

TNO-publikatie  
TNO-MEP – P 99/049

TNO Milieu, Energie  
en Procesinnovatie

TNO-MEP  
Business Park E.T.V.  
Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93  
Fax: 055 541 98 37  
Internet [www.mep.tno.nl](http://www.mep.tno.nl)

## Milieubelasting van installaties

### Verleden, heden en toekomst

Datum  
november 1999

Auteur(s)  
Ir. L.J.A.M. Hendriksen  
Ir. B.L. van der Ven

Projectnummer  
29938

Trefwoorden

Bestemd voor  
TVVL Magazine

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

© 1999 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en  
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en  
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut  
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame  
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals  
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

## Inleiding

Het onderwerp milieubelasting veroorzaakt door installaties - in dit geval installaties voor ruimteverwarming, warmtapwater levering en ventilatie - is een aantal jaren geleden in de belangstelling gekomen, mede onder invloed van het overheidsstreven naar een meer duurzame samenleving. Gezamenlijk met de installatiebranche is door TNO-MEP in 1993 een eerste onderzoek (fase 1) opgestart, gevolgd door andere fasen. Fase 4 is in 1999 gestart, en zo het zich laat aanzien zullen nog meer fasen volgen, want er is nog een lange weg te gaan alvorens de milieubelasting daadwerkelijk kan worden meegenomen bij het ontwerpen van installaties.

In dit artikel wordt het TNO-onderzoekstraject in grote lijnen beschreven, aangevuld met aanverwante projecten en mogelijke toekomstige ontwikkelingen.

## Fase 1: Pilot studie

In 1993 is door TNO-MEP in samenwerking met ISSO en VNI een onderzoek gestart om na te gaan of de milieubelasting, veroorzaakt door een installatie in een woning, hanteerbaar kan worden gemaakt als selectiecriteria bij de installatiekeuze. Om de milieueffecten vanaf grondstofwinning tot en met afvalverwerking integraal en systematisch in beeld te brengen is de methode van de levenscyclusanalyse (LCA) toegepast op één installatie, die een referentie doorzonwoning verwarmt, ventileert en van warmtapwater voorziet. De installatie bestaat uit een HR-combi, radiatorenverwarming (90/70) en gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning uit ventilatielucht.

De LCA is een analyse methodiek, gericht op de kwantificering van de milieubelasting die veroorzaakt wordt door een product/systeem gedurende de levensfasen van dat product/systeem (productie, gebruik, afdanking). Het betreft een aaneenschakeling van verschillende deelprocessen, die kunnen plaatsvinden in verschillende geografische gebieden en op verschillende tijden. Om de milieueffecten te kunnen bepalen worden de potentiële effecten geanalyseerd; dat zijn indicatoren van mogelijke milieueffecten op lokaal, regionaal en mondiaal niveau. Kortom, de LCA maakt het mogelijk een integrale analyse te maken.

Het resultaat van de LCA is het milieuprofiel, de score op een aantal milieuthema's, zoals broeikaseffect, aantasting ozonlaag, verzuring, vermesting, uitputting grondstoffen, etc.

In dit onderzoek kunnen naast de score van de installatie in totaal, ook verschillende doorsneden worden bekeken om te kunnen analyseren waar de grote milieuvissen zitten. De volgende onderverdeling is gehanteerd:

1. Er worden 3 levensfasen onderscheiden:

- Productiefase:
  - produceren van artikelen;
  - recepten t.b.v. bouwdelen en installatie.  
Derhalve alles tot en met het installeren in de woning.
- Gebruiksfase:
  - energiegebruik (gas en elektriciteit);
  - onderhoud en vervanging.
- Afdankfase:
  - afdanken van artikelen en bouwdelen aan het eind van de levensduur;
  - recepten t.b.v. sloop en afvoer.

2. De installatie wordt opgedeeld in:

- hoofdfuncties (verwarmen, warmtapwater en ventileren);
- per hoofdfunctie deelfuncties (bron, transport, distributie en afgifte).

**Opmerking:** Gebleken is dat deze indeling enerzijds een goed inzicht geeft in de opbouw van het milieuprofiel, maar anderzijds is het kenmerk 'hoofdfunctie' en 'deelfunctie' niet altijd even eenduidig aan een installatie-onderdeel toe te kennen.

Voorbeeld: de HR-combi is er zowel voor ruimteverwarming als voor warmtapwater.

Het relatieve belang van het berekende milieuprofiel wordt verkregen door te normaliseren. Hierbij wordt de bijdrage van de betreffende installatie aan een milieueffect gerelateerd aan de totale bijdrage van een bepaalde ‘gemeenschap’ gedurende een bepaalde tijd aan datzelfde milieueffect. In dit onderzoek is gekozen voor de ‘gemeenschap’ Nederland en een periode van een jaar.

Twee belangrijke conclusies van deze pilotstudie zijn:

- de LCA-methode lijkt bruikbaar om de milieubelasting van een installatie te kwantificeren.
- de gebruiksfase levert weliswaar een belangrijke bijdrage aan de milieubelasting, maar de bijdrage van de andere twee fasen zijn niet te verwaarlozen.

Voor de overige resultaten van de pilotstudie wordt verwezen naar ISSO-researchrapport 32.1.

## Fase 2: Uitbreiding fase 1

In deze tweede fase is meer ervaring opgedaan met de LCA-methode toegepast op installaties. Uitgangspunt was dezelfde functionele eenheid, d.w.z. dezelfde referentiewoning verwarmen, ventileren en van warmtapwater voorzien. In plaats van de HR-combi is in dit project gekozen voor een kleinschalige warmtekrachtcentrale. Daarnaast is ook de LCA toegepast op de woning, d.w.z. de woningschil, die mede bepalend is voor de energiebehoefte. Onderdelen als keukenblok en trap vallen buiten beschouwing. De resultaten zijn vastgelegd in ISSO-researchrapport 32.2.

Belangrijke conclusies zijn:

- de bijdrage van de woning en installatie aan de milieubelasting zijn qua grootte orde hetzelfde;
- de LCA-methode is bruikbaar om de milieubelasting van een installatie te betrekken bij het ontwerpproces.

Op basis van de resultaten van fasen 1 en 2 werd besloten dit onderzoekstraject voort te zetten. De volgende stap was, om voor installatiedeskundigen een computerondersteund hulpmiddel te ontwikkelen, waarmee van een installatie en varianten ervan de milieuprestatie kan worden bepaald.

### Fase 3: Ontwikkeling prototype Eco-Instal

In deze derde fase is een eerste versie van het prototype van Eco-Instal (EI) ontwikkeld. Hoewel het met Eco-Instal mogelijk is om een hele installatie van ‘scratch’ op te bouwen, moet het niet als een echte ontwerptool worden gezien. Het is een hulpmiddel om tijdens het ontwerpen de milieubelasting van een installatie mede te betrekken bij de keuzevorming.

Ten behoeve van de ontwikkeling van Eco-Instal heeft afstemming plaatsgevonden met het project van Eco-Quantum (EQ) en is er rekening gehouden met ontwikkelingen in de installatiebranche, die voor dit project van belang kunnen zijn of worden, zoals Uniforme Omgeving (UO), de artikelclassificatie en het artikelbestand, de bouwdelenbibliotheek en werkzaamheden binnen TVVL-werkgroepen. Eco-Quantum is een vergelijkbare ontwikkeling als Eco-Instal, maar dan gericht op het gebouw. De gehanteerde rekenmethode is ook gebaseerd op de LCA. De Uniforme Omgeving is vanuit de installatiebranche opgezet en is simpel gesteld een model, waarmee men de in- en uitvoer van projectgegevens goed kan beheren. Verschillende applicaties worden door middel van één algemeen invoerprogramma en een centraal gegevensmodel van de benodigde invoergegevens voorzien en aan elkaar gekoppeld. Verschillende applicaties kunnen gebruik maken van dezelfde invoergegevens en uitvoer van de ene applicatie kan weer invoer zijn voor een andere applicatie.

In het artikelbestand zijn installatieonderdelen volgens het artikelclassificatiesysteem van VNI en ITI eenduidig gerubriceerd en zijn bijbehorende productgegevens vastgelegd. Het is een gemeenschappelijk bestand voor de installatiesector, waaraan de fabrikanten en groothandels elk hun artikelgegevens toevoegen en waaruit elke installateur de relevante gegevens kan halen.

In de bouwdelenbibliotheek wordt beschreven hoe een bepaald bouwdeel is opgebouwd (artikelen en recepten). Het opzetten van de bouwdelenbibliotheek dient nog te geschieden. De bouwdelenbibliotheek wordt waarschijnlijk een andersoortig bestand als het artikelbestand. Het wordt meer een bestand, waarin een beperkt aantal standaard bouwdelen beschreven worden, die dan door ontwerpers als basis kunnen dienen voor een zelf op te zetten bibliotheek.

Bovenstaande heeft geleid tot een aantal consequenties voor de opzet en ontwikkeling van EI. De belangrijkste zijn:

1. De “productieketen” van de installatie ziet er als volgt uit:  
basismaterialen/halffabrikaten ---- *processen* → artikelen --- *recepten* → bouwdelen --- *recepten* → installatie.
2. Het artikelbestand en de bouwdelenbibliotheek zijn voor het prototype nog niet bruikbaar. Bij de ontwikkeling van EI wordt wel met deze twee bestanden rekening gehouden, maar in de tussentijd wordt gebruik gemaakt van een eigen database met milieudata van artikelen en bouwdelen, verkregen uit eerdere TNO/ISSO-onderzoeken (fasen 1 en 2).

3. De koppeling met de Uniforme Omgeving (UO) zal in een later stadium tot stand komen.
4. Milieudata van generieke zaken zijn opgenomen in een zogenaamd basisbestand. Het gaat hierbij om basismaterialen (bijv. staal), halffabrikaten (bijv. verzinkt plaatstaal), processen (bijv. metaalbewerkingen) en energie (elektriciteit en gas), recepten om bouwdelen samen te stellen, maar ook recepten om een installatie in een gebouw aan te brengen en te verwijderen, onderhoudsprocessen. Dit bestand valt buiten het prototype. Op dit vlak heeft afstemming met Eco-Quantum plaatsgevonden.

De opzet van de thans ontwikkelde versie van EI is als volgt. Binnen een te benoemen en te omschrijven project kunnen installaties worden ingevoerd. Dit betekent:

**1. invoeren gegevens van een installatie:**

- algemene gegevens (naam en omschrijving);
- stuklijst (artikelen, bouwdelen en recepten);
- energiegebruik (gas en elektriciteit).

**2. selecteren van berekeningsopties:**

- levensduur installatie;
- afvalscenario's, d.w.z. percentage verbranden, storten en hergebruik (huidig, toekomstig of eigen scenario);
- recycle-niveau (hoog of laag);
- normalisatiedata;
- versiebeheer t.a.v. te gebruiken dataversies van artikelen, bouwdelen, recepten, onderhoud en normalisatie.

**3. doorrekenen installatie:**

de betreffende installatie wordt doorgerekend, d.w.z. de milieudata worden uit de databases gehaald en op basis hiervan wordt het (genormaliseerde) milieuprofiel - de score op milieuthema's - van de installatie berekend. De resultaten worden in de vorm van een staafdiagram gepresenteerd. Hierbij kunnen naast een totaalscore ook verschillende doorsneden worden getoond. De gebruiker kan stapsgewijs kiezen uit de bijdrage van de hoofdfuncties (verwarmen, tappen, ventileren, alle), de deelfuncties (bron, transport, distributie, afgifte, alle) en levensfasen (productie, gebruik, afdanking, alle). Ook kan de bijdrage van het verbruik van gas- en elektriciteit expliciet worden getoond. De resultaten kunnen ook als milieumaten 'grondstoffen', 'energie', 'emissies' en 'afval' worden gepresenteerd.

Andere installatieonderdelen en/of een ander energiegebruik betekent een variant van de installatie. Varianten van een installatie kunnen onderling met elkaar worden vergeleken. Reeds ingevoerde installaties kunnen weer worden opgeroepen, aangepast en doorgerekend en, eventueel onder een andere naam, worden opgeslagen.

*Opmerking:* Milieumaten zijn het resultaat van een verdere aggregatie van effectscores, waarbij weegfactoren noodzakelijk zijn, die de ernst van het ene milieueffect relateren aan die van andere milieueffecten. Weging van effectscor-

res bevat altijd subjectieve elementen en bevindt zich nog in een experimenteel stadium. Hetzelfde geldt voor de milieu-indicator. Een veelvuldig gehanteerde methode hierbij is de MET (Materialen, Energie en Toxiciteit)-pointsmethode van TNO en TUD. Deze methode is de zogenaamde Distance-to-Target-methode, waarbij de weegfactor wordt bepaald door de afstand van de huidige milieubelasting tot doelstellingen van de overheid.

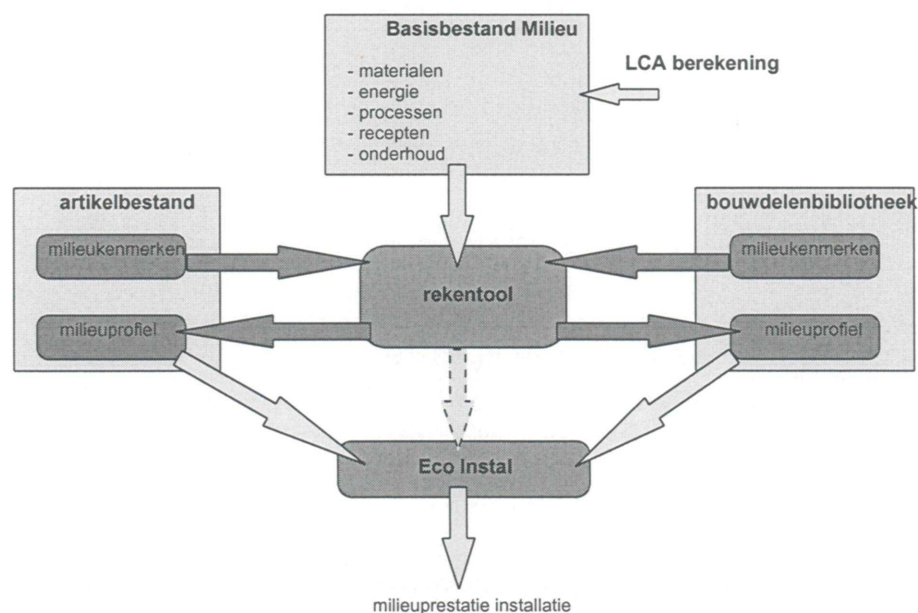


#### Fase 4: Milieu- en kostenkenmerken van artikelen en bouwdelen

Uit een workshop begin 1999 over Eco-Instal en het vervolg erop, bleek dat er duidelijkheid moet komen over wat er allemaal nodig is aan informatie om een 'goede' milieugerichte levenscyclusanalyse (MLCA) te maken. Opgemerkt wordt dat in de loop van fase 3 het aspect kosten naar voren is gekomen als een steeds belangrijker wordend item. Men kijkt niet alleen meer naar de investeringskosten, maar wil graag alle kosten tijdens de gehele levenscyclus in kaart hebben; dus voor een kostengerichte levenscyclusanalyse (KLCA) zijn ook onderhoud en vervanging van belang.

In dit project, dat kortgeleden gestart is, wordt onderzocht welke milieu- en kostenkenmerken van een artikel en bouwdeel bekend dienen te zijn, zodat een MLCA of KLCA gemaakt kan worden. Deze werkzaamheden vormen een onderdeel van een te ontwikkelen methodiek, waarin dit toegepast kan worden. Dit artikel beperkt zich tot de MLCA. In figuur 1 zijn de ideeën over de opzet en aanpak schematisch weergegeven. In grote lijnen werkt het als volgt:

Het geheel bestaat uit modules, waarbij het artikelbestand, en in mindere mate de bouwdelenbibliotheek, een centrale rol spelen. In het artikelbestand bevatten artikelen milieukenmerken, die als basis dienen voor het berekenen van het milieuprofiel van dat artikel. Met de 'rekentool' worden de milieukenmerken uit het artikelbestand gehaald en met gebruikmaking van de gegevens uit het basisbestand wordt het milieuprofiel van het betreffende artikel berekend. Het resultaat wordt teruggeplaatst in het artikelbestand; een schaduwbestand is ook mogelijk. In Eco-Instal worden de installatiegegevens ingevoerd, en deze haalt de benodigde milieuprofielen van de artikelen uit het artikelbestand. Voor bouwdelen geldt min of meer hetzelfde.



Figuur 1 Schematische weergave opzet berekening milieuprestatie installaties.

Dit schema wordt gezien als basis, maar veel zaken moeten nog uitgezocht en verder ontwikkeld worden. Op dit moment is bijvoorbeeld nog niet duidelijk hoe de modules eruit zullen zien en het is niet ondenkbaar dat het beter is sommige modules te integreren tot één moduul. E.e.a. is afhankelijk van de uiteindelijk gekozen (of mogelijke) uitvoeringsvorm. De belangrijkste aandachtsgebieden hierbij zijn:

1. de organisatorische uitvoerbaarheid;
2. het ontwikkelen/geschikt maken van separate modules;
3. het integreren van de modules tot een werkend systeem;
4. het systeem evalueren aan de hand van cases.

Geconstateerd is dat er t.a.v. Eco-Instal twee nogal uiteenlopende toepassingen mogelijk zijn. Enerzijds Eco-Instal als hulpmiddel tijdens het ontwerpen van een concrete installatie, waarbij artikelen kunnen worden uitgewisseld (zoals in het schema is aangegeven), en anderzijds Eco-Instal als hulpmiddel om installatieconcepten (of delen daarvan) meer in het algemeen te beoordelen. De eerste optie betekent een ‘zware’ tool met veel aandacht voor details en waarbij fabrikaten zich kunnen onderscheiden. De tweede optie heeft minder detailnivo (een kilo materiaal meer of minder maakt niet uit, tenzij het iets bijzonders is) en wordt gebruikt voor het classificeren van **bestaande** concepten. Opgemerkt wordt nog, dat vanuit de eerste toepassing wel de tweede mogelijk is, maar andersom niet. Om alles open te houden richt dit onderzoek zich in eerste instantie op de eerste optie.

## Aanverwante projecten

De vorige vier projecten behoren tot een bepaald onderzoekstraject. Daarnaast zijn er nog projecten die mede door TNO worden/zijn uitgevoerd en die nauw verwant zijn aan dit onderzoekstraject. In dit kader zijn dat de volgende twee projecten:

1. De relatie tussen energieprestatie en integrale milieubelasting bij energiezuinige woningbouw. Een oriënterende studie.
2. Milieuprestatie en Bouwbesluit.

### Ad 1.

Besparing van energie en grondstoffen vormt een belangrijk maatschappelijk uitgangspunt. In de bouwsector krijgt dit gestalte onder de noemer van “duurzaam bouwen”. Energie Prestatie Normering (EPN) bij de woningbouw is hier een onderdeel van. De gewenste energieprestatie van de woning is te realiseren via verschillende maatregelen, van zowel bouwkundige als installatie-technische aard. Deze maatregelen, die leiden tot een vermindering van het energiegebruik in de gebruiksfase van de woning, kunnen leiden tot een vermeerdering van milieueffecten in de overige fasen van de levenscyclus. Deze milieueffecten ontstaan door de productie, het gebruik, het onderhoud en de afdanking, recycling of hergebruik van de bouw- en installatieproducten die de energiebesparende maatregelen realiseren.

De vraag is hoe de integrale milieubelasting van energiebesparende maatregelen zich verhoudt tot de directe milieuwinst door de energiebesparing. Aan de hand van een referentiewoning is onderzocht welk verband er bestaat tussen de verschillende pakketten van maatregelen en de bijbehorende energieprestatie enerzijds en de resulterende milieueffecten over de gehele levenscyclus (milieuprestatie) anderzijds.

Het blijkt dat alle onderzochte besparende maatregelen per saldo een lagere milieubelasting opleveren dan de referentiewoning. Er is echter wel verschil in milieurendement, d.w.z. een bepaalde EPc-waarde is via verschillende maatregelen te realiseren, waarbij de integrale milieubelasting aanzienlijk kan verschillen. Opvallend hierbij is dat de milieueffecten veroorzaakt door de installatie niet verwaarloosbaar zijn.

De conclusie uit dit onderzoek is dat er naast de energieprestatie (EP) ook de milieuprestatie (MP) als beoordelingsmaatstaf gehanteerd zou moeten worden.

### Ad 2.

De overheid wil het concept van een milieuprestatienormering op materiaalniveau in het Bouwbesluit opnemen. De eerste stap, het uitwerken van de methodiek, is (nagenoeg) afgerond. Het plan is om een en ander in 2001 operationeel te hebben.

## Nabeschuwing

Terugkijkend op de afgelopen jaren leert ons, dat er inmiddels heel wat op het gebied van milieubelasting van installaties en gebouwen is opgestart, maar het leert ons tevens dat het slechts een begin is.

Naast het vervolg op het in dit artikel beschreven onderzoekstraject vallen de volgende zaken onder de mogelijke toekomstige ontwikkelingen:

- **Uitbreiding naar utiliteit.**  
De onderzoeken tot nu toe betreffen hoofdzakelijk woningbouw. Weliswaar zijn er voor een kantoorgebouw ook berekeningen uitgevoerd, maar die zijn slechts oriënterend van karakter.
- **Naast de EPN ook de MPN.**  
Deze ontwikkeling is al gaande. Aangezien de EPN ook een indicator is voor de milieubelasting, maar dan slechts gericht op CO<sub>2</sub>-reductie is het niet ondenkbaar dat de EPN op termijn onderdeel wordt van de MPN.
- **Uitbreiding naar de bestaande bouw.**  
De onderzoeken tot nu toe betreffen nieuwbouw. Maar net zoals naast de EPN (nieuwbouw) ook de EPA (bestaande bouw) wordt ingevoerd kan in het kader van Duurzaam Bouwen ook de integrale milieubelasting een rol spelen. Belangrijk hierbij is de rol (ambitieniveau) van woningcorporaties en gemeenten.
- **Uitbreiding naar wijkniveau.**  
Ook in dit geval kan de milieubelasting dezelfde weg volgen als de energieprestatie. Dus naast de EPL kunnen ook andere milieuaspecten in de afweging worden betrokken. Met name de energie-infrastructuur is hierbij een interessant aspect. Ook hierbij is het ambitieniveau van woningcorporaties en gemeenten essentieel.

Naarmate de milieubelasting in breder perspectief wordt bekeken spelen meer en meer aspecten een rol, en dat kunnen ook niet-technologische aspecten zijn, zoals landgebruik, horizonvervuiling, etc. Ook het binnenmilieu is een aspect dat in de beschouwing zou moeten worden meegenomen. Derhalve veel milieu-aspecten die een rol spelen. Bij de uiteindelijke keuze is de milieubelasting slechts één van de aspecten. Ook de kosten en zaken die met de bedrijfsvoering te maken hebben zijn van belang bij de keuzevorming. Kortom een complex probleem, dat een procesmatige benadering met een besliskundige ondersteuning behoeft.