekeerd kan het effect bij hoge bezetting beperkt zijn.

Figuur F.2 toont hoe de totale berekende CO₂-impact van E2 verandert wanneer het aantal branduren varieert. E1 blijft daarbij de vaste referentie. Alleen het elektriciteitsgebruik van de armaturen in E2 verandert evenredig met de branduren; de materiaalimpact, vervangingen, het eigen energiegebruik van de detectoren en de emissiefactor blijven gelijk. Bij 75% resterende branduren heeft E1 circa 30% meer CO₂-impact dan E2.



Figuur F.2 – Relatie tussen de resterende branduren van E2 en het berekende verschil in CO₂-impact tussen E1 en E2.

Naast het aantal branduren beïnvloedt ook de CO₂-uitstoot per gebruikte kWh elektriciteit het berekende verschil tussen E1 en E2. Bij een lagere emissiefactor blijft de elektriciteitsbesparing door aanwezigheidsdetectie gelijk, maar wordt de daarmee vermeden CO₂-uitstoot kleiner. De berekende impact van productie en vervangingen blijft in deze gevoeligheidsanalyse ongewijzigd.

Tabel F.3 - Indicatieve invloed elektriciteitsscenario op verlichtingsvergelijking

Gemiddelde elektriciteitsfactor	Verskil B6	Verskil totale CO ₂ -impact: E1 – E2
0,176 kg CO ₂ -eq/kWh	circa 469.000	circa 472.000
0,164 kg CO ₂ -eq/kWh	circa 437.000	circa 440.000
0,112 kg CO ₂ -eq/kWh	circa 299.000	circa 301.000

Waarden in kg CO₂-eq over 50 jaar.

De alternatieve factoren zijn afkomstig uit de onderzochte WLC-GWP-scenario's. De tabel houdt het energiegebruik gelijk en varieert alleen de emissiefactor. De voorkeursvolgorde

verandert daardoor niet, maar het absolute voordeel van energiebesparing wordt kleiner naarmate elektriciteit verder verduurzaamt.

F.4 Levensduur, systeemvolledigheid en hoeveelheden

De technische levensduur heeft rechtstreeks invloed op B4. Een kortere levensduur leidt tot meer vervangingen en daarmee tot een hogere materiaalgebonden impact. De invloed is vooral relevant bij onderdelen met een hoge A1–A3-impact, een relatief korte levensduur of meerdere vervangingen binnen 50 jaar.

De werkelijke vervangingsperiode kan daarnaast worden beïnvloed door slijtage, functionele of energetische veroudering, renovatie, gewijzigde gebruikseisen, beschikbaarheid van reserveonderdelen en software- of regeltechnische ondersteuning. De huidige berekening gebruikt voor vervangingen dezelfde A1–A3-impact als voor het oorspronkelijke product. Toekomstige productverbetering of verduurzaming van productie is niet gemodelleerd.

Systeemvolledigheid en hoeveelheden zijn vooral belangrijk voor A1–A3 en B4. De distributieanalyse laat zien waarom. Afhankelijk van de diameter vertegenwoordigt de leiding zelf circa 46% tot 68% van de onderzochte impact per meter. Isolatie, ophangingen, kleppen, flenzen en hulpstukken vormen samen circa 32% tot 54%.

Een vaste toeslag voor hulpcomponenten is daarom niet zonder meer representatief. Ook verschillen in leidinglengte, diameterverdeling, aantal circuits en systeemconfiguratie kunnen de materiaalgebonden vergelijking beïnvloeden. De detailanalyse staat in bijlage H.

Voor toekomstige toepassing geldt daarom dat niet alle hoeveelheden exact hoeven te zijn, maar wel voldoende representatief voor de ontwerpbeslissing. Wanneer een onzekerheid mogelijk de rangorde verandert, is verdere detaillering noodzakelijk. Wanneer de invloed op het totaal zeer klein is, kan een transparante bandbreedte of forfaitaire benadering voldoende zijn.

F.5 Robuustheid en betekenis voor toekomstige toepassing

Op basis van de uitgevoerde analyses kan de robuustheid van de resultaten als volgt worden samengevat.

Tabel F.4 - Betekenis van de belangrijkste gevoelheden

Onderwerp	W-vergelijking	Verlichtingsvergelijking
Productdata A1–A3	Belangrijk voor absolute materiaalimpact	Beperkt voor totaal
Technische levensduur B4	Relevant voor materiaalimpact	Beperkt voor totaal
Systeemvolledigheid	Belangrijk voor eerlijke materiaalvergelijking	Binnen de pilotscope is het materiaalgebonden aandeel klein; de algemene voedingsdistributie is niet meegenomen.
Dimensionering en hoeveelheden	Belangrijk voor A1–A3, B4 én energiegebruik	Beperkt binnen deze vergelijking
Energiegebruik B6	Zeer bepalend	Zeer bepalend
CO ₂ -emissiefactoren	Zeer bepalend voor absolute uitkomst	Bepalend voor omvang voordeel

Onderwerp	W-vergelijking	Verlichtingsvergelijking
Gebruiksprofiel	Relevant	Zeer bepalend
Plafondkwaliteit	Relevant voor A1–A3/B4, beperkt voor totaal	Niet van toepassing

Bij de W-concepten verandert de onderzochte plafondvariant niet welk concept de laagste totale berekende CO₂-impact heeft. Deze uitkomst geldt bij gelijkblijvende energie- en overige rekenuitgangspunten. Omdat geen volledige analyse van alternatieve gebruiks- en energiescenario's is uitgevoerd, is de robuustheid onder andere omstandigheden niet vastgesteld.

Bij de verlichting laat de gevoeligheidsanalyse zien dat het verschil sterk afhangt van de gerealiseerde vermindering van branduren. Bij weinig of geen vermindering kan het voordeel verdwijnen door het eigen energiegebruik van de detectoren. Gebruik, schakelgedrag en instellingen moeten daarom per toepassing worden beoordeeld.

De gevoeligheidsanalyse ondersteunt daarmee de werkwijze van grof naar fijn. Niet ieder invoergegeven hoeft in de vroege ontwerpfase dezelfde nauwkeurigheid te hebben. De grootste inspanning moet worden gericht op parameters en systeemonderdelen die de conceptkeuze kunnen beïnvloeden. Dit biedt een richting om de benodigde uitwerking te beperken tot wat voor de ontwerpbeslissing relevant is. De betrouwbaarheid en benodigde inspanning van deze werkwijze moeten in vervolgprojecten worden getoetst.

Bijlage G. Aandachtspunten, datalacunes en leerpunten

Deze bijlage bundelt de belangrijkste aandachtspunten en leerervaringen uit de pilot. De knelpunten hebben niet alleen betrekking op het ontbreken van milieudata, maar ook op technische ontwerpgegevens, systeemvolledigheid, dimensionering, productinformatie en de samenwerking tussen verschillende deskundigheden. De ervaringen geven inzicht in wat nodig is om de methodiek in toekomstige projecten sneller en reproduceerbaarder toe te passen.

G.1 Databeschikbaarheid en systeemvolledigheid

Tijdens de pilot bleek dat verschillende soorten ontbrekende of onvoldoende bruikbare informatie van elkaar moeten worden onderscheiden. Alleen spreken over een tekort aan data is te algemeen, omdat per situatie een andere oplossing nodig is.

Tabel G.1 - Belangrijkste typen datalacunes

Type datalacune	Betekenis	Mogelijke aanpak
Ontbrekende milieudata	Voor een technisch noodzakelijk onderdeel is geen direct toepasbare milieuwaarde beschikbaar	Aanvullende product- of materiaal informatie, vergelijkbaar product, rekenrelatie of transparante tijdelijke waarde
Onvoldoende technische productinformatie	Niet duidelijk welk product, capaciteit of configuratie de milieuwaarde vertegenwoordigt	Technische productinformatie koppelen aan de milieuwaarde
Onduidelijke product- of systeemgrens	Niet duidelijk welke onderdelen wel en niet zijn inbegrepen	Inclusies en exclusies expliciet vastleggen
Ontbrekende hulpcomponenten	Het hoofdproduct is bekend, maar het functionerende systeem is niet compleet	Systeem installatiekundig completeren
Ontbrekende ontwerpgegevens	Capaciteiten, aantallen, lengten of afmetingen zijn nog niet bekend	Hoeveelheden afleiden uit gebouw-, gebruiks- en systeemparameters
Ontbrekende schaalrelatie	Beschikbare productwaarde past niet bij benodigde capaciteit of afmeting	Technisch passende schaalparameter en rekenrelatie ontwikkelen
Onzekere technische levensduur	Het aantal vervangingen in B4 is niet eenduidig	Referentielevensduur vastleggen en waar nodig projectspecifiek beoordelen
Onzeker gebruik of energiegebruik	B6 kan sterk verschillen tussen gebouwen en gebruikssituaties	Energiegebruik vanuit dezelfde projectspecifieke ontwerputgangspunten bepalen

Een ontbrekende milieuwaarde is daarmee een ander probleem dan een milieuwaarde waarvan niet duidelijk is wat technisch is inbegrepen. Ook een tijdelijk toegepaste forfaitaire waarde is iets anders dan een technisch noodzakelijk onderdeel volledig buiten beschouwing laten.

FODAR helpt om een installatie functioneel te structureren, maar vormt niet automatisch een volledige onderdelenlijst. Distributie bestaat bijvoorbeeld niet alleen uit leidingen, maar ook uit onder meer isolatie, ophangingen, hulpstukken, afsluiters, kleppen en flenzen. Uit de pilot blijkt dat deze aanvullende onderdelen een substantieel deel van de materiaalgebonden impact kunnen vertegenwoordigen. De technische uitwerking hiervan is opgenomen in bijlage H.

Ook de bruikbaarheid van milieudata bleek afhankelijk van de inhoud en technische transparantie van de betreffende bron. Verschillende geraadpleegde PEP- en EPD-documenten konden rechtstreeks of na bewerking worden toegepast. De binnen deze pilot geraadpleegde NMD-verklaringen zijn niet rechtstreeks als rekenbron gebruikt, omdat voor deze analyse onvoldoende inzicht beschikbaar was in onder meer materiaalsamenstelling, opgenomen componenten, technische configuratie en afbakening. Dit betreft uitsluitend de binnen deze pilot geraadpleegde gegevens en is geen algemene beoordeling van de NMD.

G.2 Schaling, dimensionering en referentiegebouw

Een milieuwaarde kan pas goed worden toegepast wanneer eerst technisch is bepaald welke installatie nodig is en in welke hoeveelheid.

De beschikbare informatie van het referentiegebouw bevatte niet alle gegevens die nodig waren om de installaties integraal te bepalen. Met Life Cycle Vision zijn daarom aanvullende gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten vastgesteld. Vervolgens zijn onder meer vermogens, capaciteiten, debieten, aantallen, lengten, afmetingen, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen bepaald.

Deze technische basis is essentieel. Een afwijking in bijvoorbeeld verwarmings- of koelvermogen werkt niet alleen door in de omvang van de opwekker, maar ook in distributie, afgifte, aantallen componenten en energiegebruik. Betere milieudata kunnen een onjuiste technische dimensionering daarom niet achteraf corrigeren.

Vaste hoeveelheden per vierkante meter zijn hierdoor niet voor alle installatieonderdelen representatief. Gebouwworm, gebruik, systeemconfiguratie, temperatuurregime, aantal afgiftepunten, leidinglengten en andere ontwerpkenmerken bepalen mede de uiteindelijke hoeveelheden. Waar mogelijk moeten deze hoeveelheden daarom uit technische ontwerpparameters worden afgeleid.

Na het bepalen van de hoofdhoeveelheden is bovendien nog een vertaalslag nodig naar de componenten waaruit het systeem bestaat. Bij de werktuigbouwkundige installaties is dit binnen de pilot op een technisch representatief concept- en systeemniveau uitgevoerd. Een volledige uitwerking tot ieder individueel artikel zou daarvoor een grote hoeveelheid detailengineering vragen en is voor een vroege conceptvergelijking niet noodzakelijk.

Bij de verlichting is de uitwerking door een installateur tot component- en artikelniveau uitgevoerd. De W- en E-uitwerkingen laten daarmee zien dat dezelfde hoofdwerkwijze met verschillende detailniveaus kan worden toegepast. Voor vervolgprojecten is het uitgangspunt dat onderbouwde referentiegegevens en afgeleide hoeveelheden worden verfijnd naarmate meer ontwerp- en productinformatie beschikbaar komt.

Ook reken- en schaalrelaties moeten technisch worden beoordeeld. Een relatie met vermogen, capaciteit, diameter, afmeting of gewicht kan bruikbaar zijn binnen een bepaalde productgroep, maar mag niet zonder nadere beoordeling worden doorgetrokken wanneer constructie of materiaalgebruik verandert.

G.3 Dataverzameling, controle en benodigde deskundigheid

De gegevensverzameling verliep tijdens de pilot iteratief. Nieuwe productinformatie leidde regelmatig tot aanvullende technische vragen en technische uitwerking leidde opnieuw tot behoefte aan aanvullende product- of milieudata.

De benodigde inspanning bleek daardoor aanzienlijk groter dan vooraf was voorzien. Dit is niet alleen een praktische beperking, maar ook een belangrijk resultaat van de pilot. Door de vergelijking daadwerkelijk uit te werken is duidelijk geworden welke informatie nodig is, waar deze informatie kan worden gevonden en welke controle nodig is voordat deze verantwoord kan worden toegepast.

Geen van de betrokken disciplines beschikte afzonderlijk over alle benodigde kennis. Voor een goed omschreven afzonderlijk product kan een LCA-deskundige bij voldoende technische productinformatie de materiaalgebonden impact relatief eenduidig beoordelen. Voor een compleet installatieconcept is daarnaast installatietechnische kennis nodig om vast te stellen:

- welke functies moeten worden geleverd;
- welke hoofd- en hulpcomponenten daarvoor noodzakelijk zijn;
- waar de systeemgrens ligt;
- welke capaciteiten en hoeveelheden nodig zijn;
- of het systeem technisch voldoende volledig is.

Omgekeerd vraagt de verwerking van deze technische informatie naar een betrouwbare CO₂-impact om specifieke LCA-deskundigheid. Een bruikbare gegevensbasis vraagt daarom samenwerking tussen producenten en leveranciers, installatiespecialisten en LCA-deskundigen. Opdrachtgevers en brancheorganisaties hebben daarnaast een rol bij het vastleggen van de gemeenschappelijke uitgangspunten en toepassingsregels.

De pilot heeft hiermee niet alleen gegevens opgeleverd, maar ook kennis over het zoeken, technisch interpreteren, completeren en beoordelen van deze gegevens. Die kennis is relevant voor iedere vervolgstap.

G.4 Praktische toepasbaarheid in de vroege ontwerpfase

Met de huidige informatievoorziening is het niet realistisch om voor iedere ontwerpvariant alle benodigde technische en milieudata opnieuw volledig te verzamelen en te beoordelen. De benodigde inspanning past niet bij het tempo en detailniveau van de vroege ontwerpfase.

Juist in deze fase worden echter belangrijke keuzes gemaakt over gebouw en installaties. De methodiek moet daarom van grof naar fijn kunnen worden toegepast.

Voor toekomstige toepassing ligt de volgende werkwijze voor de hand:

1. gebouw, gebruik en functionele uitgangspunten vastleggen;
2. functioneel vergelijkbare bouwkundige en installatietechnische concepten definiëren;
3. capaciteiten, hoofdhoeveelheden, energiegebruik, levensduren en vervangingen integraal bepalen;

4. hoofdhoeveelheden vertalen naar een technisch representatieve systeemopbouw;
5. voor minder bepalende onderdelen werken met transparante rekenrelaties, bandbreedten of forfaitaire waarden;
6. onderdelen verder detailleren wanneer onzekerheid de uitkomst of ontwerpkeuze kan beïnvloeden;
7. referentiewaarden en afgeleide gegevens gedurende het ontwerpproces waar nodig verfijnen met project- en productspecifieke informatie.

Een forfaitaire waarde kan daarbij in een vroege fase bruikbaar zijn wanneer duidelijk is wat de waarde omvat, voor welk toepassingsgebied deze geldt en welke onzekerheid eraan verbonden is. Een technisch noodzakelijk onderdeel volledig weglaten geeft daarentegen een onvolledige vergelijking.

De benodigde nauwkeurigheid moet worden afgestemd op de invloed van een onderdeel op de ontwerpbeslissing. Deze aanpak is bedoeld om vroege ontwerpsturing mogelijk te maken met een gerichte uitwerking van de bepalende onderdelen. De betrouwbaarheid en benodigde inspanning moeten in vervolgprojecten worden getoetst. Door aannames en onzekerheden zichtbaar te maken, wordt duidelijk welke betekenis aan de berekende verschillen kan worden toegekend.

Voor toepassing bij contractering of gunning is daarnaast een gemeenschappelijke vergelijkingsbasis nodig. Wanneer partijen verschillende systeemgrenzen, dimensioneringsregels of databronnen toepassen, kunnen ook rekenkundig correcte berekeningen tot niet-vergelijkbare resultaten leiden.

G.5 Belangrijkste leerpunten en vervolg

Tabel G.2 - Belangrijkste leerpunten

Leerpunt	Richting voor verdere ontwikkeling
Een betrouwbare vergelijking begint bij technisch ontwerp en dimensionering	Gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten integraal bepalen
FODAR geeft de functionele structuur, maar niet automatisch alle componenten	Hoofd- en hulpcomponenten per systeem herkenbaar vastleggen
Meer milieuverklaringen alleen maken installatiedata nog niet toepasbaar	Milieudata koppelen aan technisch product, configuratie, opgenomen componenten, systeemgrens en toepassingsgebied
Geen enkele discipline beschikt afzonderlijk over alle benodigde kennis	Installatiekundige, product- en LCA-deskundigheid structureel combineren
Vaste hoeveelheden per vierkante meter zijn niet altijd representatief	Hoeveelheden zoveel mogelijk genereren vanuit gebouw- en systeemparameters
Niet ieder onderdeel vraagt hetzelfde detailniveau	Van grof naar fijn werken en prioriteren op invloed op de ontwerpbeslissing
Puntwaarden kunnen meer nauwkeurigheid suggereren dan beschikbaar is	Waar relevant bandbreedten, scenario's en toepassingsgrenzen gebruiken
B6 is binnen de onderzochte scopes sterk bepalend	Materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik gezamenlijk blijven beoordelen
Projectspecifiek dataonderzoek kost veel tijd	Gevalideerde systeemopbouwen, rekenrelaties, levensduren en productinformatie herbruikbaar vastleggen

Voor de onderzochte concepten is veel leer-, zoek- en interpretatiewerk uitgevoerd en vastgelegd. Daarmee is inzicht ontstaan in ontbrekende informatie, de benodigde systeemopbouw, gegevens en deskundigheden en het passende detailniveau. Deze ervaringen vormen een vertrekpunt voor andere toepassingen, waarbij opnieuw moet worden beoordeeld welke uitgangspunten en rekenrelaties bruikbaar zijn.

Een vervolg kan voortbouwen op de in dit rapport en de bijbehorende uitwerkingen vastgelegde kennis. Daarvoor moeten bruikbare systeemopbouwen, gegevens, rekenrelaties en controleafspraken worden geselecteerd, aangevuld en getoetst voor hergebruik. Afspraken over kwaliteit, beheer, toegang en gebruiksrechten zijn daarbij nodig. Zo kan herhaling van hetzelfde uitzoekwerk worden beperkt en kan stapsgewijs worden onderzocht hoe toepassing eenvoudiger en sneller wordt.

De verdere technische uitwerking van distributiesystemen is opgenomen in bijlage H. De relatie met NMD, MPG, WLC-GWP, Copper8 en ontwikkelingen rond digitale milieudata wordt behandeld in bijlage I.

Bijlage H. Productschaling, systeemopbouw en dimensionering

Deze bijlage laat zien hoe technische productgegevens, rekenrelaties en ontwerputgangspunten worden verbonden om de materiaalgebonden CO₂-impact van installatieconcepten te bepalen. Daarbij worden productschaling, de opbouw uit hoofd- en hulpcomponenten en de bepaling van projectspecifieke hoeveelheden onderscheiden. Leidingdistributie vormt het belangrijkste kwantitatieve voorbeeld. Daarnaast zijn voorbeelden opgenomen van luchtkanalen en de opbouw van een luchtbehandelingskast. De bijlage beschrijft ook hoe hoeveelheden in de vroege ontwerpfase worden afgeleid en bij verdere ontwerputwerking kunnen worden verfijnd.

H.1 Opbouw en resultaten distributiesysteem

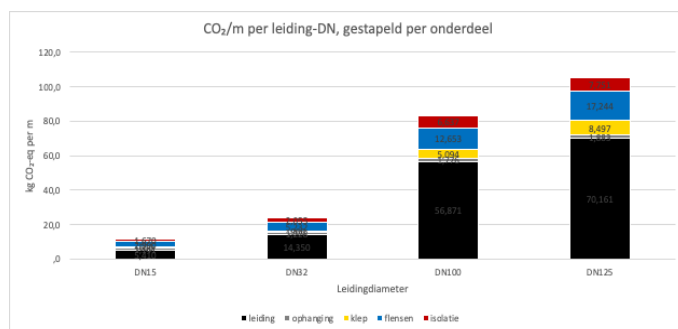
Binnen de pilot is voor vier nominale leidingdiameters onderzocht hoe de materiaalgebonden CO₂-impact per meter is opgebouwd. Daarbij zijn naast de leiding zelf ook direct bijbehorende onderdelen meegenomen:

- ophanging;
- isolatie;
- afsluiters;
- flenzen en aansluitingen.

De analyse is bedoeld om de betekenis van een complete systeemopbouw te onderzoeken. De uitkomsten zijn niet bedoeld als vaste toeslagfactoren die zonder verdere beoordeling voor alle leiding- of distributiesystemen kunnen worden toegepast.

Tabel H.1 - CO₂-impact per meter leidingdeel

Nominale diameter	Leiding	Ophanging	Isolatie	Afsluiter	Flenzen	Totaal
DN 125	70,2	1,9	7,8	8,5	17,2	105,6
DN 100	56,9	1,8	6,6	5,1	12,7	83,1
DN 32	14,4	1,2	2,1	1,0	5,2	23,9
DN 15	5,4	1,1	1,7	0,6	3,0	11,8

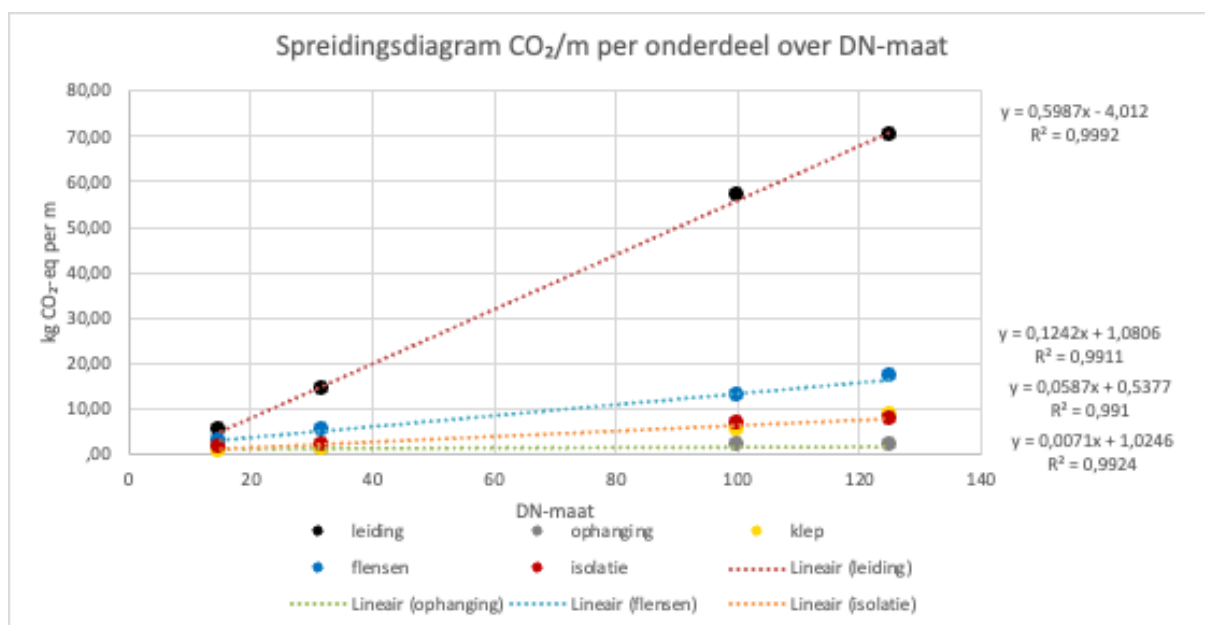
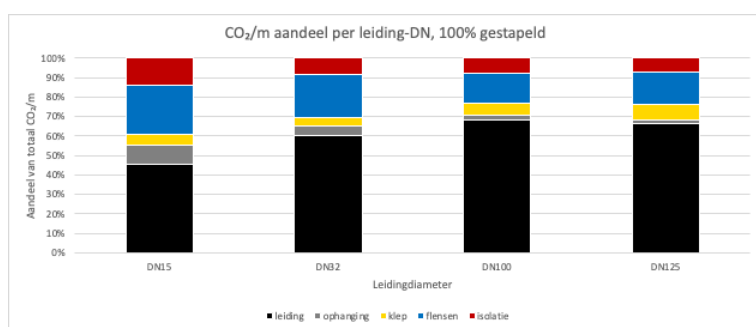


A1-A3 Waarden in kg CO₂-eq per meter leidingdeel.
Door afronding kunnen geringe verschillen ontstaan.

Tabel H.2 - Relatief aandeel per onderdeel

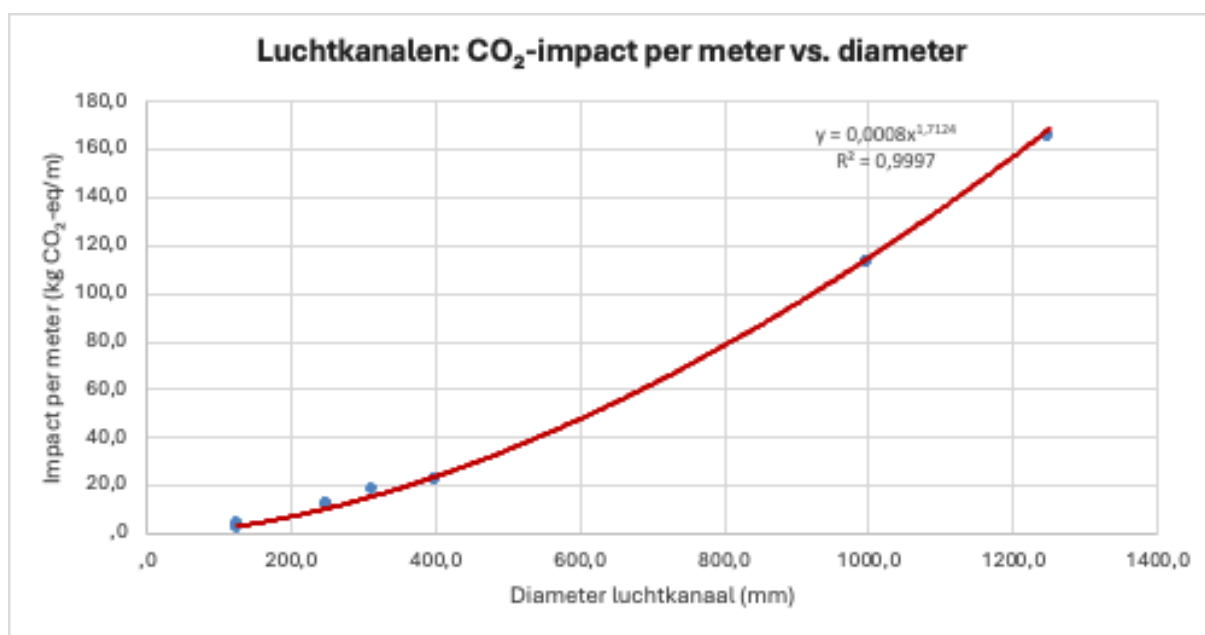
Nominale diameter	Leiding	Ophanging	Isolatie	Afsluiter	Flenzen	Aanvullende onderdelen gezamenlijk
DN 125	66%	2%	7%	8%	16%	circa 34%
DN 100	68%	2%	8%	6%	15%	circa 32%
DN 32	60%	5%	9%	4%	22%	circa 40%
DN 15	46%	10%	14%	5%	25%	circa 54%

De percentages zijn afgerond en tellen daardoor niet in alle gevallen exact op tot 100%.



Figuur H.1 - Relatieve opbouw van de materiaalgebonden CO₂-impact per leidingdiameter en de daarbij behorende trendlijn

Naast warmte- en koudedistributie kan ook voor luchtkanalen een relatie tussen diameter en materiaalgebonden CO₂-impact worden bepaald. Figuur H.2 toont de binnen de pilot afgeleide relatie voor de onderzochte luchtkanalen.



Figuur H.2 – Materiaalgebonden CO₂-impact per diameter luchtkanaal en de bijbehorende trendlijn.

H.2 Diameter en hulpcomponenten

De leiding zelf vertegenwoordigt in de onderzochte voorbeelden circa 46% tot 68% van de totale materiaalgebonden impact van het leidingdeel. Wanneer uitsluitend de leiding wordt meegenomen, blijft daarmee ongeveer een derde tot meer dan de helft van de onderzochte impact buiten beschouwing.

Het aandeel van de aanvullende onderdelen varieert bovendien met de diameter. Bij DN 125 bedraagt dit circa 34%, terwijl het bij DN 15 circa 54% bedraagt. Een vaste procentuele toeslag voor hulpcomponenten is daarom niet voor alle diameters representatief. Een toeslag die past bij een grote diameter kan kleinere diameters onderschatten en omgekeerd.

De totale impact van distributie wordt onder meer bepaald door:

- totale leidinglengte;
- verdeling over de verschillende diameters;
- aantallen vertakkingen en aansluitingen;
- afsluiters en andere appendages;
- isolatiemateriaal en isolatiedikte;
- ophangingswijze;
- toegepaste verbindingen en flenzen.

Dit voorbeeld laat zien waarom FODAR wel de functionele structuur geeft, maar niet automatisch de volledige materiaalhoeveelheid. Het onderdeel D - distributie moet technisch verder worden ontleed voordat de benodigde milieudata kunnen worden gekoppeld.

Voor andere distributiesystemen, zoals luchtkanalen, kan hetzelfde principe gelden. De verhouding tussen hoofd- en hulpcomponenten is daarvoor binnen deze pilot echter niet op dezelfde wijze kwantitatief onderzocht. De resultaten uit tabel H.1 en H.2 mogen daarom niet zonder aanvullende onderbouwing op andere distributiesystemen worden toegepast.

H.3 Productschaling en systeemdimensionering

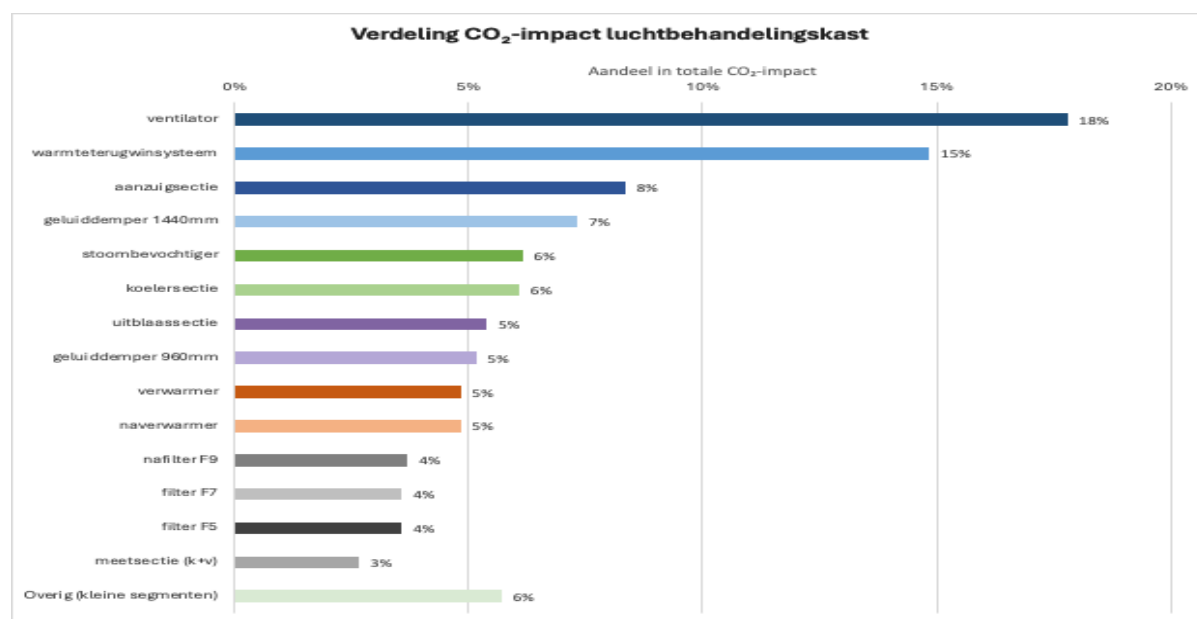
Bij het bepalen van de materiaalgebonden impact moeten twee verschillende soorten relaties worden onderscheiden.

Productschaling

Productschaling beschrijft hoe de milieu-impact van een product verandert met een technische productparameter. Voorbeelden zijn:

- vermogen van een warmtepomp;
- luchtdebiet van een luchtbehandelingskast, inclusief de bijbehorende segmenten;
- nominale diameter van een leiding;
- oppervlakte van een klimaatplafond.

Wanneer meerdere technisch vergelijkbare productvarianten beschikbaar zijn, kan binnen een vastgesteld bereik een trendlijn of rekenrelatie worden afgeleid. Daarbij moet worden gecontroleerd of de technische opbouw binnen dat bereik voldoende vergelijkbaar blijft. Naast de capaciteit is ook de technische samenstelling bepalend. Bij een luchtbehandelingskast wordt de impact mede bepaald door de aanwezige segmenten en componenten. Een rekenrelatie op basis van luchtdebiet is daarom alleen toepasbaar wanneer de bijbehorende kastopbouw bekend is en voldoende aansluit op de onderzochte uitvoering.



Figuur H.3 – Verdeling van de CO₂-impact van de luchtbehandelingskast; de kleinste posten zijn gegroepeerd onder 'Overig'.

Systeemdimensionering

Systeemdimensionering bepaalt welke capaciteiten, aantallen en hoeveelheden voor een specifiek gebouw en installatieconcept nodig zijn. De passende productgegevens of schaalrelaties worden aan deze technische uitwerking gekoppeld. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om:

- aantallen opwekkers en afgifte-elementen;
- leiding- en kanaallengten;
- diameter- en afmetingsverdelingen;
- aantallen circuits;
- aantallen pompen, kleppen en aansluitingen;
- overige hoofd- en hulpcomponenten.

Een betrouwbare productwaarde leidt dus niet automatisch tot een betrouwbaar systeem totaal. Daarvoor moet eerst technisch worden bepaald hoeveel van het betreffende product nodig is en welke aanvullende onderdelen voor het complete systeem noodzakelijk zijn.

Ook één relatie met het bruto vloeroppervlak is hiervoor niet altijd voldoende. Twee gebouwen met hetzelfde oppervlak kunnen door verschillen in vorm, aantal bouwlagen, technische ruimten, schachten, zonering en systeemconcept aanzienlijk verschillende distributiehoeveelheden hebben.

H.4 Genereren van hoeveelheden in het ontwerp

In de vroege ontwerpfase zijn exacte leidingtracés en hoeveelheden nog niet beschikbaar. Dat betekent niet dat uitsluitend met één vaste hoeveelheid per vierkante meter hoeft te worden gewerkt.

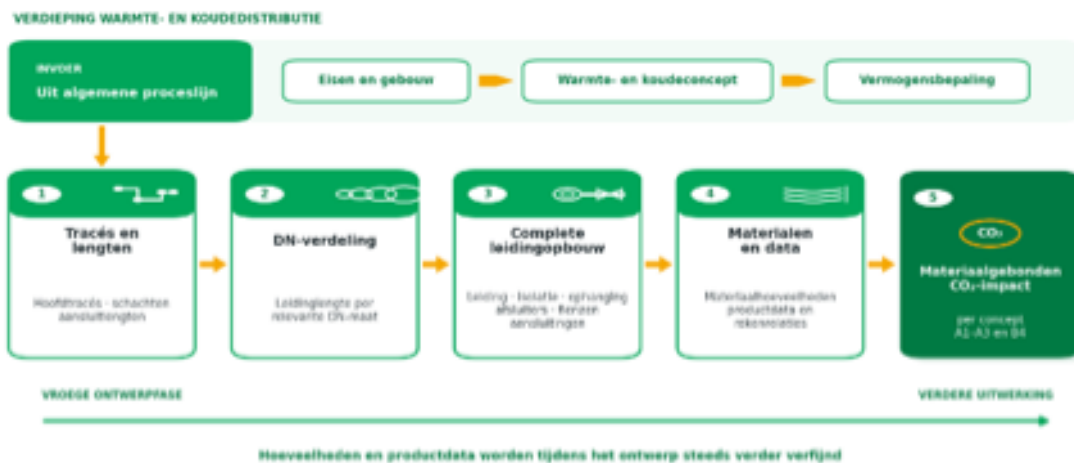
Binnen de toegepaste werkwijze worden vanuit de gebouw- en installatie-uitgangspunten eerst de relevante hoofdhoeveelheden bepaald. Met Life Cycle Vision zijn onder meer vermogens, debieten, aantallen, leiding- en kanaallengten en relevante afmetingen gegenereerd. Deze hoeveelheden zijn vervolgens vertaald naar een technisch representatieve systeemopbouw.

Voor distributie kan deze werkwijze schematisch als volgt worden weergegeven:

1. gebouwomvang, gebouwworm en aantal bouwlagen vaststellen;
2. installatieconcept en systeemconfiguratie bepalen;
3. benodigde vermogens en debieten berekenen;
4. hoofdtracés, schachten en aansluitlengten bepalen;
5. leidinglengten over relevante diameters verdelen;
6. bijbehorende isolatie, ophangingen, appendages en aansluitingen toevoegen;
7. hoeveelheden koppelen aan passende productdata of rekenrelaties;
8. de gegenereerde hoeveelheden later vervangen of verfijnen wanneer het ontwerp verder wordt uitgewerkt.

De eerste hoeveelheden zijn daarmee geen uitvoeringstechnische hoeveelhedenstaat. Zij zijn bedoeld om in de conceptfase de verschillen tussen systeemvarianten voldoende representatief zichtbaar te maken zonder dat volledige detailengineering nodig is.

Een vergelijkbare werkwijze kan voor andere systeemonderdelen worden toegepast. Het benodigde detailniveau hangt daarbij af van het ontwerpstadium en van de invloed die het onderdeel op de conceptvergelijking heeft.



Figuur H.4 - Van leidingverdeling naar materiaalgebonden CO₂-impact van warmte- en koudedistributie.

H.5 Betekenis en beperkingen van de methodiek

De distributieanalyse ondersteunt de bredere methodiek uit hoofdstuk 4. Een representatieve conceptvergelijking vraagt niet alleen om een CO₂-waarde per product, maar om de combinatie van:

- dezelfde functionele afbakening;
- conceptspecifieke dimensionering;
- realistische aantallen en lengteverdelingen;
- een technisch herkenbare systeemopbouw;
- relevante hoofd- en hulpcomponenten;
- transparante productdata en rekenrelaties.

Voor rekenrelaties moet daarom zichtbaar blijven welke technische invoerparameter wordt gebruikt, waarop de relatie is gebaseerd, welke onderdelen zijn inbegrepen en binnen welk bereik de relatie geldig is. Alleen een uitkomst in bijvoorbeeld kg CO₂-eq/kW, kg CO₂-eq/m of kg CO₂-eq/m² is zonder deze achtergrond onvoldoende voor reproduceerbare toepassing.

Vaste waarden per vierkante meter kunnen voor een eerste globale indicatie bruikbaar zijn, maar zijn voor het vergelijken van technisch verschillende concepten alleen verantwoord wanneer de onderliggende systeemopbouw, gebouwkenmerken, inclusies, toepassingsgrenzen en onzekerheden bekend zijn. Anders kunnen werkelijke verschillen worden afgevlakt of kunstmatige verschillen ontstaan.

De onderzochte waarden en rekenrelaties zijn geen algemeen toepasbare kengetallen voor andere gebouwen of installatieconcepten. Bij hergebruik moet worden beoordeeld of productopbouw, toepassingsbereik en systeemgrenzen aansluiten. Projectspectifieke hoeveelheden moeten opnieuw worden bepaald of gecontroleerd vanuit de betreffende gebouw- en systeemkenmerken.

De belangrijkste methodische les is dat zowel de productwaarde als de toepassing in het systeem technisch herkenbaar moet zijn. Een conceptvergelijking vraagt daarom om passende productgegevens of schaalrelaties én om onderbouwde hoeveelheden van hoofd- en hulpcomponenten. De voorbeelden in deze bijlage laten zien hoe die verbinding kan worden uitgewerkt.

Bijlage I. Relatie met NMD, MPG en WLC-GWP

Deze bijlage plaatst de bevindingen uit de pilot in de context van de Nationale Milieudatabase, de MPG, de ontwikkeling van WLC-GWP en actuele ontwikkelingen rond installatiedata en digitale gegevensuitwisseling. De pilot is geen formele MPG- of WLC-GWP-berekening, maar geeft wel inzicht in voorwaarden die nodig zijn om installaties binnen deze systematieken technisch representatief en reproduceerbaar te modelleren.

I.1 Positie van NMD, MPG en WLC-GWP

De Nederlandse milieuprestatiesystematiek bestaat uit een combinatie van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, milieudata uit de Nationale Milieudatabase en gevalideerde rekeninstrumenten. Voor gebouwen wordt de milieuprestatie uitgedrukt met de MPG. De MPG beoordeelt meerdere milieueffecten over de levenscyclus en brengt deze samen in één milieuprestatie.

WLC-GWP richt zich specifiek op broeikasgasemissies en brengt materiaalgebonden emissies en het operationele energiegebruik gedurende de levensduur van het gebouw samen. Voor installaties is dit relevant omdat installatiekeuzes zowel doorwerken in de materiaalgebonden impact van de toegepaste onderdelen en vervangingen als in het gebouwgebonden energiegebruik. Met de invoering van WLC-GWP wordt het daardoor nog belangrijker om installatiekeuzes, materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik vanuit dezelfde technische ontwerputgangspunten te beoordelen.

De pilot sluit inhoudelijk aan op deze ontwikkeling, maar heeft een ander doel en een beperktere scope. Alleen geselecteerde installatieonderdelen en A1-A3, B4 en B6 zijn onderzocht. De resultaten mogen daarom niet als een formele MPG- of WLC-GWP-score van het referentiegebouw worden beschouwd. De pilot onderzoekt juist welke technische informatie en werkwijze nodig zijn om installatieconcepten al tijdens het ontwerp op CO₂-impact te kunnen vergelijken en daarmee ontwerpkeuzes te ondersteunen.

Voor deze pilot is vooral relevant dat zowel MPG als WLC-GWP uiteindelijk op bouwwerkniveau worden bepaald. Een milieuwaarde van een afzonderlijk product is daarvoor slechts één invoergegeven. Om vanuit productdata tot een representatieve gebouw- of conceptprestatie te komen, moeten ook de technisch benodigde producten, hoeveelheden, systeemopbouw, dimensionering en levensduren worden bepaald. Voor de WLC-GWP komt daar de samenhang met het gebouwgebonden energiegebruik bij.

I.2 Pilotbevindingen over product- en systeemdata

De pilot laat zien dat onderscheid nodig is tussen drie informatieniveaus:

1. milieudata: wat is de milieu- of CO₂-impact van een product of materiaal;
2. technische productdata: welk product, welke capaciteit, configuratie en materiaalstelling vertegenwoordigt deze waarde en wat is daarin opgenomen;
3. installatie- en ontwerpdata: hoeveel producten en aanvullende componenten zijn nodig om binnen een specifiek gebouw de gevraagde functie te realiseren.

Voor een afzonderlijk product kunnen milieudata goed bruikbaar zijn wanneer de technische afbakening voldoende duidelijk is. Bij toepassing op systeemniveau moet daarnaast kunnen worden vastgesteld welke componenten ontbreken en welke hoeveelheden voor het betreffende ontwerp nodig zijn.

De bruikbaarheid van de geraadpleegde milieudata verschilde binnen de pilot per bron. Verschillende PEP- en EPD-documenten konden rechtstreeks of na bewerking worden gebruikt. De binnen deze pilot geraadpleegde NMD-verklaringen zijn niet rechtstreeks als rekenbron toegepast, omdat voor deze analyse onvoldoende inzicht beschikbaar was in onder meer materiaalsamenstelling, opgenomen componenten, technische configuratie en afbakening.

Dit betreft uitsluitend de binnen deze pilot geraadpleegde verklaringen en is geen algemene beoordeling van de NMD. Ook volgt hieruit niet dat alle technische installatiegegevens noodzakelijk in de NMD zelf moeten worden opgenomen. Wel moet een eenduidige verbinding mogelijk zijn tussen de milieuverklaring en de technische informatie die nodig is om de waarde correct toe te passen.

Materiaalsamenstelling is daarbij onder meer van belang voor controle en actualisatie. Wanneer een product of milieuverklaring verandert, maakt inzicht in de technische en materiële opbouw het mogelijk te beoordelen of de beschikbare waarde nog representatief is.

I.3 Schaling, dimensionering en typen beperkingen

Een verdere beperking ontstaat wanneer een milieuwaarde wel beschikbaar is, maar niet aansluit op de capaciteit, afmeting of configuratie die in een project nodig is. In dat geval moet onderscheid worden gemaakt tussen productschaling en systeemdimensionering.

Productschaling beschrijft de relatie tussen bijvoorbeeld vermogen, capaciteit, diameter of afmeting en de CO₂-impact van een product. Systeemdimensionering bepaalt welke capaciteiten, aantallen en hoeveelheden voor het betreffende gebouw en installatieconcept nodig zijn. Aan deze technische uitwerking worden passende productgegevens of schaalrelaties gekoppeld. De benodigde capaciteiten en hoeveelheden kunnen niet uit een milieuverklaring alleen worden afgeleid en vragen installatiekundige ontwerpkenis. Voor toekomstige toepassing moeten daarom verschillende soorten beperkingen herkenbaar blijven.

Voor de beoordeling van verschillen in MPG-berekeningen kunnen deze beperkingen op hoofdlijnen in drie groepen worden verdeeld. Bij ontbrekende of onvoldoende toepasbare milieudata ligt de oplossing vooral in het ontwikkelen of beter technisch ontsluiten van gegevens. Bij vaste of forfaitaire rekenregels moet worden beoordeeld of deze voldoende representatief zijn voor het betreffende installatieconcept. Technisch relevante onderdelen of effecten buiten de gehanteerde MPG-demarcatie vragen om een expliciete afbakening en kunnen, wanneer zij de systeemkeuze beïnvloeden, afzonderlijk in een integrale conceptbeoordeling worden meegenomen. Tabel I.1 werkt deze drie groepen verder uit naar specifieke typen beperkingen.

Tabel I.1 – Typen beperkingen en benodigde aanpak

Type beperking	Betekenis	Benodigde aanpak
Ontbrekende milieudata	Geen passende milieuwaarde beschikbaar	Product-, branche- of generieke data ontwikkelen of een transparante tijdelijke waarde toepassen
Onvoldoende technische productinformatie	Niet duidelijk wat de milieuwaarde technisch vertegenwoordigt	Technische productdata koppelen
Onduidelijke afbakening	Niet duidelijk welke componenten in de milieuwaarde zijn inbegrepen	Inclusies en exclusies vastleggen
Ontbrekende systeemdata	Complete functionele systeemopbouw ontbreekt	Productdata verbinden aan een installatiekundige systeemstructuur
Ontbrekende ontwerpdata	Capaciteiten, aantallen en hoeveelheden ontbreken	Vanuit gebouw en installatieconcept dimensioneren
Ongeschikte schaalrelatie	Beschikbare waarde past niet bij de benodigde uitvoering	Transparante technische rekenrelatie ontwikkelen
Niet-representatieve vaste of forfaitaire rekenregel	Voorgeschreven of standaard toegepaste waarde sluit onvoldoende aan op het installatieonderdeel of ontwerp	Representativiteit toetsen en de invloed op de ontwerpafweging zichtbaar maken. Voor aanpassing van voorgeschreven rekenregels is afstemming met de verantwoordelijke methodiekbeheerder nodig.
Niet-representatieve toepassing	Waarde wordt buiten het geldigheidsgebied gebruikt	Capaciteit, configuratie en toepassingsgebied vastleggen
Relevante onderdelen of effecten buiten de demarcatie	Technisch noodzakelijke componenten of relevante effecten vallen buiten de gehanteerde systeem- of rekscope	Uitsluiting expliciet vastleggen en relevante effecten aanvullend in de integrale ontwerpvergelijking beoordelen, met een herkenbaar onderscheid ten opzichte van de formele berekening.
Beperkte levenscyclusscope	Relevante levenscyclusfasen ontbreken	Scope zichtbaar maken en waar nodig uitbreiden

Dit onderscheid is belangrijk omdat niet ieder probleem kan worden opgelost door simpelweg meer milieuverklaringen toe te voegen. Een ontbrekende hoeveelheid of systeemcomponent, een niet-representatieve forfaitaire rekenregel en een technisch relevant effect buiten de gehanteerde MPG-demarcatie vragen ieder een andere oplossing. Deze oorzaken kunnen bovendien tegelijkertijd optreden. De pilot was niet opgezet om hun afzonderlijke bijdrage aan afwijkingen in MPG-berekeningen kwantitatief te bepalen. Op basis van de pilot kan daarom niet worden vastgesteld welk aandeel van een afwijking aan iedere oorzaak moet worden toegerekend.

I.4 Relatie met onderzoek Verborgene impact installatietechniek

Het Copper8-onderzoek Verborgene impact installatietechniek uit 2026 sluit inhoudelijk aan op verschillende bevindingen uit deze pilot. Copper8 onderzocht zes utiliteitscasussen en vergeleek bestaande berekeningen met berekeningen waarin materiaalgegevens en installatieonderdelen verder waren gecorrigeerd en aangevuld.

In vijf van de zes casussen nam de berekende MKI van installaties na correctie en aanvulling met 29% tot 302% toe. In één casus nam de MKI met 11% af, mede door de invloed van module D. De materiaalgebonden CO₂-uitstoot nam in alle zes casussen toe, met 82% tot 185%. Copper8 geeft daarnaast aan dat een deel van de verborgen impact nog niet kon worden bepaald door ontbrekende gegevens.

Als oorzaken worden zowel systeem- als procesaspecten genoemd, waaronder onvolledige milieudata, ontbrekende installatieonderdelen, verkeerde materiaalhoeveelheden en verschillen in afbakening en toepassing. De door Copper8 gerapporteerde afwijkingen zijn daardoor niet één-op-één aan de drie hoofdoorzaken toe te rekenen. De percentages geven het gecombineerde effect weer van correcties en aanvullingen in onder meer gegevens, hoeveelheden, installatieonderdelen en afbakening.

Tabel I.2 - Relatie tussen Copper8 en deze pilot

Onderwerp	Copper8	Deze pilot
Hoofdinvalshoek	Verborgen materiaalgebonden impact zichtbaar maken door bestaande berekeningen te controleren en aan te vullen	Vooraf vergelijken van installatieconcepten in de ontwerpfase
Onderzoeksbasis	Zes utiliteitscasussen	Eén referentiegebouw met geselecteerde W- en E-concepten
Impact	MPG/MKI en materiaalgebonden CO ₂	A1-A3, B4 en B6
Belangrijk probleem	Onvolledige berekening en milieudata	Technische dimensionering, systeemvolledigheid, data en praktische uitvoerbaarheid
Hoeveelheden	Correctie en aanvulling vanuit gedetailleerdere informatie	Hoeveelheden genereren vanuit gebouw- en systeemkenmerken
Betekenis	Maakt omvang van mogelijke onderschatting zichtbaar	Onderzoekt hoe deze eerder in het ontwerp kan worden voorkomen

De onderzoeken versterken elkaar daarmee, maar hebben een verschillende onderzoeksopzet. De resultaten van Copper8 zijn niet gebruikt om de CO₂-waarden in deze pilot te berekenen.

Copper8 noemt verschillende indicaties voor het aandeel van installaties in een gebouw. Op basis van gebouwspecifieke MPG-berekeningen wordt een aandeel van ongeveer 20% tot 40% van de totale milieu-impact genoemd. Voor de gecombineerde materiaalgebonden en operationele CO₂-uitstoot van moderne utiliteitsgebouwen wordt in het onderzoek een hogere bandbreedte aangehaald.

Hieruit kan geen algemeen percentage voor het aandeel van installaties worden afgeleid. Het aandeel is afhankelijk van de gekozen indicator, systeemgrens, gebouwfunctie, installatie-intensiteit en vooral van de vraag of alleen materiaalgebonden impact of ook operationeel energieverbruik wordt beschouwd. De in deze pilot gevonden B6-aandelen mogen om dezelfde reden niet als algemeen gebouwaandeel worden geïnterpreteerd.

I.5 WLC-GWP en digitale milieudata

De ontwikkeling van WLC-GWP versterkt de noodzaak om materiaal- en energiegegevens in samenhang beschikbaar te maken. WLC-GWP brengt de materiaalgebonden impact van het gebouw, waaronder installaties en vervangingen, samen met het gebouwgebonden energiegebruik over de levensduur.

Daarmee neemt ook het belang toe van milieudata die al tijdens het ontwerp bruikbaar zijn. Beleidsmaatregel 10 van het digiGO Bestuursakkoord, Digitale uitwisseling milieuproductdata, sluit hier direct op aan. De maatregel richt zich op uniforme, veilige en betrouwbare digitale uitwisseling van milieuproductdata en op het breder bruikbaar maken daarvan, onder meer in het ontwerpproces en bij kostencalculaties.

Binnen deze beleidsmaatregel worden verschillende digiDeals uitgevoerd. Voor deze pilot zijn met name twee ontwikkelingen relevant:

- het eerder beschikbaar maken van milieudata in het ontwerpproces;
- de koppeling van milieudata aan technisch geclassificeerde productinformatie, waaronder ETIM.

Deze ontwikkelingen sluiten sterk aan op de behoefte die in de pilot is vastgesteld. Wanneer milieudata digitaal aan herkenbare technische producten kunnen worden gekoppeld, kan het zoeken, selecteren en verwerken van gegevens aanzienlijk efficiënter worden.

De pilot laat echter ook zien dat digitale ontsluiting op zichzelf niet voldoende is. Een technische productkoppeling geeft nog niet automatisch antwoord op:

- hoeveel producten in een specifiek ontwerp nodig zijn;
- welke hoofd- en hulpcomponenten gezamenlijk het systeem vormen;
- hoe het systeem moet worden gedimensioneerd;
- welke componenten al in een milieuwaarde zijn opgenomen;
- welke rekenrelatie bij een ontbrekende capaciteit of afmeting kan worden gebruikt;
- welke technische levensduur en vervangingen moeten worden toegepast.

De digitaliseringsontwikkelingen en de methodiek uit deze pilot zijn daarom aanvullend. Digitale uitwisseling kan zorgen dat gegevens sneller en eenduidiger beschikbaar komen; installatiekundige systeem- en ontwerp kennis blijft nodig om te bepalen welke gegevens in een concrete conceptvergelijking moeten worden toegepast.

Het Framework Installaties uit 2022 vormt een bestaand uitgangspunt voor de ordening en modellering van bouwwerkinstallaties binnen de NMD. Het beschrijft onder meer de classificatie volgens NL-SfB, het onderscheid tussen systeem- en componentniveau, de schaalbaarheid van producten en de positionering van vervangbare onderdelen. De actuele verbeteringen van installatiedata binnen het programma Witte Vlekken bouwen hierop voort.

De pilot bevestigt de relevantie van deze onderwerpen, maar laat ook zien dat classificatie en productschaling alleen niet voldoende zijn voor CO₂-sturing tijdens het ontwerp. Ook moet worden bepaald welke hoofd- en hulpcomponenten gezamenlijk een technisch compleet

systeem vormen, hoe capaciteiten en hoeveelheden vanuit gebouw-, gebruiks- en systeemkenmerken worden berekend en hoe A1-A3, B4 en B6 vanuit dezelfde ontwerpuitgangspunten worden verbonden. Juist omdat installatiekeuzes zowel via materiaalgebruik en vervangingen als via het energieverbruik doorwerken in de CO₂-impact, is deze samenhang voor ontwerpsturing van belang. Het Framework kan daarom als fundament worden gebruikt, waarbij de in deze pilot ontwikkelde methodiek de verbinding legt met conceptsturing en de benodigde technische en milieugegevens.

I.6 Verdere ontwikkeling

De pilot, het Copper8-onderzoek en de ontwikkelingen rond digitale milieuproductdata wijzen gezamenlijk op de noodzaak om technische en milieukundige gegevens beter met elkaar te verbinden. Voor verdere ontwikkeling zijn met name de volgende punten van belang:

1. maak per milieuwaarde herkenbaar welk technisch product, welke capaciteit en configuratie worden vertegenwoordigd;
2. leg zichtbaar vast welke materialen, hoofd- en hulpcomponenten en levenscyclusfasen zijn opgenomen;
3. verbind productdata aan herkenbare installatiekundige systeemstructuren, bijvoorbeeld volgens FODAR;
4. bepaal capaciteiten, aantallen en hoeveelheden vanuit gebouw-, gebruiks- en systeemkenmerken;
5. ontwikkel transparante rekenrelaties voor producten en onderdelen waarvoor niet iedere uitvoering afzonderlijk beschikbaar is;
6. leg technische levensduren, bronnen, versies, toepassingsgebieden en onzekerheden vast;
7. combineer installatiekundige beoordeling met LCA-deskundigheid bij de ontwikkeling en validatie van installatiedata;
8. ontwikkel een gegevensstructuur die vroege conceptsturing ondersteunt en hergebruik van technische en milieugegevens voor MPG, WLC-GWP en andere toepassingen mogelijk maakt. Voor iedere toepassing blijven de daarvoor geldende gegevensvereisten, systeemgrenzen en rekenregels leidend;
9. toets de gegevensstructuur in vervolgprojecten op complete installatieconcepten en verschillende gebouwtypen.

De verdere ontwikkeling vraagt daarmee niet alleen om meer milieudata, maar vooral om een samenhangende informatieketen:

technisch ontwerp en dimensionering → systeem- en detailhoeveelheden en energieprestatieparameters → technisch herkenbare productinformatie en milieudata → berekening van materiaalgebruik, vervangingen en energieverbruik → toepassing en verfijning.

De voor de onderzochte concepten vastgelegde systeemopbouwen, gegevensbronnen, rekenrelaties en leerpunten vormen een vertrekpunt voor vervolgtoeepassingen. Een mogelijk vervolg is om deze kennis met opdrachtgevers en ketenpartijen aan te vullen, voor hergebruik te toetsen en in projecten te beproeven. Daarbij zijn afspraken nodig over kwaliteit, beheer, toegang en gebruiksrechten. De inrichting van dit vervolg valt buiten deze pilot.

Bijlage J. Bronnen, begrippen en afkortingen

Deze bijlage bevat de belangrijkste bronnen die zijn gebruikt voor de technische uitwerking, berekeningen, interpretatie en rapportage van de pilot. Daarnaast worden de belangrijkste begrippen en afkortingen toegelicht. Product-specifieke PEP's, EPD's, technische catalogi en materiaalspecificaties zijn per onderzocht installatieonderdeel geregistreerd in de onderliggende bronverantwoording en worden omwille van de leesbaarheid niet allemaal afzonderlijk in deze hoofdbronnenlijst opgenomen.

J.1 Bronnen

Projectdocumenten en berekeningen

- Life Cycle Vision, technische modelberekeningen van het referentiegebouw en de onderzochte installatieconcepten, 2026.
- Life Cycle Vision, berekeningen van capaciteiten, vermogens, aantallen, lengten, oppervlakken, diameterverdelingen, energiegebruik, technische levensduren en vervangingen, 2026.
- Life Cycle Vision en TU Delft, verzamelde product- en materiaalgegevens en afgeleide CO₂-waarden voor A1–A3, 2026.
- TU Delft, beoordeling en verwerking van product- en materiaalgegevens met SimaPro en afleiding van geselecteerde rekenrelaties, 2026.
- BAM, Equans en VDK Groep, installatiekundige beoordeling van systeemopbouw, hoeveelheden, hulpcomponenten en gangbare technische oplossingen, 2026.
- FME en betrokken producenten en leveranciers, technische product-, materiaal- en capaciteitsgegevens, 2026.
- Verslagen, werkdocumenten en correspondentie van de projectgroep, 2025-2026.

Referentiegebouw

- DGMR Bouw B.V., *BENG referentiegebouwen*, rapport E.2015.1371.00.R001, versie 002a, 7 november 2016, met correcties van 24 november 2017, opgesteld in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Aanvullende gebouw-, gebruiks- en installatie-uitgangspunten zoals binnen de pilot bepaald met Life Cycle Vision.

Niet alle voor de berekening benodigde ontwerpuitgangspunten zijn in de documentatie van het referentiegebouw vastgelegd. De benodigde aanvullende uitgangspunten en technische interpretaties zijn daarom binnen de pilot afzonderlijk bepaald en toegepast.

Normen, bepalingsmethoden en rekenregels

- Stichting Nationale Milieudatabase, *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*, versie 2.0, februari 2025, vigerend sinds 1 juli 2026.
- Stichting Nationale Milieudatabase, Routekaart WLC-GWP: stapsgewijze invoering van CO₂-eisen voor gebouwen, 20 augustus 2026.
- Stichting Nationale Milieudatabase, *Bepalingsmethode WLC-GWP*, versie 0.9, gepubliceerd 1 oktober 2025.
- Stichting Nationale Milieudatabase, *Toelichting bij Bepalingsmethode WLC-GWP*, 1 oktober 2025.

- Stichting Nationale Milieudatabase, Framework installaties in NMD – Onderzoek naar optimale aanpak bij opname van installatieproducten, versie 1.0, 30 juni 2022.
- NEN 2767-2:2025, Condiitiemeting gebouwde omgeving – Deel 2: Gebrekenlijsten voor bouwdelen van gebouwen.
- ISO 15686-8:2008, Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation.
- NEN-EN 15804:2012+A2:2019/C1:2021, *Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten* – Basisregels voor de productgroep bouwproducten.
- LBP|SIGHT, *Eindrapportage WLC-GWP - Methode bepaling WLC-broeikasgasemissie*, in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, definitieve versie, 21 juli 2025, kenmerk R001_03_L240503.
- Europese Unie, Richtlijn (EU) 2024/1275 betreffende de energiestaat van gebouwen (herschikking), 24 april 2024.
- Nationale Milieudatabase, beschikbare product-, materiaal- en installatiegegevens zoals geraadpleegd tijdens de uitvoering van de pilot.
- CO₂emissiefactoren.nl, geraadpleegde emissiefactoren voor energiedragers voor zover toegepast in de onderliggende berekeningen.

Product- en milieugegevens

Voor de bepaling en beoordeling van de materiaalgebonden CO₂-impact zijn onder meer de volgende typen bronnen gebruikt:

- Environmental Product Declarations;
- Product Environmental Profiles;
- productbladen en technische catalogi;
- materiaal- en gewichtsopgaven van producenten en leveranciers;
- productsamenstellingen en materiaalspecificaties;
- gegevens van productseries met verschillende capaciteiten en afmetingen;
- milieudata van afzonderlijke materialen;
- milieudata van technisch vergelijkbare producten;
- afgeleide trendlijnen en rekenrelaties.

De bruikbaarheid is per bron en product beoordeeld. Het feit dat een milieuverklaring beschikbaar is, betekent niet automatisch dat deze zonder technische beoordeling binnen een installatieconcept kan worden toegepast. De wijze van beoordeling, verwerking en controle is beschreven in bijlage D.

Externe onderzoeken en ontwikkelingen

- Copper8, Broekhuijsen, G. en Van Kouwen, M., *Verborgene impact installatietechniek - Goede sturing onmogelijk zonder inzicht in daadwerkelijke impact*, juni 2026.
- Stichting Nationale Milieudatabase, *Advies Bouwwerkinstallaties NMD*, opgesteld door LBP|SIGHT, W/E Adviseurs en Life Cycle Vision, 2024.
- Stichting Nationale Milieudatabase, informatie over het programma Witte Vlekken en de verdere ontwikkeling van milieudata voor bouwwerkinstallaties.
- digiGO, Beleidsmaatregel 10, Digitale uitwisseling milieuproductdata.

- digiGO, digiDeal Milieudata op ETIM-decompositieniveau.
- digiGO, informatie over het Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving en de onder beleidsmaatregel 10 uitgevoerde ontwikkelingen rond digitale uitwisseling van milieuproductdata.

Het onderzoek van Copper8 is niet gebruikt als databron voor de berekeningen van deze pilot. Het is gebruikt als externe vergelijking bij de interpretatie van de bevindingen over systeemvolledigheid, hoeveelheden, milieudata en afbakening.

De ontwikkelingen rond digiGO zijn betrokken vanwege de relatie met het eerder en digitaal beschikbaar maken van milieu- en technische productdata. De betekenis hiervan voor de pilot is nader beschreven in bijlage I.

Gebruik van AI

AI is ondersteunend gebruikt bij het zoeken, ordenen, vergelijken en analyseren van informatie en bij de rapportage. AI is niet beschouwd als een zelfstandige of gevalideerde technische of milieudatabron. Informatie die met behulp van AI is gevonden of afgeleid, is waar mogelijk gecontroleerd aan de hand van herleidbare productdocumentatie, leveranciersinformatie en inhoudelijke beoordeling. De werkwijze is nader beschreven in bijlage D.

J.2 Begrippen

Begrip	Omschrijving
A1–A3	Levenscyclusmodules voor de productfase: winning en verwerking van grondstoffen, transport naar de producent en productie.
B4	Levenscyclusmodule voor vervanging. Binnen de pilot is uitsluitend de productie-impact van vervangende onderdelen berekend, met dezelfde A1–A3-impact als voor het oorspronkelijke onderdeel en de in bijlage C beschreven vervangingsfactor.
B6	Levenscyclusmodule voor operationeel energiegebruik. Binnen de pilot betreft dit het energiegebruik van de onderzochte installatieconcepten en componenten.
Beschouwingsperiode	Periode waarover de levenscyclusimpact wordt beoordeeld. Binnen de pilot bedraagt deze 50 jaar.
CO ₂ -equivalent	Rekeneenheid waarmee de bijdrage van verschillende broeikasgassen aan klimaatverandering wordt uitgedrukt als een overeenkomstige hoeveelheid CO ₂ .
Dimensionering	Het bepalen van onder meer capaciteiten, vermogens, aantallen, debieten, afmetingen en diameters vanuit gebouw, gebruik en systeemconcept.
Emissiefactor	Hoeveelheid CO ₂ -equivalent die aan een eenheid energiegebruik, materiaal of activiteit wordt toegerekend.
Ex ante	Beoordeling voorafgaand aan de uiteindelijke realisatie, binnen deze pilot gericht op het vergelijken en sturen van ontwerpkeuzes met informatie die past bij de ontwerpfase.

Begrip	Omschrijving
Ex post	Beoordeling op basis van verder uitgewerkte of gerealiseerde oplossingen, waarbij specifiekere product- en hoeveelhedsgegevens beschikbaar zijn.
FODAR	Functionele ordening van installaties volgens functie, opwekking, distributie, afgifte en regeling.
Forfaitaire waarde	Vooraf vastgestelde standaardwaarde die volgens een afgesproken of voorgeschreven rekenregel wordt toegepast. Het toepassingsgebied en de afbakening moeten duidelijk zijn. Of projectspecifieke gegevens deze waarde mogen vervangen, hangt af van de betreffende rekenregels.
Functionele eenheid	Eenheid waarop een milieuwaarde betrekking heeft, bijvoorbeeld per product, kilogram materiaal, meter leiding, vierkante meter of bepaalde technische prestatie.
Functionele gelijkwaardigheid	Uitgangspunt dat te vergelijken varianten dezelfde relevante functies en prestaties moeten leveren.
Hoofdhoeveelheid	Technische hoeveelheid die vanuit het ontwerp wordt bepaald, zoals vermogen, aantal, leidinglengte, debiet of oppervlak, en die vervolgens verder kan worden vertaald naar componenten.
Milieudata	Gegevens over de milieu-impact van een product, materiaal, proces of energiedrager.
Productschaling	Vertaling van een productwaarde naar een andere capaciteit, afmeting of uitvoering op basis van een technisch onderbouwde relatie.
Rekenen van grof naar fijn	Werkwijze waarbij in de vroege ontwerpfase met voldoende representatieve gegevens wordt gewerkt en de berekening later met specifiekere ontwerp- en productinformatie wordt verfijnd.
Rekenrelatie	Onderbouwde relatie waarmee een milieu- of materiaalwaarde vanuit een technische parameter kan worden bepaald.
Systeemdimensionering	Bepalen welke capaciteiten, vermogens, debieten, aantallen en afmetingen nodig zijn om binnen een specifiek gebouw de gevraagde installatiefuncties en prestaties te leveren. Hieruit worden de benodigde systeemhoeveelheden afgeleid.
Systeemgrens	Afbakening van welke onderdelen en processen wel en niet binnen een berekening worden meegenomen.
Technische levensduur	Periode waarin een installatieonderdeel naar verwachting technisch functioneel kan blijven voordat vervanging noodzakelijk wordt.
Whole Life Carbon	Broeikasgasemissies die gedurende de gehele levenscyclus van een bouwwerk ontstaan uit materialen, bouw, gebruik, vervanging en einde levensduur, afhankelijk van de gehanteerde afbakening.

J.3 Afkortingen

Afkorting	Betekenis
AI	Artificial Intelligence / kunstmatige intelligentie
BENG	Bijna energieneutraal gebouw
BVO	Bruto vloeroppervlak
CO ₂	Koolstofdioxide
CO ₂ -eq	Koolstofdioxide-equivalent
DSGO	Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving
EPD	Environmental Product Declaration
EPG	Energieprestatie Gebouwen
EPBD IV	Europese richtlijn betreffende de energieprestatie van gebouwen; in dit rapport de herschikte Richtlijn (EU) 2024/1275.
ETIM	Classificatiestandaard voor technische productinformatie
FME	Ondernemersorganisatie voor de technologische industrie
FODAR	Functie, opwekking, distributie, afgifte en regeling
GWP	Global Warming Potential
HR-ketel	Hoog-rendementsketel
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
MJOP	Meerjarenonderhoudsplan
MKI	Milieukostenindicator
MPG	Milieuprestatie Gebouwen
NMD	Nationale Milieudatabase
NTA 8800	Nederlandse Technische Afspraak voor de energieprestatie van gebouwen
PEP	Product Environmental Profile
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
RVB	Rijksvastgoedbedrijf
TNL	Techniek Nederland
WLC	Whole Life Carbon
WLC-GWP	Whole-Life Cycle - Global Warming Potential

De CO₂-impact van morgen wordt vandaag ontworpen

Van pilot naar betrouwbare keuzes voor gebouwinstallaties

Installatiekeuzes van vandaag bepalen tientallen jaren materiaalgebruik, vervangingen en energiegebruik. Deze pilot laat zien dat CO₂-impact al vroeg in het ontwerp kan worden meegewogen en dat de keuze tussen concepten substantieel kan uitmaken. De belangrijkste opbrengst is inzicht in wat nodig is om zulke keuzes betrouwbaar, herhaalbaar en praktisch te kunnen maken.

Projectgegevens

Opdrachtgever: Rijksvastgoedbedrijf

Inhoudelijke en financiële bijdrage: Techniek Nederland

Projectcoördinatie en rapportage: Life Cycle Vision

Uitgevoerd in samenwerking met: TU Delft / Stichting Sustainability Impact Metrics, FME, BAM, Equans, VDK Groep en betrokken producenten en leveranciers

Contact over dit rapport

Life Cycle Vision

Bernd Karstenberg
bkarstenberg@lifecycle.vision
www.lifecycle.vision