



Universiteit
Leiden
The Netherlands

The rebound effect through industrial ecology's eyes : the case of transport eco-innovation

Font Vivanco, D.

Citation

Font Vivanco, D. (2016, March 3). *The rebound effect through industrial ecology's eyes : the case of transport eco-innovation*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/38352>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/38352>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/38352> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Font Vivanco, David

Title: The rebound effect through industrial ecology's eyes : the case of transport eco-innovation

Issue Date: 2016-03-03

Samenvatting

Transportinnovatie is en blijft een vitale motor van sociale vooruitgang en een belangrijk instrument om bij te dragen aan de verbetering van brandende milieukwesties zoals klimaatverandering en luchtvervuiling. Verwachtingen omtrent de superioriteit van het eco-innovatieconcept - dat vaak gebruikt wordt bij de ontwikkeling van milieubeleid - voor het milieu, hebben ertoe geleid dat juist dit concept gemunt werd. Eco-innovatie-claims in de transportsector en andere sectoren worden vaak onderbouwd door een veelvoud aan milieu-evaluatie-instrumenten. Daarvan genieten de benaderingen die gebaseerd zijn op de principes van de industriële ecologie onder wetenschappers en beleidsmakers een grote populariteit, en met name degenen die gebaseerd zijn op *life cycle assessment* (LCA). LCA biedt een technologie-expliciet en flexibel analytisch kader om de milieuconsequenties van producten te bestuderen, inclusief de *trade-offs* tussen bevoorradingsketens en milieudruk, dankzij het *life cycle*-perspectief en het gebruik van meervoudige indicatoren. Toch stond het gebruik van LCA als ondersteuning van beleid de laatste jaren nogal in de schijnwerpers vanwege het miskennen van causale effecten verbonden met economische mechanismen en gedragsresponsen, die een aanzienlijke impact kunnen hebben bij vergelijkende evaluaties. Van deze causale effecten heeft de bestudering van rebound-effecten een grote populariteit; algemeen wordt erkend dat deze een groot vermogen hebben om milieuresultaten negatief te beïnvloeden.

De oorsprong van dit zogenoemde rebound-effect gaat terug op het baanbrekende werk van de Engelse econoom William Stanley Jevons, die betoogde dat efficiënter gebruik van hulpbronnen in feite eerder tot een algemene toename van het gebruik leidt dan tot een afname, zoals men misschien zou verwachten. Jevons theorieën, die later bekend raakten als de 'Paradox van Jevon', trokken, als gevolg van diverse milieucrisis, opnieuw de aandacht van energie-economen; eerst in de jaren zeventig met een energiecrisis die grote industriële economieën teisterde met olietekorten en -prijsstijgingen en later, in de jaren negentig, in de context van het debat over klimaatverandering. Het merendeel van de literatuur over energie-economie definieerde het rebound-effect als de toename van de levering van energiediensten als gevolg van verbeteringen in technologische efficiëntie, die een verlaging van de effectieve prijs van energiediensten veroorzaakte. Toch werd deze definitie als te beperkt beschouwd door diverse andere disciplines die geïnteresseerd waren in de potentie van het rebound-effect-concept om hiermee het realiteitsgehalte te verbeteren van evaluaties van de milieuvoordelen voortvloeiend uit de implementatie van nieuwe producten en technologieën. Onder de alternatieve disciplinaire opvattingen zijn die van de industriële ecologie en andere duurzaamheidswetenschappen grotendeels onopgemerkt gebleven, waardoor conventionele wetenschappers hun potentiële belang niet onderkend hebben.

Industrieel-ecologen vonden het oorspronkelijke energie-rebound-effect-kader niet toereikend om alle effecten die van belang waren te beschrijven. Wat gebeurt er bijvoorbeeld als een bepaalde technische verandering geen afname in energiegebruik bewerkstelligt, maar resulteert in andere vormen van milieudruk zoals luchtmissie en/of afval? Zijn de prijzen altijd volledig bepalend voor consumptie- en productiebeslissingen? Kunnen bredere definities van efficiëntie, die verder gaan dan veranderingen in de ratio tussen inputs en outputs, gebruikt worden in de context van rebound-effecten? Het traditionele kader van het energie-rebound-effect kon aan deze bezwaren niet tegemoetkomen, waarna zich diverse nieuwe inzichten ontvouwen, hetgeen leidde tot een bescheiden hoeveelheid theorieën en definities. Sommige wetenschappers muntten de term ‘milieu-rebound-effecten’, voornamelijk om te verwijzen naar rebound-effecten die gingen over diverse vormen van milieudruk (hulpbronnen, emissies en afval) in plaats van alleen over energiegebruik. Desalniettemin is de ontwikkeling van een adequaat theoretisch kader dat aansluit bij de conventionele rebound-theorieën, en dat de volle breedte aan onderzoeksmogelijkheden benut die mogelijk worden door dit nieuwe concept, nog verre van volledig onderzocht.

Het doel van dit proefschrift is het onderzoeken van de rol van rebound-effecten bij het vormgeven van de milieuprestatie van transport-eco-innovatie, en het onderzoeken van de waarde van het toepassen van concepten en methoden uit de industriële ecologie en andere duurzaamheidswetenschappen. Om dit doel te realiseren, komen de volgende onderzoeksvragen aan bod:

Vraag 1. Is *life cycle assessment* een goede basis voor milieu-evaluatie van transport-eco-innovatie op macroniveau?

Vraag 2. Levert transport-eco-innovatie effectief milieuvordelen op als rekening gehouden wordt met rebound-effecten?

Vraag 3. Zijn concepten en methoden uit het vakgebied van de industriële ecologie waardevol voor het bestuderen van rebound-effecten?

Vraag 4. Met welke beleidsmaatregelen kunnen ongewenste gevolgen van rebound-effecten beperkt worden? En welke daarvan zijn het meest effectief?

Hoofdstuk 2 onderzoekt de beperkingen van LCA op productniveau aan de hand van een *case study* van diesel-personenauto's in Europa. In deze *case study* wordt de relevantie van het rebound-effect getest door het gecombineerde effect op zowel technologie als vraag te evalueren, ervan uitgaand dat een rebound-effect zal optreden als gevolg van de toegenomen brandstofefficiëntie van dieselmotoren. De resultaten laten een aanzienlijke impact zien van het rebound-effect op de oorspronkelijke LCA-resultaten. In feite zou het rebound-effect de milieubesparingen van historische technologische verbeteringen van dieselmotoren volledig teniet gedaan hebben, en geleid hebben tot een totale toename van CO₂ uitstoot. De discrepanties tussen de oorspronkelijke LCA-resultaten, die in het voordeel waren van dieselauto's in vergelijking met hun benzine-tenhangers, en de resultaten die ook rekening hielden met het rebound-effect, werpen een kritisch licht op de toepassing van technologie-georiënteerde benaderingen voor de informatievoorziening van milieubeleid. Zulke benaderingen worden wel als waardevol beschouwd, maar ook als

onvoldoende. Een andere uitkomst van dit hoofdstuk is het besef dat het rebound-effect binnen de industriële ecologie verschillend behandeld wordt, en dat met incidentele en soms inconsistente definities wordt gewerkt.

In **Hoofdstuk 3** krijgen we door het uitvoeren van een uitgebreide literatuurstudie meer inzicht in hoe er binnen de industriële ecologie is omgegaan met het rebound-effect. In het bijzonder onderzoekt dit hoofdstuk de theoretische en methodologische implicaties van het in de beschouwing betrekken van rebound-effecten in milieu-evaluaties, en de waarde van de toepassing van concepten en methoden uit het domein van de industriële ecologie voor de bestudering van rebound-effecten. Verder worden inzichten verworven aangaande het ‘milieu-rebound-effect-concept’, dat sommige wetenschappers gebruikt hebben om diverse beperkingen van de klassieke energie-rebound-effect-definitie te ondervangen. De opvallendste van deze beperkingen is de bestudering van diverse vormen van milieudruk los van energiegebruik en daaraan gerelateerde emissies. Als de drie meest dominante richtingen worden onderscheiden: (1) het gebruik van multidimensionale, *life cycle* milieu-indicatoren, (2) de verbetering van de technologische explicietheid van rebound-evaluaties en (3) het verbreden van de consumptie- en productiefactoren die tot rebound-effecten leiden. Bovendien is er een aantal inconsistenties op het gebied van definities en concepten gevonden, die de noodzaak van algemene richtlijnen onderstrepen. Omgekeerd maakt dit het ook begrijpelijk waarom dit nieuwe perspectief grotendeels veronachtzaamd is door de specialistische literatuur.

De operationalisatie en waarde van concepten en methoden uit de industriële ecologie worden in diverse *case studies* getest; ze worden gepresenteerd in **Hoofdstuk 4, 5 en 6**. Deze *case studies* onderzoeken de rol van prijsgebaseerde micro-economische milieu-rebound-effecten in de context van transport-eco-innovatie. Een totaal van tien transportinnovaties die in Europa zijn doorgevoerd zijn als *case study* gebruikt. **Hoofdstuk 4** geeft de resultaten voor plug-in hybride elektrische (PHE), full-battery elektrische (FBE) en hydrogen fuel cell (HFC) auto's, en **Hoofdstuk 6** gaat dieper in op de laatste twee. **Hoofdstuk 5** levert schattingen voor dieselauto's, bicycle sharing systems (BSS), car sharing schemes (CSS), katalytische converters in personenauto's, direct-fuel-injection-systemen (DFI systems) in personenauto's, high-speed-rail-systemen (HSR systems) en park-and-ride-schema's (P+R schemes). Alle bestudeerde innovaties laten een totale verbeterde milieuprestatie zien ten opzichte van hun alternatieven volgens LCA-resultaten, maar als prijs-rebound-effecten er ook bij betrokken worden, heeft dat een aanzienlijke invloed op de relatieve prestatie in het algemeen. De resultaten tonen een breed scala aan rebound-schattingen. Beschouwing van de algehele trends van de diverse gebruikte milieu-indicatoren, laten bij drie van de tien bestudeerde innovaties een negatief rebound-effect of een algehele verbetering van de milieudruk zien (P+R, FBE en HFC auto's). Drie innovaties (katalytische converters, PHE-auto's en DFI) beschrijven het klassieke voorbeeld van het gedeeltelijk teniet doen van milieubesparingen en, en dat is hier het belangrijkste, vier (BSS-, CSS-, HSR- en dieselauto's) beschrijven een terugslageffect, dat zich voordoet in die gevallen waarin het rebound-effect de milieubesparingen volledig teniet doet.

Terwijl in onderzoeken die klassieke definities voor het rebound-effect gebruiken, zelden terugslageffecten gevonden worden, wordt in de **Hoofdstukken 4, 5 en 6** besproken waarom zulke effecten op de milieudruk wel eens veel algemener zouden kunnen zijn dan tot dusver werd

aangenomen. Er kunnen drie hoofdverschillen worden vastgesteld die voortvloeien uit het toepassen van het milieu-rebound-effect-perspectief. Ten eerste: het toepassen van het *life-cycle*-perspectief kan de verwachte milieubesparingen doen afnemen door rekening te houden met *trade-offs* die zich voordoen tijdens de productie- en levenseinde-fase. Als de milieubesparingen beperkt zijn, kunnen deze gemakkelijker teniet gedaan worden door additionele milieudruk veroorzaakt door extra vraag. Ten tweede: veranderingen in de *total costs of ownership* (TCO) kunnen vermeerderd worden door de kapitaalkosten erin mee te nemen, hetgeen in overeenstemming is met het hanteren van een *life-cycle*-perspectief. Ten derde: als het milieuprofiel van de te onderzoeken innovatie sterk afwijkt van dat in andere sectoren, kunnen de rebound-effecten van een reallocatie van de uitgaven zeer hoog uitvallen. Dit verschijnsel vindt vooral plaats als andere milieu-indicatoren dan energie onderzocht worden, aangezien het energiegebruik per economische input uniformer is door economische sectoren heen dan bij andere milieu-indicatoren. Daar komt nog bij dat men aanneemt dat zulke condities zich eerder voordoen; het technologische detail wordt eerder opgewaardeerd tot het niveau van producten en technologieën dan tot dat van heterogene economische sectoren, zoals in een groot deel van de literatuur het geval is. Dit omdat producten en technologieën een aanzienlijk afwijkend milieu- en economisch profiel kunnen laten zien dan de mix van sectoren.

Hoofdstuk 4 en 6 hebben ook betrekking op de kwestie van *bias* bij het inschatten van rebound-effecten, hetgeen van groot belang is bij zeer gevoelige variabelen. De resultaten van **Hoofdstuk 4** laten zien dat, in lijn met de literatuur, het gebruikte model voor de consumentenvraag en de bekeken inkomensgroepen de grootte van het rebound-effect aanzienlijk kunnen over- of onderschatten. De resultaten laten ook zien dat modellen die vaak gebruikt worden in het vakgebied van de industriële ecologie, zoals het gebruik van proportionele uitgavenpatronen en benaderingen die gebruik maken van marginale verschuivingen tussen inkomensgroepen, een wetenschappelijk minder deugdelijke benadering bieden dan benaderingen die van oudsher worden toegepast binnen de economie, zoals bijvoorbeeld econometrische schattingen zoals uitgavenpatronen en kruislingse prijselasticiteit. Dit leidt tot de suggestie dat verdere inspanningen gericht zouden moeten zijn op het verbeteren van de kennisoverdracht vanuit de economische literatuur over rebound-effecten naar de industriële ecologie en daaraan gerelateerde duurzaamheidswetenschappen. Daarnaast beschrijft **Hoofdstuk 6** een grote invloed van methodologische keuzes bij het uitwerken van milieumodellen, met name bij de gebruikte milieu-evaluatiemodellen en milieu-input-output-databases. Zulke keuzes zouden een *bias*-effect kunnen hebben vergelijkbaar met het effect dat geïntroduceerd werd door methodologische keuzes om veranderingen in de vraag te bepalen. Dit vertegenwoordigt een nieuwe toevoeging aan de rebound-effect-literatuur, die van oudsher gericht is geweest op de laatste.

Hoofdstuk 3 gaat in op het bestaan van een duidelijk disciplinair begrip van het rebound-effect binnen de industriële ecologie, dat door sommige wetenschappers is aangeduid als het ‘milieu-rebound-effect-perspectief’ (ERE perspective). **Hoofdstuk 7** gaat hier dieper op in en onderzoekt de grondslagen van dit nieuwe perspectief en de waarde hiervan in de context van milieu- en, in bredere zin, duurzaamheidsevaluaties. De bevindingen wijzen uit dat dit perspectief zich heeft ontwikkeld dankzij zowel geassimileerde als nieuwe inzichten. Naast de inzichten beschreven in **Hoofdstuk 3** werd vastgesteld dat een extra en belangrijk verschil verwijst naar hoe de efficiëntieveranderingen die leiden tot rebound-effecten begrepen worden. In het bijzonder dat

verbeteringen in de technische efficiëntie betrekking hebben op zowel veranderingen in de ratio tussen vaste technische inputs en outputs – ‘proces-efficiëntie (zoals in de klassieke definities) als op veranderingen in de technische inputs en outputs – ‘input/output-efficiëntie’. Deze verschillen representeren tezamen een waardevolle evolutie van klassieke benaderingen uit de neoklassieke energie-economie om rebound-effecten te bestuderen, en ze kunnen in potentie leiden tot meer uitgebreide en betekenisvolle kennis om essentiële milieukwesties zoals klimaatverandering en uitputting van hulpbronnen aan te pakken. Maar het belangrijkste is misschien nog wel dat ERE eraan kan bijdragen om gemeenschappelijke raakvlakken te vinden tussen de bestaande rebound-perspectieven, aangezien de toepassing ervan laat zien dat het zowel mogelijk als waardevol is om, op een consistente manier en binnen de context van milieu-evaluaties, bredere definities voor het rebound-effect te formuleren. Aldus helpt een breder perspectief van de ERE om het rebound-effect te begrijpen als een verzameling economische basismechanismen die door diverse disciplines op verschillende manieren zijn toegepast om speciale onderzoeksvragen aan te pakken. Hoewel gewezen is op het risico van te excessieve uitbreiding, worden in **Hoofdstuk 7** ook richtlijnen aangeboden die voorzien in een conceptueel gedegen en praktische balans tussen breedheid en analytische specificiteit.

Dit proefschrift richt zich vooral op theoretische aspecten en empirische toepassing van het rebound-effect, maar toch wordt ook het breed onderkende belang van het ontwikkelen van beleid op dit gebied erkend, en besproken in **Hoofdstuk 8**. Dit hoofdstuk onderzoekt en bespreekt opties voor de omgang met rebound-effecten, waarbij de aandacht vooral uitgaat naar wat het meest effectief zou kunnen zijn om effectieve milieuwinst te kunnen boeken. Er worden in totaal dertien specifieke beleidsopties in kaart gebracht, en de voor- en nadelen van elke optie worden besproken. Economische instrumenten zoals koolstofbelastingen en cap-and-trade-schema's onderscheiden zich in positieve zin voor wat betreft hun potentieel voor de vermindering van rebound-effecten, hoewel het bewijs voor hun effectiviteit voor rebound-vermindering schaars is. Economische instrumenten zijn in staat om drie algemene rebound-verminderingstrategieën gelijktijdig aan te pakken: efficiëntie – beter consumeren, structuur – anders consumeren, en vraag – minder consumeren. Van deze instrumenten werd betoogd dat het noodzakelijk is om ze gecombineerd in te zetten om zo de buitengewoon grote milieu-uitdagingen waarvoor we ons gesteld zien, aan te kunnen. Toch berust de effectiviteit van rebound-vermindering voor een groot deel op adequate beleidsontwikkeling en een adequate beleidsmix om, onder andere, additionele rebound-effecten, verlies van welvaart en milieu-*trade-offs* te vermijden.

Bij wijze van samenvatting: de kennisbasis verworven in de **Hoofdstukken 2 tot en met 8** draagt bij aan de beantwoording van de hierboven gepresenteerde onderzoeksvragen.

Vraag 1. LCA biedt een waardevolle benadering om de milieu-impact van transport-eco-innovatie te evalueren, in het bijzonder doordat LCA de mogelijkheid heeft *trade-offs* binnen bevoorradingsketens en milieudruk te identificeren. LCA is echter ontoereikend om claims van eco-innovatie te onderbouwen op macro-niveau en ten behoeve van beleid, aangezien economische en gedragsmatige responsen op technische veranderingen hier buiten beschouwing blijven.

Vraag 2. Transport-eco-innovatie voldoet niet altijd aan de verwachtingen m.b.t. milieuverbetering wanneer rekening gehouden wordt met rebound-effecten. Dit soort gevallen, de zogenoemde terugslageffecten, kunnen algemener zijn dan voorheen gedacht wanneer concepten en methoden uit de industriële ecologie worden toegepast.

Vraag 3. De toepassing van concepten en methoden uit de industriële ecologie bij het bestuderen van rebound-effecten biedt uitgebreidere resultaten en een bredere toepasbaarheid ten opzichte van de oorspronkelijke benaderingen uit de energie-economie. Deze bijdrage kan in de context van milieu-evaluatie als bijzonder waardevol worden beschouwd, bijvoorbeeld door het mogelijk te maken om specifieke producten en technologieën te evalueren en *trade-offs* te identificeren tussen bevoorradingsketens en milieudruk.

Vraag 4. Er zijn diverse beleidsopties beschikbaar om ongewenste rebound-effecten te verminderen, waarbij economische instrumenten de voorkeur hebben vanwege hun bewezen effectiviteit en hun vermogen om diverse milieubeschermsstrategieën gelijktijdig aan te pakken. De beoordeling vanuit een industrieel ecologisch perspectief brengt diverse relevante overwegingen naar voren, zoals de additionele rebound-effecten en *trade-offs* tussen economische sectoren, regio's en de milieudruk.

Alles bij elkaar biedt dit proefschrift nieuwe inzichten voor de studie van en de omgang met het rebound-effect in de context van toenemend complexe duurzaamheidsuitdagingen. Een opmerkelijke bevinding is de waarde van het toepassen van concepten en methoden uit de industriële ecologie, die geconvergeerd kunnen worden naar het zogenoemde milieu-rebound-effect-perspectief. Dit perspectief heeft aangetoond waardevol te zijn, zowel door empirische toepassing als door de ontwikkeling van acties ten behoeve van rebound-vermindering. Misschien is een van de meest relevante bevindingen nog wel het feit dat dit perspectief een grotere diversiteit aan rebound-effect-groottes oplevert dan meestal wordt aangenomen, inclusief het veelvuldiger voorkomen van terugslageffecten, met alle implicaties van dien voor milieuconserveringsstrategieën. Het volledige potentieel hiervan is echter nog niet onderzocht, en toekomstig onderzoek zal moeten uitwijzen of dit perspectief terrein zal winnen in rebound-effect-studies. Een veelbelovend onderzoeksterrein is de integratie hiervan met macro-economische rebound-effect-modellen, teneinde hun technologische detaillering en milieutechnische compleetheid te vergroten. Het is mijn intuïtie dat verder onderzoek op dit terrein een nog grotere diversiteit zal laten zien in grootte en invloed van variabelen. In deze context zullen de beide extremen in het rebound-effect-debat – systematisch onderschatten óf systematisch overschatten van het belang ervan – gaandeweg hun geloofwaardigheid zullen verliezen, en zo de weg bereiden voor op meer kennis van zaken gebaseerde, en meer op de afzonderlijke situatie toegesneden oplossingen voor de kwestie van het rebound-effect.