



Planbureau voor de Leefomgeving

# KENNIS VAN ECO-TECHNOLOGIE

## Achtergrondstudie

**Martijn van den Berge, Anet Weterings & Otto Raspe**

25 april 2016

PBL

## **Colofon**

### **Kennis van eco-technologie**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2016

PBL-publicatienummer: 2423

### **Contact**

Martijn.vandenBerge@pbl.nl

### **Auteurs**

Martijn van den Berge, Anet Weterings & Otto Raspe

### **Redactie figuren**

Beeldredactie PBL

### **Eindredactie en productie**

Uitgeverij PBL

### **Met dank aan**

Edwin Buitelaar (PBL), Dorien Manting (PBL), Aldert Hanemaaijer (PBL) en Alexander van Vooren (PBL) voor hun reactie op een eerdere versie van het rapport, Stephaan Declerck (PBL) voor de ondersteuning bij de analyses en Corina Huisman (PBL) en Allard Warrink (PBL) voor de vormgeving van de figuren.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van den Berge, M., Weterings, A. & O. Raspe (2016), Kennis van eco-technologie, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

BEVINDINGEN	5
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
Aanleiding en vraagstelling	7
Deze studie	8
Leeswijzer	11
Bevindingen	11
Beleidsdiscussie	17
VERDIEPING	21
<b>1 Eco-technologieën: definitie en ontwikkelingen</b>	<b>21</b>
1.1 Inleiding	21
1.2 Data en definities	21
1.2.1 Patenten als indicator voor kennisontwikkeling	21
1.2.2 Patentdata in deze studie	22
1.2.3 Definitie eco- en referentietechnologieën	23
1.3 De ontwikkeling van patenten in eco-technologieën	24
1.4 Het belang van patenten in eco-technologieën	27
1.5 Samenvatting	31
<b>2 Nederland in Europa</b>	<b>32</b>
2.1 Inleiding	32
2.2 Ontwikkeling van eco-technologieën in Nederland	32
2.3 Regionale verschillen in de ontwikkeling van eco-technologieën	37
2.4 Samenvatting	37
<b>3 Theoretisch kader</b>	<b>39</b>
3.1 Inleiding	39
3.2 Technologische vernieuwing via nieuwe combinaties	39
3.2.1 Padafhankelijk proces	39
3.2.2 Gerelateerde en ongerelateerde kenniscombinaties	39
3.3 De rol van de regio	40
3.3.1 Beperkte geografische reikwijdte van kennisnetwerken	40
3.3.2 Arbeidsmobiliteit	41
3.3.3 Gerelateerde kenniscombinaties en regionale diversificatie	41
3.4 Tot slot	41
<b>4 De kennisbasis van eco-technologieën en regio's</b>	<b>43</b>
4.1 Inleiding	43
4.2 De technologische ruimte	43
4.3 De kennisbasis van eco-technologieën	47
4.3.1 Zonneceltechnologie	49

4.3.2	Ledverlichting	50
4.3.3	Biobrandstoffen	51
4.3.4	Brandstofcellen	52
4.3.5	Brandstofcellen als toepassing in transport	53
4.4	De kennisbasis van regio's	55
4.4.1	Noord-Brabant	55
4.4.2	Zuid-Holland	56
4.4.3	Overijssel	57
4.4.4	Groningen	58
4.5	Samenvatting	59
<b>5 Regionale diversificatie in eco-technologieën</b>		<b>61</b>
5.1	Inleiding	61
5.2	Data en methode	62
5.2.1	Regionale ontwikkeling van eco-technologische kennis	62
5.2.2	Ontwikkeling van de kennisbasis van eco-technologievelen	62
5.2.3	Ontwikkeling van de regionale eco-kennisbasis	63
5.2.4	Verschillen tussen landen	64
5.2.5	Methode	65
5.3	De eco-kennisbasis van Nederlandse regio's	66
5.4	Modelresultaten	68
5.4.1	Start ontwikkeling eco-technologievelen	68
5.4.2	Omvang eco-technologische kennisontwikkeling in regio's	71
5.5	Samenvatting	73
Literatuur		75
Bijlage 1 Technologische classificatie		78
Bijlage 2 Variabelen opgenomen in regressieanalyse van kans op doorbraakinventie		81
Bijlage 3 Meten van de technologische ruimte		82
Bijlage 4 Indeling technologiedomeinen en deelgebieden		83
Bijlage 5 Gerelateerdheid kennisbasis eco-technologieën		85

## BEVINDINGEN

# Samenvatting

*Snelle ontwikkeling van eco-technologische kennis in Europa, maar Nederland blijft achter*

- Eco-technologische kennisontwikkeling heeft vanaf 2005 een hoge vlucht genomen in Europa. De toename van het aantal eco-patenten in deze periode is vergelijkbaar met de groei van patenten in ICT en biotechnologie halverwege de jaren negentig. Eco-patenten zijn van groter belang voor verdere technologische kennisontwikkeling dan een gemiddeld patent: ze worden vaker geciteerd in later aangevraagde patenten en het aandeel patenten dat exceptioneel veel wordt geciteerd is hoger.
- Nederland blijft achter bij de Europese trend. Een aanzienlijk deel van de eco-patentaanvragen is afkomstig uit Nederland, maar de groei van het aantal eco-patenten ligt onder het Europees niveau. Ook worden vanuit Nederland relatief weinig patenten aangevraagd in de grootste en snelst groeiende eco-technologieën (groene energieproductie en –opslag, duurzaam transport).
- De omvang en specialisatie van eco-technologische kennisontwikkeling verschilt per land en tussen regio's binnen landen. Binnen Nederland worden bijvoorbeeld vanuit Noord-Brabant vooral eco-patenten in energiebesparing aangevraagd, uit Noord-Holland in opslag en afvang van broeikasgassen en uit Zuid-Holland in alternatieve brandstoffen en eco-design voor transport.

*Eco-technologische kennisontwikkeling: pad- en plaatsafhankelijk*

- Net als voor technologieën in het algemeen geldt, is de meeste eco-technologische kennis niet compleet nieuw maar ontstaat deze door het combineren van bestaande kennis uit verschillende technologievelden ('cross-overs'). Zo is voor de ontwikkeling van zonneceltechnologie kennis over batterijtechnologie, warmteproductie, optische elementen en coatings gecombineerd.
- Een aanzienlijk deel van de eco-technologieën is gebaseerd op cross-overs tussen technologievelden waartussen voorheen zelden kennis werd uitgewisseld: het gaat dus om nieuwe cross-overs. Het belang hiervan verschilt wel per eco-technologie-type: bij de opvang en opslag van broeikasgassen komt dit veel minder voor dan binnen groene energie en duurzaam transport.
- Dit proces van het combineren van technologische kennis is regionaal ingebed. De kans dat een nieuwe eco-technologie in een Europese regio wordt ontwikkeld is groter als daar al veel kennis is van de technologievelden die de basis van de nieuwe technologie vormen. Hoewel technologische kennis steeds makkelijker over grote afstand kan worden uitgewisseld, is de in de regio aanwezige kennis dus nog altijd relevant voor technologieontwikkeling.
- De kans dat regio's eco-technologische kennis ontwikkelen verschilt ook per land. Maar nationale factoren (waaronder subsidies) spelen een rol naast de verschillen in de regionale eco-kennisbasis, niet in plaats van.
- De technologische kennisontwikkeling in regio's bouwt dus voort op de kennis die daar eerder was ontwikkeld. Hierdoor ontwikkelen regio's verschillende technologische profielen. Als deze verschillen er eenmaal zijn dan blijven ze vaak bestaan.

*Bestaande kennisbasis en kenniscombinaties als uitgangspunt voor beleid*

- De resultaten uit deze studie laten zien dat het voor beleid gericht op het stimuleren van (eco-)technologische kennisontwikkeling van belang is een goed beeld te hebben van de

bestaande technologische kennisbasis van regio's. Met de in deze studie ontwikkelde methode kan de kennisbasis worden gemeten en in beeld gebracht. Die inzichten vormen het uitgangspunt voor het identificeren van mogelijkheden voor cross-overs tussen bestaande technologieën en daarmee het stimuleren van technologische vernieuwing.

# Kennis van eco-technologie

## Aanleiding en vraagstelling

De noodzaak tot vergroening van de economie wordt steeds breder onderkend. Waar enkele decennia geleden de roep om vergroening vooral vanuit de milieuhoek kwam, pleiten nu ook organisaties als de OECD, UNEP en de Wereldbank voor een groene groeistrategie van landen.<sup>1</sup> Inmiddels hebben overheden wereldwijd dit omarmd (Rodrik 2014; Steer 2014). Zo ook de Nederlandse overheid. Met het aanbieden van de beleidsbrief *Groene Groei: voor een sterke duurzame economie* aan de Tweede Kamer gaf het kabinet in 2013 het startschot voor zo'n strategie voor Nederland, 'zodat groen en groei hand in hand gaan' (Ministerie van Economische Zaken & Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2013: 1).<sup>2</sup> Een koers die is voortgezet in de *Tussenbalans Groene Groei* (Ministerie van Economische Zaken 2015).

Economische vergroening heeft tot doel het (aanmerkelijk) zuiniger omspringen met natuurlijke hulpbronnen en daarmee het beperken van de aantasting van het leefmilieu waarbij de economische groei wordt behouden of zelfs versterkt (PBL 2013). Het bereiken van die doelstelling vraagt fundamentele veranderingen en daarvoor is verdere ontwikkeling van eco-technologische kennis cruciaal (Acemoglu et al. 2012; IPCC 2011). In de *Kamerbrief over de Tussenbalans Groene Groei* (2015) stellen de ministeries van Economische Zaken en van Infrastructuur en Mobiliteit dan ook dat zij streven naar '...sterker inzetten op onderzoek en innovatie voor duurzame alternatieven voor schaarse grondstoffen, voor alternatieve vormen van energieopwekking en voor het ontwikkelen van recyclingtechnologieën' (p. 8).

Volgens de recente innovatie- en economisch-geografische literatuur kan dergelijk beleid zich het beste richten op het stimuleren van zogenaemde *cross-overs* of kruisbestuiving tussen bestaande technologische sterktes van regio's (o.a. Hidalgo et al. 2007, WRR 2013, Boschma et al. 2015). Nieuwe technologische kennis bouwt sterk voort op bestaande kennis. Vanwege de grote complexiteit van technologische kennisontwikkeling richten de meeste betrokkenen zich op het verder uitwerken van hetgeen waaraan ze voorheen al werkten. Technologische vernieuwing ontstaat dan ook meestal niet door het bedenken van compleet nieuwe technologieën, maar veel vaker door het combineren van bestaande kennis die bijdraagt aan nieuwe toepassingen.

Dat proces heeft ook een geografische dimensie: hoewel technologische kennisnetwerken steeds internationaler worden, zorgt de beperkte mobiliteit van betrokkenen er nog altijd voor dat de meeste kennisuitwisseling binnen regio's plaatsvindt (Heinisch et al. 2015). Door deze cumulatie van kennis in regio's heeft elke regio een eigen uniek technologisch profiel. Volgens de economisch-geografische literatuur is het gevolg dat er niet overal gelijke kansen zijn voor het ontwikkelen van technologieën, zoals ook niet iedere regio de Silicon Valley van de toekomst is (Tödtling & Trippel 2005).

---

<sup>1</sup> Zie [www.oecd.org/greengrowth](http://www.oecd.org/greengrowth), <http://org/greeneconomy>; [www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy).

<sup>2</sup> Tweede Kamer, 33043 nr.14, 28 maart 2013

Voor de vormgeving van een Nederlands eco-technologiebeleid is het daarom belangrijk inzicht te hebben in de bestaande sterktes van de Nederlandse regio's en welke mogelijkheden deze bieden voor verdere eco-technologische kennisontwikkeling. Deze studie verkent dit via een empirisch onderzoek naar patentaanvragen op het gebied van eco-technologieën in Europa en de Nederlandse regio's tussen 1977 en 2010. We beantwoorden de volgende vragen:

- Hoe heeft de eco-technologische kennis zich ontwikkeld binnen Europa in de afgelopen decennia en wat is het belang van deze kennis voor verdere technologische kennisontwikkeling?
- Hoe verhoudt de ontwikkeling van eco-technologische kennis in Nederland zich tot die in Europa en in welke eco-technologieën zijn de Nederlandse regio's gespecialiseerd?
- Wat voor combinaties van eerder ontwikkelde technologische kennis zijn er gemaakt bij de ontwikkeling van eco-technologieën?
- In hoeverre is de eerder ontwikkelde regionale kennisbasis van invloed op de kans dat een regio eco-technologieën ontwikkelt, en in hoeverre is dat het geval bij Nederlandse regio's?

### Deze studie

Tot nu toe is er weinig bekend over de positie van Nederland(se regio's) op het gebied van eco-technologische kennis. Lange tijd waren er geen structurele gegevens over eco-technologische kennisontwikkeling beschikbaar. Eerdere studies zijn daarom veelal kwalitatief van aard of beperkt tot één technologieveld. Met de introductie van een nieuwe classificatie voor patenten door het Europees patentbureau (EPO) in 2010 is dit veranderd. Het is nu mogelijk alle patentaanvragen te selecteren met technologieën die een potentiële bijdrage leveren aan het terugdringen van milieuvervuiling en klimaatverandering.<sup>3</sup> Die data stellen ons in staat de algemene ontwikkeling van eco-technologische kennis sinds 1977 in beeld te brengen en de positie en specialisaties van landen en regio's met elkaar te vergelijken.

Patentdata zijn zeer geschikt voor het in beeld brengen van de kennisontwikkeling in relatief nieuwe technologievelen zoals eco-technologie, waarbij de toepassing van de technologie in producten en processen vaak nog in de kinderschoenen staat. Patenten geven inzicht in wat er mogelijk in de toekomst aan nieuwe economische activiteiten kan ontstaan, omdat er vaak al patent wordt aangevraagd ruim voordat de in het patent vastgelegde kennis resulteert in het op de markt brengen van een nieuw product of nieuwe dienst. Bovendien zijn eco-technologieën breed toepasbaar waardoor bedrijven uit verschillende bedrijfstakken zich bezighouden met de ontwikkeling van deze technologieën. Dit maakt de standaardbedrijfsindeling niet bruikbaar voor het in beeld brengen van eco-technologische kennisontwikkeling.

Bovendien kunnen we met patentgegevens achterhalen wat voor combinaties van technologische kennis zijn gemaakt bij het ontwikkelen van die eco-patenten: in patentdocumenten wordt vastgelegd uit welke technologievelen kennis is gebruikt voor de ontwikkeling van de nieuwe technologie. Voortbouwend op het werk van Hidalgo et al. (2007) en Boschma et al. (2015), hebben we een methode ontwikkeld die het mogelijk maakt met die gegevens de kennisbasis van eco-technologieën te meten en in beeld te brengen.

We maken gebruik van de patentdatabase REGPAT van de OECD (versie juli 2014), die alle patenten bevat die in de periode 1977 tot en met 2010 zijn aangevraagd bij het European Patent Office (EPO). Deze database bevat ook informatie over de regio waar de uitvinder woont, zodat we kunnen vaststellen waar wat voor technologische kennis wordt ontwikkeld. Zoals gezegd beschouwen we alle patenten voor technologieën die een potentiële bijdrage

---

<sup>3</sup> Klasse Y02 in het classificatiesysteem van het EPO voor het identificeren van nieuwe technologieën. Sinds januari 2013 wordt dit systeem onder de naam Cooperative Patent Classification (CPC) gezamenlijk met het patentbureau in de Verenigde Staten (USPTO) onderhouden en verder ontwikkeld. Zie voor meer informatie: <http://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc-Y.html>.



leveren aan het terugdringen van milieuvervuiling en klimaatverandering als eco-technologieën. Daarnaast beschouwen we ook alle patenten uit het technologieveld milieu-management als eco-patenten. Kader 1 beschrijft de definities van de verschillende technologieën in deze studie.

### **Kader 1. Technologie-indelingen en eco-technologieën**

De gehanteerde technologie-indeling in deze studie baseren we op twee classificaties: de International Patent Classification en de YO2-classificatie. De International Patent Classification (IPC) is in 1971 opgesteld door de World Intellectual Property Organisation (WIPO). Elk patent wordt door de uitvinder of de *patent examiners* van de patentbureaus toegewezen aan één of meer technologie-classes binnen de IPC. De indeling bestaat uit acht secties (A tot en met H), die elk weer verder worden uitgesplitst in klassen (twee cijfers), subklassen (één letter), hoofdgroepen en subgroepen (meerdere cijfers, hoe hoger het aantal digits, hoe specifieker de classificatie). Op basis hiervan hebben we een algemene indeling gemaakt naar technologievelden en technologische domeinen.

*Technologieveld*: de IPC-classificatie op 4-digit niveau. Er zijn in totaal 630 technologievelden (IPC 4-digit codes). In deze studie kijken we alleen naar de 600 technologievelden waarvoor tussen 1977 en 2010 meer dan 100 patenten zijn aangevraagd.

*Technologisch domein en deelgebied*: door Schmoch (2008) gemaakte indeling waarbij de IPC-technologieklassen in vijf domeinen en 35 deelgebieden zijn verdeeld (zie bijlage 4). De domeinen zijn: 'electrical engineering', 'instrumenten', 'chemie', 'mechanical engineering' en 'overig'. Deze indeling is gebaseerd op de mate waarin technologieën gezamenlijk worden toegepast bij de ontwikkeling van producten. Omdat producten vaak worden ontwikkeld op basis van kennis uit verschillende technologieklassen, kunnen technologieklassen die tot een andere sectie van de IPC horen toch tot hetzelfde domein worden gerekend. De deelgebieden gebruiken we om te bepalen of technologievelden die de kennisbasis van eco-technologievelden vormen aan elkaar zijn gerelateerd of niet (zie kader 3 en hoofdstuk 4).

Omdat eco-technologieën relatief recent zijn ontstaan, ontbreekt nog een specifieke klasse voor deze technologieën in de standaardclassificatie. Daarom heeft het Europees Patentbureau (EPO) samen met het patentbureau van de Verenigde Staten (USPTO) voor eco-technologieën een tijdelijke classificatie ontwikkeld: 'new technological development for mitigation or adaptation against climate change' (klasse YO2). Op basis van deze classificatie en de standaard IPC-classificatie onderscheiden we de volgende eco-technologieën.

*Eco-patent*: alle patenten die vallen onder de YO2-classificatie plus de categorie 'milieu-management (lucht, water, afval, bodem)' uit de standaard IPC-classificatie.

*Eco-technologietypen*: indeling van de eco-patenten in vier categorieën, namelijk energie, transport, opslag en afvang van broeikasgassen, en milieu-management. Deze vier kunnen, in totaal, verder worden onderverdeeld in 13 subtypen (zie tabel 1.1 voor een overzicht).

*Eco-technologieveld*: alle YO2-codes op 3-digit niveau waarin tussen 1982 en 2005 minimaal 100 patenten zijn aangevraagd. Dit is een veel gedetailleerdere indeling dan de vier categorieën en 13 deelgebieden van eco-technologieën. Het gaat dan bijvoorbeeld om Y02E1/5 Fotovoltaïsche (PV) energie, Y02B2/3 Ledverlichting, Y02E5/1 Biobrandstoffen, Y02E60/5 Brandstofcellen en Y02T90/3 Brandstofcellen als toepassing in transport.

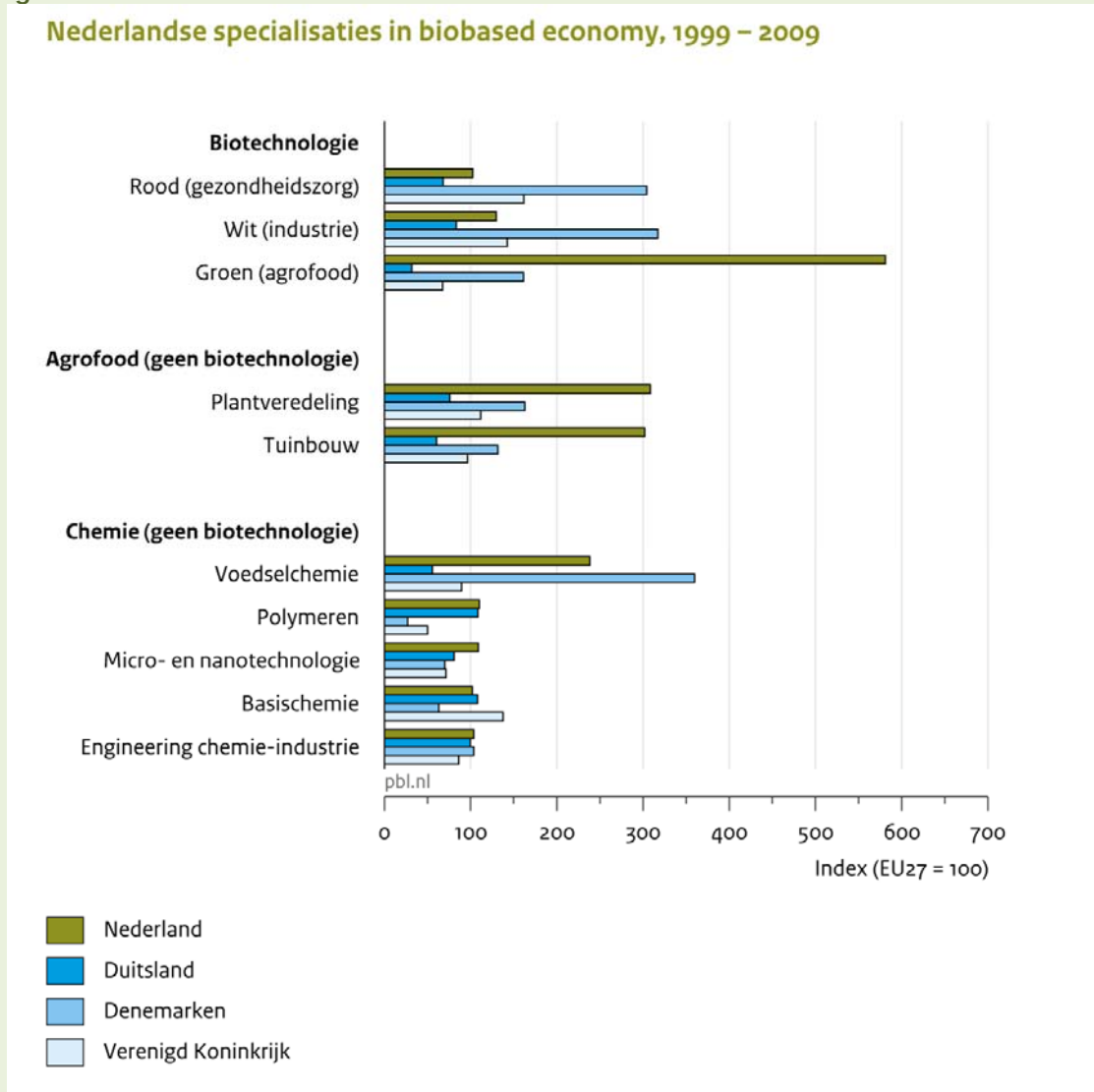
Een gevolg van het aansluiten bij de definitie van eco-technologieën die de OECD en het EPO hebben ontwikkeld, is wel dat een deel van de kennisbasis die relevant wordt geacht voor de ontwikkeling naar een *biobased economy* buiten beeld blijft terwijl hiervoor veel potentie zou

zijn in Nederland (zie kader 2). Voor de meeste van deze technologieën is echter nog niet eenduidig vast te stellen in hoeverre deze 'schoon', of 'biobased' zijn. Daarom sluiten we ons in deze studie aan bij de geaccepteerde definitie van eco-technologieën.

**Kader 2. De kennisbasis van de *biobased economy***

Een *biobased economy* is een economie die haar grondstoffen grotendeels betreft uit de levende natuur (biomassa, 'groene grondstoffen'), als onderdeel van een groene of duurzame economie (PBL 2013). Het gaat dan vooral om de inzet van hernieuwbare grondstoffen voor materialen, chemische producten, brandstoffen en voedingsmiddelen. De natuur levert die hernieuwbare grondstoffen. De kansen voor een ontwikkeling naar een biobased economy worden in Nederland hoog ingeschat (SER 2010). Nederland heeft een sterke kennisbasis in agrofood- en chemietechnologieën als biotechnologie, voedselchemie, polymeren, micro- en nanotechnologie, basischemie en chemical engineering (zie figuur 1). Deze technologische kennis kan in potentie een belangrijke bijdrage leveren aan het ontwikkelen van schonere, biobased technologieën via bijvoorbeeld fermentatie-, vergassings- en scheidingstechnieken die de omzetting van biomassa naar biobrandstoffen, biogas, groene chemie en groene materialen mogelijk maken.

**Figuur 1**



Bron: OECD REGPAT database

De keuze voor patentdata als basis voor deze studie betekent wel dat we alleen de ontwikkeling van eco-technologische kennis in beeld brengen, en niet van innovatie op dit gebied. Naast kennisontwikkeling bestaat het innovatieproces ook uit het succesvol op de markt brengen van producten en diensten. Patenten worden weliswaar getoetst op nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid, maar of deze daadwerkelijk resulteren in nieuwe producten en diensten wordt niet in patentdata geregistreerd. Ook blijft alle eco-technologische kennisontwikkeling buiten beeld die niet door bedrijven en onderzoeksinstituten in patenten worden vastgelegd (zie hoofdstuk 1 voor een verdere toelichting).

De beschrijving van de ontwikkeling van eco-technologieën is beperkt tot alle patenten waarvan minimaal één uitvinder afkomstig is uit een van de volgende 16 Europese landen: België, Duitsland, Denemarken, Finland, Frankrijk, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland, Oostenrijk, Portugal, Spanje, Verenigd Koninkrijk, Zweden, Noorwegen of Zwitserland. Andere Europese landen laten we buiten beschouwing, omdat het aantal patentaanvragen in het kennisveld eco-technologieën daar zeer beperkt is. Als we in het vervolg van deze studie Europa noemen dan bedoelen we alleen de hiervoor genoemde 16 landen. De totale dataset bevat ruim 1,2 miljoen patenten, waarvan er ruim 65.000 zijn gedefinieerd als eco-technologie. In Nederland gaat het om respectievelijk ruim 70.000 en 3.000 patenten.

### Leeswijzer

Hieronder vatten we de belangrijkste bevindingen van het onderzoek samen. In de laatste paragraaf beschrijven we wat deze bevindingen betekenen voor de vormgeving van een beleid gericht op het stimuleren van eco-technologieën. Een uitgebreide verantwoording van de onderzoeks aanpak en de uitgevoerde analyses staat in de verdiepingshoofdstukken.

## Bevindingen

### Na 2005 snelle toename eco-technologische kennisontwikkeling in Europa

Tussen 1977 en 2010 is zowel het totale aantal patenten in Europa als het aantal patentaanvragen binnen het technologieveld eco-technologieën sterk gestegen: het totale aantal patenten steeg van 2.200 naar ruim 58.000 en het aantal patenten in eco-technologieën van iets meer dan 100 naar bijna 5.500. Vooral vanaf 2005 neemt het aantal eco-patenten een grote vlucht: de groei ligt ver boven de groei van het totale aantal patenten. Dit heeft ertoe geleid dat het aandeel eco-patenten in het totaal is toegenomen, van rond de 4 à 5 procent in de periode 1977-2005 tot bijna 10 procent in 2010 (zie figuur 2). Dit in tegenstelling tot het aandeel patenten in technologievelden gericht op fossiele brandstoffen (zogenoemde 'zwarte' technologieën in figuur 2): dit aandeel schommelt al tientallen jaren rond de 4 procent.

### Eco-technologieontwikkeling is vergelijkbaar met de groei van ICT en biotechnologie in de jaren negentig

De groeisprint in de ontwikkeling van eco-technologieën vanaf 2005 is vergelijkbaar met die van ICT en biotechnologie halverwege de jaren negentig (zie figuur 3). Inmiddels neemt het aantal patentaanvragen in ICT en biotechnologie weer wat af. Mogelijk staat eco-technologie aan het begin van een vergelijkbare golf.

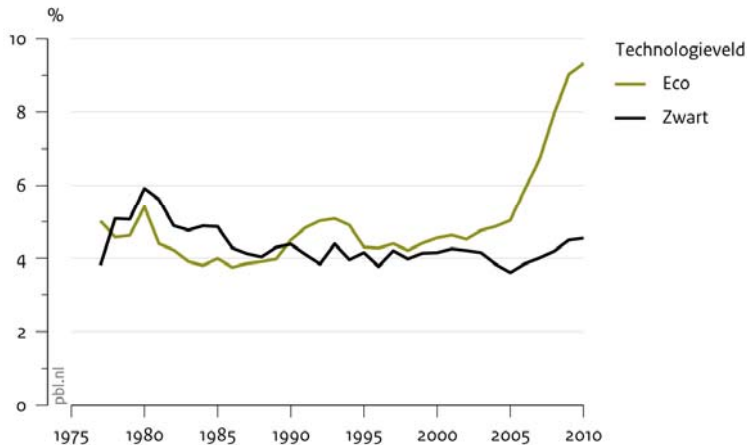
### Eco-technologie is van groot belang voor verdere technologieontwikkeling

Eco-patenten worden vaker dan een gemiddeld patent geciteerd in later aangevraagde patenten. Het aantal citaties na de patentaanvraag is een belangrijke indicator voor hoe nuttig de kennis die in het patent is vastgelegd was voor verdere technologische kennisontwikkeling. Eco-patenten worden ook vaker geciteerd dan patenten van 'zwarte' technologieën, die zijn gericht op fossiele brandstoffen, en ICT, terwijl patenten in biotechnologie juist nog meer

worden geciteerd. Patenten die exceptioneel vaak worden aangehaald in latere patenten worden ook wel gedefinieerd als doorbraaktechnologieën: eco-patenten zijn in 2,6 procent van de gevallen een doorbraaktechnologie tegenover 1,9 procent voor alle patenten. Daarmee hebben eco-patenten een anderhalf keer grotere kans hiertoe gerekend te worden in vergelijking met het totale aantal patenten in andere technologieën.

**Figuur 2**

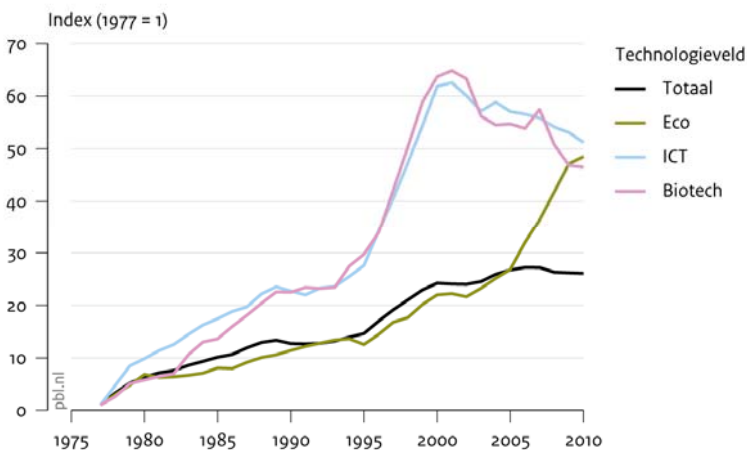
**Patenten in verschillende technologieën als aandeel van totaal aantal in Europa aangevraagde patenten**



Bron: OECD REGPAT Database

**Figuur 3**

**Ontwikkeling van aanvraag van patenten in verschillende technologieën**



Bron: OECD REGPAT Database

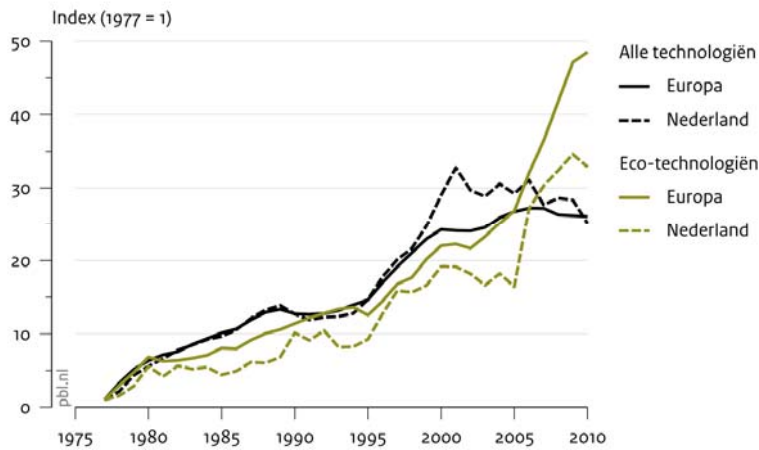
**Nederland is niet gespecialiseerd in de ontwikkeling van eco-technologieën**

Terwijl Nederland gelijk op gaat met de algemene trend van een snelle toename in het aantal patentaanvragen in Europa – en daar zelfs vanaf 1995 boven ligt –, ligt de ontwikkeling van het aantal patenten in eco-technologieën structureel onder de Europese trend voor dit technologieveld (zie figuur 4). Hoewel een aanzienlijk deel van alle in Europa aangevraagde eco-patenten afkomstig is uit Nederland (van de 16 Europese landen staat Nederland op de zesde plaats), is het aandeel eco-patenten in Nederland wel lager dan het Europese gemiddelde (zo gemeten is Nederland het tiende land). Met andere woorden: slechts een klein deel van

alle vanuit Nederland aangevraagde patenten betreft eco-technologieën en Nederland is dus niet gespecialiseerd in dit technologieveld. De eco-technologische subtypen waar Nederland in is gespecialiseerd zijn energiebesparing, alternatieve brandstoffen, opslag en afvang van broeikasgassen en milieumanagement (water en bodem). De binnen Europa in absolute omvang grootste subtypen energieproductie, energieopslag en transporttechnologie zijn in Nederland relatief ondervertegenwoordigd ten opzichte van de andere Europese landen (zie figuur 5).

**Figuur 4**

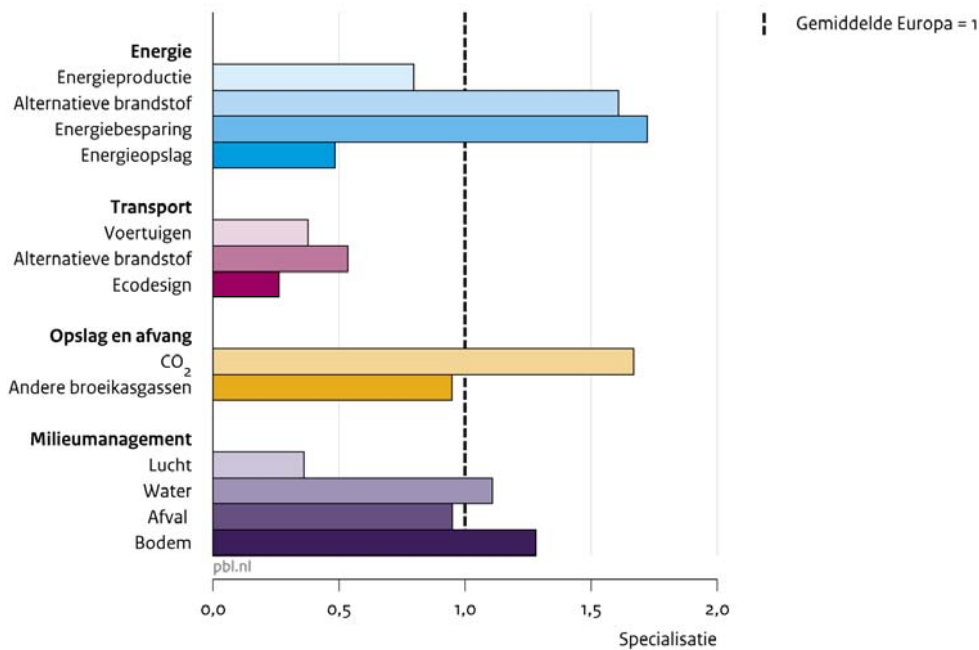
**Ontwikkeling aantal aangevraagde patenten in Europa en in Nederland**



Bron: OECD REGPAT Database

**Figuur 5**

**Specialisatie in eco-technologieën in Nederland in de periode 2000-2010**



Bron: OECD REGPAT Database

## Eco-technologieën komen voort uit zowel beproefde als nieuwe combinaties van technologievelden

Net als voor technologieën in het algemeen geldt, is ook de ontwikkeling van eco-technologieën sinds 1977 in Europa te typeren als een padafhankelijk proces: deze nieuwe technologieën zijn veelal ontstaan door het combineren van kennis uit reeds eerder ontwikkelde technologievelden. Bij de ontwikkeling van eco-technologieën overstijgen de gemaakte combinaties vaker de 35 deelgebieden van Schmoch (zie bijlage 4): gemiddeld voor alle eco-technologieën 69 procent van alle combinaties ten opzichte van 55 procent voor alle technologieën.

Bij de kennisontwikkeling in opslag en afvang van broeikasgassen gaat het vaak om combinaties van zogenoemde gerelateerde technologievelden, dat wil zeggen technologievelden die al vaker zijn gecombineerd bij de ontwikkeling van andere technologische kennis (voor definitie zie kader 3). Ook al behoren de technologievelden tot verschillende deelgebieden, er is in het verleden al ervaring opgedaan met het combineren van deze technologievelden. Dat maakt het voor de betrokkenen eenvoudiger om in te schatten welke andere combinaties kansrijk kunnen zijn.

De kennisbasis van de andere drie eco-technologieën bestaat juist uit relatief nieuwe combinaties tussen technologievelden. Gemiddeld genomen zijn de technologievelden die betrokken waren bij de ontwikkeling van die technologieën minder aan elkaar gerelateerd, ook in vergelijking met het gemiddelde voor alle technologieën. Dat geldt vooral voor de eco-technologieën transport en energie. Zo is voor de ontwikkeling van zonneceltechnologie kennis over batterijtechnologie, warmteproductie, optische elementen en coatings gecombineerd, en voor brandstofcellen voor toepassing in transport chemische kennis geïntegreerd met kennis op het gebied van mechanical en electrical engineering (zie hoofdstuk 4).

### Kader 3. Gerelateerde en ongerelateerde technologievelden en de eco-kennisbasis

*Kenniscombinatie:* in navolging van Fleming (2001) veronderstellen we dat het aantal technologievelden waar een patent aan wordt toegewezen indicatief is voor de mate waarin kennis uit die verschillende velden is gecombineerd bij de ontwikkeling van de nieuwe kennis zoals vastgelegd in het patentdocument. De toegewezen technologievelden reflecteren de basis waaruit de nieuwe kennis is voortgekomen. Als er sprake is van meer dan één technologieveld dan gaat het dus om een combinatie van bestaande kennis.

We bepalen de mate van gerelateerdheid op basis van het aantal keer dat technologievelden (4-digit technologieklassen) samen worden vermeld in dezelfde patentdocumenten: het vaak gezamenlijk toepassen van twee technologievelden bij de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis wijst erop dat de kennisbasis van deze technologievelden (in elk geval deels) overlapt, waardoor het relatief gemakkelijk is om kennis uit deze velden met elkaar te combineren tot iets nieuws. Hoe vaker technologievelden tegelijkertijd in een patentdocument worden vermeld, hoe sterker deze aan elkaar zijn gerelateerd.

*Gerelateerde technologievelden:* technologievelden (4-digit IPC-niveau) die vaker dan dat op basis van kans mag worden verwacht zijn toegekend aan dezelfde patentdocumenten. De kennis uit deze technologievelden is dus in de jaren voorafgaand aan het meetjaar al relatief vaak gecombineerd bij het ontwikkelen van nieuwe technologische kennis. Anders gezegd: het gaat om beproefde kenniscombinaties. Door het veelvuldig combineren van deze technologievelden ontstaat een zekere overlap in de technologische kennis binnen deze velden.

*Ongelateerde technologievelden:* alle technologievelden die tot het meetjaar weinig tot nooit tegelijkertijd zijn toegekend aan dezelfde patentdocumenten. De kennis uit deze technologievelden

den is dus zelden tot nooit eerder gecombineerd bij het ontwikkelen van nieuwe technologische kennis.

*Kennisbasis van eco-technologievelen:* technologievelen (4-digitaal IPC-niveau of de 35 deelgebieden van Schmoch, zie bijlage 4) die vaker dan dat op basis van kans kan worden verwacht zijn toegekend aan dezelfde patentdocumenten die volgens het EPO behoren tot een van de eco-technologievelen (3-digitaal Y02-codes). De kennisbasis wordt voor elk eco-technologieveld afzonderlijk bepaald.

*Regionale eco-kennisbasis:* de mate waarin de technologische kennisbasis van elke Europese NUTS-2 regio is gespecialiseerd in de verschillende technologieklassen die samen de kennisbasis van een van de eco-technologievelen vormen. Een regio is gespecialiseerd in een technologieklasse als het aandeel patenten in die klasse dat vanuit de regio is aangevraagd hoger is dan het Europese aandeel patenten in die klasse. Alle eco-patenten worden daarbij buiten beschouwing gelaten om overlap tussen het aantal eco-patenten en de eco-kennisbasis in de regio te vermijden.

### Regionale kennisbasis is van invloed op kansen voor de ontwikkeling van eco-technologieën

De kans op het ontwikkelen van een bepaalde eco-technologie in een regio is groter naarmate er meer voor deze eco-technologie relevante technologievelen regionaal goed zijn vertegenwoordigd (zie hoofdstuk 5). Hoewel technologische kennis steeds makkelijker over grote afstand kan worden uitgewisseld, is de in de regio aanwezige kennis dus nog altijd relevant voor eco-technologische kennisontwikkeling.

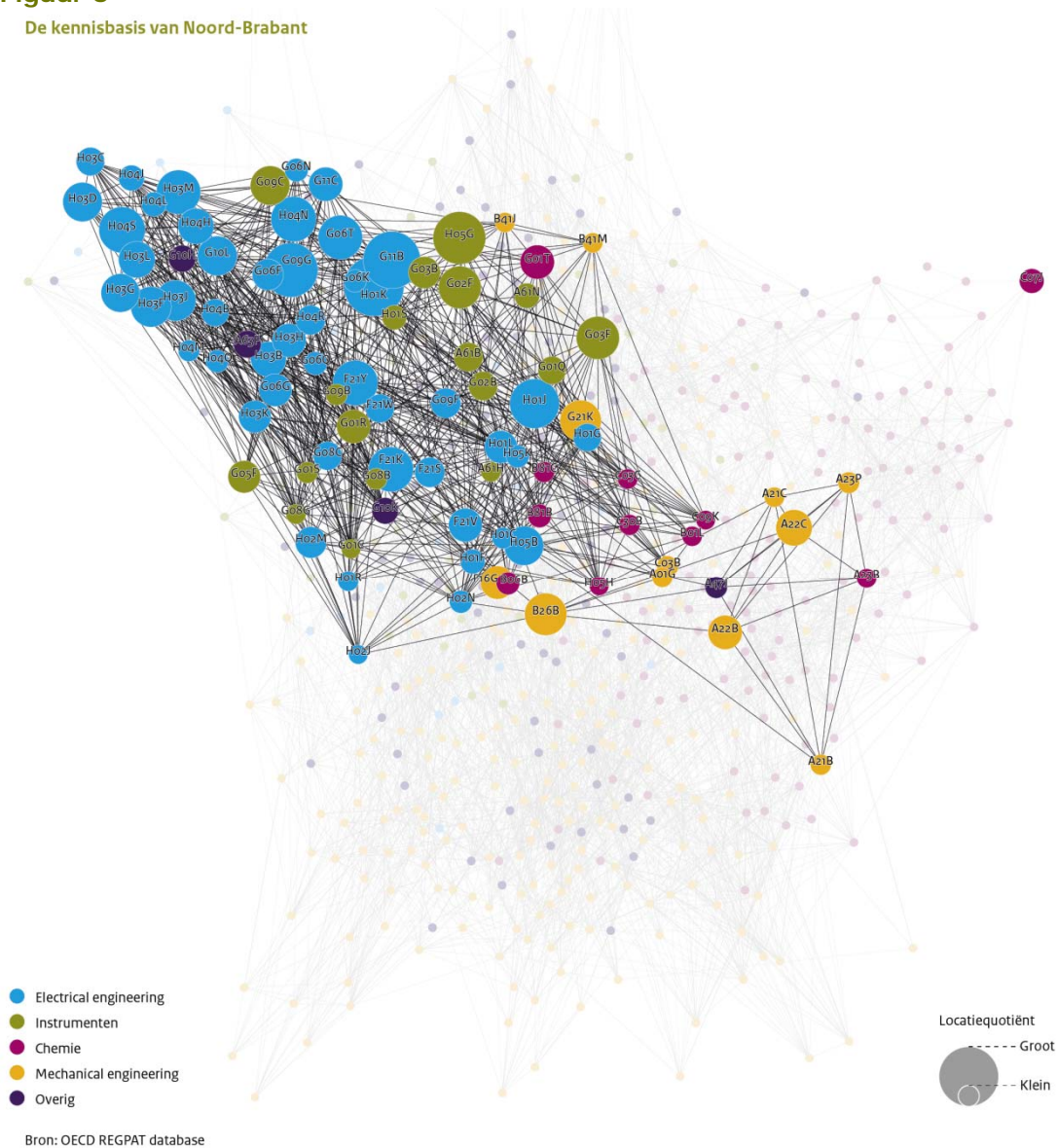
Regio's kennen sterk uiteenlopende technologische profielen. Zo is de technologische kennisbasis van Noord-Brabant sterk gespecialiseerd in aan elkaar gerelateerde technologievelen in het domein electrical engineering (zie figuur 6), terwijl Zuid-Holland meer is gespecialiseerd in technologievelen binnen het domein chemie (zie figuur 7).

Door die regionale verschillen in technologisch profiel, lopen de kansen op het ontwikkelen van bepaalde eco-technologieën regionaal sterk uiteen (zie hoofdstuk 4 voor een nadere toelichting). Voor Noord-Brabant waren bijvoorbeeld de omstandigheden voor het ontwikkelen van ledverlichting erg gunstig door de in het verleden opgebouwde specialisaties in electrical engineering. Hetzelfde geldt voor Zuid-Holland wat betreft het ontwikkelen van biobrandstoffen; een eco-technologie die vooral voortkomt uit technologievelen in de chemie. De kansen op het succesvol ontwikkelen van eco-technologieën zijn dus groter als wordt voortgebouwd op de bestaande regionale kennisbasis, zodat deze zich verder kan diversifiëren richting nieuwe eco-technologieën.

Wanneer een bepaalde eco-technologie eenmaal is ontwikkeld, bouwen bedrijven en onderzoeksinstituten in de regio daar op voort. De specialisatiepatronen in eco-technologieën zijn door de tijd heen dan ook vrij stabiel: de eco-technologische specialisaties van Nederlandse regio's uit de periode 1977-2000 komen sterk overeen met die van 2000-2010 (zie hoofdstuk 2).

**Figuur 6**

De kennisbasis van Noord-Brabant

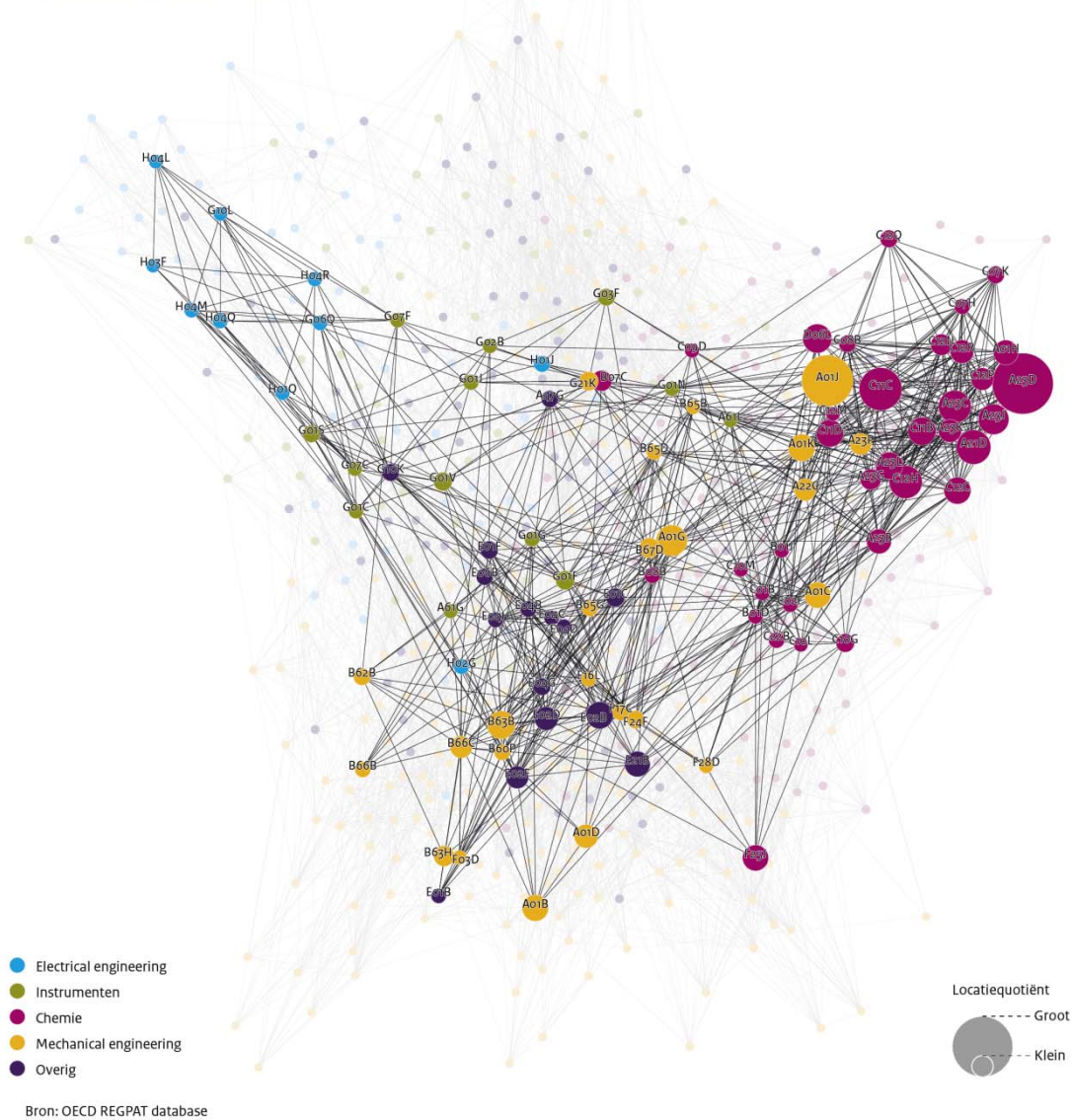


Het technologisch profiel van de regio is gevisualiseerd met behulp van de zogenoemde technologische ruimte: een netwerk dat laat zien hoe de technologievelden waaraan patenten worden toebedeeld aan elkaar zijn gerelateerd (voor een definitie zie kader 3). De bollen in het netwerk staan voor de technologievelden. Als technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd dan zijn ze verbonden via een lijn. Hoe meer twee technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd, hoe dichter ze bij elkaar in het netwerk worden weergegeven. De kleuren tonen tot welk technologisch domein een technologieveld behoort. We visualiseren in dit netwerk de technologische specialisatie van een regio door alleen die technologievelden op de voorgrond te laten zien waarin vanuit de regio meer patenten zijn aangevraagd dan het Europese gemiddelde. Hierdoor worden in één oogopslag de specialisaties van de regio zichtbaar. De omvang van de bol geeft aan hoe sterk de regionale specialisatie in dat technologieveld is.



Figuur 7

De kennisbasis van Zuid-Holland



## Beleidsdiscussie

Uit deze studie blijkt dat Nederland geen koploper is binnen Europa op het gebied van eco-technologische kennisontwikkeling. Hoewel vanuit Nederland veel patenten worden aangevraagd bij EPO, is het aandeel eco-patenten relatief beperkt. In de *Tussenbalans Groene Groei* (Ministerie van Economische Zaken & Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2015) geeft de Nederlandse overheid aan dat zij sterker willen inzetten op onderzoek en innovatie op het gebied van eco-technologieën. Dit roept de vraag op hoe de Nederlandse overheid kan zorgen voor een toename in de kennisontwikkeling op het gebied van eco-technologieën.

We hebben in deze studie niet onderzocht wat de nut en noodzaak is van het stimuleren van eco-technologische kennisontwikkeling binnen Nederland, wat de rol van de overheid kan zijn bij het tot stand brengen van eco-technologische vernieuwing of welke aanpak het meest

efficiënt of effectief is (zie daarvoor onder andere WRR 2008 en CPB 2016).<sup>4</sup> Maar als wordt gekozen voor het stimuleren van eco-technologische kennisontwikkeling, zoals in de Tussenbalans Groene Groei, dan vergt een effectief beleid begrip van hoe technologieontwikkeling tot stand komt. Deze studie draagt hier aan bij. In deze paragraaf beschrijven we de suggesties voor een beleid gericht op het stimuleren van eco-technologieën die voortvloeien uit de bevindingen van deze studie.

Voor het stimuleren van technologische vernieuwing op de korte en middellange termijn is het verstandig aan te sluiten bij de bestaande sterktes van regio's in plaats van in te zetten op technologieën die los staan van de huidige specialisaties. Beleidsmakers zijn vaak geneigd zich bij de vormgeving van hun technologiebeleid te laten leiden door succesverhalen van elders (WRR 2013). Dit kan echter leiden tot zogenoemde *cathedrals in the desert*: nieuwe technologieën die niet zijn ingebed in de bestaande kennisbasis en die zonder overheidssubsidies vaak weer verdwijnen (zie kader 4). Technologische kennisontwikkeling is een padafhankelijk proces waarbij nieuwe kennis voortbouwt op bestaande kennis. Dat geldt ook voor eco-technologische kennisontwikkeling, zo laat deze studie zien. De huidige technologische specialisaties beïnvloeden daardoor de toekomstige mogelijkheden voor technologieontwikkeling.

#### **Kader 4. Vier varianten van technologische ontwikkeling**

Technologische ontwikkeling kan op vier manieren ontstaan. Het uitgangspunt is een fictieve regio waar kennis is ontwikkeld in de vier technologievelden A, B, C en D. De velden A en B en de velden C en D zijn aan elkaar gerelateerd: kennis uit die technologievelden is in het verleden vaker gecombineerd bij de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis. De eerste en de laatste variant zijn de twee uitersten.

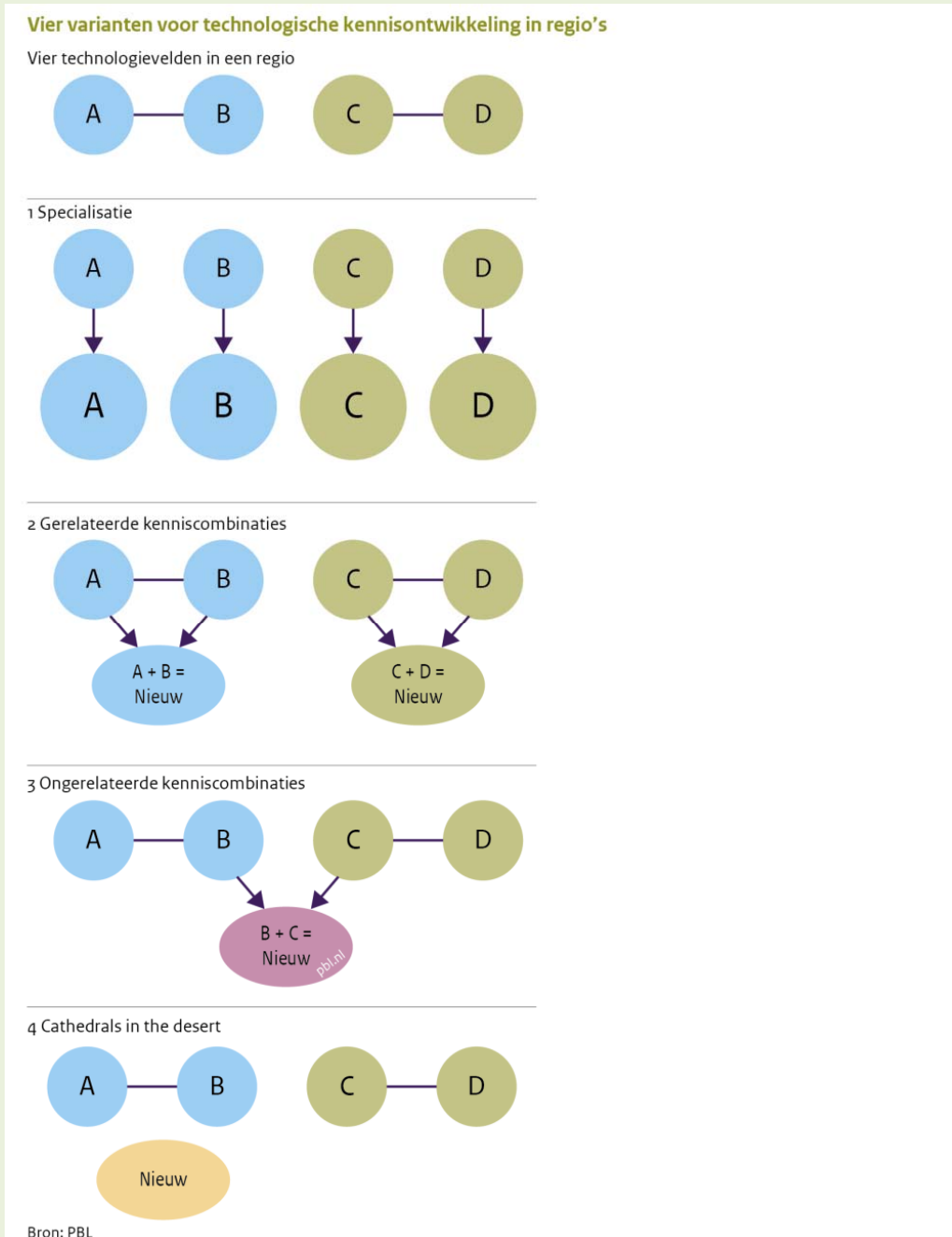
Bij de eerste variant is er alleen kennisuitwisseling tussen de partijen die actief zijn in hetzelfde veld. In eerste instantie zal dit leiden tot een verdere opbouw van kennis in elk veld en een versterking van de *specialisaties*. Maar op lange termijn zijn de mogelijkheden voor 'echte' vernieuwing en innovatie beperkt, want dat vereist meestal kennis van buiten het technologieveld (Neffke et al. 2014). Ook kunnen gevestigde partijen in de specialisaties er belang bij hebben dat wordt vastgehouden aan bestaande en bewezen technologie. Hierdoor kan een regionale lock-in ontstaan, zoals bijvoorbeeld in de jaren '70 en '80 in het Roergebied (Grabher 1993) en meer recent in Detroit.

Bij de laatste variant ontstaat een nieuw technologieveld in de regio met een heel andere kennisbasis dan die van de bestaande specialisaties A, B, C en D, bijvoorbeeld via de investering van een buitenlands bedrijf, al dan niet in combinatie met overheidssubsidies. De bestaande technologische kennisbasis van de regio sluit dan niet aan op de technologische kennis die het nieuwe veld vraagt: arbeidskrachten beschikken niet over de juiste kennis en de eventueel benodigde onderzoeksfaciliteiten ontbreken in de regio. Zo'n nieuw technologieveld wordt daarom ook wel omschreven als een *'cathedral in the desert'* (Tödtling & Trippl 2005). Deze variant van technologische ontwikkeling vereist omvangrijke investeringen, terwijl het de vraag is of deze tot het gewenste resultaat leidt gezien de beperkte inbedding van de technologie in de bestaande technologische structuur.

<sup>4</sup> Hoewel er verschillend wordt gedacht over de mate en het type inspanning van overheden op het gebied van technologieontwikkeling (zie WRR 2008), stellen verschillende auteurs dat het stimuleren van eco-technologieën specifiek beleid vereist (bijvoorbeeld Acemoglu et al. 2012 en Rodrik 2014). In deze technologieën is sprake van het zogenoemde dubbele externaliteitenprobleem. De ratio achter algemeen technologiebeleid is dat er sprake is van onderinvesteringen in technologieontwikkeling omdat de ontwikkelde kennis maar beperkt valt af te schermen en de grote onzekerheid over de uitkomsten van R&D-investeringen. Specifiek voor eco-technologieën zou de mate van onderinvestering nog sterker zijn, omdat de milieukosten van veel vervuulende technologieën niet of maar gedeeltelijk worden beprijsd (Hanemaaijer & Kruitwagen 2015).

De middelste twee varianten illustreren technologische ontwikkeling waarbij vanuit de bestaande specialisaties nieuwe kenniscombinaties ontstaan: door de uitwisseling van kennis tussen partijen uit verschillende technologievelden ontstaat een nieuw technologieveld. Als in het verleden al vaker kennis uit die technologievelden is gecombineerd dan gaat het om *gerelateerde kenniscombinaties*. De technologische ontwikkeling kenmerkt zich dan vooral als een stapsgewijs proces, waarbij wordt voortgebouwd op ervaringen uit het verleden.

**Figuur 8**



Maar nieuwe technologievelden kunnen ook ontstaan via de uitwisseling van kennis tussen velden die zelden of nooit eerder zijn gecombineerd: *ongerelateerde kenniscombinaties*. De technologische vernieuwing is dan radicaal anders dan wat in het verleden is gebeurd. Maar deze staat niet los van eerdere kennisontwikkeling: het is een nieuwe combinatie tussen twee technologievelden waar binnen het eigen veld al veel kennisontwikkeling heeft plaatsgevonden. Ook hier staan de bestaande specialisaties dus aan de basis van de nieuwe technologieontwikkeling.

Ook laten de analyses zien dat beleidsmakers er goed aan doen om stimuleringsbeleid op het gebied van eco-technologieën te regionaliseren. Sommige regio's beschikken over meer potenties dan andere regio's en niet elke regio heeft hetzelfde technologisch profiel. Bovendien hangen de mogelijkheden voor eco-technologische vernieuwing ook af van de regionale kennisbasis. Voor de invulling van zo'n regionaal toegespitst beleid is gedetailleerde kennis van de regionale kennisbasis nodig (SER 2015): wat zijn de specialisaties en welke kennis is daar beschikbaar om te vernieuwen? De methode die in deze studie is ontwikkeld maakt het mogelijk de regionale kennisbasis te meten en zo de bestaande sterktes in beeld te brengen (zie verdiepingshoofdstuk 4).

Daarnaast is het van belang het beleid zo vorm te geven dat het resulteert in technologische diversificatie en niet in toenemende specialisatie. Een beleid dat zich alleen richt op het verder versterken van de bestaande technologische sterktes van regio's resulteert in sterke specialisaties, maar biedt weinig ruimte voor het combineren van kennis tussen technologievelden (zie kader 4). Dergelijk beleid versterkt het risico op een 'lock-in' situatie: het versterkt de belangen van gevestigde partijen, die eerder geneigd zijn vast te houden aan de kennis waar ze groot mee zijn geworden. Daarom is het voor technologische diversificatie van belang dat bestaande kennis wordt gecombineerd tot iets nieuws.

In principe zal het huidige technologiebeleid, dat hoofdzakelijk bestaat uit R&D-subsidies en het verbeteren van de samenwerking en coördinatie tussen wetenschap, overheid en bedrijfsleven (innovatiesysteem), ook leiden tot het combineren van kennis uit bestaande sterktes. De organisaties die profiteren van dit beleid bouwen waarschijnlijk voort op de kennis die zij in het verleden hebben opgedaan, maar combineren die inzichten om tot iets nieuws te komen.

Wel is het de vraag of zulke gerelateerde kenniscombinaties voldoende zijn om te komen tot de mate van technologische diversificatie die nodig is voor groei op de lange termijn. Recente studies wijzen erop dat doorbraaktechnologieën vaak ontstaat uit combinaties van kennis tussen technologievelden waartussen voorheen weinig kennisuitwisseling plaatsvond (Fleming 2001; Arts & Veugelers 2012). Uit deze studie blijkt dat dit ook opgaat voor een deel van de eco-technologieën. Het nastreven van dat soort technologische vernieuwing vereist een technologiebeleid dat niet is gericht op het versterken van de bestaande instituties, zoals het huidige beleid vooral doet, maar juist op het veranderen daarvan. En dat vraagt visie en keuzes in welke technologieën het beleid wil stimuleren (Azar & Sandén 2011; Mazzucato 2013).

# 1 Eco-technologieën: definitie en ontwikkelingen

## 1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de ontwikkeling van eco-technologieën in Europa en het belang van deze technologieën voor verdere technologische kennisontwikkeling. Daarvoor gebruiken we gegevens over alle patenten die zijn aangevraagd in Europa in de periode 1977 tot en met 2010. We vergelijken de patentaanvragen op het gebied van eco-technologieën met het totale aantal aangevraagde patenten en de aanvragen in vier referentietechnologieën. De eerste twee referentiecategorieën zijn de zogenoemde zwarte en grijze technologieën, waarbij 'zwart' staat voor vervuilende technologieën en 'grijs' voor de technologische ontwikkelingen die zijn gericht op het minder vervuilend maken van de zwarte technologieën. In hoeverre is de kennisontwikkeling op het gebied van 'schone' technologieën inmiddels sneller dan die van 'vervuilende' technologieën?

Daarnaast vergelijken we de patentaanvragen in eco-technologieën met die in ICT en biotechnologie. Deze drie technologieën worden vaak beschouwd als zogenoemde *enabling* technologieën, die kunnen bijdragen aan radicale veranderingen in bestaande industriële productieprocessen en die mogelijk leiden tot de ontwikkeling van geheel nieuwe producten en diensten. Is de kennisontwikkeling van eco-technologieën inderdaad vergelijkbaar met die van ICT en biotechnologie?

Hierna geven we eerst een uitgebreidere beschrijving van de gebruikte data en de definities van de verschillende technologieën. In de daaropvolgende paragrafen beschrijven we de ontwikkeling van eco-technologieën (1.3) en het belang hiervan voor verdere technologische kennisontwikkeling (1.4).

## 1.2 Data en definities

### 1.2.1 Patenten als indicator voor kennisontwikkeling

Patenten zijn uitermate geschikt om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van nieuwe technologieën, omdat uitvinders patent aanvragen ruim voordat de in het patent vastgelegde kennis resulteert in het op de markt brengen van een nieuw product of nieuwe dienst. Hierdoor geven patenten nu al inzicht in wat er in de toekomst aan nieuwe economische activiteiten kan ontstaan. Dit is zeker relevant voor eco-technologieën, want de toepassing hiervan in concrete producten en processen staat op veel gebieden nog in de kinderschoenen. Ook zijn eco-technologieën in velerlei bedrijfstakken te gebruiken, waardoor deze bedrijven niet met behulp van de Europese standaardbedrijfsindeling kunnen worden geïdentificeerd.

Patentgegevens zijn beschikbaar voor lange tijdsperiodes, en de patentdocumenten bevatten veel gegevens (zoals de technologische classificatie, de vestigingslocatie van de aanvrager en de woonplaats van de betrokken uitvinders) die het mogelijk maken de ontwikkeling van heel specifieke technologieën op regionaal schaalniveau te achterhalen. In patentdocumenten staan ook referenties naar eerder aangevraagde patenten en andere bronnen waarop de kennis die is vastgelegd in het patent voortbouwt. Deze 'citaties' geven inzicht in het belang van de in een patent vastgelegde kennis: hoe meer citaties, hoe relevanter de kennis was voor verdere technologische kennisontwikkeling.

Maar er zijn ook beperkingen aan het gebruik van patentdata (Griliches 1990). Zo wordt niet alle kennis vastgelegd in patenten. Een belangrijk deel van alle kennis is alleen opgeslagen in de hoofden van mensen; denk bijvoorbeeld aan de ervaring met hoe een bepaalde taak zo efficiënt mogelijk kan worden uitgevoerd. Bovendien worden niet alle uitvindingen gepatenteerd, omdat geheimhouding soms hoger wordt gewaardeerd dan eigendomsrechten of omdat de tijd en kosten van het aanvragen van patenten niet opwegen tegen de baten. Ook verschilt de mate waarin kennis wordt gepatenteerd sterk per sector. In de diensten worden bijvoorbeeld veel minder patenten aangevraagd dan in de maakindustrie.

Tot slot is het belangrijk te beseffen dat bij veel patenten geen sprake is van commercialisatie van de daarin vastgelegde kennis. Daarom spreken we in deze studie steeds van inventie en niet van innovatie; een inventie wordt pas als een innovatie beschouwd als de inventie is doorontwikkeld tot een product dat of een dienst die op de markt kan worden afgenomen.

### 1.2.2 Patentdata in deze studie

In deze studie maken we gebruik van de patentdatabase REGPAT van de OECD (juli 2014). Deze database bevat alle patenten die tussen 1977 en 2010 zijn geregistreerd bij het Europees Octrooi Bureau (EPO, European Patent Office). We beschrijven de technologische kennisontwikkeling op basis van alle patentaanvragen uit de volgende 16 Europese landen: België, Duitsland, Denemarken, Finland, Frankrijk, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland, Oostenrijk, Portugal, Spanje, Verenigd Koninkrijk, Zweden, Noorwegen of Zwitserland.<sup>5</sup> We richten ons op deze landen, omdat het aantal patentaanvragen uit de overige Europese landen zeer beperkt is. Dit is vooral relevant voor de analyses in hoofdstuk 5, waar we op zoek gaan naar statistisch significante verschillen in het aantal eco-patentaanvragen tussen landen en regio's. Omdat we de voorkeur geven aan consistentie in de onderzoekspopulatie beperken we ons al in dit hoofdstuk tot deze landen.

We beschrijven de trends in zowel het aantal aangevraagde als het aantal toegekende patenten. Nadat een patentaanvraag is ingediend, toetst het EPO elk patent op nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid.<sup>6</sup> Voldoet het patent aan die criteria, dan wordt patentbescherming verleend. Hoewel de toekenning van patentbescherming een belangrijke indicator is voor het belang van de kennis die is vastgelegd in het patent, beschrijven we sommige trends toch op basis van het aantal aanvragen. Dit heeft twee redenen. Ten eerste duurt de toekenningsprocedure gemiddeld vier jaar, waardoor het voor de meest recente patentaanvragen nog niet bekend is of er ook octrooibescherming wordt toegekend. Daarnaast geeft het aantal aanvragen wel aan hoeveel technologische ontwikkelactiviteiten er zijn in de verschillende technologieën en landen of regio's.

Tot slot maken we nog een onderscheid tussen patenten in het algemeen en patenten van doorbraakinventies. Zoals gezegd bevatten patentdocumenten referenties naar eerder aangevraagde patenten. Uit eerdere studies blijkt dat het aantal keer dat een patent wordt geciteerd in later aangevraagde patenten een belangrijke indicator is voor het belang van een patent (zie bijvoorbeeld Jaffe & Trajtenberg 1999; Trajtenberg 1990). Deze patenten zijn niet alleen van groter belang voor de verdere technologische kennisontwikkeling, maar hebben vaak ook een hogere maatschappelijke waarde (zie Arts & Veugelers 2014). Het aantal

<sup>5</sup> Minimaal een van de in het patentdocument genoemde uitvinders is afkomstig uit een van deze 16 Europese landen.

<sup>6</sup> <http://www.rvo.nl/onderwerpen/innovatief-ondernemen/octrooien-ofwel-patenten/octrooien-aanvragen/europa>.

ontvangen citaties is zeer scheef over alle patenten verdeeld: sommige patenten worden extreem vaak geciteerd. Deze patenten worden als doorbraakinventies gezien (Ahuja & Lam-pert 2001; Conti et al. 2014). We beschouwen een patent als een doorbraakinventie als het binnen vijf jaar na de aanvraag meer citaties heeft ontvangen dan het gemiddelde plus drie keer de standaarddeviatie van alle toegekende patenten in dezelfde 3-digit technologieklasse (vergelijkbaar met Arts & Veugelers 2014).

### 1.2.3 Definitie eco- en referentietechnologieën

Het is pas sinds 2010 mogelijk de ontwikkeling van eco-technologieën aan de hand van patentdata te beschrijven, omdat het EPO in dat jaar een tijdelijke code heeft geïntroduceerd waarmee alle patenten kunnen worden geselecteerd waarin eco-technologieën zijn vastgelegd. Elk patent wordt door de zogenoemde *patent examiners* van het EPO toebedeeld aan één of meerdere technologieklassen van de standaardclassificatie, de International Patent Classification (IPC).<sup>7</sup> Maar omdat eco-technologieën relatief recent zijn ontstaan, ontbreekt nog een specifieke klasse voor deze technologieën in de standaardclassificatie. Daarom heeft het EPO voor eco-technologieën en andere nieuwe technologische ontwikkelingen tijdelijke codes ontwikkeld in het kader van *General Tagging of New Technological Developments*.<sup>8</sup> Patentbureaus hebben experts uit het werkveld in dienst die een systeem hebben ontwikkeld voor het toedelen van alle ooit aangevraagde patenten aan verschillende nieuwe technologieklassen. De zoekstrategieën van deze *expert examiners* zijn uiteindelijk geformaliseerd in algoritmes die periodiek kunnen worden toegepast om patenten automatisch te classificeren. Uiteindelijk zullen deze tijdelijke codes opgaan in de standaardclassificatie.

Voor het identificeren van eco-technologieën gebruiken we hoofdzakelijk de tijdelijke code 'Y02' die wordt omschreven als 'new technological development for mitigation or adaptation against climate change'. Het toedelen van patenten aan deze classificatie is dus gebaseerd op de potentiële bijdrage van de beschreven technologie aan het terugdringen van milieuvervuiling en klimaatverandering; ook als dit maatschappelijk ter discussie staat, zoals voor biobrandstoffen het geval is.<sup>9</sup> De Y02-code bestaat uit vele subcategorieën. Zonneceltechnologie heeft bijvoorbeeld de code Y02E10/50, die vervolgens weer is onderverdeeld in verschillende typen zonneceltechnologie (52, 54, 56, 58); zie voor gedetailleerde informatie over de totstandkoming van dit systeem Veefkind et al. (2012).

In deze studie verdelen we de eco-technologieën in vier technologietypen: energie, transport, opslag en afvang van broeikasgassen en milieumanagement. Alleen de laatste groep, milieumanagement, is te onderscheiden in het standaard classificatiesysteem (IPC). Dit is een verzameling aan codes samengesteld door de OECD onder de noemer *general environmental management*.<sup>10</sup> Voor de overige groepen hebben we gebruikgemaakt van de Y02-classificering. We vatten deze selectie aan technologieën samen als eco-technologieën, dat wil zeggen technologieën die een potentiële bijdrage leveren aan het terugdringen van milieuvervuiling en klimaatverandering. Zoals tabel 1.1 laat zien, splitsen we elk van de vier technologietypen nader uit in een aantal subtypen. In bijlage 1 is een gedetailleerde indeling

<sup>7</sup> Technologiecodes A tot en met H, zie: <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>.

<sup>8</sup> Sinds januari 2013 wordt dit systeem onder de naam Cooperative Patent Classification (CPC) gezamenlijk met het patentbureau in de Verenigde Staten (USPTO) onderhouden en verder ontwikkeld. Zie voor meer informatie: <http://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc-Y.html>.

<sup>9</sup> Zolang technologieën op de onderhandelingstafel liggen bij het klimaatverdrag zoals in 1992 is ondertekend tijdens de Earth Summit in Rio de Janeiro (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)), is er voldoende relevantie om de technologische ontwikkeling hiervan in beeld te brengen (Veefkind et al. 2012). Binnen het kader van het klimaatverdrag is in 1997 het Kyoto-protocol overeengekomen. Het Klimaatverdrag definieert een internationaal raamwerk waarbinnen regeringen gezamenlijk acties kunnen ondernemen om de uitdagingen van het veranderende klimaat op aarde te kunnen pareren. Het verdrag erkent de internationale verantwoordelijkheid voor het klimaat en tracht ongewenste beïnvloeding door menselijk handelen te voorkomen (zie <http://nl.wikipedia.org/wiki/Klimaatverdrag>).

<sup>10</sup> Zie:

[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPEI\(2014\)6/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPEI(2014)6/FINAL&docLanguage=En).

van de technologieën te vinden. In tabel 1.1 volstaan we met een aantal voorbeelden per subtypen.

Zoals aangegeven in de inleiding, vergelijken we de ontwikkeling en het belang van eco-technologieën met die van patenten in het algemeen en in vier referentietechnologieën: zwarte en grijze technologieën en de *enabling* technologieën ICT en biotechnologie. Onder 'zwarte technologieën' verstaan we alle patenten die behoren tot technologieën die zijn gebaseerd op fossiele brandstoffen (Dechezleprêtre et al. 2014; Noailly & Shestalova 2013). 'Grijze technologieën' zijn alle technologieën die zijn gericht op het verbeteren van de efficiëntie van zwarte technologieën waardoor deze minder vervuילend zijn (Dechezleprêtre et al. 2014). Bij energieproductie gaat het dan bijvoorbeeld om het winnen van energie uit het verbranden van afval of uit stoom die wordt gegenereerd bij gasverbranding in elektriciteitscentrales. Grijze technologieën op het gebied van transport zijn bijvoorbeeld gericht op het efficiënter maken van verbrandingsmotoren. Het is alleen mogelijk om een duidelijke zwarte en grijze tegenhanger van eco-technologieën te identificeren in de subtypen energieproductie en alternatieve brandstoffen en transport (zie bijlage 1). In bijlage 1 staat ook de definitie van de twee *enabling* technologieën: ICT en biotechnologie. Naast ICT en biotechnologie kan ook nanotechnologie als *enabling* technologie worden geïdentificeerd. Het aantal aangevraagde patenten in deze technologie is echter nog zeer beperkt, reden om deze technologie hier buiten beschouwing te laten.

**Tabel 1.1 Indeling in eco-technologieën**

Technologietype	Subtypen	Voorbeelden
Energie	Energieproductie	Zon, wind, geothermisch
	Alternatieve brandstoffen	Biobrandstof, brandstof uit afval
	Energiebesparing	Ledverlichting, verwarming & ventilatie, smart grids, huishoudelijke apparaten
	Energieopslag	Batterijtechnologie, brandstofcellen, halfgeleiders
Transport	Voertuigen	Elektrisch, brandstofcel, hybride
	Alternatieve brandstoffen	Synthetisch, biogas, bio-olie
	Eco-design	Reductie luchtweerstand, efficiënte aandrijving, energierecuperatie
Opslag en afvang van broeikasgassen	CO <sub>2</sub>	Via biologisch of chemische scheiding, onderwateropslag
	Andere broeikasgassen	Van N <sub>2</sub> O, methaan
Milieumanagement	Lucht	Filters, afzuiging, afbreken schadelijke stoffen
	Water	Waterzuivering, riooltechnologie
	Afval	Inzameling, recycling, mest uit afval
	Bodem	Bodemsanering

### 1.3 De ontwikkeling van patenten in eco-technologieën

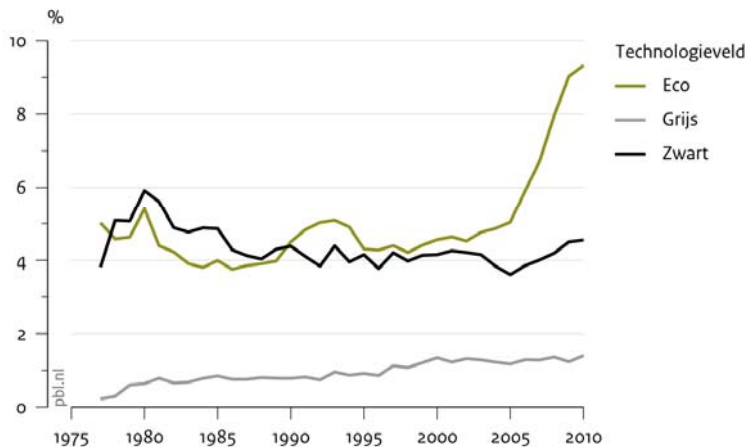
Het totale aantal in Europa aangevraagde patenten is tussen 1977 en 2010 enorm gestegen (van ongeveer 2.200 tot ruim 58.000 patenten), maar het aantal patenten in eco-technologieën is in die periode relatief gezien nog sneller gestegen. In 1977 waren er nog maar iets meer dan 100 patentaanvragen voor deze technologie, terwijl dat er in 2010 bijna 5.500 zijn. Figuur 1.1 laat dan ook zien dat een steeds groter aandeel van alle aangevraagde



patenten wordt gerekend tot de eco-technologieën.<sup>11</sup> Na een lange periode waarin het aandeel patenten in eco-technologieën vrij stabiel was, neemt het aantal patenten in eco-technologieën vanaf 2005 aanzienlijk sneller toe dan het totale aantal patenten. In 2010 is het aandeel in eco-technologieën aangevraagde patenten bijna twee keer zo groot als het aandeel in 1977.

**Figuur 1.1**

**Patenten in verschillende technologievelden als aandeel van totaal aantal in Europa aangevraagde patenten**



Bron: OECD REGPAT Database

De ontwikkeling van het aandeel patenten in eco-technologieën wijkt af van de ontwikkeling in zwarte en grijze technologieën (zie figuur 1.1). Tot 1990 was het aandeel patenten in zwarte technologieën nog hoger dan het aandeel eco-patenten. Maar in tegenstelling tot de patentaanvragen in eco-technologieën is het aantal patenten in zwarte technologieën minder snel toegenomen dan het totale aantal patentaanvragen. Hierdoor is het aandeel patentaanvragen in zwarte technologieën tussen 1980 en 2010 gedaald, van iets minder dan 6 procent naar 4,5 procent. Vooral na 2000 is het aandeel patentaanvragen in eco-technologieën veel groter dan in zwarte technologieën. Het aandeel patenten in grijze technologieën is tussen 1977 en 2010 wel gestaag gestegen. Het aandeel patentaanvragen in deze technologieën blijft echter in de hele periode vele malen lager dan het aandeel patentaanvragen in eco-technologieën.

De snelle toename van het aantal aangevraagde patenten in eco-technologieën is niet uniek voor deze technologieën. Als we de ontwikkeling in eco-technologieën vergelijken met die in ICT en biotechnologie, dan blijkt dat het aantal aangevraagde patenten voor alle drie deze technologieën zo snel is toegenomen (figuur 1.2). Wel verschilt het moment waarop: in ICT en biotechnologie was dit al tussen 1995 en 2002, en is sindsdien het aantal patenten weer afgenomen. De ontwikkeling van het aantal aangevraagde patenten in eco-technologieën wijkt pas sinds 2005 af van de algemene ontwikkeling. Het is de vraag hoe deze trend zich in de komende jaren verder zal ontwikkelen.

Als we een onderscheid maken tussen de vier verschillende eco-technologietypen dan blijkt dat niet alle groepen bijdragen aan de snelle toename van het aandeel eco-patenten na 2005 (zie figuur 1.3). Vooral in energie neemt het aandeel patenten zeer snel toe. Dit eco-technologietype kent een dynamische ontwikkeling: na een periode van afname gedurende

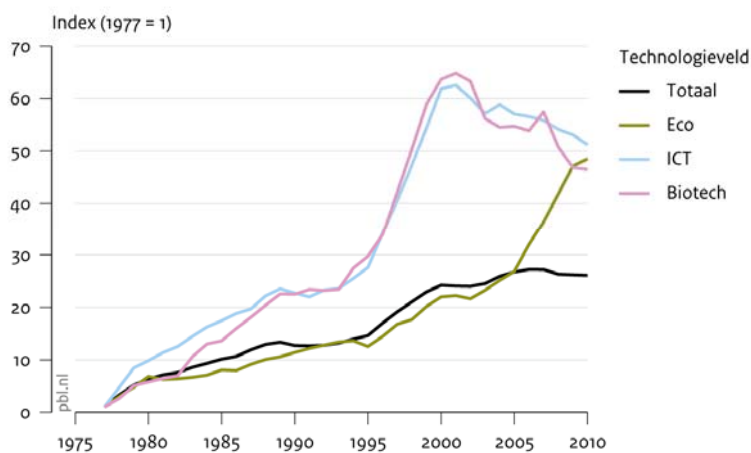
<sup>11</sup> Patenten worden vaak toegewezen aan meer dan één technologieklasse, omdat de ontwikkelde kennis vaak van toepassing is in meer dan één technologieklasse. Hierdoor kan één patent behoren tot meerdere technologietypen en deelgebieden die in dit hoofdstuk worden onderscheiden. Deze patenten worden dan dus dubbel geteld. In gegevens over het totale aantal patenten worden alle patenten maar één keer meegenomen.

de jaren tachtig nam het aandeel patenten in energie vanaf de jaren negentig geleidelijk toe. Pas tussen 2005 en 2010 verdubbelt het aandeel patenten in energie (van 2,5 naar 5,8 procent).

Over de hele periode bezien, werden de meeste eco-patenten aangevraagd op het gebied van milieumanagement, maar de ontwikkeling van het aantal patenten in dit deelgebied is zelfs wat lager dan de algemene ontwikkeling van patenten. In 1977 besloeg 3,2 procent van alle aangevraagde patenten dit deelgebied, maar na een tijdelijke opleving in het begin van de jaren negentig is het aandeel inmiddels gestabiliseerd op een niveau van rond de 2 procent. Zoals we in paragraaf 1.2 al aangaven, is milieumanagement wel opgenomen in de standaard patentclassificatie (IPC). Deze categorie betreft dan ook vooral de meer traditionele milieutechnologieën, zoals bodemsanering, recycling en waterzuivering.

**Figuur 1.2**

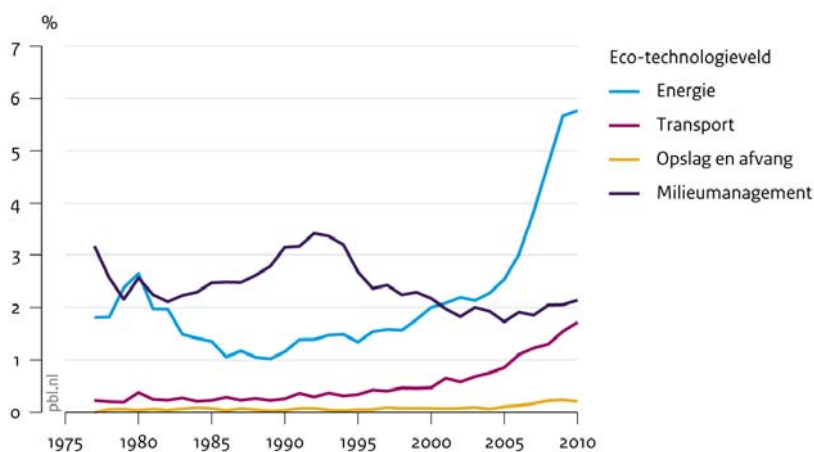
**Ontwikkeling van aanvraag van patenten in verschillende technologievelden**



Bron: OECD REGPAT Database

**Figuur 1.3**

**Patenten in technologievelden als aandeel van in totaal in Europa aangevraagde patenten**



Bron: OECD REGPAT Database

De kennisontwikkeling in transport kenmerkt zich tussen 1977 en 2010 door een geleidelijke groei. In 1977 was het aandeel patenten in dit deelgebied nog zeer laag (0,2 procent), maar inmiddels is het bijna gelijk aan dat van milieumanagement. Ook het aandeel patenten in opslag en afvang van broeikasgassen was in 1977 erg laag. Dit deelgebied is altijd een zeer

klein technologiegebied gebleven, met slechts 0,2 procent van alle aanvragen in 2010. Maar ook voor transport en opslag en afvang van broeikasgassen geldt dat het aandeel aangevraagde patenten na 2005 is verdubbeld.

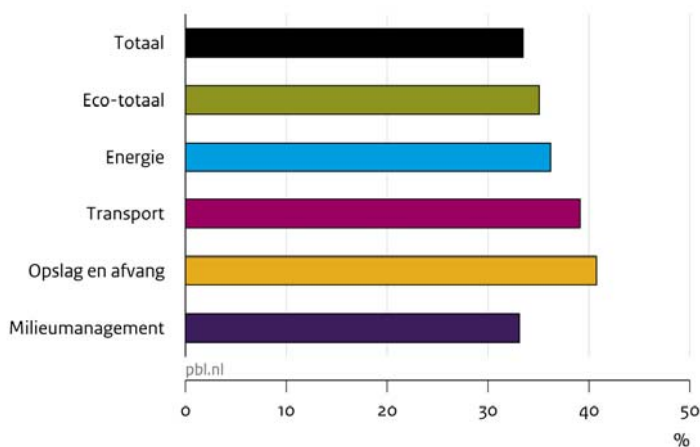
## 1.4 Het belang van patenten in eco-technologieën

Niet alle kennis die wordt vastgelegd in patenten is even belangrijk. Het verschilt sterk per patent hoezeer dat bijdraagt aan de verdere technologische kennisontwikkeling en - via de ontwikkeling van nieuwe producten en diensten – aan de economie. In deze paragraaf onderzoeken we of patenten in eco-technologieën vaker doorbraakinventies zijn dan patenten in het algemeen en in de vier referentietechnologieën. We beperken deze analyses tot alle patenten die zijn aangevraagd tussen 1977 en 2005, zodat we voor elk patent het aantal citaties over een periode van vijf jaar na de aanvraag kunnen meten. Bovendien maakt dit het mogelijk de analyse te beperken tot alleen de toegekende patenten.

Allereerst is het goed om te beseffen dat veruit de meeste patenten nooit worden geciteerd in later aangevraagde patenten: van alle toegekende patenten tussen 1977 en 2005 heeft slechts 33,5 procent minimaal één citatie binnen vijf jaar na de aanvraag ontvangen (zie figuur 1.4).

**Figuur 1.4**

Toegekende patenten met citaties in latere patenten binnen vijf jaar na aanvraag (1977-2005)



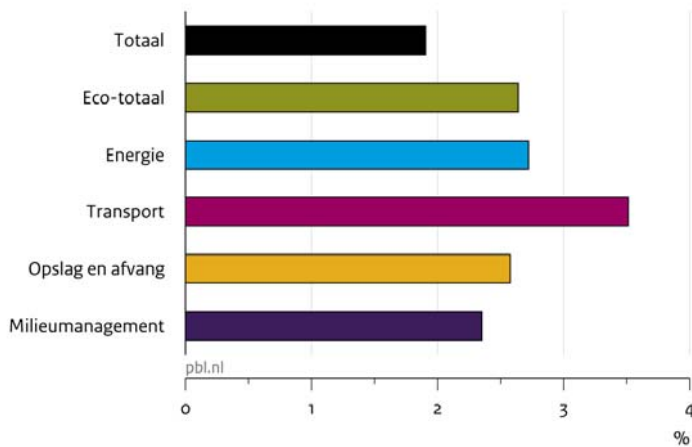
Bron: OECD Patent Quality Indicators Database

Met 35,1 procent ligt dit percentage voor toegekende patenten in eco-technologieën net iets hoger, maar het verschilt wel per deelgebied. In milieumanagement wordt een kleiner aandeel patenten geciteerd dan in de andere drie deelgebieden. Vooral in opslag en afvang van broeikasgassen is het aandeel geciteerde patenten aanzienlijk hoger dan gemiddeld (40,8 procent).

Het percentage patenten dat kan worden beschouwd als een doorbraakinventie is nog veel kleiner: slechts 1,9 procent van alle toegekende patenten die tussen 1977 en 2005 zijn aangevraagd (zie figuur 1.5). Met 2,6 procent is het aandeel doorbraakinventies binnen eco-technologieën wel beduidend hoger. De uitsplitsing naar de vier eco-technologieën maakt duidelijk dat het aandeel doorbraakinventies vooral binnen transport hoog is (3,5 procent). Binnen milieumanagement is het aandeel doorbraakinventies het laagst (2,4 procent), maar nog altijd beduidend hoger dan het gemiddelde voor alle toegekende patenten.

**Figuur 1.5**

**Doorbraakinventies als percentage van alle toegekende patenten (1977-2005)**



Bron: OECD Patent Quality Indicators Database

Mogelijk is het aantal doorbraakinventies in eco-technologieën alleen hoger dan gemiddeld omdat deze patenten specifieke kenmerken hebben, bijvoorbeeld omdat de meeste eco-patenten pas in de meer recente decennia zijn aangevraagd en het aantal citaties in die periode aanzienlijk hoger is dan daarvoor. Daarom hebben we met behulp van een logistische regressieanalyse onderzocht of de kans dat een patent een doorbraakinventie is inderdaad hoger is voor een patent dat tot de eco-technologieën behoort dan voor een patent met vergelijkbare kenmerken in een andere technologie.

In navolging van eerdere studies controleren we voor zes verschillende kenmerken van patenten (zie bijlage 2 voor een toelichting op de wijze van meten). Patenten van hogere kwaliteit ontvangen vaker patentbescherming van meerdere patentbureaus en de duur tussen de aanvraag en toekenning is vaak korter, omdat de aanvrager meer belang heeft bij patentbescherming (zie bijvoorbeeld Dechezleprêtre et al. 2014; Lanjouw & Schankerman 2001). We controleren daarom voor zowel het aantal patentbureaus waar patentbescherming is toegekend als voor de toekenningsduur. Harhoff et al. (2003) vonden ook aanwijzingen dat patenten die zelf veel verwijzen naar eerder aangevraagde patenten en naar niet-patentliteratuur van hogere kwaliteit zijn. Daarom nemen we ook het aantal patentcitaties en verwijzingen naar niet-patentliteratuur in het patentdocument in het model op.

Maar een groot aantal patentcitaties kan ook wijzen op een al meer ontwikkelde technologie, wat de kans juist verkleint dat een patent bijdraagt aan radicale vernieuwingen van de bestaande technologie (Lanjouw & Schankerman 2001). Fleming (2001) kwam tot een vergelijkbaar resultaat voor het effect van het aantal patenten dat al in dezelfde technologieklasse is aangevraagd op het aantal citaties na aanvraag. Fleming constateerde dat het aantal citaties van patenten in eerste instantie toeneemt met het aantal patentaanvragen in dezelfde technologieklasse in voorgaande jaren, maar dat dit effect op een gegeven moment omslaat en negatief wordt. Meer ervaring met kennisontwikkeling in een bepaalde technologieklasse vermindert in eerste instantie de kans op fouten, waardoor patenten vaker kennis bevatten die van nut is voor verdere kennisontwikkeling. Maar op een gegeven moment is een technologie 'uitontwikkeld' en voegen nieuwe patenten niet veel relevante kennis meer toe. We controleren hiervoor door in het regressiemodel zowel het aantal patenten op te nemen dat tot het moment van aanvraag reeds is verschenen in het technologieveld (4-digit IPC-code), als de gekwadraterde term van deze variabele.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> De meeste patenten worden in meer dan één technologieveld geregistreerd. Daarom nemen we bij het bepalen van het aantal patenten dat reeds is ontwikkeld in hetzelfde technologieveld voor de patentaanvraag het gemiddelde voor alle technologievelden waar het patent is geregistreerd.

Tot slot worden sommige patenten in meerdere technologieklassen geregistreerd. Dat verhoogt de kans op citaties. Ook controleren we voor eventuele verschillen in het gemiddelde aantal citaties dat patenten ontvangen per jaar en per technologieveld door het opnemen van variabelen voor elk jaar en elk technologieveld (zogenoemde *fixed effects*).

**Tabel 1.2 Resultaten regressieanalyse voor de kans op een doorbraakinventie**

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Eco-technologie	0,425*** (0,036)				
Energie		0,505*** (0,053)			
Transport			0,611*** (0,094)		
Opslag/afvang broeikasgassen				0,430* (0,252)	
Milieumanagement					0,229*** (0,053)
# technologievelen	0,610*** (0,021)	0,623*** (0,021)	0,625*** (0,021)	0,630*** (0,021)	0,624*** (0,021)
# patentbureaus	0,256*** (0,018)	0,256*** (0,018)	0,259*** (0,018)	0,259*** (0,018)	0,259*** (0,018)
Toekenningsduur	0,293*** (0,021)	0,291*** (0,021)	0,292*** (0,021)	0,294*** (0,021)	0,295*** (0,021)
# citaties eerdere patenten	0,350*** (0,014)	0,351*** (0,014)	0,353*** (0,014)	0,353*** (0,014)	0,353*** (0,014)
# citaties niet-patent literatuur	0,115*** (0,013)	0,114*** (0,013)	0,114*** (0,013)	0,114*** (0,013)	0,115*** (0,013)
# patenten in technologieveld	1,631*** (0,072)	1,640*** (0,072)	1,640*** (0,072)	1,642*** (0,072)	1,639*** (0,072)
# patenten in technologieveld <sup>2</sup>	-0,103*** (0,005)	-0,104*** (0,005)	-0,104*** (0,005)	-0,105*** (0,005)	-0,104*** (0,005)
Constante	-15,104*** (0,335)	-15,136*** (0,336)	-15,124*** (0,335)	-15,133*** (0,335)	-15,124*** (0,335)
Jaar fixed effects	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Technologie fixed effects	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
# observaties	1.045.772	1.045.772	1.045.772	1.045.772	1.045.772
Wald Chi <sup>2</sup>	7271,21***	7173,43***	7097,47***	7044,90***	7078,09***
Log Pseudolikelihood	-94174,76	-94197,48	-94219,92	-94236,92	-94229,76

\*\*\* p<0,01; \*\* p<0,05; \* p<0,1 robuuste standaardfout tussen haakjes. Alle controlevariabelen zijn gelog-transformeerd voor de schatting.

De resultaten van model 1 in tabel 1.2 bevestigen de resultaten uit figuur 1.5: patenten die volgens het EPO tot de eco-technologieën behoren, hebben een grotere kans om een doorbraakinventie te zijn dan patenten in andere technologieën, ook na controle voor verschillen in patentkenmerken. Het positieve en statistisch significante effect voor de variabele eco-technologie geeft aan dat de kans dat een patent in eco-technologieën een doorbraakinventie is, anderhalf keer hoger is dan voor patenten met vergelijkbare kenmerken in andere technologievelen.<sup>13</sup> In model 2 tot en met 4 schatten we het effect voor de vier typen eco-technologieën afzonderlijk. We vinden voor elk type een positief en statistisch significant effect, maar de omvang van het effect verschilt wel per type. De kans dat een patent een

<sup>13</sup> Door de exponent te nemen van de coëfficiënt in het logistisch model kunnen we de odds ratio van de variabele bepalen. Voor de coëfficiënt van variabele eco-technologie in model 1 resulteert dit in  $\exp(0,425) = 1,53$ .

doorbraakinventie is, is het hoogst voor transport (84 procent grotere kans dan gemiddeld) en het kleinst voor milieumanagement (26 procent grotere kans dan gemiddeld).

De resultaten van de meeste controlevariabelen zijn volgens verwachting. De kans dat een patent een doorbraakinventie is, is groter als een patent is geregistreerd in meerdere technologievelden, patentbescherming heeft gekregen bij meerdere patentbureaus en als er in het patent meer verwijzingen staan naar eerder aangevraagde patenten en andere literatuur. Ook constateren we net als Fleming (2001) dat de kans op een doorbraakinventie toeneemt met het aantal patenten dat eerder is aangevraagd in hetzelfde technologieveld, tot een bepaald punt waarna dat effect negatief wordt (zo blijkt uit het statistisch significante en positieve effect voor de hoofdvariabele en het negatieve statistisch significante effect van de gekwadrateerde variabele). In tegenstelling tot eerder onderzoek stellen we vast dat de toekenningsduur juist een positieve invloed heeft op de kans dat een patent een doorbraakinventie is. Mogelijk komt dit omdat deze patenten meer radicale technologische vernieuwingen bevatten, waardoor de experts van het EPO meer tijd nodig hebben om een goed oordeel te vellen over de kwaliteit van het patent en dus om tot een toekenning te komen.

**Tabel 1.3 Resultaten regressieanalyse voor de kans op een doorbraakinventie voor patenten in eco-technologieën en in de verschillende referentietechnologieën**

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Vergelijking met:	Zwart/grijs totaal	Zwart/grijs energie	Zwart/grijs transport	Biotech	ICT
Eco-technologie	0,330*** (0,091)			-0,272*** (0,097)	0,353*** (0,056)
Energieproductie		0,455*** (0,118)			
Transport			0,666*** (0,093)		
# technologievelden	0,849*** (0,077)	0,814*** (0,155)	0,985*** (0,127)	0,645*** (0,065)	0,853*** (0,042)
# patentbureaus	-0,467*** (0,073)	-0,107 (0,131)	-0,689*** (0,114)	0,359*** (0,058)	-0,136*** (0,042)
Toekenningsduur	0,325*** (0,075)	0,479*** (0,156)	0,097 (0,109)	0,343*** (0,065)	0,286*** (0,040)
# citaties eerdere patenten	0,333*** (0,061)	0,397*** (0,114)	0,404*** (0,092)	0,237*** (0,040)	0,361*** (0,029)
# citaties niet-patent literatuur	0,130** (0,062)	-0,131 (0,138)	0,283** (0,111)	-0,034 (0,034)	0,257*** (0,026)
# patenten in technologieveld	0,467 (0,339)	0,600 (0,466)	2,622*** (0,794)	3,515*** (0,301)	0,983*** (0,179)
# patenten in technologieveld ^2	-0,027 (0,023)	-0,052 (0,033)	-0,154*** (0,053)	-0,246*** (0,019)	-0,061*** (0,012)
Constante	-9,238*** (1,390)	-11,032*** (2,196)	-18,008*** (3,273)	-19,870*** (1,302)	-12,431*** (0,771)
Jaar fixed effects	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Technologie fixed effects	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Observaties	58.759	21.219	25.770	86.036	239.703
Wald Chi ^2	623,41***	252,52***	527,98***	1914,73***	2227,84***
Log Pseudolikelihood	-6567,01	-1786,79	-3024,41	-8754,81	-23503,57

\*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1 robuuste standaardfout tussen haakjes. Alle controlevariabelen zijn gelog-transformeerd voor de schatting.

In tabel 1.3 vergelijken we de kans op een doorbraakinventie voor patenten in eco-technologieën met de patenten in de verschillende referentiecategorieën. Ook dan is het effect van eco-technologieën op de kans op een doorbraakinventie positief en statistisch significant. Patenten in eco-technologieën hebben een 39 procent grotere kans om een doorbraakinventie te zijn dan de patenten waarin technologieën zijn vastgelegd die zijn gebaseerd op fossiele brandstoffen (zwarte en grijze technologieën).<sup>14</sup>

Als we in model 2 en 3 de populatie splitsen naar alleen patenten in energieproductie en in transport dan blijkt dat het effect van eco-patenten groter is voor transport. Maar voor beide deelgroepen geldt wel dat de patenten in de eco-technologieën een grotere kans hebben om een doorbraakinventie te zijn dan de patenten in de zwarte of grijze technologieën.

In model 4 en 5 vergelijken we de kans op een doorbraakinventie voor patenten in eco-technologieën met patenten in de *enabling* technologieën biotechnologie en ICT. Hoewel deze drie technologieën alle als een *enabling* technologie worden beschouwd, is de kans op een doorbraakinventie niet gelijk voor patenten uit deze drie technologieën. Het negatieve en statistisch significante effect van patenten in eco-technologieën in model 4 wijst er op dat deze patenten een kleinere kans hebben om een doorbraakinventie te zijn dan patenten in de biotechnologie. Deze kans is bijna 24 procent kleiner. In vergelijking met patenten in ICT is deze kans juist 42 procent hoger voor patenten in eco-technologieën (zie model 5).

## 1.5 Samenvatting

Tussen 1977 en 2010 wijkt de ontwikkeling van de patentaanvragen op het gebied van eco-technologieën af van de algemene trend. Hoewel in de afgelopen jaren het totale aantal patentaanvragen bij het EPO ook sterk steeg, is de toename van het aantal patentaanvragen van eco-technologieën inmiddels vele malen hoger. Net als in ICT en biotechnologie halverwege de jaren negentig, neemt het aantal aangevraagde patenten in eco-technologieën sinds 2005 zeer snel toe. ICT en biotechnologieën hebben in allerlei sectoren geleid tot een reeks van nieuwe producten en radicale veranderingen van bestaande productieprocessen. Mogelijk gaan eco-technologieën dit ook teweegbrengen. Wel geldt dit vooral voor de deelgebieden energie, transport en opslag en afvang van broeikasgassen. Het belang van kennisontwikkeling in milieumanagement neemt juist af. Bovendien zijn patenten in eco-technologieën van groter belang voor de verdere kennisontwikkeling dan patenten in het algemeen: de kans dat deze patenten een doorbraakinventie zijn, is maar liefst 53 procent hoger. Alleen in vergelijking met patenten in de biotechnologie is deze kans wat lager.

---

<sup>14</sup> Als we deze vergelijking beperken tot alleen een vergelijking tussen patenten in de eco-technologieën energieproductie en transport en hun grijze en zwarte tegenhangers (zie bijlage 1) dan is de kans dat patenten in eco-technologieën doorbraakinventies zijn zelfs 77 procent hoger.

# 2 Nederland in Europa

## 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk vergelijken we eerst de ontwikkeling van eco-technologieën in Nederland in de periode 1977 tot en met 2010 met de algemene trends in Europa, zoals beschreven in hoofdstuk 1.<sup>15</sup> We beantwoorden de volgende vraag: welke eco-technologieën zijn in Nederland vooral ontwikkeld en in hoeverre is Nederland daarbij een koploper binnen Europa? In paragraaf 2.3 beschrijven we vervolgens de eco-technologische specialisaties van de vier Nederlandse regio's waar de meeste eco-patenten zijn ontwikkeld: Noord-Brabant, Noord-Holland, Zuid-Holland en Gelderland.

Patentdocumenten vermelden zowel het adres van de organisatie die het patent aanvraagt als het woonadres van de uitvinder. Net als eerdere studies waarin patenten zijn gebruikt voor het in beeld brengen van regionale verschillen in technologische kennisontwikkeling gaan we uit van het woonadres van de uitvinder (zie bijvoorbeeld Jaffe et al. 1993). Organisaties met meer dan één vestiging vragen meestal patenten aan vanuit het hoofdkantoor, terwijl de R&D-activiteiten mogelijk in een andere vestiging plaatsvinden.<sup>16</sup> Aangezien uitvinders meestal binnen een redelijke woon-werkafstand wonen van de vestiging waar zij werken, is het woonadres van de uitvinder een betere indicator voor de regio waar de kennis die is vastgelegd in het patent is ontwikkeld.

## 2.2 Ontwikkeling van eco-technologieën in Nederland

In 1977 waren Nederlandse uitvinders al actief met het ontwikkelen van eco-patenten. Vanuit Nederland zijn in dat jaar 7 patentaanvragen bij het EPO ingediend die tot de eco-technologieën behoren. Dat is weinig, maar in heel Europa was er toen nog amper onderzoek op dit terrein: het totale aantal eco-patentaanvragen was in 1977 iets meer dan 100. Nederland was dus al vanaf het begin actief met de ontwikkeling van eco-technologieën.

Maar ondanks deze vroege start blijft Nederland vervolgens achter bij de rest van Europa. Het aantal eco-patentaanvragen vanuit Nederland is vanaf 1977 veel minder snel toegenomen dan in de 16 geselecteerde Europese landen als geheel (zie figuur 2.1). Het patroon voor eco-patenten wijkt daarmee af van de algemene trend voor Nederland: de toename van het totale aantal patentaanvragen vanuit Nederland gaat jarenlang wél gelijk op met de algemene Europese trend en is vanaf eind jaren negentig zelfs hoger.

Tussen 1977 en 2010 zijn er vanuit Nederland ruim 3.000 patentaanvragen op het gebied van eco-technologieën ingediend bij het EPO. Na Duitsland, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Italië is Nederland daarmee het vijfde land wat betreft het aandeel patentaanvragen op het gebied van eco-technologieën (zie figuur 2.2). Dat is meer dan puur op basis van verschillen in aantal inwoners kan worden verwacht: in inwoneraantal is Nederland het acht-

---

<sup>15</sup> Veel patenten worden door meerdere uitvinders aangevraagd. Bij het bepalen van het aantal patenten per land of regio zijn er twee opties: het patent kan in beide landen meetellen, waardoor de som van alle landen niet gelijk is aan het totale aantal van patenten aangevraagd bij het EPO, of er kan gebruik worden gemaakt van *fractional accounting* waarbij per land of regio een aandeel wordt toegekend afhankelijk van het aantal betrokken uitvinders. Conform het advies van de OECD gebruiken we in deze en de volgende paragraaf aandelen per land (zie <http://www.oecd.org/science/inno/40794372.pdf>).

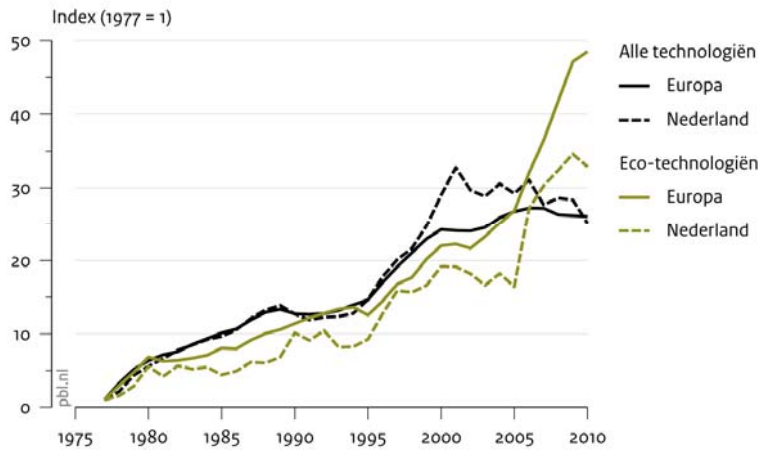
<sup>16</sup> Dit is bijvoorbeeld het geval bij het bedrijf dat verantwoordelijk is voor de meeste patentaanvragen vanuit Nederland: Philips. Het hoofdkantoor van Philips staat sinds een aantal jaar in Amsterdam, terwijl de R&D-afdeling nog steeds in Eindhoven is gevestigd.



ste land. Maar Nederland blijft, net als alle andere Europese landen overigens, ver achter bij koploper Duitsland. Maar liefst 44,4 procent van alle eco-patenten is afkomstig uit Duitsland.

**Figuur 2.1**

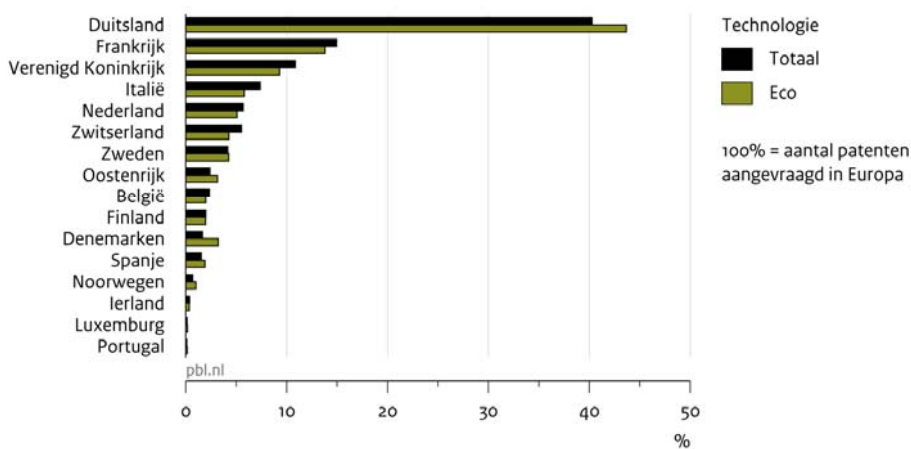
**Ontwikkeling aantal aangevraagde patenten in Europa en in Nederland**



Bron: OECD REGPAT Database

**Figuur 2.2**

**Aandeel aangevraagde patenten in totaal en in eco-technologieën per land (1977-2010)**



Bron: OECD REGPAT Database

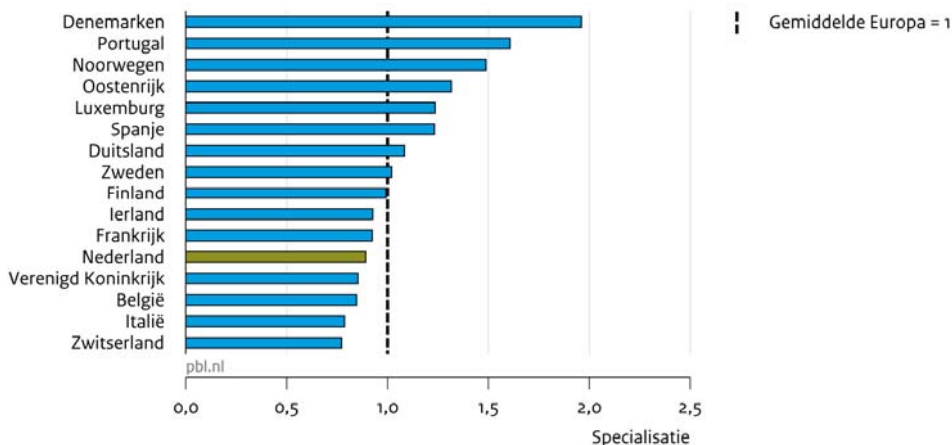
Er ontstaat een heel ander beeld als we per land bekijken in hoeverre de technologische kennisbasis is gespecialiseerd in het ontwikkelen van eco-technologieën (figuur 2.3). Van alle patentaanvragen door Nederlandse uitvinders is 4,7 procent geregistreerd in één van de eco-technologieïtypen. Dat is lager dan het Europese gemiddelde van 5,3 procent. De technologische kennisontwikkeling binnen Nederland is dus niet gespecialiseerd in eco-technologieën (zie ook PBL 2013: 30).

Als we een onderscheid maken binnen de eco-technologieïtypen, dan blijkt dat er op sommige deelgebieden wel bovengemiddeld veel patenten vanuit Nederland worden aangevraagd. Figuur 2.4 laat zien in welke deelgebieden Nederland, Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk sinds 2000 zijn gespecialiseerd. Zo is het aantal patentaanvragen vanuit Nederland binnen energie zowel op het gebied van energiebesparing als alternatieve brandstoffen hoger dan het Europese gemiddelde. Nederland is ook gespecialiseerd in eco-technologische kennisontwikkeling op het gebied van opslag en afvang van CO<sub>2</sub>, maar niet

wat betreft andere broeikasgassen. In milieumanagement zijn op het gebied van bodem en in mindere mate afval en water bovengemiddeld veel patenten vanuit Nederland aangevraagd. Nederland heeft geen sterke positie wat betreft de kennisontwikkeling in transport: in geen van de deelgebieden is het aandeel patenten hoger dan het Europese gemiddelde.

**Figuur 2.3**

**Specialisatie eco-technologieën per land (1977-2010)**



Bron: OECD REGPAT Database

Als we de specialisaties van Nederland vergelijken met die van de andere drie landen, dan heeft Nederland alleen op het gebied van energiebesparing een duidelijk hoger aandeel patenten. Denemarken heeft een veel sterkere specialisatie in alternatieve brandstoffen (energie) en, in iets mindere mate, op het gebied van milieumanagement in water en bodem. Daarnaast valt de zeer sterke specialisatie van dit land in energieproductie op. Het Verenigd Koninkrijk is meer dan Nederland gespecialiseerd in de opslag en afvang van CO<sub>2</sub> en kent daarnaast veel kennisontwikkeling op het gebied van ecodesign van voertuigen. Duitsland heeft geen opvallend sterke specialisatie in één van de eco-technologieën, maar heeft wel binnen elk type in minstens één deelgebied een bovengemiddeld aandeel patenten. De sterkste specialisatie van Duitsland is in de ontwikkeling van duurzame voertuigen. Elk van de vier landen in figuur 2.4 heeft dus een andere specialisatie in één van de deelgebieden.

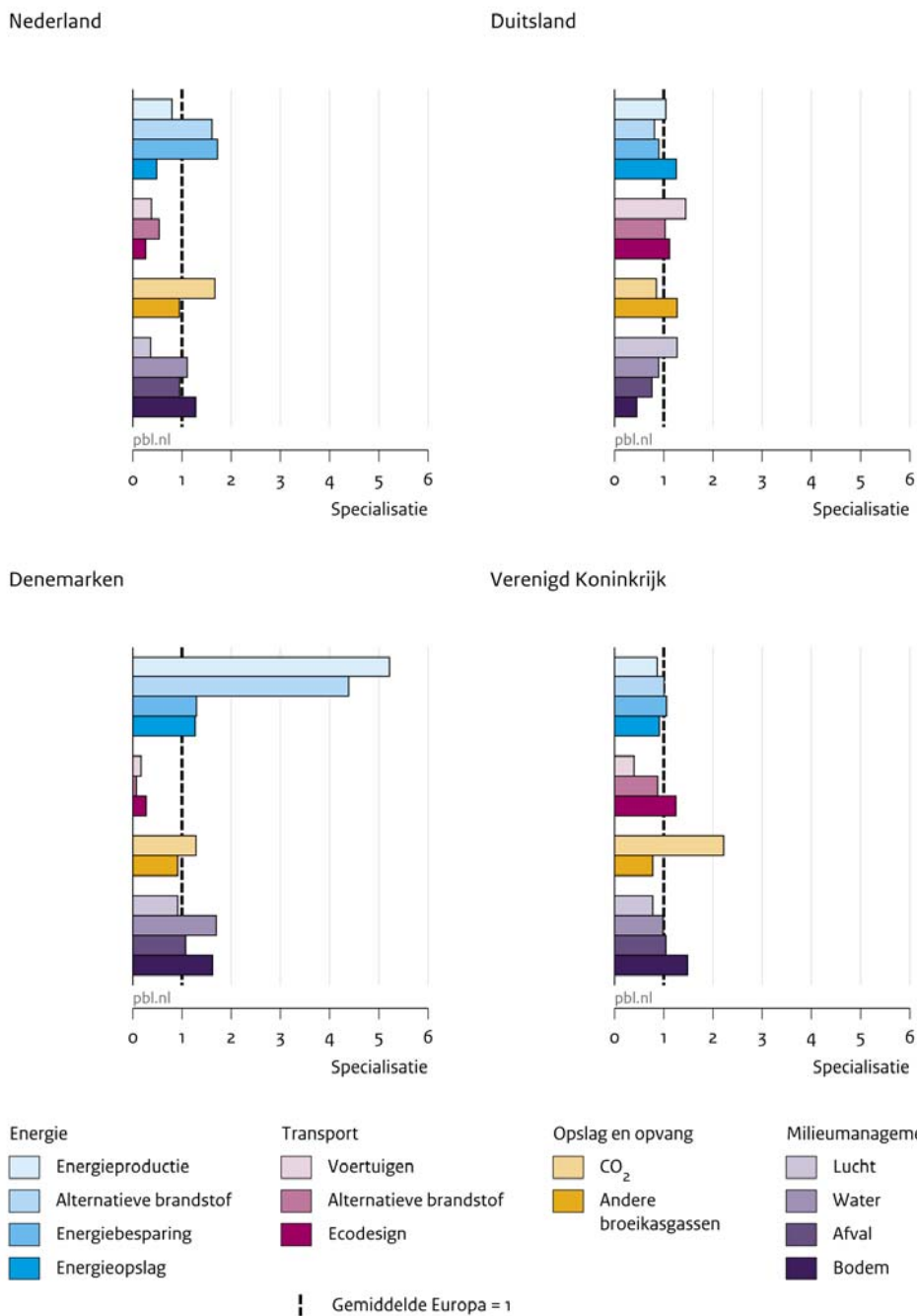
Sommige deelgebieden waar Nederland in is gespecialiseerd zijn eco-technologieën waar relatief weinig patenten in worden ontwikkeld (alternatieve brandstoffen op het gebied van energie, opslag en afvang CO<sub>2</sub>) of waar de technologische ontwikkeling na 2000 aan het afnemen is (milieumanagement), zo laat figuur 2.5 zien. Alleen in energiebesparing worden wel veel patenten ontwikkeld; het belang van dit deelgebied is na 2000 zelfs toegenomen.

De sterke specialisatie van Nederland in deze technologie komt evenwel vooral door de vele patentaanvragen van Philips op het gebied van ledtechnologie (PBL 2013). In mei 2015 heeft Philips een groot deel van deze activiteiten verkocht, omdat het zich meer op andere technologieën wil toelagen.<sup>17</sup> Het is de vraag wat dit betekent voor de ontwikkeling van deze technologie binnen Nederland.

<sup>17</sup> Zie <http://www.nrc.nl/nieuws/2015/03/31/philips-verkoopt-groot-deel-led-divisies-voor-27-miljard-euro/>.

**Figuur 2.4**

**Specialisatie in eco-technologieën van vier Europese landen in de periode 2000-2010**

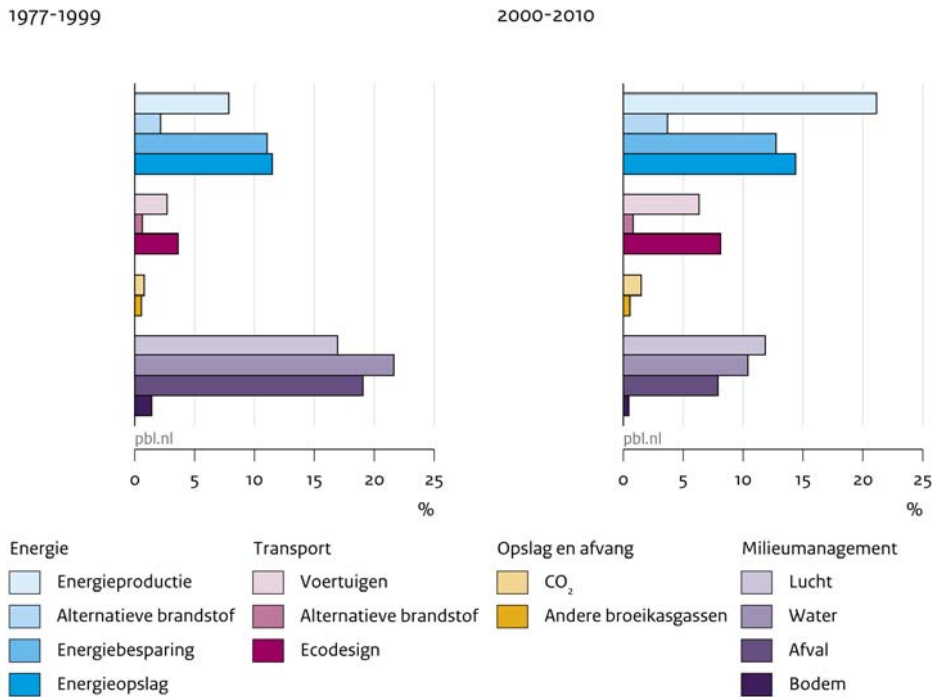


Bron: OECD REGPAT Database

Om te achterhalen of de specialisaties van Nederland op het gebied van eco-technologieën zijn veranderd tussen 1977 en 2010, vergelijken we in figuur 2.6 de specialisaties in de vóór 2000 aangevraagde patenten met die van erna. In het algemeen zijn de specialisaties van Nederland hetzelfde gebleven. De deelgebieden waar vanuit Nederland vóór 2000 een bovengemiddeld aandeel patenten in werd aangevraagd zijn ook nog steeds de deelgebieden waar Nederland na 2000 in is gespecialiseerd. Deze deelgebieden staan in het kwadrant rechtsboven in figuur 2.6.

**Figuur 2.5**

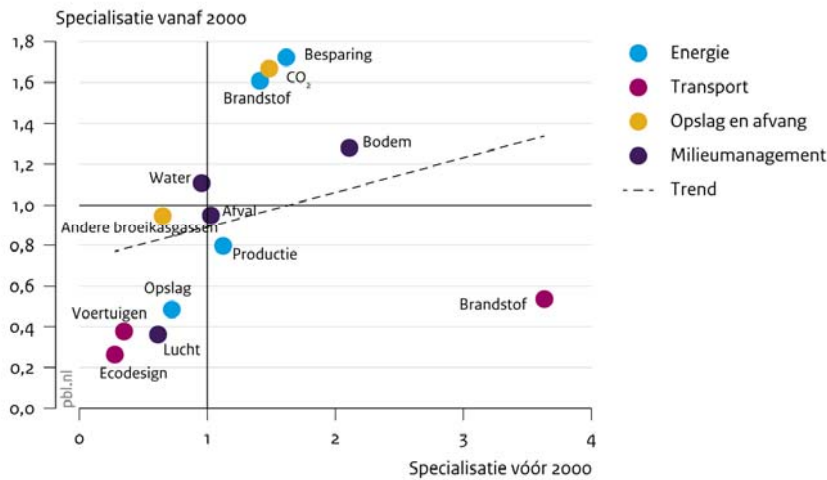
**Aandeel van iedere categorie in totaal aantal eco-patenten in Europa voor twee tijdvakken**



Bron: OECD REGPAT Database

**Figuur 2.6**

**Specialisatie eco-technologieën van Nederland in twee tijdvakken tegen elkaar afgezet**



Bron: OECD REGPAT Database

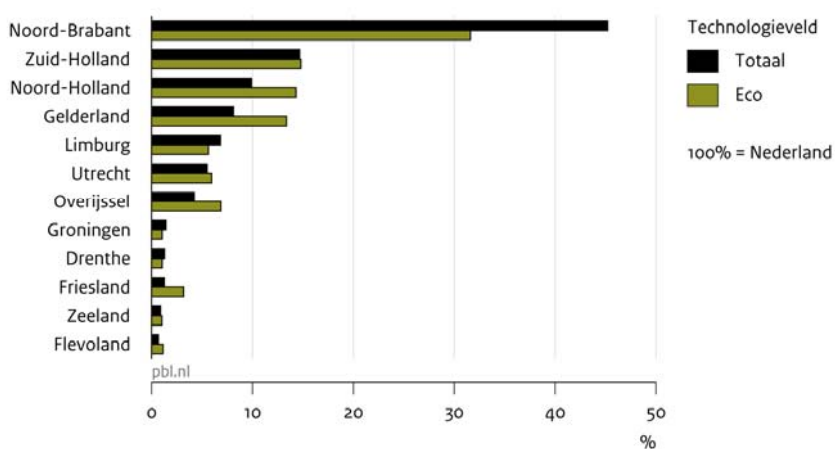
Hetzelfde geldt voor de deelgebieden waar vanuit Nederland een ondergemiddeld aandeel patenten in werd aangevraagd; de eco-technologieën linksonder in figuur 2.6. De kwadranten linksboven en rechtsonder zijn zo goed als leeg, op één uitzondering na: het deelgebied alternatieve brandstoffen voor transport. Vóór 2000 was het aandeel patentaanvragen vanuit Nederland op dit gebied maar liefst drie keer hoger dan het Europese gemiddelde, terwijl dat aandeel na 2000 ruim onder het gemiddelde ligt.

## 2.3 Regionale verschillen in de ontwikkeling van eco-technologieën

Ruim 60 procent van alle patenten die vanuit Nederland worden aangevraagd is afkomstig uit de regio Noord-Brabant (zie figuur 2.7). Dit komt vooral omdat het R&D-lab van Philips en ASML in deze regio zijn gevestigd; beide bedrijven zijn zeer actief met het aanvragen van patenten. De ontwikkeling van patenten in eco-technologieën is iets gelijkmatiger verdeeld over het land, met ruim 30 procent vanuit Noord-Brabant, bijna 14 procent in Zuid-Holland en Noord-Holland, en 12,7 procent in Gelderland. De rest van Nederland blijft ver achter bij deze regio's.

**Figuur 2.7**

Percentage patentaanvragen vanuit Nederland naar provincie, 1977-2005



Bron: OECD REGPAT Database

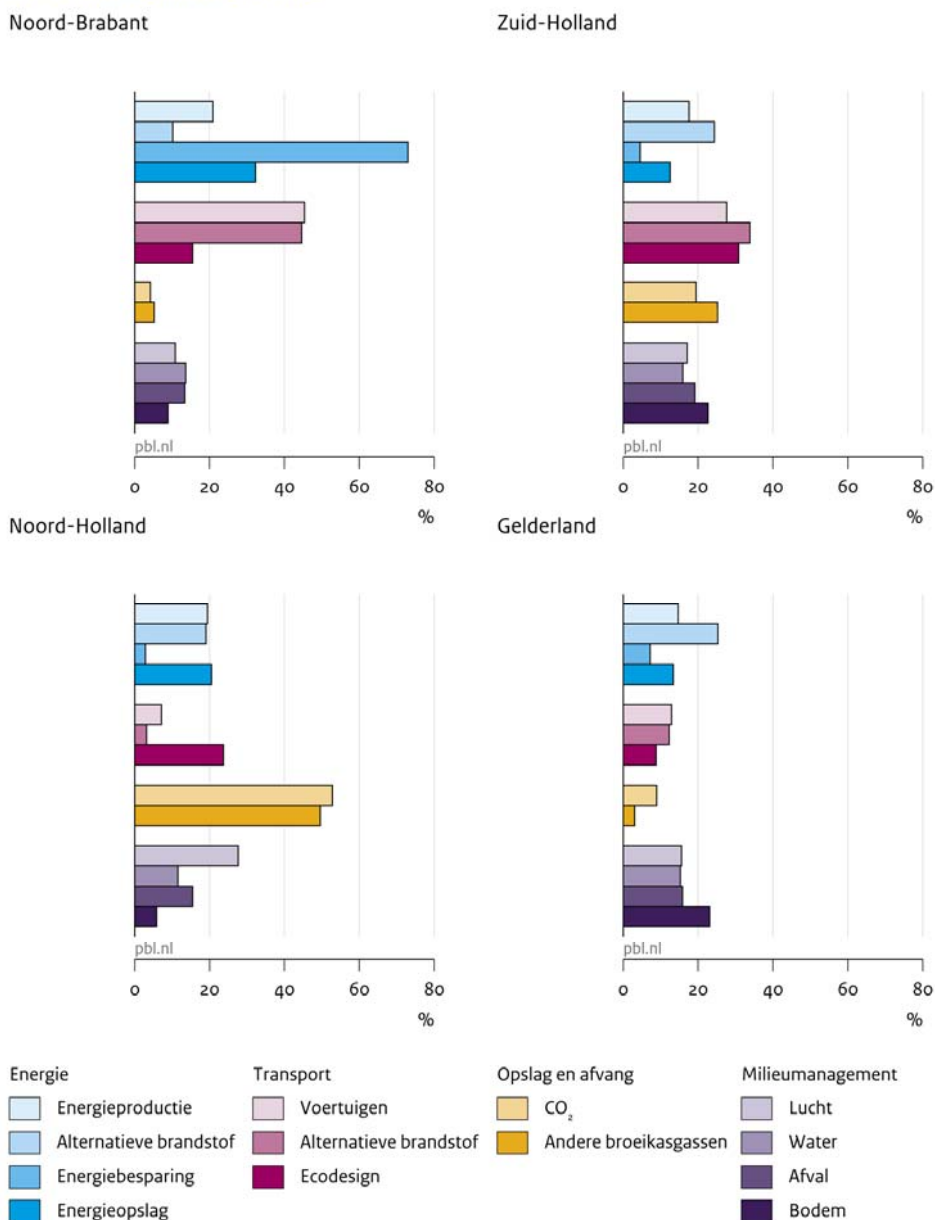
De vier Nederlandse provincies met het grootste aandeel eco-patenten hebben elk hun eigen specialisatie binnen de eco-technologische kennisontwikkeling (zie figuur 2.8). Bijna 70 procent van alle Nederlandse patentaanvragen op het gebied van energiebesparing is afkomstig uit Noord-Brabant. Voor een groot deel betreft dit de patenten voor ledtechnologie die door Philips zijn aangevraagd. Daarnaast zijn uitvinders uit Noord-Brabant ook verantwoordelijk voor een groot deel van de Nederlandse patenten in elektrische en hybride vervoermiddelen en alternatieve brandstoffen voor transport. In Noord-Holland is de kennisontwikkeling op het gebied van eco-technologieën sterk gericht op de opslag en afvang van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen. De kennisontwikkeling in Zuid-Holland en Gelderland is minder sterk gespecialiseerd. Vanuit Zuid-Holland wordt ook een vrij groot aandeel patenten op het gebied van alternatieve brandstoffen voor vervoer aangevraagd, en vanuit Gelderland op het gebied van alternatieve brandstoffen voor energie.

## 2.4 Samenvatting

Nederland is geen koploper binnen Europa wat betreft de ontwikkeling van eco-technologieën. Hoewel Nederland wel in een aantal subtypen een relatief sterke positie heeft, zijn dit deelgebieden waar relatief weinig patenten in worden ontwikkeld (alternatieve brandstoffen op het gebied van energie, opslag en afvang van CO<sub>2</sub>) of waar de technologische ontwikkeling na 2000 aan het afnemen is (milieumanagement). Dat geldt niet voor energiebesparing, maar op dit terrein is vooral Philips actief en dit bedrijf wil zich meer gaan toeleggen op andere technologieën.

**Figuur 2.8**

Percentage patentaanvragen vanuit Nederland voor vier provincies per deelgebied in eco-technologieën, 1977-2005



Bron: OECD REGPAT Database

De omvang en de specialisatie van onderzoeksactiviteiten op het gebied van eco-technologieën verschillen per land en per regio. Bovendien zijn die specialisaties vrij stabiel in de tijd, wat wijst op een sterke padafhankelijkheid in technologische kennisontwikkeling in regio's. Ook binnen Nederland concentreren de onderzoeksactiviteiten van de verschillende eco-technologische specialisaties zich in specifieke regio's: zoals bijvoorbeeld energiebesparing en ontwikkeling van alternatieve brandstoffen voor transport in Noord-Brabant, de opslag en afvang van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen in Noord-Holland en alternatieve brandstoffen (energie en transport) en eco-design voor transport in Zuid-Holland. De mogelijkheden voor het ontwikkelen van eco-technologieën lijken regionaal dus te verschillen, en als deze verschillen er eenmaal zijn, dan blijven ze vaak ook voortbestaan.

# 3 Theoretisch kader

## 3.1 Inleiding

Landen en regio's hebben verschillende technologische specialisaties en welke nieuwe technologieën daar tot stand komen, hangt sterk af van die bestaande specialisaties (Boschma et al. 2015; Hidalgo et al. 2007; Neffke et al. 2011). Volgens de evolutionaire economisch-geografische literatuur komt dit omdat technologische kennisontwikkeling in regio's een padafhankelijk proces is, waar de bij de ontwikkeling van nieuwe kennis betrokken partijen voortbouwen op de kennis die voorheen in de regio is opgebouwd. In dit hoofdstuk lichten we dit principe nader toe. Eerst gaan we in op de padafhankelijkheid van technologische vernieuwing en het proces van kenniscombinaties dat hieraan ten grondslag ligt. Daarna lichten we toe waarom dit proces hoofdzakelijk op regionaal schaalniveau plaatsvindt. Deze inzichten passen we vervolgens toe op de eco-technologische kennisontwikkelingen in Europese regio's, die in hoofdstuk 4 en 5 worden beschreven.

## 3.2 Technologische vernieuwing via nieuwe combinaties

### 3.2.1 Padafhankelijk proces

Nieuwe kennis, en dus ook technologische kennis, ontstaat voor een belangrijk deel door het combineren van bestaande ideeën; Schumpeter verwoordde dit proces in de eerste helft van de vorige eeuw al als *New Combinations* (1939: 84). Theoretisch kan elke mogelijke combinatie van bestaande ideeën worden gemaakt, maar omdat mensen deze combinaties maken, wordt dit proces sterk beïnvloed door hun cognitieve en sociale vermogens (Fleming 2001). De meeste betrokkenen<sup>18</sup> kiezen daarom voor een *local search*: ze zoeken vernieuwing door voort te bouwen op de kennis en ervaring die ze in het verleden hebben opgedaan (March 1991). Dit doen ze omdat er zeer hoge kosten en risico's zijn verbonden aan het ontwikkelen van een nieuwe technologie zonder daar enige ervaring in te hebben (Dosi 1982). De betrokkenen moeten veel investeren om hun kennisachterstand in te kunnen halen. Tegelijkertijd beschikken ze over onvoldoende informatie om te kunnen beoordelen welke ontwikkelingen binnen die technologie het meest belovend zijn. Bovendien is het maar de vraag of ze in staat zijn toegang te krijgen tot alle benodigde kennis om die technologie te ontwikkelen, zelfs al zouden daar de hoogst mogelijke kosten tegenover mogen staan. Deze hoge kosten en grote mate van onzekerheid maken het voor degenen die geen eerdere ervaring hebben met de ontwikkeling van een technologie praktisch onmogelijk om te concurreren met degenen die al wel over deze basiskennis beschikken. Daarom leggen de meeste partijen zich toe op het ontwikkelen van nieuwe technologieën waarvan de kennisbasis in elk geval gedeeltelijk overeenkomt met die van eerdere technologieën waaraan ze hebben gewerkt (Nelson & Winter 1982). Met andere woorden: technologische kennisontwikkeling is afhankelijk van eerdere paden die zijn bewandeld.

### 3.2.2 Gerelateerde en ongerelateerde kenniscombinaties

Technologische vernieuwing ontstaat dus vooral uit kenniscombinaties die zijn *gerelateerd* aan combinaties die in het verleden al zijn gemaakt. Bij gerelateerde kenniscombinaties is de kans op het succesvol ontwikkelen van nieuwe inventies groot (Nooteboom 2000; Fleming 2001). De betrokken partijen kunnen goed inschatten welke nieuwe combinaties potentieel

---

<sup>18</sup> Dit kunnen zowel individuen zijn als bedrijven of publieke onderzoeksinstituten.

kansrijk zijn, omdat ze al veel ervaring hebben met het combineren van deze kennis. Ze weten al welke combinaties weinig opleveren en kunnen zich dus specifiek richten op die combinaties die tot nuttige nieuwe kennis leiden.

Maar die beperktere onzekerheid heeft ook een keerzijde: dit soort combinaties leiden zelden tot radicale technologische vernieuwing (Fleming 2001). Juist het combineren van kennis uit twee technologievelden die in het verleden maar zelden zijn gecombineerd en dus *ongerelateerd* zijn kan resulteren in heel nieuwe ideeën die soms zelfs de basis leggen voor een heel nieuw economisch groeipad (Nelson & Winter 1982). Enkele empirische studies naar de oorsprong van zogenoemde doorbraaktechnologieën bevestigen dit ook: patenten die uitzonderlijk veel citaties ontvangen in later aangevraagde patenten, zijn vaak ontstaan uit combinaties van kennis uit technologievelden die voorheen ongerelateerd waren (zie bijvoorbeeld Arts & Veugelers 2014). Maar tegelijkertijd gaat deze kans op échte vernieuwing gepaard met een hogere kans op mislukking, omdat er wel erg grote ‘technologische sprongen’ moeten worden gemaakt.

Deze gerelateerde en ongerelateerde kenniscombinaties staan niet los van elkaar (Castaldi et al. 2015). Zodra een ongerelateerde kenniscombinatie resulteert in een radicaal nieuwe inventie, zal de kennis uit de betrokken technologievelden vaker worden gecombineerd. Naarmate de technologievelden vaker met elkaar zijn gecombineerd, raken zij steeds meer aan elkaar gerelateerd. Er ontstaat steeds meer kennis en ervaring over hoe de ‘puzzelstukjes’ het beste in elkaar passen. Uiteindelijk kunnen technologievelden zelfs samensmelten tot een geheel nieuw, op zichzelf staand kennisveld. Op een gegeven moment zijn de technologievelden zo vaak gecombineerd dat een volgende combinatie niet meer vernieuwend is. Er treedt een verzadigingsfase in. Om op de langere termijn vernieuwing mogelijk te maken, zal er weer een nieuwe combinatie met een ander, ongerelateerd kennisveld moeten worden bedacht.

### 3.3 De rol van de regio

Het padafhankelijke proces van technologische kennisontwikkeling voltrekt zich op het niveau van personen of organisaties. Maar deze partijen opereren hoofdzakelijk op regionaal schaalniveau, waardoor ook de regionale kennisontwikkeling padafhankelijk is. In deze paragraaf lichten we toe waarom het proces van kennisontwikkeling vooral binnen regio’s plaatsvindt.

#### 3.3.1 Beperkte geografische reikwijdte van kennisnetwerken

Mensen ontwikkelen nieuwe (technologische) kennis zelden alleen op basis van de kennis waarover zij zelf beschikken, maar gebruiken meestal aanvullend externe kennisbronnen. Ze kunnen daarbij gebruikmaken van kennis die ergens is vastgelegd, bijvoorbeeld de kennis in wetenschappelijke publicaties, patenten of andere bronnen op het internet. Dit wordt gecodificeerde kennis genoemd. Maar door de toegenomen complexiteit van technologieën is dit vaak niet voldoende: de veelheid aan technologieën maakt het onmogelijk om een compleet overzicht te hebben van alle ontwikkelingen en in te kunnen schatten welke daarvan echt kansrijk zijn (Fleming 2001). Daarom zijn mensen vaak aangewezen op de ongecodeerde kennis die beschikbaar is via hun sociale en zakelijke netwerk: de kennis en ervaring van anderen met de ontwikkeling van nieuwe kennis die vaak niet ergens is vastgelegd (Foray & Lundvall 1996). Zelfs voor een goed begrip van gecodificeerde kennis is vaak ongecodeerde kennis nodig. Breschi en Lissoni (2001) laten bijvoorbeeld zien dat uitvinders opzettelijk de kennis in patenten zo persoonsgebonden mogelijk beschrijven, zodat het patent alleen te begrijpen is voor iemand die contact heeft met de groep uitvinders die eraan heeft gewerkt.



Hoewel sociale netwerken op elk geografisch schaalniveau kunnen ontstaan, is de reikwijdte van de meeste netwerken toch beperkt; niet alleen omdat personen vaak samenwerken binnen één organisatie, maar ook als het netwerk over de grenzen van de bedrijfsmuren heen reikt (Audretsch & Feldman 2004; Jaffe et al. 1993). Het uitwisselen van ongecodificeerde kennis is namelijk complex en vereist daarom frequent face-to-facecontact. Bovendien is de bereidheid tot het delen van dit soort persoonsgebonden kennis vaak beperkt: de persoon die over deze kennis beschikt, wil zijn unieke kennis graag beschermen en er zeker van zijn dat hij voor het delen ervan iets terugkrijgt, bijvoorbeeld nieuwe kennis of een geldelijke beloning. Ook moet er vertrouwen zijn dat de kennis niet op straat komt te liggen. Geografische nabijheid maakt het eenvoudiger om elkaar regelmatig te ontmoeten en zo het benodigde vertrouwen op te bouwen. Ook is de kans groter dat betrokkenen elkaar al kennen omdat ze mogelijk samen hebben gestudeerd of ooit collega's zijn geweest. Het is dus niet de geografische nabijheid op zich die maakt dat personen en organisaties die zijn gevestigd in dezelfde regio eerder kennis uitwisselen (Boschma 2005). Zonder toegang tot het sociale netwerk in de regio hebben zij geen toegang tot de regionale kennisbasis (Breschi & Lissoni 2001; Heinisch et al. 2015).

### 3.3.2 Arbeidsmobiliteit

Een ander mechanisme achter lokale kenniscirculatie is de regionale arbeidsmobiliteit waarbij werknemers kennis meenemen van de ene naar de andere organisatie (Breschi & Lissoni 2009). Mensen hebben voor het vinden van een nieuwe baan een beperkte reis- en verhuisbereidheid, en komen sneller in het vizier bij werkgevers in de eigen regio via bestaande sociale en zakelijke netwerken (Weterings et al. 2013). Hierdoor heeft arbeidsmobiliteit tussen organisaties een sterk regionaal karakter. Kennisoverdracht tussen organisaties verloopt voor een belangrijk deel via deze regionale arbeidsmarkt, omdat de werknemers degenen zijn die beschikken over de kennis en ervaring die nodig zijn voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën.

### 3.3.3 Gerelateerde kenniscombinaties en regionale diversificatie

De padafhankelijke technologische ontwikkeling in regio's weerspiegelt dus eigenlijk de collectieve kennisontwikkeling door alle partijen in de regio die met elkaar interacteren via de regionale kennisnetwerken en de regionale arbeidsmarkt. Deze processen maken dat in elke regio een specifieke kennisvoorraad ontstaat, die weer van invloed is op de toekomstige mogelijkheden voor het maken van nieuwe kenniscombinaties. Welke nieuwe technologieën uiteindelijk in een regio tot stand komen, is daarmee zowel pad- als plaatsafhankelijk (Heimeriks & Balland 2015).

Het voorgaande verdient nog een belangrijke nuancering: hoewel de meeste sociale contacten en arbeidsmobiliteit nog altijd binnen de regio plaatsvinden, zijn deze niet beperkt tot de regio. Kennisnetwerken worden steeds internationaler (Hoekman 2012), het aantal internationale kenniswerkers neemt toe (Raspe et al. 2014) en bedrijven openen steeds vaker vestigingen in het buitenland (Weterings et al. 2011). Via deze kanalen verspreidt de kennis zich ook over andere regio's en zelfs landen, en komt er tegelijkertijd nieuwe kennis naar de regio (Bathelt et al. 2004). Dat laatste kan van groot belang zijn, omdat dit de kansen op nieuwe combinaties vergroot, en daarmee verdergaande technologische vernieuwing in de regio (zie voor een empirische onderbouwing Neffke et al. 2014).

## 3.4 Tot slot

Nieuwe technologieën ontstaan dus vaak door het voor het eerst of op een andere manier combineren van reeds bestaande technologische inzichten. In het volgende hoofdstuk onderzoeken we wat voor type combinaties van technologievelden de basis hebben gevormd voor

eco-technologieën. Daarnaast beschrijven we de technologische kennisbasis van vier Nederlandse regio's en bekijken we in hoeverre deze bestaan uit aan elkaar gerelateerde technologieën. In hoofdstuk 5 toetsen we of de aanwezigheid van de technologievelden waar eco-technologieën zijn ontstaan in de regionale kennisbasis de kans heeft vergroot dat daar die eco-technologieën ook tot ontwikkeling zijn gekomen. Ofwel, we bekijken of ook voor de ontwikkeling van eco-technologieën geldt dat dit een pad- en plaatsafhankelijk proces is.

# 4 De kennisbasis van eco-technologieën en regio's

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk introduceren we een methode waarbij we op basis van patentdata inzicht kunnen geven in de kennis waarop eco-technologieën voortbouwen en de technologische kennisbasis van regio's. Aan de hand van die methode onderzoeken we eerst welke technologievelden zijn gecombineerd bij de ontwikkeling van eco-patenten. Het is daarbij ook mogelijk om te bepalen of het gaat om combinaties tussen ongerelateerde of gerelateerde technologievelden, dat wil zeggen, combinaties die in het verleden zelden zijn gemaakt of combinaties die in het verleden al vaker tot de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis hebben geleid. Ten tweede brengen we de technologische specialisatiepatronen van vier Nederlandse regio's in beeld. Hiermee krijgen we een eerste indruk van de kennisbasis van Nederlandse regio's en in hoeverre deze aansluiten op de benodigde kennis voor de ontwikkeling van eco-technologieën.

Zowel de technologievelden die aan de basis liggen van eco-technologieën als de technologische specialisaties van de Nederlandse regio's visualiseren we met behulp van de zogenoemde technologische ruimte. In de volgende paragraaf leggen we het principe hiervan uit. Vervolgens beschrijven we in paragraaf 4.3 in hoeverre eco-technologieën zijn gebaseerd op gerelateerde of ongerelateerde kenniscombinaties, waarbij we ter illustratie de kennisbasis van vijf eco-technologieën beschrijven met behulp van de technologische ruimte. In paragraaf 4.4 brengen we de specialisatiepatronen van vier Nederlandse regio's in beeld. Tot slot vatten we in paragraaf 4.5 het voorgaande samen en formuleren we een veronderstelling die we in hoofdstuk 5 testen.

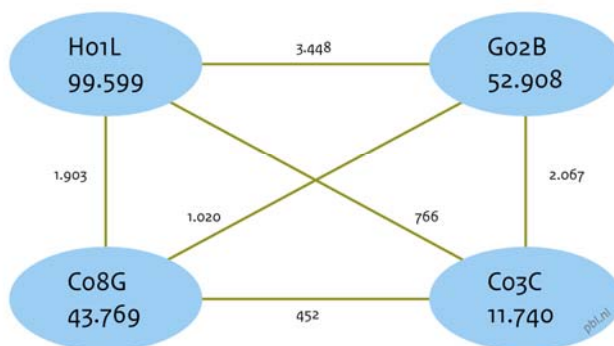
## 4.2 De technologische ruimte

Zoals eerder in hoofdstuk 1 is uitgelegd, wordt ieder patent door *patent examiners* van het Europese patentbureau (EPO) toebedeeld aan technologieklassen die de in het patent toegepaste kennis zoveel mogelijk beslaan. Op basis van deze technologieklassen stellen we in navolging van Hidalgo et al. (2007) en Boschma et al. (2015) een zogenoemde technologische ruimte samen: een netwerk dat toont in welke mate de verschillende technologieklassen waaraan patenten worden toebedeeld aan elkaar zijn gerelateerd. We bepalen de mate van gerelateerdheid op basis van het aantal keer dat technologievelden (4-digit IPC-codes) samen worden vermeld in dezelfde patentdocumenten: het vaak gezamenlijk toepassen van twee technologievelden bij de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis maakt het makkelijker voor betrokken partijen om in te schatten welke nieuwe combinaties van kennis uit die velden potentieel kansrijk zijn (Fleming 2001). Hoe vaker technologievelden tegelijkertijd in een patentdocument worden vermeld, hoe sterker deze aan elkaar zijn gerelateerd.

We illustreren de wijze waarop we de mate van gerelateerdheid meten aan de hand van figuur 4.1. De bollen in deze figuur tonen de vier technologievelden (4-digit technologieklassen volgens het IPC-systeem), die staan vermeld in een door het bedrijf ASML in 2010 aangevraagd patent<sup>19</sup> op een coatingtechniek die kan worden gebruikt op verschillende oppervlakten, zoals zonnepanelen. Het gaat om de volgende vier technologievelden: macromoleculaire verbindingen (C08G), chemische samenstelling en oppervlaktebehandeling (C03C), optische elementen, systemen of apparatuur (G02B) en halfgeleiderinrichtingen (H01L). Voor elk van deze technologievelden hebben we geteld hoe vaak deze worden vermeld in alle patenten die tussen 1977-2010 bij het EPO zijn aangevraagd (de getallen in de bollen) en hoe vaak deze technologievelden gezamenlijk worden vermeld in al deze patenten (de getallen bij de verbindingslijnen).

**Figuur 4.1**

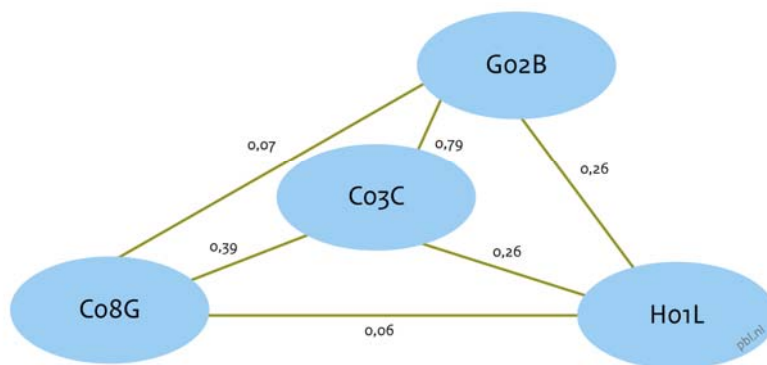
Voorbeeld van aantal keren samen voorkomen van technologievelden in patenten (1977-2010)



Bron: PBL

**Figuur 4.2**

Voorbeeld van mate waarin technologievelden aan elkaar gerelateerd zijn (1977-2010)



Bron: PBL

Alleen het aantal keer dat de technologievelden gezamenlijk worden vermeld in een patentdocument is niet voldoende om te bepalen of deze technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd: de kans dat twee technologievelden een x-aantal keer samen in patenten voorkomen is namelijk niet onafhankelijk van het aantal keren dat ze in het algemeen, samen én afzonderlijk, voorkomen in de patentdata. Zo is het tien keer samen vermeld worden van twee velden die elk in totaal 100 keer voorkomen aanzienlijk (in 10 procent van de gevallen ko-

<sup>19</sup> Publicatienummer: EP2582764; Applicatie ID: 334975151.

men ze beide voor), maar verwaarloosbaar als beide velden 100.000 keer voorkomen (in 0,001 procent van de gevallen komen ze samen voor). Daarom hebben we het aantal keer dat twee velden gezamenlijk in een patentdocument voorkomen met behulp van de *associated strength*-maat gecontroleerd voor het totale aantal keren dat de velden in alle patentdocumenten voorkomen (zie bijlage 3 voor een uitgebreidere toelichting). Dit resulteert in een maat met een waarde tussen de -1 en 1. Een waarde tussen 0 en 1 betekent dat de twee velden vaker samen voorkomen dan dat op basis van kans mag worden verwacht, en een score tussen -1 en 0 dat dit minder vaak het geval is dan op basis van kans kan worden verwacht. In het eerste geval spreken we van gerelateerde technologieën en in het tweede geval van ongerelateerde technologieën.

Figuur 4.2 toont het resultaat van deze berekening voor de in het ASML-patent vermelde vier technologievelden. De getallen op de lijnen staan nu voor de mate waarin deze velden aan elkaar zijn gerelateerd (de *associated strength*): hoe hoger deze is, hoe dichter de bollen bij elkaar staan.

Deze berekening hebben we herhaald voor alle mogelijke combinaties tussen technologievelden die vermeld staan in de patenten die zijn aangevraagd tussen 1977 en 2010. In totaal zijn dat 630 technologievelden, maar om redenen van statistische betrouwbaarheid hebben we alleen de velden geselecteerd met minimaal 100 patenten, waardoor we 600 technologievelden overhouden (5 procent valt af). De mate waarin alle 600 technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd, kan worden weergegeven in een vergelijkbaar netwerk als dat in figuur 4.2 voor alleen de vier technologievelden uit het patent van ASML. Het totale netwerk noemen we de technologische ruimte, te zien in figuur 4.3.<sup>20</sup>

Iedere knoop in figuur 4.3 vertegenwoordigt een technologieveld. Als twee technologievelden sterker aan elkaar zijn gerelateerd, dan staan ze dichter bij elkaar in het netwerk, waarbij de lijnen laten zien welke technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd. Bovendien is het netwerk zo vormgegeven dat technologievelden die zijn gerelateerd aan veel andere technologievelden centraal in het netwerk staan, terwijl de technologievelden waarvan de technologische kennis maar in beperkte mate is gerelateerd aan die van andere technologievelden aan de rand van het netwerk liggen.<sup>21</sup>

Voor een beter inzicht in de samenhang tussen de verschillende technologievelden zijn de 600 technologievelden ingedeeld in de vijf technologiedomeinen en 35 deelgebieden die Schmoch (2008) onderscheidt (zie bijlage 4). We gebruiken deze indeling in plaats van de technologiehoofdklassen A tot en met H van de IPC-indeling, omdat producten vaak worden ontwikkeld op basis van kennis uit verschillende technologieklassen. De door Schmoch ontwikkelde indeling houdt hier rekening mee. De indeling van Schmoch komt daardoor meer in de buurt van sectordefinities die zijn gebaseerd op de producten die binnen een sector worden gemaakt, zoals computers, machines, telecommunicatie en auto's. Tot welk domein een technologieveld behoort, is aangegeven met de kleur van de knopen in het netwerk.

Uit figuur 4.3 blijkt dat de technologievelden die onderdeel uitmaken van hetzelfde domein, zich vaak in hetzelfde deel van het netwerk concentreren: zo staan de technologievelden die tot het domein mechanical engineering behoren hoofdzakelijk onderaan in het netwerk, de technologievelden uit het domein electrical engineering en instrumenten links bovenin en de velden uit de chemie rechts. Dit geeft aan dat kennis uit deze technologievelden vaak wordt gecombineerd en dus dat er sprake is van een overlap in de technologische kennisbasis.

Maar voor de technologievelden van alle vijf de domeinen geldt dat ze ook meer verspreid in het netwerk voorkomen. Niet alle technologievelden binnen hetzelfde domein zijn dus sterk aan elkaar gerelateerd; er zijn vrij veel technologievelden die zijn gerelateerd aan technologievelden uit een ander domein. Bij de ontwikkeling van technologische kennis worden dus regelmatig cross-overs tussen domeinen gemaakt. Zo blijkt uit het netwerk in figuur 4.3 dat

<sup>20</sup> Alleen de significant gerelateerde verbindingen worden getoond (zie bijlage 3 voor de berekening).

<sup>21</sup> Voor de netwerkanalyse en -visualisatie is gebruik gemaakt van Cytoscape. De lay-out van de in dit hoofdstuk getoonde netwerken is bepaald op basis van *edge-weighted spring embedded*. Dit algoritme zorgt ervoor dat groepen van knopen die onderling sterk verbonden zijn, dicht bij elkaar worden geplaatst in de het netwerk.

technologische kennis uit de domeinen instrumenten en electrical engineering regelmatig wordt gecombineerd, want de technologievelden uit deze twee domeinen komen gemengd voor in hetzelfde deel van het netwerk. Hetzelfde geldt voor kennis uit het domein mechanical engineering en het domein chemie.

**Figuur 4.3**



In de volgende paragrafen gebruiken we ook de industriële ruimte, maar laten we alleen die technologievelden zien die behoren tot de kennisbasis van vijf verschillende eco-technologieën en van vier Nederlandse regio's. Zo is het mogelijk om in één oogopslag te zien in hoeverre die kennisbasis van de eco-technologieën bestaat uit technologievelden die aan elkaar zijn gerelateerd en of deze technologieën zijn ontstaan uit cross-overs tussen technologiedomeinen (zie paragraaf 4.3) en hoe sterk de samenhang is tussen de technologievelden waar de regio's in zijn gespecialiseerd (paragraaf 4.4).

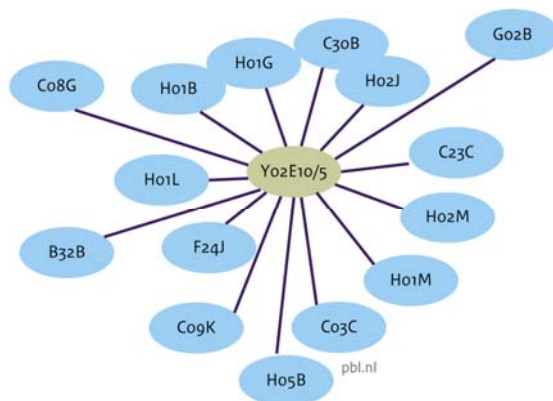
### 4.3 De kennisbasis van eco-technologieën

Met behulp van een door het EPO nieuw ontwikkeld classificatiesysteem is het mogelijk in de REGPAT-database alle patenten te identificeren voor technologieën die een potentiële bijdrage leveren aan het terugdringen van milieuvervuiling en klimaatverandering (zogenoemde YO2-code, zie hoofdstuk 1 voor een uitgebreidere toelichting). In deze paragraaf beschrijven we welke technologievelden zijn aangewend bij de ontwikkeling van deze zogenoemde eco-patenten. Met andere woorden, we meten de kennisbasis van de eco-technologieën. We onderzoeken daarbij ook in hoeverre die technologievelden aan elkaar zijn gerelateerd. Daarvoor gebruiken we dezelfde methode als in paragraaf 4.2, maar bepalen we de mate van gerelateerdheid niet op basis van 600 technologievelden (4-digit IPC) maar voor de 35 deelgebieden die Schmoch onderscheidt (zie bijlage 4 en figuur 4.4 voor een voorbeeld van 4-ditit IPC codes ingedeeld naar de deelgebieden van Schmoch). De kans dat voor de ontwikkeling van een eco-technologie kenniscombinaties zijn gemaakt die de 35 deelgebieden overstijgen is kleiner, maar daardoor gaat het ook eerder om meer vernieuwende combinaties. Voor de illustratie van de kennisbasis van vijf eco-technologieën gebruiken we wel de technologische ruimte uit figuur 4.3, omdat dit een meer gedetailleerd beeld geeft van de kennisbasis.

Een van de vele patenten die volgens de nieuwe classificatie kan worden beschouwd als een eco-patent is het eerder genoemde ASML-patent. Dit patent draagt bij aan de ontwikkeling van zonneceltechnologie en heeft daarom code Y02E10/5, ofwel fotovoltaïsche energie, gekregen. Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven, staat in dit patentdocument dat deze technologie is ontwikkeld uit het combineren van kennis uit de technologievelden macromoleculaire verbindingen, chemische samenstelling en oppervlaktebehandeling, optische elementen, systemen of apparatuur en halfgeleiderinrichtingen (zie figuur 4.1). Deze technologievelden hebben dus de basis gevormd voor de ontwikkeling van de zonneceltechnologie die in dit patent is vastgelegd.

**Figuur 4.4**

Voorbeeld van de kennisbasis van zonneceltechnologie (1977-2010)



Bron: OECD REGPAT Database

Op dezelfde manier hebben we de kennisbasis voor alle 35 eco-technologievelden gemeten. Eco-technologievelden definiëren we als alle YO2-codes op 3-digit niveau waarin tussen 1982 en 2005 minimaal 100 patenten zijn aangevraagd (zie bijlage 5).<sup>22</sup> Dit is een veel gedetail-

<sup>22</sup> Dit is beperkt tot de periode 1982-2005 omdat we in hoofdstuk 5 de kennisbasis niet voor alle patenten die tussen 1977 en 2010 zijn aangevraagd berekenen, maar per jaar waarbij de kennisbasis is gebaseerd op alle patenten die zijn aangevraagd in de vier jaar voorafgaand en de vier jaar na dat jaar. Het is dus een gemiddelde over 9 jaar dat jaarlijks 'opschuift'.

leerdere indeling dan de vier typen eco-technologieën die we in hoofdstuk 1 en 2 veelal gebruikten. De reden hiervoor is dat er binnen deze vier typen een grote diversiteit is aan technologieën, die een sterk verschillende kennisbasis kunnen hebben.<sup>23</sup>

Voor elk van de 35 eco-technologievelen hebben we bepaald welk aandeel van alle gemaakte combinaties tussen technologievelen de deelgebieden van Schmoch overstijgen. Vervolgens hebben we voor de combinaties die deze deelgebieden overstijgen bekeken in welke mate die technologievelen aan elkaar zijn gerelateerd.<sup>24</sup> Tabel 4.1 laat de resultaten zien voor alle technologieën, alle eco-technologieën en de vier typen eco-technologieën afzonderlijk. In bijlage 5 staan de resultaten voor alle 35 eco-technologievelen.

Hieruit blijkt duidelijk dat de uitwisseling van kennis tussen technologische deelgebieden een belangrijke basis vormt voor de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis: de meerderheid van de combinaties tussen technologievelen overstijgt de 35 deelgebieden van Schmoch. Voor eco-technologieën is dat nog wat meer het geval dan voor alle technologieën: 69 procent in plaats van 55 procent. Dit komt vooral door de hoge percentages deelgebiedoverstijgende combinaties in de eco-technologie typen opslag en afvang van broeikasgassen en milieumanagement.

**Tabel 4.1 Mate van gerelateerdheid kennisbasis eco-technologieën**

Technologiegebied	Aandeel combinaties dat deelgebied overstijgt	Gerelateerdheid tussen deelgebieden
Alle technologieën	55%	0,13
Eco-technologieën	69%	0,08
Per type:		
- Groene energie	56%	0,05
- Groen transport	57%	0,01
- Opslag en afvang broeikasgassen	85%	0,24
- Milieumanagement	76%	0,11

Bron: OECD REGPAT database, bewerking PBL

Maar bij kenniscombinaties die de deelgebieden van Schmoch overstijgen kunnen de betrokken technologievelen aan elkaar zijn gerelateerd. Mogelijk zijn de technologievelen uit de verschillende deelgebieden vaak gezamenlijk toegepast bij de ontwikkeling van nieuwe technologische kennis. Uit tabel 4.1 blijkt dat dit inderdaad het geval is voor de kennisbasis van opslag en afvang van broeikasgassen: ook al behoren de betrokken technologievelen veelal tot verschillende deelgebieden (85 procent van alle combinaties), ze zijn wel sterker aan elkaar gerelateerd dan gemiddeld voor alle technologieën en de andere eco-technologie typen.

De kennisbasis van de andere drie eco-technologie typen bestaat juist uit deelgebieden die minder sterk aan elkaar zijn gerelateerd, ook in vergelijking met het gemiddelde voor alle technologieën (zie tabel 4.1). Vooral in de eco-technologie typen transport en energie is de gemiddelde mate van gerelateerdheid tussen de deelgebieden laag. Uitgezonderd opvang en opslag van broeikasgassen bestaat de kennisbasis van eco-technologieën dus vaker uit relatief nieuwe combinaties tussen technologievelen.

<sup>23</sup> Zo bestaat de hoofdgroep energie 'Y02E1 energieopwekking met hernieuwbare bronnen' bijvoorbeeld uit geothermische energie (Y02E1/1), hydro-energie (Y02E1/2), energie uit zee (Y02E1/3), thermische zonne-energie (Y02E1/4), fotovoltaïsche (PV) energie (Y02E1/5), thermisch-PV hybride systemen (Y02E1/6) en wind-energie (Y02E1/7).

<sup>24</sup> Ook de mate van gerelateerdheid is bepaald op het niveau van de 35 deelgebieden van Schmoch. Voor de gebruikte methode zie paragraaf 4.2.



Als we dit nogmaals bekijken maar dan voor de 35 eco-technologievelen afzonderlijk dan zijn er behoorlijk wat verschillen, ook binnen hetzelfde eco-technologie-type (zie bijlage 5). Zo hebben drie eco-technologievelen binnen groene energie een kennisbasis waarvan de betrokken technologievelen sterker aan elkaar zijn gerelateerd dan het gemiddelde voor alle technologieën (energiereductie kabelnetwerken, overige warmte- en koeltechnologieën, en biobrandstoffen). Maar zijn er ook elf eco-technologievelen binnen groene energie waarvan de kennisbasis juist bestaat uit ongerelateerde deelgebieden: de mate van gerelateerdheid is negatief. De eco-technologievelen binnen duurzaam transport tonen dezelfde variatie.

Voor een beter begrip van de kennisbasis van de verschillende eco-technologievelen visualiseren we deze met behulp van de technologische ruimte. Dit geeft een beeld van (a) hoeveel en welke combinaties er tussen deelgebieden worden gemaakt en (b) in hoeverre de betrokken kennisvelen aan elkaar zijn gerelateerd. Deze visualisatie beperken we tot vijf eco-technologievelen die er in bijlage 5 uitspringen: Y02E1/5 fotovoltaïsche energie (zonnecel-technologie), Y02B2/3 ledverlichting, Y02E5/1 biobrandstoffen, Y02E60/5 brandstofcellen en Y02T90/3 brandstofcellen als toepassing in transport.

Zonneceltechnologie is zowel wat betreft het aandeel combinaties tussen deelgebieden als de mate van gerelateerdheid sterk vergelijkbaar met het gemiddelde voor alle eco-technologieën. Bij ledverlichting is het aandeel combinaties tussen deelgebieden laag, terwijl deze bij biobrandstoffen hoog is maar voor beide technologieën geldt dat de deelgebieden wel relatief sterk aan elkaar zijn gerelateerd. Brandstofcellen en brandstofcellen voor transport daarentegen hebben juist beide een lage mate van gerelateerdheid; deze is voor de laatste technologie zelfs negatief. Voor de benaming van de technologievelen (4-digit IPC-codes) in de technologische ruimte, verwijzen we naar: [http://www.won-nl.org/ipc-nl/ipc\\_h.htm](http://www.won-nl.org/ipc-nl/ipc_h.htm).

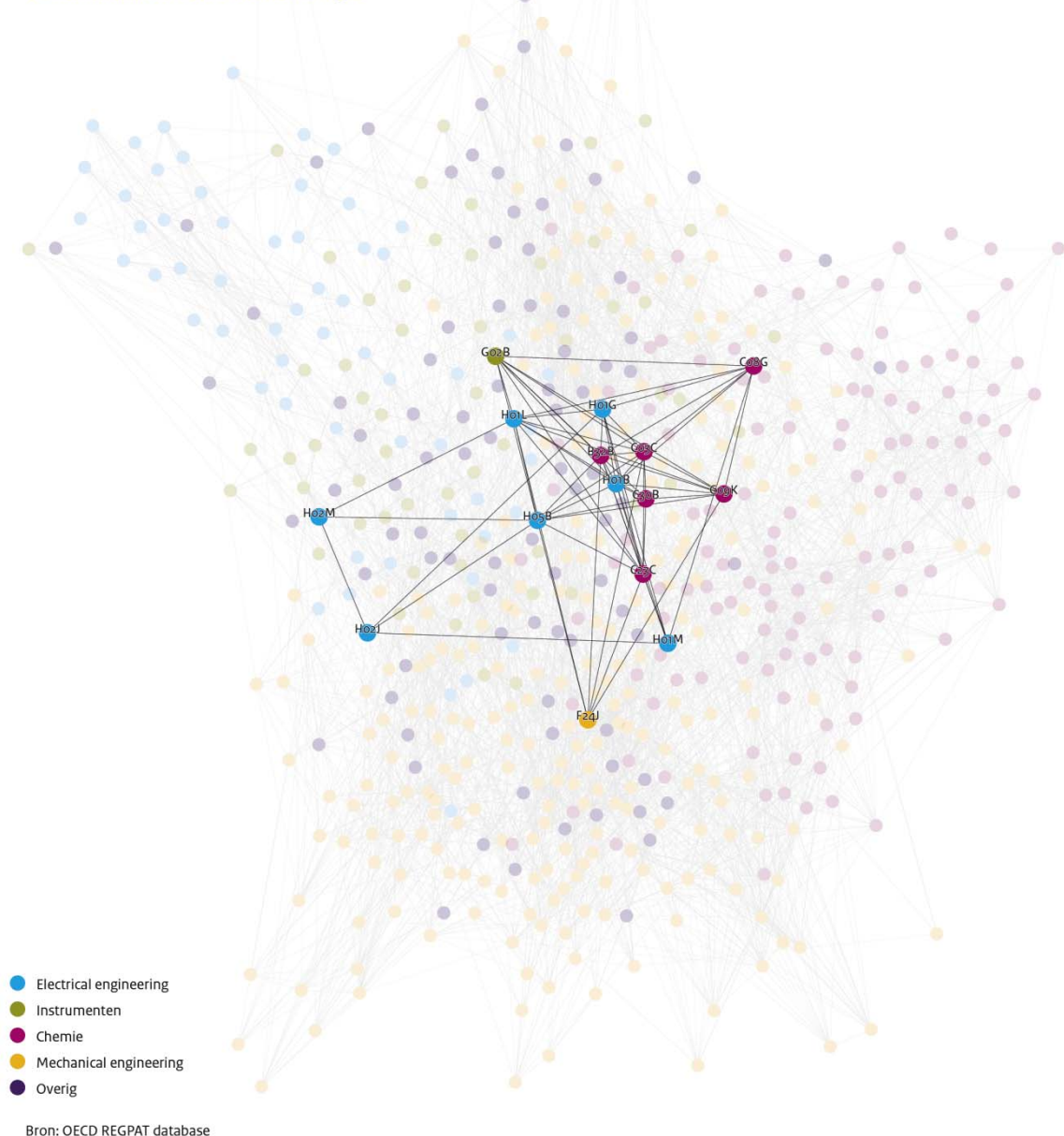
#### 4.3.1 Zonneceltechnologie

De kennisbasis van zonneceltechnologie bestaat uit zestien technologievelen, die niet heel sterk aan elkaar zijn gerelateerd: veel van de technologievelen in figuur 4.5 zijn niet verbonden met een lijn. Ondanks dat de mate van gerelateerdheid van de kennisbasis van deze technologie dus overeenkomt met het gemiddelde voor alle eco-technologieën, is er dus bij de ontwikkeling van de kennis wel degelijk ook kennis gecombineerd uit technologievelen waartussen dat voorheen zelden gebeurde. Cross-overs tussen ongerelateerde technologievelen is dus ook belangrijk voor de ontwikkeling van deze eco-technologie.

Deze technologievelen bevinden zich in maar liefst vier van de vijf verschillende technologiedomeinen van Schmoch, alleen technologievelen uit het domein overig komen niet voor in de kennisbasis van zonneceltechnologie. Belangrijke technologievelen bij de ontwikkeling van zonnecellen bevinden zich zowel in het domein electrical engineering (o.a. halfgeleiders en batterijtechnologie), mechanical engineering (produceren van warmte), instrumenten (optische elementen) als in het domein chemie (zoals oppervlaktebehandeling, coatings en moleculaire verbindingen). Bij de ontwikkeling van deze eco-technologische kennis zijn dus veel combinaties gemaakt tussen technologievelen die niet alleen de deelgebieden, maar zelfs de domeingrenzen overschrijden.

**Figuur 4.5**

De kennisbasis van zonneceltechnologie



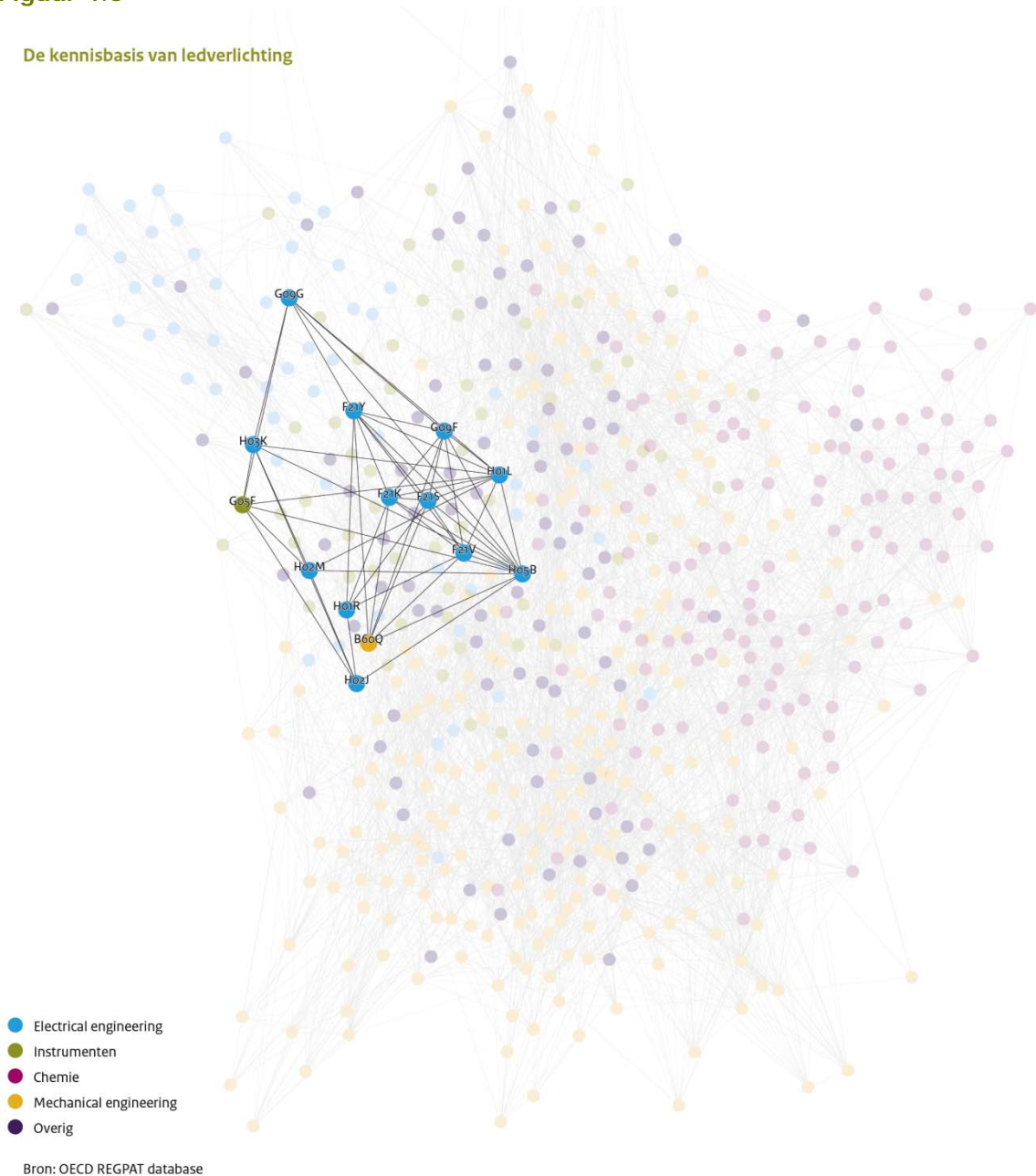
### 4.3.2 Ledverlichting

Led (*light-emitting diode*) is een elektronische halfgeleidercomponent die elektrische stroom omzet in licht. De kennisbasis van deze eco-technologie bestaat uit veertien technologievelden. Net als bij zonneceltechnologie zijn niet al deze technologievelden aan elkaar gerelateerd: niet elk technologieveld is met elkaar verbonden in figuur 4.6. Wel vonden voor de ontwikkeling van ledverlichting minder combinaties tussen technologievelden uit verschillende domeinen plaats. Bijna alle technologievelden behoren tot het domein electrical engineering. Slechts één technologieveld behoort tot het domein instrumenten (systemen voor het regelen van elektrische of magnetische variabelen), en één ander veld tot het domein mechanical engineering (voertuigverlichting of voertuigsignalering). Hoewel deze twee technologievelden tot een ander technologiedomein behoren, zijn ze wel gerelateerd aan de verschillende technologievelden in het domein electrical engineering, zo blijkt uit de verbindingen.

dingslijnen tussen deze technologievelden en de positie van de technologievelden dicht bij elkaar in de technologische ruimte.

**Figuur 4.6**

**De kennisbasis van ledverlichting**

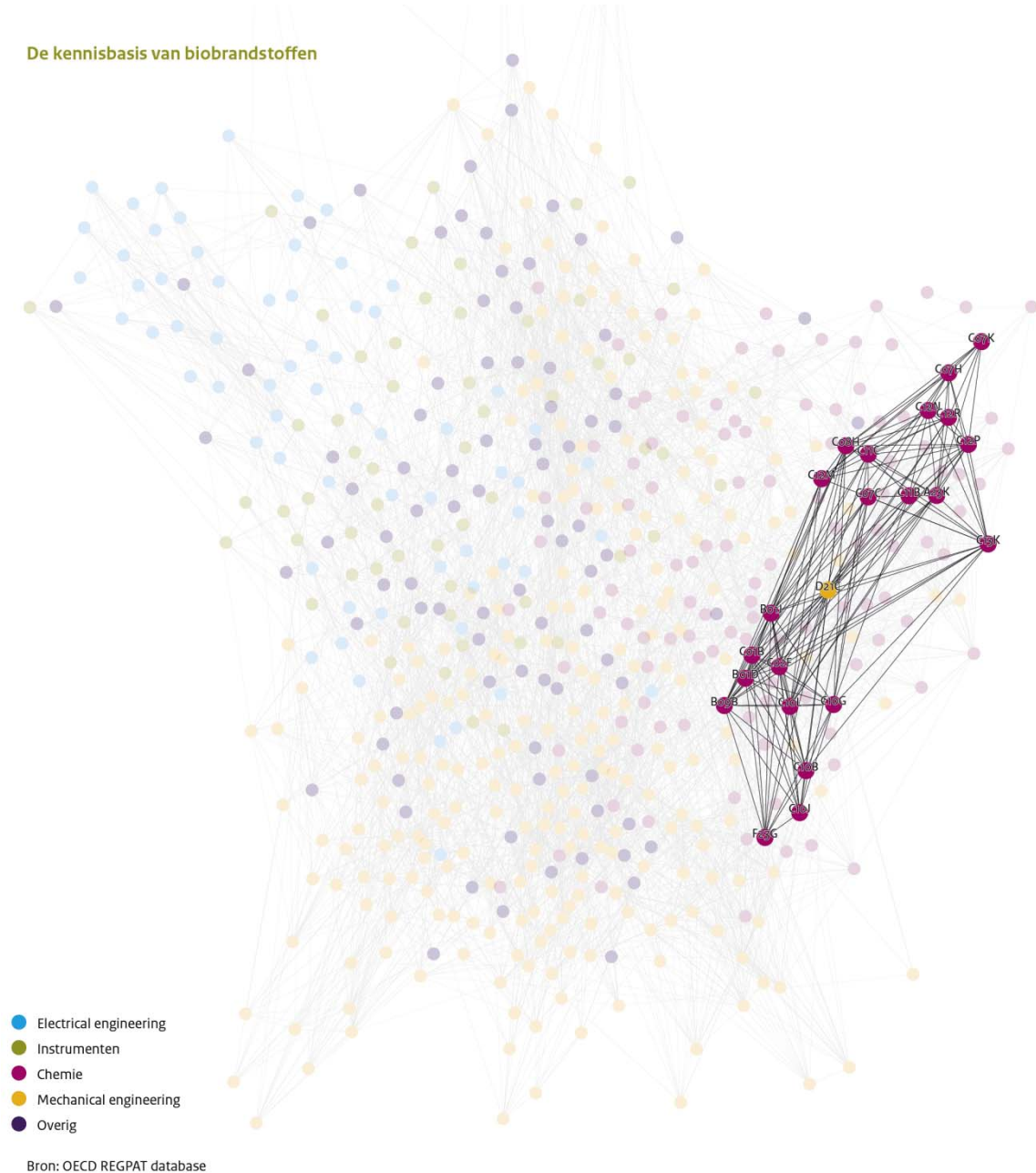


**4.3.3 Biobrandstoffen**

De technologische kennisbasis van biobrandstoffen bestaat uit sterk aan elkaar gerelateerde technologievelden, zo blijkt uit de vele verbindingen in figuur 4.7. Combinaties van technologievelden die behoren tot verschillende domeinen speelden bij de ontwikkeling van deze technologie amper een rol: bijna alle technologievelden behoren tot het domein chemie; slechts één technologieveld (onttrekken van cellulose uit bijvoorbeeld hout met machines) behoort tot het domein mechanical engineering (zie figuur 4.7). Het verkrijgen van brandstof uit biomassa is dan ook een chemisch proces. Net als bij zonneceltechnologie zijn er meerdere generaties biobrandstoffen te onderscheiden, waarbij voor elk een ander chemisch proces

centraal stond.<sup>25</sup> Mogelijk verklaart dit het grote aantal deelgebieden binnen het domein chemie dat onderdeel uitmaakt van de kennisbasis van biobrandstoffen waardoor het aandeel combinaties tussen deelgebieden wel vergelijkbaar is met zonneceltechnologie, ondanks dat de kennisbasis is verspreid over veel minder domeinen.

**Figuur 4.7**



#### 4.3.4 Brandstofcellen

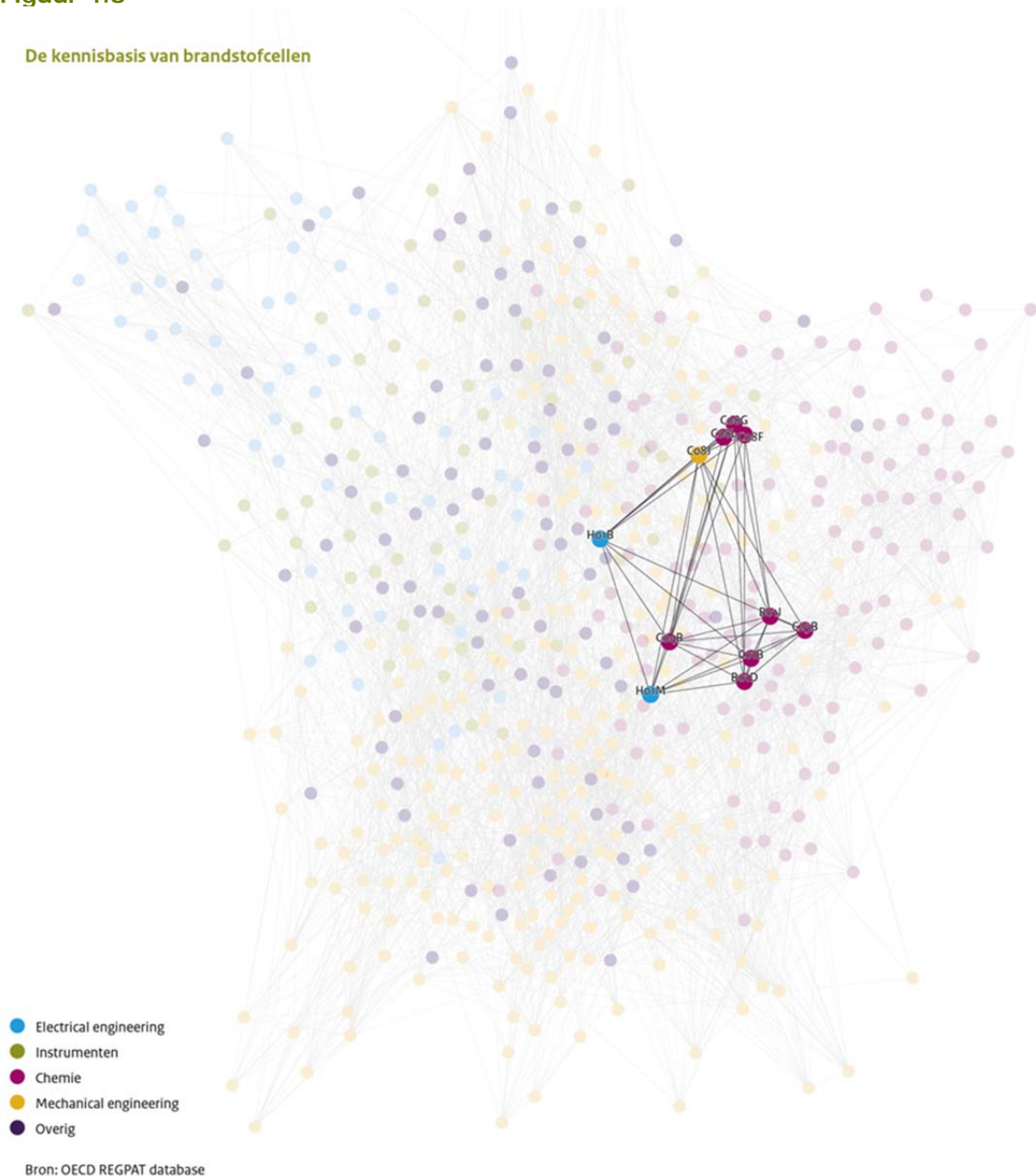
De kennisbasis van brandstofcellen bestaat uit slechts elf technologievelden (zie figuur 4.8). Deze zijn minder sterk aan elkaar gerelateerd dan de technologievelden die de basis van biobrandstoffen vormen (vergelijk figuur 4.8 en 4.7). De meeste technologievelden behoren tot het domein chemie, maar er zijn ook twee velden binnen het domein electrical enginee-

<sup>25</sup> Zie <http://nl.wikipedia.org/wiki/Biobrandstof>.

ring (omzetting chemische in elektrische energie en kabels, geleiders en isolatoren) en één in mechanical engineering. Deze combinatie past bij de omschrijving van brandstofcellen: elektrochemische apparaten die door een chemische reactie tussen een brandstof, meestal waterstof, en zuurstof elektrische energie genereren (Tanner 2014). Brandstofcellen kunnen de batterij en de verbrandingsmotor vervangen, maar worden ook breder toegepast, zoals in draagbare apparaten als mobiele telefoons en laptops, en in de transportsector als aandrijf- of ondersteunende technologie. De kennisbasis van de toepassing van brandstofcellen in transport kan afzonderlijk worden bestudeerd, omdat dit eco-technologieveld een eigen Y02-code heeft. De kennisbasis van deze eco-technologie staat in figuur 4.9.

**Figuur 4.8**

De kennisbasis van brandstofcellen



#### 4.3.5 Brandstofcellen als toepassing in transport

Als we figuur 4.8 en 4.9 vergelijken, dan blijkt dat slechts drie technologievelen die tot de kennisbasis van brandstofcellen in het algemeen behoren, ook onderdeel zijn van de kennis-



portfolio (auto's aangedreven door verbrandingsmotoren) creëert mogelijk nieuwe markten (auto's met brandstofcelaandrijving) gerelateerd aan de bestaande (het blijven auto's). Dit kan een belangrijke oorzaak zijn voor het ontstaan van ongerelateerde kenniscombinaties.

## 4.4 De kennisbasis van regio's

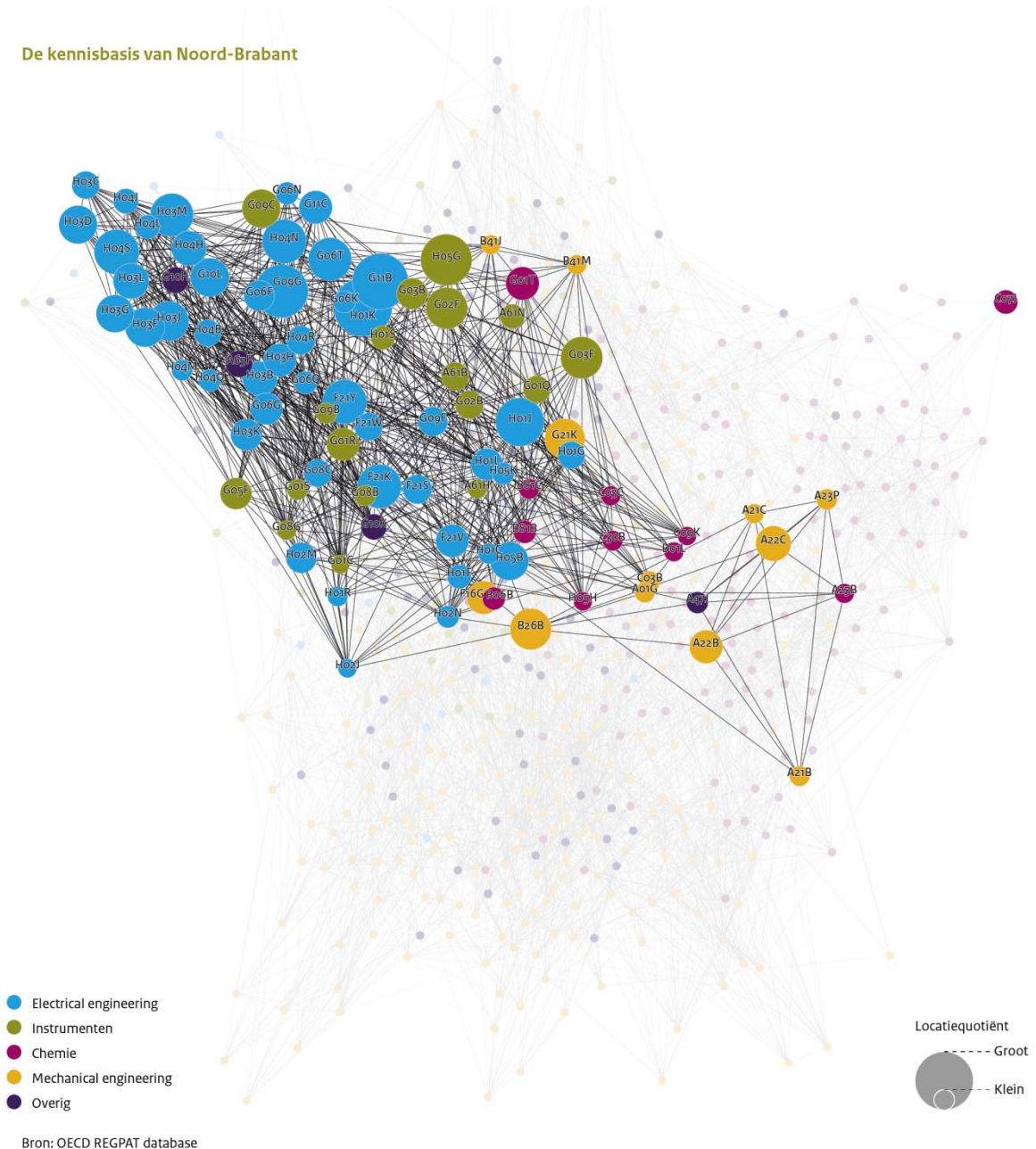
Op vergelijkbare wijze als dat we in de vorige paragraaf de kennisbasis van eco-technologieën hebben weergegeven in de technologische ruimte, kunnen we in dit netwerk ook de technologische kennisbasis van regio's weergeven. In deze paragraaf illustreren we deze voor vier Nederlandse regio's: Noord-Brabant, Zuid-Holland, Overijssel en Groningen. We lichten de technologieën uit waarin deze regio's zijn gespecialiseerd (het aandeel patenten van de regio in het technologieveld is hoger dan het Europese gemiddelde) en waarvoor tussen 1977 en 2010 minimaal 20 patenten zijn aangevraagd. Ook laten we zien in hoeverre de technologische specialisaties van de regio aan elkaar zijn gerelateerd, via de verbindingslijnen in het netwerk. De grootte van de bollen laat zien hoe sterk de specialisatie van de regio is. Deze is minimaal 1 (gelijk aan het Europese gemiddelde) en, voor deze selectie van regio's, maximaal 30 keer hoger dan het Europese gemiddelde.

### 4.4.1 Noord-Brabant

Noord-Brabant kent een duidelijke specialisatie in technologievelen die onderdeel uitmaken van de technologiedomeinen electrical engineering en instrumenten (zie figuur 4.10). De technologische kennisbasis van deze regio weerspiegelt daarmee de sterke aanwezigheid van bedrijven in de hightechmaakindustrie en meer specifiek de bedrijven Philips en ASML in deze regio. Ook zijn de technologievelen waarin deze regio is gespecialiseerd sterk aan elkaar gerelateerd, zo laten de vele verbindingslijnen tussen de technologievelen zien. Voorbeelden van sterke specialisaties zijn elektrische gloeilampen (H01K), audiovisuele technologie (G11B, H04N, G09G), elektrische machines en apparaten (F21, H01J, H05B), communicatie (H03, H04), medische technologie (H05G) en optische technologie (H02, H03). De regio is daarnaast ook gespecialiseerd in enkele technologievelen binnen de domeinen mechanical engineering en chemie. Op één uitzondering na zijn de technologievelen in de chemie wel sterk gerelateerd aan de rest van de regionale kennisbasis, maar dat geldt niet voor de meeste specialisaties in mechanical engineering.

**Figuur 4.10**

**De kennisbasis van Noord-Brabant**



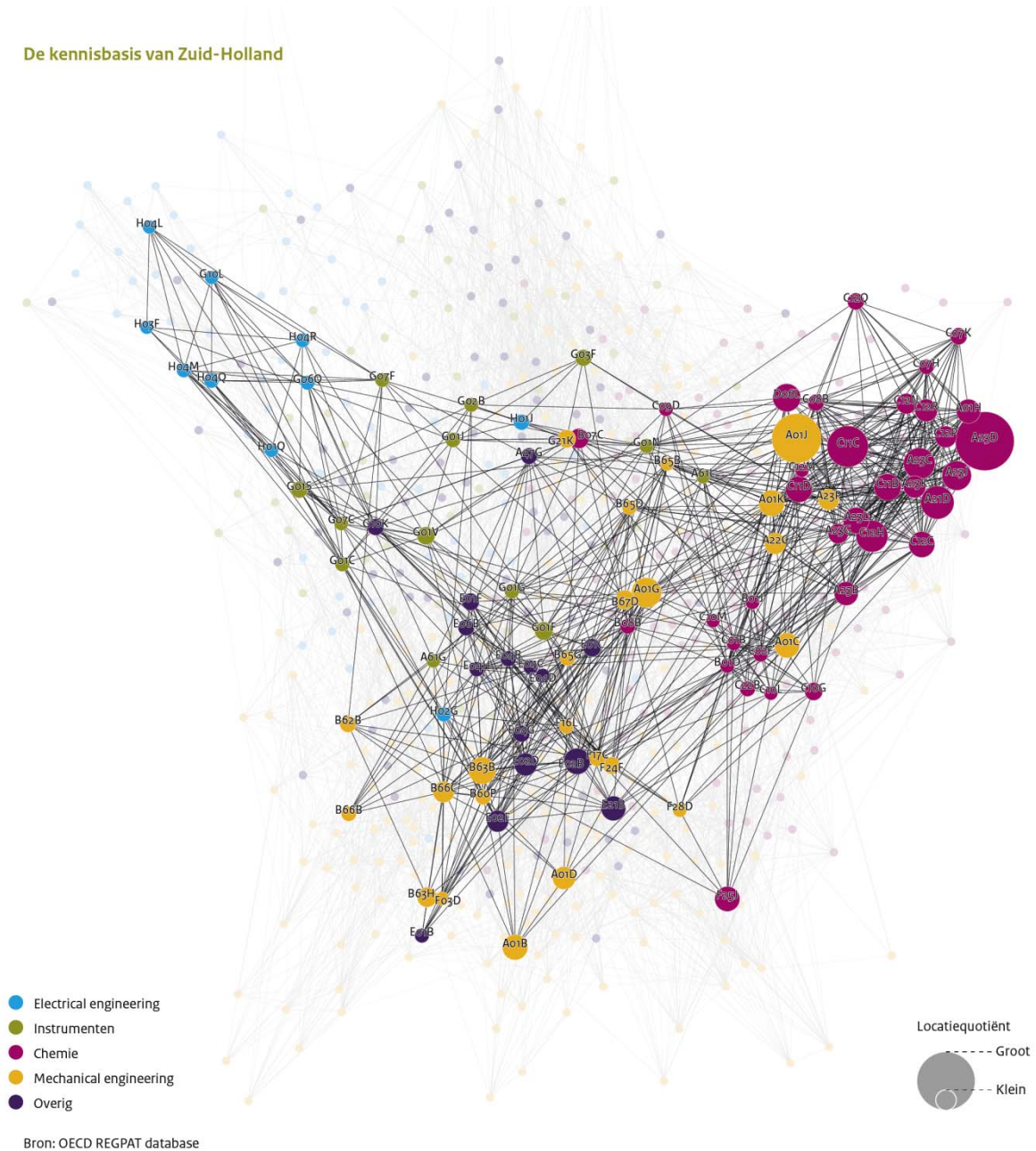
**4.4.2 Zuid-Holland**

De regionale kennisbasis van Zuid-Holland is vooral gespecialiseerd in onderling gerelateerde technologievelen uit de chemie, met daaraan gerelateerd een aantal technologievelen in mechanical engineering, zoals fabricage van zuivelproducten (A01J), apparaten voor dierhouderijen of veeteelt (A01K), voor planten, zaaïen en bemesten (A01C) en voor verwerken van vlees, gevogelte en vis (A22C). Verder valt op dat Zuid-Holland ook specialisaties kent die meer verspreid in de technologische ruimte voorkomen, waaronder technologievelen in electrical engineering, instrumenten en het domein overig. Hoewel Zuid-Holland dus een sterke specialisatie heeft in aan elkaar gerelateerde technologievelen in de chemie, zijn de technologievelen die tot de kennisbasis van de regio behoren buiten die specialisatie minder sterk aan elkaar gerelateerd dan die van de Noord-Brabantse kennisbasis.



Figuur 4.11

De kennisbasis van Zuid-Holland



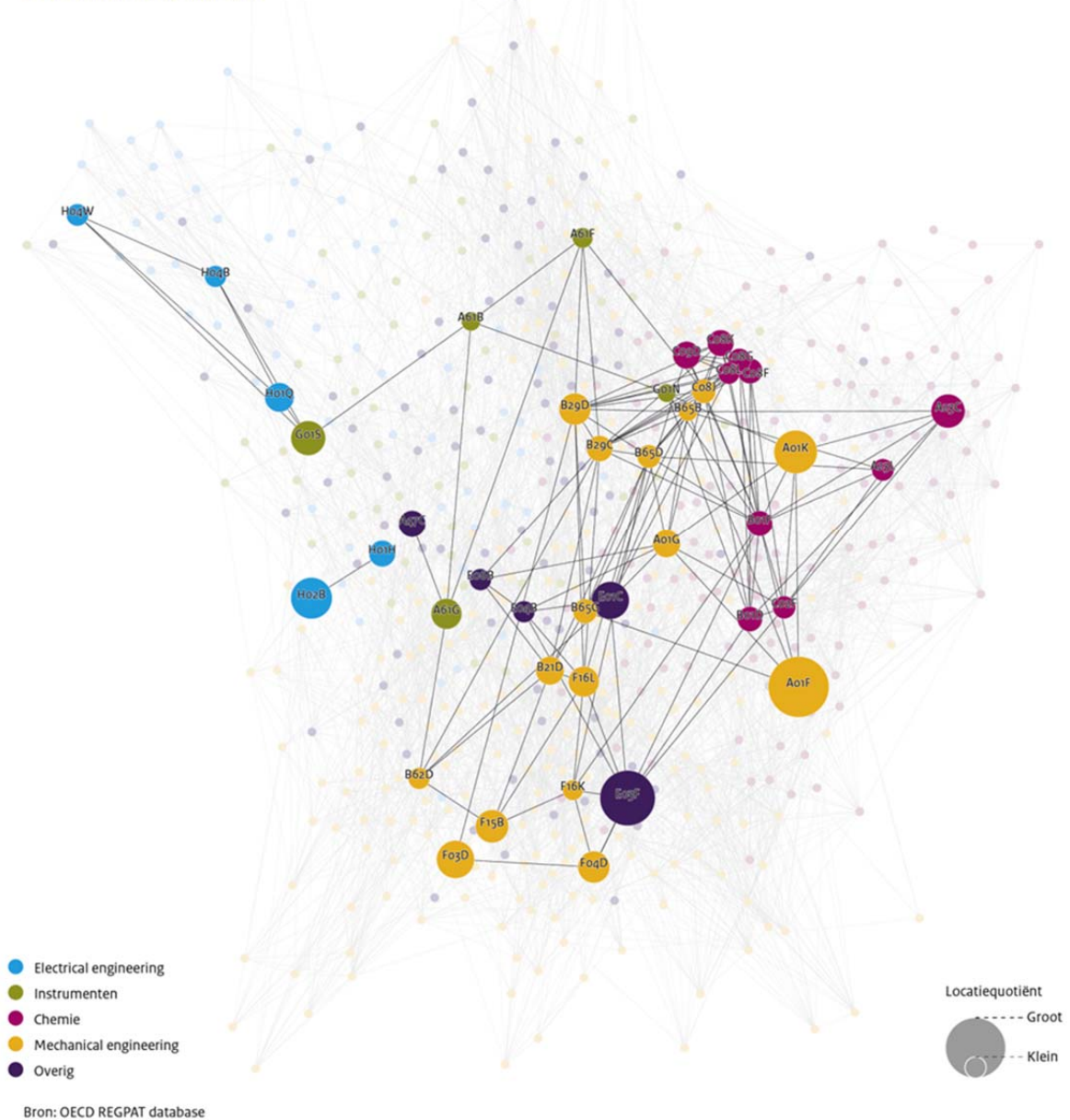
### 4.4.3 Overijssel

De regionale kennisbasis van Overijssel laat een wat diffuser patroon zien dan Noord-Brabant en Zuid-Holland: de specialisaties zijn verdeeld over alle domeinen en vaak niet aan elkaar gerelateerd (figuur 4.12). Wel is de regio gespecialiseerd in enkele aan elkaar gerelateerde technologievelden in de domeinen chemie en mechanical engineering. We zien een concentratie rond organische macromoleculaire verbindingen (C08F, C08G, C08J, C08K, C08L), coatingsamenstellingen (C09D) en hieraan gerelateerde technologievelden in het domein mechanical engineering: bewerken van kunststoffen (B29C en B29D), machines, apparaten en methoden voor verpakkingen (B65B), containertechnologie (B65D). Ook is de regio gespecialiseerd in fysische of chemische processen of apparatuur in het algemeen (B01D, B01F) en, hieraan gerelateerd, landbouwtechnologieën (A01F, A01G, A01K) binnen het domein mechanical engineering. Verder zien we in meer of mindere mate aan elkaar

gerelateerde specialisaties in motor- en machinetechnologie en werktuigbouwkunde (alle F-codes), bouwkundige elementen als ramen, deuren en kozijnen (E06B, E04B) en watertoevoer- en rioleringstechnologie (E03C en E03D), metaalbewerking (B21D) en transport- of opslaginrichting (B65G). De overige specialisaties zijn meer op zichzelf staande specialisaties.

**Figuur 4.12**

De kennisbasis van Overijssel



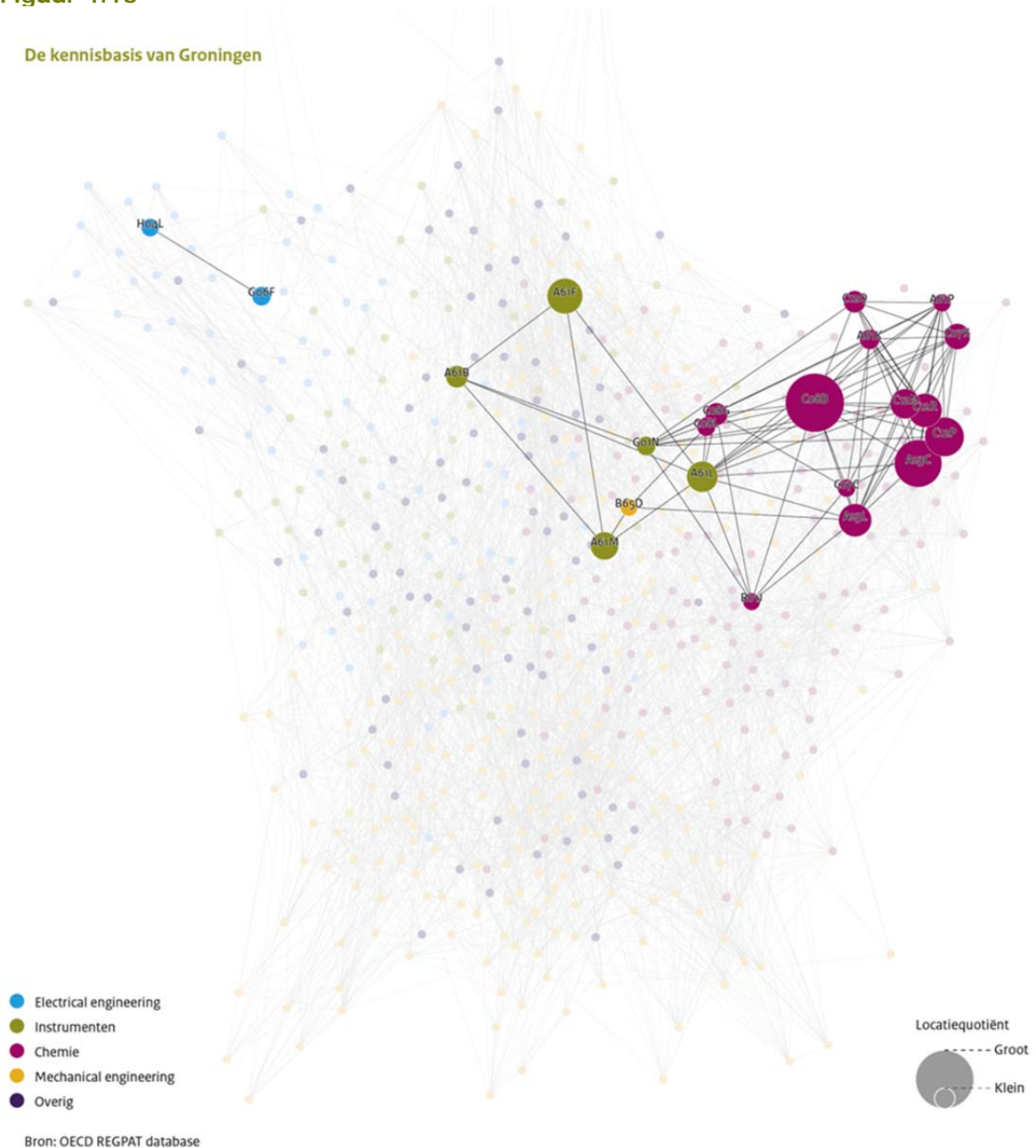
#### 4.4.4 Groningen

Vanuit de regio Groningen worden in het algemeen veel minder patenten aangevraagd dan vanuit de andere regio's (zie ook hoofdstuk 1). Het gevolg is dat de regio maar in een beperkt aantal technologieën is gespecialiseerd (zie figuur 4.13). Wel zien we een duidelijke specialisatie in aan elkaar gerelateerde technologievelden binnen het domein chemie. De sterkste specialisaties zijn in organische macromoleculaire verbindingen (C05B), biochemie

(C12C, C12N, C12P, C12) en medische of veterinaire wetenschap (A61B, A61F, A61L, A61M). De overige specialisaties zijn op zichzelf staande specialisaties.

**Figuur 4.13**

De kennisbasis van Groningen



## 4.5 Samenvatting

Dit hoofdstuk laat zien dat, net als voor technologieën in het algemeen, de ontwikkeling van kennis over eco-technologieën een padafhankelijk proces is: deze technologieën ontstaan via het combineren van eerder ontwikkelde technologische kennis. Wel overstijgen de kenniscombinaties die de basis vormen van nieuwe eco-technologische kennis vaker dan gemiddeld de 35 deelgebieden van Schmoch en gaat het eerder relatief nieuwe combinaties tussen technologievelden (uitgezonderd opvang en afvang van broeikasgassen). Voor de ontwikkeling van eco-technologieën is dus kennis gecombineerd uit technologievelden waartussen voorheen zelden kennisuitwisseling plaatsvond. Wel varieert het belang van dat soort nieuwe

combinaties sterk per eco-technologieveld: er zijn ook enkele eco-technologievelen waarvan de mate van gerelateerdheid van de kennisbasis hoger is dan het gemiddelde van alle technologieën.

Omdat het padafhankelijke proces van technologische kennisontwikkeling grotendeels op regionaal schaalniveau plaatsvindt (zie hoofdstuk 3) kent de technologische kennisbasis van regio's vaak een duidelijke specialisatie. Zo ook de kennisbasis van de twee Nederlandse regio's waar vanuit de meeste patenten worden aangevraagd: Noord-Brabant en Zuid-Holland. Noord-Brabant is gespecialiseerd in technologievelen binnen het domein electrical engineering en Zuid-Holland vooral in technologievelen in het domein chemie.

Op basis van het voorgaande hoofdstuk en de bevindingen in dit hoofdstuk kan worden verondersteld dat in regio's die zijn gespecialiseerd in de technologievelen die aan de basis liggen van een bepaalde eco-technologie eerder deze nieuwe technologie tot ontwikkeling zal komen. In andere woorden, door te bekijken hoeveel overlap er is tussen de netwerkfiguren van de verschillende eco-technologieën en technologische profielen van de regio's, kunnen we een inschatting maken van de kansen op de ontwikkeling van nieuwe eco-technologische kennis in die regio's. Dit doen we in het volgende hoofdstuk voor alle eco-technologieën en alle Europese regio's.

# 5 Regionale diversificatie in eco-technologieën

## 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beantwoorden we de vraag in hoeverre de eerder ontwikkelde regionale kennisbasis van invloed is op de kans dat in een regio eco-technologieën worden ontwikkeld. Zoals we hebben beschreven in hoofdstuk 3, kan op basis van recente inzichten in de economisch-geografische literatuur worden verwacht dat die kans er is. Technologieën ontstaan via het combineren van bestaande technologievelden tot iets nieuws. Dat proces speelt zich hoofdzakelijk binnen regio's af, omdat de betrokken partijen maar beperkt mobiel zijn en korte afstanden de kans op interacties die nodig zijn voor kennisuitwisseling vergroten. Als de ontwikkeling van een nieuwe technologie kennis vereist die al aanwezig is in de regionale kennisbasis, dan is de kans groter dat die technologie in die regio tot stand komt, zo is de gedachte.

Toch zijn er twee redenen waarom dit mogelijk niet het geval is voor eco-technologieën. Ten eerste bleek in hoofdstuk 4 dat eco-technologieën relatief vaak zijn ontstaan door het combineren van kennis uit technologievelden waartussen voorheen weinig kennisuitwisseling plaatsvond. Omdat regio's vaak zijn gespecialiseerd in aan elkaar gerelateerde technologieën, vereist meer baanbrekende technologische vernieuwing mogelijk een impuls van buiten de regio (Neffke et al. 2014). Hoewel de economisch-geografische literatuur het belang van ruimtelijke nabijheid voor kennisoverdracht benadrukt, verspreidt technologische kennis zich tegelijkertijd over steeds grotere afstand.

Ten tweede hebben de hoge verwachtingen over het belang van eco-technologieën voor (duurzame) economische groei op de langere termijn veel nationale overheden ertoe aangezet de ontwikkeling van deze technologieën te stimuleren, denk bijvoorbeeld aan de Duitse *Energiewende* (PBL 2013). Mogelijk compenseert een dergelijk stimuleringsbeleid de beperkingen van de regionale kennisbasis, waardoor regio's in die landen toch in staat waren in een vroeg stadium eco-technologieën te ontwikkelen, zelfs als daar de technologische kennis waarop eco-technologieën voortbouwen ontbrak.

In de volgende paragraaf beschrijven we de methode die we gebruiken om te onderzoeken in hoeverre de aanwezigheid van technologievelden die aan de basis liggen van verschillende eco-technologieën de kans vergroot dat zulke technologieën in Europese regio's tot ontwikkeling zijn gekomen. In paragraaf 5.3 beschrijven we kort in hoeverre dat het geval was in de Nederlandse provincies. In paragraaf 5.4 gaan we in op de resultaten van de modelschattingen voor alle Europese regio's en eco-technologieën. In paragraaf 5.5 vatten we de bevindingen van dit hoofdstuk samen.

## 5.2 Data en methode

### 5.2.1 Regionale ontwikkeling van eco-technologische kennis

We schatten in dit hoofdstuk het effect van de regionale kennisbasis op zowel de kans dat een regio start met de ontwikkeling van patenten in de verschillende eco-technologievelen als op het aantal patenten dat jaarlijks vanuit de regio in die eco-technologievelen is aangevraagd. We onderzoeken dus niet alleen of regio's eerder zijn gestart met het ontwikkelen van eco-technologieën als de daarvoor vereiste technologievelen aanwezig zijn in de regionale kennisbasis, maar ook hoe succesvol de ontwikkeling van de nieuwe technologie daar vervolgens is geweest. We gebruiken daarvoor de volgende twee afhankelijke variabelen:

1. Start ontwikkeling eco-technologieveld: deze variabele heeft de waarde 1 voor het jaar waarin het aandeel vanuit de regio aangevraagde patenten in een van de eco-technologievelen voor het eerst hoger is dan het Europese aandeel, en 0 voor alle andere jaren.<sup>26</sup> Pas als vanuit een regio een substantieel aantal patenten wordt aangevraagd in een eco-technologieveld, beschouwen we dit dus als de start van de ontwikkeling van die technologie in de regio. Zo voorkomen we dat regio's waar gedurende de periode 1977-2010 slechts één of enkele patenten in dat technologieveld worden ontwikkeld te zwaar meetellen in de analyse.<sup>27</sup>
2. Omvang eco-technologische kennisontwikkeling: een variabele die per jaar en per eco-technologieveld het aantal patenten dat vanuit de regio is aangevraagd weergeeft.

De waarde van deze twee variabelen varieert dus per regio, per jaar én per eco-technologieveld. Net als in de vorige hoofdstukken zijn deze analyses beperkt tot de patenten die zijn aangevraagd vanuit regio's in 16 Europese landen. We onderscheiden in totaal 200 Europese regio's, waarbij we uitgaan van de NUTS2-regio-indeling.<sup>28</sup> In Nederland komt deze overeen met de twaalf provincies.

### 5.2.2 Ontwikkeling van de kennisbasis van eco-technologievelen

We meten de kennisbasis van de eco-technologievelen voor elk jaar tussen 1982 tot en met 2005. Net als in hoofdstuk 4 gebruiken we hiervoor de technologieklassen die vermeld staan in de patentendocumenten die volgens het EPO eco-technologische kennis bevatten (zie paragraaf 4.3 voor een uitleg van deze methode). In tegenstelling tot in hoofdstuk 4 meten we de kennisbases nu dynamisch, dat wil zeggen, we houden er rekening mee dat de kennisbasis van een technologie en een regio verandert in de loop der tijd (zie kader 4.1 voor een nadere toelichting). Daarom berekenen we de kennisbasis in dit hoofdstuk niet op basis van het gemiddelde van alle patenten die tussen 1977 en 2010 zijn aangevraagd, maar per jaar, waarbij de kennisbasis is gebaseerd op alle patenten die zijn aangevraagd in de vier jaar voorafgaand aan dat jaar en de vier jaar erna. Het is dus een gemiddelde over 9 jaar dat jaarlijks 'opschuift'. Het gevolg is wel dat we de kennisbasis niet kunnen berekenen voor de jaren voor 1982 en de jaren na 2005, omdat we voor die jaren niet beschikken over patentdata voor vier jaar voor of vier jaar na dat jaar.

---

<sup>26</sup> Dit berekenen we aan de hand van de zogenaamde *Revealed Comparative Advantage* (RCA) waarbij  $p_{r,t}$  staat voor het aantal patenten in regio  $r$  en jaar  $t$ , en  $i$  voor het technologieveld:

$$RCA_{i,r,t} = \frac{p_{r,t}(i) / \sum_i p_{r,t}(i)}{\sum_r p_{r,t}(i) / \sum_r \sum_i p_{r,t}(i)} > 1$$

<sup>27</sup> Let wel: vooral in het beginstadium in de ontwikkeling van bepaalde eco-technologievelen is één patent al een substantiële hoeveelheid omdat er nagenoeg nog geen regio's zijn toegetreden.

<sup>28</sup> Dit is exclusief de eilandregio's in Frankrijk (FR83, FR91, FR92, FR93, FR94), Spanje (ES63, ES64, ES70, ES83), Italië (ITG1, ITG2), Portugal (PT20) en Finland (FI20).

### Kader 5.1: Een dynamische benadering van de technologische ruimte

Technologieontwikkeling is een dynamisch proces en de kennisbasis van technologieën en van regio's is dan ook geen statisch gegeven. Leydesdorff et al. (2015) beschrijven bijvoorbeeld hoe er gedurende de ontwikkeling van zonneceltechnologie verschillende golven van technologische inventies zijn geweest. Bij iedere golf was een ander type materiaal leidend, waardoor steeds kennis uit andere technologievelden bij de technologieontwikkeling waren betrokken. Zo waren de traditionele zonnecellen gemaakt van silicium, terwijl de derde generatie zonnepanelen wordt gemaakt van een variëteit aan materialen als een lichtgevoelige verflaag, geleidend plastic en organische zonnecellen.

Ook bij biobrandstoffen zijn meerdere generaties te onderscheiden. De eerste generatie biobrandstoffen is gebaseerd op suikers, zetmeel, plantaardige olie of dierlijke vetten, die met conventionele chemische processen of vergisting worden omgezet in brandstoffen. Biobrandstoffen die niet aan voedsel zijn gerelateerd, worden meestal de tweede generatie genoemd. Deze biobrandstoffen worden gemaakt uit planten die hiervoor worden geteeld (energiegewassen) of uit oneetbare gedeeltes van voedselgewassen. Inmiddels bestaat er ook een derde generatie biobrandstoffen. Die bestaat nog uit veel verschillende ontwikkelingen. In Nederland wordt hieronder vaak biobrandstof uit algen verstaan.

Deze twee voorbeelden illustreren hoe technologievelden die in de beginperiode van de technologieontwikkeling deel uitmaakten van de kennisbasis, later niet meer relevant zijn, terwijl kennis uit andere technologievelden juist hun intrede doen in een latere fase. Ook kunnen twee technologievelden die in eerste instantie ongerelateerd waren, in de loop der tijd wel aan elkaar gerelateerd raken omdat ze vaak samen zijn toegepast bij de ontwikkeling van de nieuwe technologie. Deze dynamiek in de technologische kennisbasis van eco-technologieën en regio's heeft belangrijke gevolgen voor de kansen dat regio's starten met de ontwikkeling van deze technologieën. Daarom meten we in het volgende hoofdstuk de kennisbasis van zowel eco-technologieën als die van de Europese regio's per jaar, zodat we rekening houden met veranderingen in de tijd.

Daarnaast beperken we ons tot de eco-technologievelden waarvoor tussen 1982 en 2005 minimaal 100 patenten zijn aangevraagd. We houden dan 35 verschillende eco-technologievelden over die behoren tot een van de volgende drie eco-technologie typen: energie, transport en de opslag en afvang van broeikasgassen. Milieumanagement laten we in dit hoofdstuk buiten beschouwing, omdat in hoofdstuk 1 bleek dat dit geen nieuw technologieveld is; veel regio's hebben al vóór 1982 patenten in dit technologieveld ontwikkeld. In totaal zijn de analyses gebaseerd op 1.227.621 patenten, waarvan 31.257 patenten in eco-technologievelden.

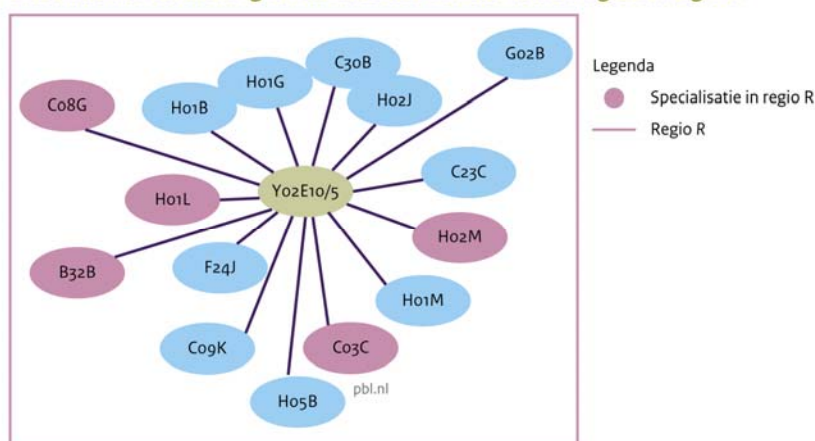
#### 5.2.3 Ontwikkeling van de regionale eco-kennisbasis

Voor elke Europese regio bepalen we in enkele stappen de mate waarin de regionale kennisbasis is gespecialiseerd in de technologievelden die de basis vormen voor elk van de eco-technologievelden. We noemen dit de regionale eco-kennisbasis. Eerst meten we voor elk jaar en elk van de eco-technologievelden het aantal patenten dat in alle voorgaande jaren vanuit de regio is aangevraagd en dat behoort tot een van de technologieklassen waar de desbetreffende eco-technologie uit is ontstaan. Alle patenten die volgens het EPO eco-patenten zijn, laten we daarbij buiten beschouwing, zodat de mate waarin de regionale kennisbasis geschikt is voor het ontwikkelen van eco-technologische kennis niet overlapt met het aantal eco-patenten dat vanuit die regio is aangevraagd. We gaan er daarbij, net als eerdere studies (Zucker et al. 2007), van uit dat de kennis die in een patent is vastgelegd na ongeveer vijf jaar zijn waarde heeft verloren.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> We vermenigvuldigen het aantal jaarlijks ontwikkelde patenten met een jaarlijkse factor van 0,2 waarmee we controleren voor de afname van de waarde van de gepatenteerde kennis in de loop van de tijd.

**Figuur 5.1**

Illustratie van berekening van kennisbasis van eco-technologie E in regio R



Bron: OECD REGPAT Database

Vervolgens is voor elk jaar bepaald of het aandeel patenten in een technologieklasse dat vanuit de regio is aangevraagd al dan niet hoger is dan het Europese aandeel; met andere woorden: of de regio in dat jaar is gespecialiseerd in ontwikkeling van technologische kennis in die klasse.<sup>30</sup> Dit berekenen we voor elke technologieklasse die in dat jaar de basis vormde voor een van de eco-technologievelen. Op grond daarvan wordt dan per eco-technologieveld de *eco-kennisbasis* van de regio in een bepaald jaar berekend: hoe vaker een regio een bovengemiddeld aandeel patenten heeft voor de verschillende technologieklassen die de basis vormen van een bepaald eco-technologieveld, hoe meer de eco-kennisbasis aansluit op de kennis die nodig was voor het ontwikkelen van dat eco-technologieveld in die regio in dat jaar.<sup>31</sup> Figuur 5.1 illustreert dit voor regio R en eco-technologieveld Y02E10/5 (zonneceltechnologie). Dit voorbeeld laat zien dat er 15 technologieklassen aan de basis liggen van de zonneceltechnologie. Regio R heeft in vijf van de vijftien technologieklassen een bovengemiddeld aandeel patenten. De eco-kennisbasis van regio R voor zonneceltechnologie is daarom 33 procent ( $5/15 \times 100$ ). De waarde van de eco-kennisbasis van een regio kan dus variëren van 0 procent (in geen enkele technologieklasse een bovengemiddeld aandeel) tot 100 procent (in alle technologieklassen een bovengemiddeld aandeel).

#### 5.2.4 Verschillen tussen landen

Zoals aangegeven in de inleiding van dit hoofdstuk, was in bepaalde Europese landen de ontwikkeling van eco-technologieën minder afhankelijk van de regionale eco-kennisbasis, omdat daar sprake was van een stimuleringsbeleid specifiek gericht op eco-technologieën. Het is niet mogelijk dit direct te onderzoeken, omdat er geen gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn over het type beleid dat de afgelopen decennia in elk Europees land is gevoerd. Wel kunnen we meer in het algemeen onderzoeken of in sommige landen regio's een

<sup>30</sup> Dit is gemeten met behulp van de RCA (zie voetnoot 1 voor de formule).

<sup>31</sup> De eco-kennisbasis van elke regio  $r$  wordt dan per jaar  $t$  voor elk eco-technologieveld  $i$  als volgt berekend, waarbij  $\phi_{ij}$  staat voor de technologievelen  $j$  die aan de basis liggen van eco-technologie  $i$ . In de teller wordt het aantal technologieklassen  $j$  – dat aan de basis ligt van  $i$  – geteld waarin regio  $r$  een RCA heeft van boven de 1 in jaar  $t$ . In de noemer worden alle technologievelen  $j$  geteld die aan de basis liggen van eco-technologie  $i$  in jaar  $t$ . De eco-kennisbasis heeft dus een waarde van tussen de 0 en 100%.

$$Eco-kennisbasis_{i,r,t} = \frac{\sum_{j \in r, i \neq j} \phi_{ij}}{\sum_{i \neq j} \phi_{ij}} \times 100$$



grotere kans hadden op het in een vroeg stadium ontwikkelen van eco-technologieën. Als alle regio's in een land structureel eerder eco-technologieën hebben ontwikkeld, suggereert dit dat daar bijzondere omstandigheden een rol speelden.

Dit onderzoeken we door in de modelschattingen voor elk van de zestien Europese landen een variabele op te nemen die aangeeft of een regio in dat land ligt of niet: voor de variabele Nederland krijgen bijvoorbeeld alle Nederlandse regio's een waarde 1 en alle andere regio's een waarde 0.<sup>32</sup> Daarnaast onderzoeken we ook of er een interactie bestaat tussen de eco-kennisbasis in regio's en het land waarin die regio's liggen, zodat we kunnen achterhalen of het effect van de regionale eco-kennisbasis op de ontwikkeling van eco-technologieën verschilt per land. Een algemeen effect van de regionale eco-kennisbasis voor alle Europese regio's samen hoeft nog niet te betekenen dat dit effect in ieder land hetzelfde is. Zo zou het effect van de eco-kennisbasis in regio's in Duitsland bijvoorbeeld lager kunnen zijn, omdat landelijke factoren, zoals het stimuleringsbeleid onder de *Energiewende*, daar ertoe hebben geleid dat ook regio's met een minder ontwikkelde eco-kennisbasis zijn gestart met de ontwikkeling van eco-technologische kennis.

### 5.2.5 Methode

Met behulp van een zogenaamde duuranalyse toetsen we of het gemiddeld genomen zo is dat een goed ontwikkelde regionale eco-kennisbasis de kans verhoogt dat een Europese regio in een vroeg stadium startte met de substantiële ontwikkeling van patenten in een bepaald eco-technologieveld. Via een duuranalyse schatten we niet alleen de kans op het starten met het ontwikkelen van de eco-technologische kennis, maar houden we ook rekening met hoeveel tijd reeds is verstreken. Vaak is er sprake van een regionale diffusie van technologieën, waardoor de kans dat een regio start met de ontwikkeling van bepaalde technologische kennis groter wordt naarmate er meer jaren zijn verstreken na de introductie van de technologie.

Het effect van de regionale eco-kennisbasis op het aantal vanuit de regio aangevraagde eco-patenten per jaar en per eco-technologieveld schatten we met een *negative binomial* regressiemodel.<sup>33</sup> In dit model nemen we naast de regionale eco-kennisbasis ook een variabele op die het aantal eerder ontwikkelde eco-patenten in hetzelfde eco-technologieveld meet. Zo kunnen we achterhalen of voor de verdere ontwikkeling van eco-technologische kennis in regio's vooral het opbouwen van veel kennis in het eco-technologieveld zelf van belang is, of dat ook de ontwikkeling van de technologievelden die de basis van de eco-technologie vormen van belang blijven (zie tekstkader 5.1). Zo vinden Noailly en Shestalova (2013) voor technologieën voor hernieuwbare energie dat in maar liefst 83 procent van alle patenten wordt verwezen naar minimaal één ander patent uit dezelfde technologieklasse.

Naast de regionale eco-kennisbasis en factoren op landsniveau zijn nog meer factoren van invloed op de ontwikkeling van eco-technologische kennis in een regio. Om te voorkomen dat het effect van de eco-kennisbasis eigenlijk regionale verschillen in omvang of een algemeen goed ontwikkelde kennisbasis weerspiegelt, nemen we voor elke regio de bevolkingsdichtheid, de totale R&D-uitgaven en het totale aantal patenten op in de modellen.

Daarnaast controleren we voor verschillen in de omvang en ontwikkeling van de verschillende eco-technologievelden: als er in een bepaald veld meer onderzoeksactiviteiten zijn, dan is de kans groter dat regio's starten met de ontwikkeling van die kennis dan voor technologievelden met minder activiteiten. We controleren hiervoor door per technologieveld het aantal uitvinders en de algemene groei van het aantal patenten in de technologieklasse op te nemen. Daarnaast controleren we ook voor de mate waarin de onderzoeksactiviteiten van een

---

<sup>32</sup> Overigens kunnen we met deze methode nog steeds belangrijke effecten op landsniveau missen. Landelijk stimuleringsbeleid voor bijvoorbeeld zonnepanelen zal bijvoorbeeld vooral effect hebben in die regio's waar de zonneceltechnologie-intensieve industrie is geconcentreerd. Dit betekent dat landelijk stimuleringsbeleid zeer lokaal neerslaat, in slechts één of enkele regio's, en niet in alle regio's in dat land.

<sup>33</sup> We gebruiken een *negative binomial* model en geen Poisson model, omdat de te verklaren variabele (aantal patenten) te veel nullen bevat om te voldoen aan de voorwaarden van een Poissonverdeling.

technologieveld zijn geconcentreerd in specifieke regio's: hoe groter de concentratie van een technologie in enkele regio's, hoe kleiner de kans dat andere regio's deze technologie ook gaan ontwikkelen.

Tot slot controleren we voor tijd- en technologieafhankelijke effecten die ertoe leiden dat het aantal patenten in het algemeen toeneemt in de tijd of in een bepaald technologieveld.<sup>34</sup> Hiervoor controleren we door het opnemen van een aparte variabele voor elk jaar en elk technologieveld (zogenoemde *fixed effects*).

### 5.3 De eco-kennisbasis van Nederlandse regio's

Voor we de modelresultaten beschrijven, bekijken we eerst in hoeverre de Nederlandse regio's een goed ontwikkelde eco-kennisbasis hadden in het jaar voordat vanuit deze regio's voor het eerst een bovengemiddeld aandeel patenten in een eco-technologieveld werd aangevraagd. Tabel 5.1 toont daartoe voor elk eco-technologieveld in welk jaar voor het eerst een substantieel aantal patenten in die technologie is aangevraagd vanuit een Nederlandse provincie, welke provincie dat was en hoe hoog de eco-kennisbasis van die regio een jaar eerder was. De laatste kolom laat zien hoeveel Europese regio's al voorafgaand aan de Nederlandse provincie waren gestart met het aanvragen van patenten in deze eco-technologie.

**Tabel 5.1** Opkomst van eco-technologieën in Nederland vanaf 1982\*

Eco-technologieveld	Provincie	Startjaar	Eco-kennisbasis	# eerdere regio's
Energiebesparing gloei en gasontladingslampen	Noord-Brabant	1982	55,6	0
Huisverwarming	Limburg	1982	13,3	0
Windenergie	Overijssel	1982	0,0	0
	Gelderland	1982	8,3	0
	Noord-Holland	1982	0,0	0
Combineren verbranding, warmte, elektriciteit	Noord-Holland	1982	33,3	0
Brandstof uit afval	Noord-Brabant	1982	0,0	0
Overige warmte- en koeltechnologieën	Noord-Holland	1983	0,0	0
Switched-mode power supplies	Overijssel	1983	38,1	6
Opslag en afvang van CO <sub>2</sub>	Gelderland	1983	0,0	3
Efficiënte verbranding/warmtegebruik	Zuid-Holland	1983	73,2	2
Brandstofcellen	Noord-Brabant	1983	38,9	0
Efficiënte Interne verbrandingsmotoren (ICE)	Noord-Brabant	1983	0,0	10
Waterkracht	Noord-Holland	1984	6,1	8
Energieopslag en distributie water-	Zuid-Holland	1984	47,4	14

<sup>34</sup> We hebben ook modellen geschat met regio-*fixed effects* om te controleren of de effecten worden beïnvloed door regionale factoren die ertoe leiden dat een regio door de tijd en voor alle technologieën een hoge kans op toetreding of een hoog aantal eco-patenten kent (bijvoorbeeld omdat de hoofdstad in die regio ligt). Het is alleen niet mogelijk om *fixed effects* op zowel nationaal als regionaal niveau op te nemen. Daarom zijn de getoonde modellen zonder deze regio-*fixed effects*.

stof				
Hybride voertuigen	Noord-Brabant	1984	38,5	7
HID-lampen	Noord-Brabant	1985	68,8	0
Halfgeleiderlampen (led)	Gelderland	1985	1,9	1
Biobrandstoffen	Noord-Holland	1985	58,4	22
Batterijtechnologie	Noord-Holland	1985	21,2	24
Broeikasgasreductie algemeen	Gelderland	1985	35,7	3
	Noord-Brabant	1985	33,2	3
Efficiënte besturingssystemen	Noord-Brabant	1986	100,0	3
Controle- en regeltechnieken	Noord-Holland	1987	5,1	11
Opslag/afvang overige broeikasgas- sen	Noord-Holland	1987	47,4	11
Supergeleiders	Noord-Brabant	1987	70,0	6
Fotovoltaïsch (PV), zonnecellen	Zuid-Holland	1989	12,8	40
Warmte- en koeltechnologie	Gelderland	1990	58,2	19
Energieopslag en transmissie elek- trisch rijden	Noord-Brabant	1990	30,7	28
Smart grids	Noord-Brabant	1991	50,5	36
Zon thermisch	Limburg	1991	23,3	45
Energie uit de zee	Noord-Holland	1993	13,6	32
Efficiënte aandrijving luchtvaart	Gelderland	1995	29,5	51
	Zuid-Holland	1995	16,5	52
Energiereductie kabelnetwerken	Noord-Brabant	1997	83,1	17
Brandstofcellen in transport	Noord-Holland	1998	7,7	14
Reductie luchtweerstand	Zuid-Holland	2002	25,1	49
	Noord-Brabant	2002	5,5	49
Motormanagementsystemen	Limburg	2003	3,3	60
Gewichtsreductie in luchtvaart	Limburg	2004	26,8	60

\* De tabel geeft de eco-kennisbasis van de regio weer één jaar voor de regio voor het eerst een bovengemiddeld aandeel patenten in de eco-technologie ontwikkelde. We meten dit vanaf 1982. Voor sommige technologieën zijn er mogelijk regio's (waaronder Nederlandse regio's) die al voor dit jaar zijn gestart met de ontwikkeling van patenten. Deze regio's tellen we niet mee in de laatste kolom van de tabel.

De gemiddelde eco-kennisbasis van alle Europese regio's en voor alle eco-technologievelen in de periode 1982 tot en met 2005 was 22 procent, ofwel: gemiddeld was ruim een vijfde van alle technologievelen die de basis vormden voor een eco-technologieveld in een regio aanwezig. In veel Nederlandse provincies was dat percentage inderdaad hoger toen de regio startte met de ontwikkeling van patenten in een van de technologievelen: in Noord-Brabant waren zelfs meer dan de helft van alle benodigde technologievelen aanwezig toen deze regio startte met de ontwikkeling van technologieën voor energiebesparing in gloei- en gasontladinglampen, HID-lampen, efficiënte besturingssystemen, supergeleiders, energiereductie van kabelnetwerken en smart grids. In Zuid-Holland was dat het geval voor de start van de ontwikkeling van technologische kennis over efficiënte verbranding en warmtegebruik, in Noord-Holland bij biobrandstoffen en in Gelderland bij kennis over warmte- en koeltetechniek.

Vaak waren deze regio's ook een van de eerste in Europa waar een bovengemiddeld aandeel patenten in die eco-technologievelen werd ontwikkeld. Maar er zijn ook uitzonderingen. Zo gingen maar liefst 17 andere regio's Noord-Brabant voor bij de ontwikkeling van een hoger

dan gemiddeld aandeel patenten in de energiereductie van kabelnetwerken. Ook in Gelderland werd, ondanks de goed ontwikkelde kennisbasis, pas een substantieel aandeel patenten in warmte-koeltetechnologie ontwikkeld toen dat al in 19 andere regio's was gebeurd. En ook het omgekeerde komt voor: opvallend is bijvoorbeeld de vroege start van het ontwikkelen van technologische kennis over windenergie in de regio's Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant, ondanks de beperkte aanwezigheid van de benodigde technologievelden in de regionale kennisbasis. Hetzelfde geldt voor Noord-Holland bij de ontwikkeling van patenten in controle- en regeltechnieken en voor Gelderland in de halfgeleiderlampen.

## 5.4 Modelresultaten

### 5.4.1 Start ontwikkeling eco-technologievelden

Tabel 5.2 toont de resultaten van de regressieanalyse waarbij we voor alle Europese regio's testen of het gemiddeld genomen zo is dat een beter ontwikkelde eco-kennisbasis de kans vergroot dat een regio startte met de substantiële ontwikkeling van patenten in een eco-technologieveld. De eco-kennisbasis van een Europese regio heeft inderdaad een positief en statistisch significant effect op de kans dat vanuit een regio een bovengemiddeld aandeel patenten in een van de eco-technologievelden werd aangevraagd. Als we veronderstellen dat de eco-kennisbasis voor een van de eco-technologievelden in een regio met 10 procent toeneemt en alle andere factoren die verder van invloed zijn gelijk blijven, dan stijgt de basiskans dat in deze regio een bovengemiddeld aandeel patenten in die eco-technologie wordt ontwikkeld met 17,3 procent.<sup>35</sup> Ook voor de ontwikkeling van eco-technologische kennis geldt dus dat deze meestal voortbouwt op de kennis die reeds eerder in een regio is ontwikkeld.

Zoals eerder werd verondersteld, hebben de controlevariabelen bevolkingsdichtheid, totaal aantal patenten, het aantal uitvinders dat actief is in een eco-technologie en de groei van het aantal in het eco-technologieveld aangevraagde patenten een positief en statistisch significant effect op de kans dat een regio start met de ontwikkeling van patenten in een bepaald eco-technologieveld (zie model 1 in tabel 5.2). Het effect van investeringen in R&D is in model 1 wel positief, maar niet statistisch significant. Dat komt omdat R&D-investeringen en het totale aantal aangevraagde patenten beide indicatoren zijn voor de totale technologische kennisbasis in regio's (de variabelen zijn ook vrij sterk gecorreleerd,  $p = 0,75$ ). Als we het totale aantal aangevraagde patenten uit het model laten, dan is het effect van R&D-investeringen in model 1 wel statistisch significant. Ook het effect van de geografische concentratie van de technologie is niet statistisch significant. De mate waarin de technologieontwikkeling zich in enkele regio's concentreert is dus niet van invloed op de kans dat in een Europese regio die technologie tot ontwikkeling komt.

In model 2 hebben we een variabele voor elk land, behalve Nederland, toegevoegd. Nederland is daarmee het referentieland: de resultaten voor de andere Europese landen geven aan of de kans dat regio's daar een substantieel aandeel eco-patenten in een van de eco-technologievelden ontwikkelen afwijkt van die kans voor de regio's in Nederland. Voor een aantal landen blijkt dit inderdaad het geval te zijn. Voor regio's in België is die kans lager, zo blijkt uit het negatieve en statistisch significante effect voor dit land. Maar in meerdere landen is die kans juist significant hoger: in Zwitserland, Duitsland, Italië, Noorwegen en Portugal. Vooral voor regio's in Portugal en in Zwitserland is die kans vele malen hoger dan voor Nederlandse regio's: respectievelijk 80 en 66 procent hoger.

Het effect van de regionale eco-kennisbasis blijft gelijk, ook nadat we rekening houden met het land waar een regio in ligt: de coëfficiënt van de eco-kennisbasis is in model 2 even

<sup>35</sup> Door de exponent te nemen van de in tabel 5.2 vermelde coëfficiënt van eco-kennisbasis wordt de hazardratio bepaald. In model 1 is  $\exp(0,017) = 1,0173$ . Dat betekent dat bij een toename van de eco-kennisbasis met 1 procent de kans dat een regio een bovengemiddeld aandeel patenten in een eco-technologieveld gaat produceren stijgt met 1,73 procent en bij een toename van 10 procent met 17,3 procent.

groot als in model 1 en nog altijd statistisch significant. Het positieve effect van de regionale eco-kennisbasis wordt dus niet veroorzaakt door specifieke omstandigheden in landen, zoals beleid gericht op het stimuleren van eco-technologische kennisontwikkeling.

Als we in model 3 de interactie-effecten tussen de Europese landen en de regionale eco-kennisbasis opnemen, dan zijn deze voor een aantal landen statistisch significant. Het effect van de regionale eco-kennisbasis op de kans dat in een regio wordt gestart met het ontwikkelen van een substantieel aandeel eco-patenten verschilt in Zwitserland, Duitsland en Denemarken significant van datzelfde effect voor Nederlandse regio's. De coëfficiënt van de regionale eco-kennisbasis in model 3 geldt nu alleen nog voor de Nederlandse regio's. Het effect is hoger dan in 1 en 2 zonder interactie-effecten, wat aangeeft dat de regionale eco-kennisbasis een sterkere invloed heeft op de kans dat Nederlandse regio's starten met het ontwikkelen van eco-patenten dan het gemiddelde effect voor alle zestien Europese landen samen.

**Tabel 5.2** Resultaten duuranalyse van kans op ontwikkeling van een bovengemiddeld aandeel eco-patenten in een eco-technologieveld in Europese regio's, 1982-2005

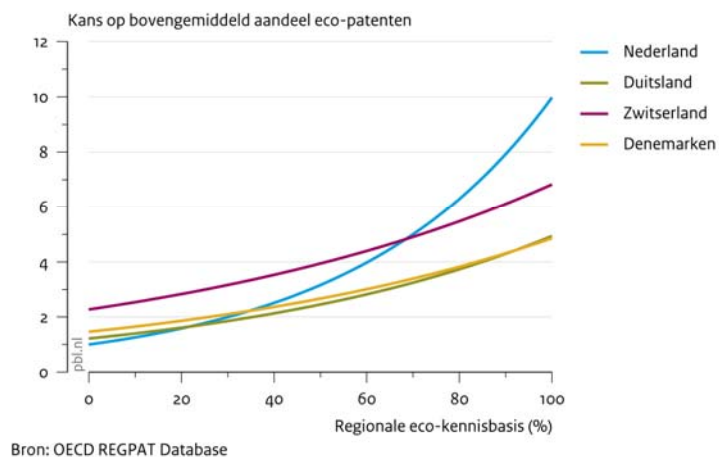
	Model 1	Model 2	Model 3	
			<i>Interactie Land * eco- kennisbasis</i>	
Regionale eco-kennisbasis	0,017*** (0,001)	0,017*** (0,001)	0,023*** (0,004)	
R&D-investeringen (ln)	0,031 (0,019)	0,073*** (0,025)	0,072*** (0,025)	
Bevolkingsdichtheid	0,059*** (0,023)	0,076*** (0,023)	0,078*** (0,023)	
Totaal aantal patenten (ln)	0,605*** (0,041)	0,563*** (0,042)	0,561*** (0,043)	
Concentratie van technologie	-0,003 (0,020)	-0,002 (0,020)	-0,002 (0,020)	
Aantal uitvinders in technologie (ln)	0,347*** (0,049)	0,346*** (0,048)	0,346*** (0,047)	
Groei aantal patenten in technologie	0,471*** (0,116)	0,465*** (0,115)	0,466*** (0,114)	
Nederland	Ref.	Ref.	Ref.	
Oostenrijk		0,187 (0,133)	0,265 (0,271)	-0,004 (0,008)
België		-0,244* (0,132)	-0,113 (0,211)	-0,005 (0,006)
Zwitserland		0,507*** (0,190)	0,821*** (0,225)	-0,012** (0,006)
Duitsland		0,197* (0,114)	0,469** (0,198)	-0,009* (0,005)
Denemarken		0,083 (0,170)	0,381* (0,219)	-0,011* (0,006)
Spanje		0,083 (0,178)	0,219 (0,285)	-0,005 (0,008)
Finland		0,079 (0,164)	0,067 (0,289)	0,000 (0,008)
Frankrijk		-0,106 (0,123)	-0,066 (0,219)	-0,002 (0,005)
Ierland		-0,014	0,467	-0,021**

		(0,227)	(0,316)	(0,010)
Italië		0,174*	0,355*	-0,007
		(0,105)	(0,205)	(0,006)
Luxemburg		0,066	0,767	-0,032
		(0,279)	(0,525)	(0,023)
Noorwegen		0,329**	-0,073	0,012
		(0,153)	(0,302)	(0,008)
Portugal		0,590**	0,823**	-0,011
		(0,230)	(0,327)	(0,013)
Zweden		-0,089	0,073	-0,006
		(0,139)	(0,276)	(0,006)
Verenigd Koninkrijk		-0,092	0,067	-0,006
		(0,117)	(0,167)	(0,004)
Constate	-10,801***	-10,821***	-10,951***	
	(0,411)	(0,404)	(0,437)	
Jaar fixed effects	Ja	Ja	Ja	
Technologie fixed effects	Ja	Ja	Ja	
Aantal observaties (eco-technologieën x regio's x jaren)	121,992	121,992	121,992	
Aantal keer bovengemiddeld aandeel eco-patenten (non-zero observaties)	3057	3057	3057	
Log pseudolikhelihood	-12415,60	-12373,32	-12362,15	
Wald test	3744,94***	3892,50***	3851,84***	

\*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1, robuuste standaardfout tussen haakjes

**Figuur 5.2** Interactie-effect van landen en de regionale eco-kennisbasis op de kans dat een regio een bovengemiddeld aandeel eco-patenten ontwikkelt

#### Interactie-effect van landen en de regionale eco-kennisbasis



In Zwitserland en, ook nog net, in Duitsland en Denemarken is zowel het landeffect als het interactie-effect statistisch significant, waarbij het landeffect positief is en het interactie-effect negatief. Dat betekent dat regio's in deze landen in het algemeen een grotere kans hebben om te starten met de ontwikkeling van een substantieel aandeel eco-patenten dan Nederlandse regio's, maar dat het effect van de regionale eco-kennisbasis er wel kleiner is. Figuur 5.2 laat de verschillen tussen Nederland en de andere drie landen zien: de kans voor Nederlandse regio's is lager dan die van de regio's in Duitsland, Denemarken en Zwitserland bij een regionale eco-kennisbasis van minder dan 20 procent, maar hoger dan regio's in die drie landen bij een regionale eco-kennisbasis van meer dan 70 procent, ervan uitgaande dat

de andere regio- en technologiekenmerken ongewijzigd blijven. Overigens was de regionale eco-kennisbasis van Nederlandse regio's tussen 1982 en 2005 meestal lager dan 70 procent (het gemiddelde voor alle Europese regio's is 22 procent). In de helft van alle gevallen dat er sprake was van zo sterk ontwikkelde eco-kennisbasis betrof het de provincie Noord-Brabant. Mogelijk verklaart dit ook het sterke effect van de eco-kennisbasis in Nederland: binnen Nederland zijn er grote verschillen in de ontwikkeling van de regionale eco-kennisbasis (zie ook hoofdstuk 4).

#### 5.4.2 Omvang eco-technologische kennisontwikkeling in regio's

In tabel 5.3 staan de resultaten voor de modellen met de schatting van het jaarlijkse aantal vanuit de regio aangevraagde eco-patenten. Ook in deze modellen is het effect van de regionale eco-kennisbasis positief en statistisch significant (zie model 1). Vanuit regio's die in een bepaald jaar waren gespecialiseerd in meerdere technologievelden die de basis vormen voor een eco-technologieveld werden dus meer eco-patenten in dat eco-technologieveld aangevraagd dan vanuit minder gespecialiseerde regio's.

**Tabel 5.3** Resultaten negatieve binomial regressiemodel voor het jaarlijkse aantal aangevraagde eco-patenten in Europese regio's, 1982-2005

	Model 1	Model 2	Model 3	
			<i>Interactie Land * Eco- kennisbasis</i>	
Regionale eco-kennisbasis	0,013*** (0,001)	0,013*** (0,001)	0,021*** (0,003)	
Aantal eerder ontwikkelde eco-patenten (ln)	0,896*** (0,047)	0,873*** (0,044)	0,874*** (0,044)	
R&D-investeringen (ln)	0,005 (0,009)	0,029** (0,014)	0,031** (0,014)	
Bevolkingsdichtheid	0,006 (0,013)	0,017 (0,011)	0,017 (0,012)	
Totaal aantal patenten (ln)	0,500*** (0,034)	0,475*** (0,033)	0,470*** (0,033)	
Concentratie van technologie	-0,021 (0,023)	-0,021 (0,023)	-0,020 (0,023)	
Aantal uitvinders in technologie (ln)	0,289*** (0,042)	0,296*** (0,041)	0,296*** (0,041)	
Groei aantal patenten in technologie	0,775*** (0,089)	0,769*** (0,088)	0,769*** (0,089)	
Nederland	Ref.	Ref.	Ref.	
Oostenrijk		0,121 (0,093)	0,311* (0,160)	-0,005 (0,003)
België		-0,291*** (0,097)	-0,274 (0,169)	0,001 (0,005)
Zwitserland		0,168* (0,090)	0,524*** (0,140)	-0,010*** (0,003)
Duitsland		0,095 (0,067)	0,554*** (0,130)	-0,012*** (0,002)
Denemarken		0,314** (0,136)	0,263 (0,225)	0,002 (0,004)
Spanje		0,090 (0,137)	0,112 (0,186)	0,004 (0,006)

Finland		-0,015 (0,095)	-0,007 (0,231)	0,000 (0,004)
Frankrijk		-0,147 (0,094)	0,188 (0,181)	-0,009*** (0,003)
Ierland		-0,158 (0,209)	0,237 (0,303)	-0,013** (0,006)
Italië		-0,017 (0,069)	0,309* (0,163)	-0,009** (0,004)
Luxemburg		0,122 (0,249)	-0,034 (0,394)	0,006 (0,010)
Noorwegen		0,195 (0,157)	-0,045 (0,243)	0,007 (0,005)
Portugal		0,046 (0,274)	0,214 (0,378)	-0,001 (0,015)
Zweden		-0,082 (0,085)	0,203 (0,181)	-0,008** (0,003)
Verenigd Koninkrijk		-0,128 (0,081)	0,081 (0,161)	-0,005* (0,003)
Constante	-8,565*** (0,325)	-8,565*** (0,285)		-8,812*** (0,333)
Ln Alpha	0,094 (0,153)	0,084 (0,153)		0,060 (0,154)
Jaar fixed effects	Ja	Ja		Ja
Technologie fixed effects	Ja	Ja		Ja
Aantal observaties (eco-technologieën x regio's x jaren)	169.680	169.680		169.680
Pseudo R-square (McFadden)	0,272	0,274		0,275
Log Likelihood	-48636,41	-48534,97		-48463,53
LR chi <sup>2</sup>	36393,87***	36596,75***		36739,65***

\*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1, robuuste standaardfout tussen haakjes

Naast de regionale eco-kennisbasis is ook het effect van het aantal eco-patenten uit hetzelfde eco-technologieveld dat in de voorgaande jaren vanuit de regio is aangevraagd positief en statisch significant. Het effect van de hoeveelheid eerder aangevraagde patenten in hetzelfde eco-technologieveld is groter dan dat van de regionale eco-kennisbasis: als de gemiddelde regionale eco-kennisbasis één standaarddeviatie hoger zou zijn, dan zou het aantal vanuit die regio aangevraagde eco-patenten met 0,42 stijgen. Bij een toename van één standaarddeviatie van het gemiddelde aantal eerder aangevraagde patenten in hetzelfde eco-technologieveld is het aantal vanuit de regio aangevraagde eco-patenten 0,66 hoger. Dus hoewel ook een beter ontwikkelde eco-kennisbasis positief van invloed is op de mate waarin binnen een regio eco-technologische kennis wordt ontwikkeld, is de hoeveelheid kennis in die regio die in de voorgaande jaren in dat specifieke technologieveld is ontwikkeld nog belangrijker.

Het effect van de controlevariabelen is grotendeels vergelijkbaar met de resultaten uit tabel 5.2. In tabel 5.3 is alleen het effect van bevolkingsdichtheid niet statistisch significant; weliswaar vergroot een hogere bevolkingsdichtheid de kans dat regio's eerder starten met de ontwikkeling van eco-patenten, maar dit betekent niet dat vanuit deze regio's vervolgens ook significant meer eco-patenten worden aangevraagd.

In model 2 nemen we weer een variabele op voor elk land behalve Nederland. Ook in dit model is het effect voor België negatief en statistisch significant en het effect voor Zwitserland positief en statistisch significant. Vanuit Belgische regio's worden dus jaarlijks minder eco-patenten aangevraagd dan vanuit Nederlandse regio's, en vanuit Zwitserse regio's juist



meer. De regio's in Duitsland, Noorwegen en Portugal blijken alleen een grotere kans op het starten met de ontwikkeling van eco-patenten te hebben (positief en statistisch significant effect in model 2 van tabel 5.2), maar niet jaarlijks significant meer patenten aan te vragen; de variabele voor deze landen is niet statistisch significant in model 2 van tabel 5.3. Het omgekeerde geldt voor de regio's in Denemarken: deze regio's starten niet sneller dan de Nederlandse regio's met het aanvragen van eco-patenten, maar het aantal patenten dat wordt aangevraagd vanuit Denemarken is wel significant hoger (positief en statistisch significant effect voor Denemarken in model 2).

Ook als we de interactie-effecten tussen het land en de regionale eco-kennisbasis opnemen dan zijn de resultaten grotendeels vergelijkbaar met die van het model in tabel 5.2. Wederom is de coëfficiënt van de regionale eco-kennisbasis, die nu alleen het effect laat zien voor regio's in Nederland, hoger dan in model 1 en 2. In vergelijking met het Europese gemiddelde (de coëfficiënt van de regionale eco-kennisbasis in model 1 en 2), is het effect van de regionale eco-kennisbasis op het aantal aangevraagde eco-patenten vanuit een regio in Nederland dus hoger. Daarnaast is ook het effect van Zwitserland en Duitsland vergelijkbaar met dat in tabel 5.2: vanuit zowel Zwitserse als Duitse regio's wordt in het algemeen een groter aantal eco-patenten aangevraagd dan vanuit Nederlandse regio's (positief effect van de landvariabelen). Maar in deze landen is het effect van de regionale eco-kennisbasis wel lager (negatief interactie-effect voor deze landen). In tegenstelling tot in tabel 5.2 is dat in model 3 van tabel 5.3 niet het geval voor Denemarken. In dit model vinden we juist voor Italië een effect dat vergelijkbaar is met dat voor Zwitserland en Duitsland.

Het effect van de regionale eco-kennisbasis op het jaarlijkse aantal aangevraagde eco-patenten voor de regio's in Nederland, Zwitserland en Duitsland is vergelijkbaar met dat in figuur 5.2: als de regionale eco-kennisbasis lager is dan 50 procent dan is het aantal aangevraagde patenten lager voor regio's in Nederland dan voor regio's in Zwitserland en Duitsland, maar als de regionale eco-kennisbasis zeer sterk ontwikkeld is dan is het geschatte aantal aangevraagde patenten hoger voor de regio's in Nederland.

## 5.5 Samenvatting

De analyses in dit hoofdstuk bevestigen de veronderstellingen in de economisch-geografische literatuur voor de regionale ontwikkeling van eco-technologieën binnen Europa tussen 1982 en 2005: de aanwezigheid van technologische kennis die de basis vormt voor de ontwikkeling van nieuwe eco-technologieën in een regio vergroot de kans dat deze nieuwe technologische kennis ook daadwerkelijk in die regio tot ontwikkeling komt. Niet alleen is de kans groter dat die regio's eerder een bovengemiddeld aandeel patenten in het nieuwe eco-technologieveld aanvragen, maar vanuit deze regio's worden vervolgens jaarlijks ook meer patenten in dat technologieveld aangevraagd. Hoewel technologische kennis zich steeds gemakkelijker over een grote afstand verspreid via allerlei netwerken, is de aanwezigheid van technologische kennis in de regio zelf toch nog altijd van invloed op de mogelijkheden voor technologische vernieuwing; ook als het gaat om eco-technologieën die vaker ontstaan uit het combineren van kennis uit ongerelateerde technologievelden.

Naast de aanwezigheid van voor een eco-technologie relevante technologievelden in de regio zijn ook nog andere factoren van invloed op hoeveel eco-technologische kennis er in een Europese regio is ontwikkeld in de afgelopen decennia. Zo blijken ook landelijke factoren een rol te spelen: hoe snel een regio is gestart met de aanvraag van patenten in een nieuwe eco-technologie en ook het aantal vanuit de regio aangevraagde eco-patenten, hangt ook af van het land waar de regio in ligt. Meest in het oog springend is het effect voor Zwitserland en Duitsland in vergelijking met Nederland: als de regionale kennisbasis minder is gespecialiseerd in de technologievelden die de basis vormen voor een bepaalde eco-technologie, dan is

de kans dat vanuit deze regio toch patenten in die eco-technologie worden aangevraagd groter als de regio in Duitsland of Zwitserland ligt dan als de regio in Nederland ligt. Voor Nederlandse regio's is die kans juist groter als er sprake is van een sterke specialisatie in de basistechnologievelden. Dit suggereert dat er in Zwitserland en Duitsland bepaalde landelijke factoren zijn die maken dat daar – ondanks een minder ontwikkelde regionale kennisbasis – toch eco-technologieën tot ontwikkeling konden komen, terwijl dat in Nederland alleen gebeurde in regio's met wel een sterk ontwikkelde kennisbasis. Het is verleidelijk dit toe te schrijven aan een proactief landelijk beleid gericht op het specifiek stimuleren van eco-technologische kennis, maar dat kunnen we op basis van de analyses in dit hoofdstuk niet bewijzen. Dit resultaat kan ook het gevolg zijn van andere landelijke ontwikkelingen. Wat dit verschil tussen deze drie Europese landen wel kan verklaren is een interessant onderwerp voor toekomstig onderzoek.

Tot slot bevestigen de analyses in dit hoofdstuk dat de eco-technologische specialisaties van een regio stabiel zijn in de tijd: het aantal patenten in een bepaald eco-technologieveld dat in de voorafgaande jaren is aangevraagd, is een belangrijke voorspeller voor het aantal patenten in datzelfde technologieveld dat in de periode daarna wordt aangevraagd. In hoofdstuk 2 bleek ook al dat de specialisaties van Nederland van voor 2000, zoals biobrandstoffen en energiebesparing, ook de specialisaties waren in de periode erna (2000-2010). En andersom, dat de voor 2000 minder ontwikkelde eco-technologieën, zoals duurzame transport-technologie, ook in de periode erna achterbleven. Uit de analyses in dit hoofdstuk blijkt dat dit niet alleen op nationaal niveau zo is, maar dat dit een regionaal fenomeen is.

Algemeen kunnen we concluderen dat ook de ontwikkeling van eco-technologieën in Europa een padafhankelijk proces is dat zich voor een belangrijk deel nog altijd op regionaal niveau afspeelt. Uit dit hoofdstuk blijkt dat landelijke factoren weliswaar een rol spelen, maar dat deze niet volledig het belang van de aanwezigheid van de benodigde basistechnologische kennis in de regio kunnen compenseren: het effect van de landelijke factoren bestaat naast het effect van de regionale eco-kennisbasis, niet in plaats van. Dit betekent dat als beleidsmakers in Nederland zich willen richten op het stimuleren van eco-technologische kennisontwikkeling in Nederland, ze het beste de huidige specialisaties van de technologische kennisbasis van regio's als uitgangspunt kunnen nemen bij het vormgeven van dit beleid. Dit vergroot de kans op het succesvol tot ontwikkeling brengen van nieuwe eco-technologische kennis.

## Literatuur

- Acemoglu, D. Ph., Aghion, L., Bursztyn & D. Hemous (2012), The environment and directed technical change, *American Economic Review*, 102(1): 131-166
- Ahuja, G. & C.M. Lampert (2001), 'Entrepreneurship in the Large Corporation: A Longitudinal Study of How Established Firms Create Breakthrough Inventions', *Strategic Management Journal* 22: 521-543.
- Arts, S. & R. Veugelers. (2014), 'Technology familiarity, recombinant novelty, and breakthrough invention', *Industrial Corporate Change* 24(4), online gepubliceerd: 17 oktober 2014.
- Audretsch, D. & M. Feldman (2004), 'Knowledge spillovers and the geography of innovation', pp. 2713–2739, in: *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier 1(4).
- Azar, C. & B.A. Sandén (2011), 'The elusive quest for technology-neutral policies', *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(2011): 135-139.
- Bathelt, H., A. Malmberg & P. Maskell (2004), 'Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation', *Progress in Human Geography* 28(1): 31–56.
- Boschma, R.A. (2005), 'Role of proximity in interaction and performance. Conceptual and empirical challenges', *Regional Studies* 39(1): 41-45.
- Boschma, R.A., Balland, P.A. & Kogler, D. (2015), 'Relatedness and Technological Change in Cities: The rise and fall of technological knowledge in U.S. metropolitan areas from 1981 to 2010', *Industrial and Corporate Change* 24(1): 223-250.
- Breschi, S. & F. Lissoni (2001), 'Localised knowledge spillovers vs. innovative milieux: Knowledge "tacitness" reconsidered', *Papers Regional Science* 80(3): 255–273.
- Breschi, S. & F. Lissoni (2009), 'Mobility of skilled workers and co-invention networks: an anatomy of localized knowledge flows', *Journal of Economic Geography* 9(4): 439-468.
- Castaldi, C., F. Frenken & B. Los (2015), 'Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs: An analysis of U.S. state-level patenting', *Regional studies* 49(5): 767-781.
- Conti, R., A. Gambardella & M. Mariani (2014), 'Learning to Be Edison: Inventors, Organizations, and Breakthrough Inventions', *Organization Science*, 25(3): 833-849.
- CPB (2015) Kansrijk innovatiebeleid. Den Haag: Centraal planbureau.
- Dechezleprêtre, A., R. Martin & M. Mohnen (2013), *Knowledge spillovers from clean and dirty technologies: a patent citation analysis*, Working paper Centre for Economic performance, London: London School of Economics.
- Diodato, D. & A. Weterings (2015), 'The resilience of regional labour markets to economic shocks: exploring the interaction between firms and workers', *Journal of Economic Geography* 15(4): 723-742.
- Dosi G. (1982), 'Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change', *Research Policy* 11(3): 147–162.
- Eck, N.A. Van & L. Waltman (2009), 'How to normalize co-occurrence data? An analysis of some well-known similarity measures', *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60(8): 1635-1651.
- Fleming, L. (2001), 'Recombinant Uncertainty in Technology Search', *Management Science* 47(1): 117-132.
- Foray, D., & B.-A. Lundvall (1996), 'The Knowledge-Based Economy: From the Economics of Knowledge to the Learning Economy'. In *Oecd Documents: Employment and Growth in the Knowledge-Based Economy*. Paris: OECD, pp. 11-32.
- Grabher, G. (1993), *The embedded firm. On the socio-economics of industrial networks*, London and New York: Routledge.

- Griliches, Z. (1990), 'Patent statistics as economic indicators. A survey', *Journal of Economic Literature* 28: 1661-1707.
- Hanemaaijer, A. & S. Kruitwagen (2015), *Sturing geven aan groene groei*. Den Haag: PBL.
- Harhoff, D., F. M. Scherer & K. Vopel (2003), 'Citations, Family Size, Opposition and the Value of Patent Rights', *Research Policy* 32(8): 1343-1363.
- Heimeriks, G.J. & P.A. Balland (2015), 'How smart is specialization? An analysis of specialisation patterns in knowledge production', *Science and Public Policy*, 2015: 1-13.
- Heinisch, D., N. Önder, G. Bünstorf, F. Frenken & H. Linsten (2015), 'Same Place, Same Knowledge & Same People? Evidence from Non-Patent Citations in Dutch Polymer Patents', *Economics of Innovation and New Technology*, online gepubliceerd September 2015.
- Hidalgo, C.A., B. Klinger, A.-L. Barabasi & R. Hausmann (2007), 'The product space conditions the development of nations', *Science* 317(5837): 482-487.
- Hoekman, J. (2012), *Science in an age of globalisation. The Geography of Research Collaboration and its Effect on Scientific Publishing*, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. Proefschrift.
- IPCC (2011) IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Jaffe, A. & M. Trajtenberg (1999), 'International Knowledge Flows: Evidence From Patent Citations', *Economics of Innovation and New Technology* 8(1-2): 105-136.
- Jaffe, A.B., M. Trajtenberg & R. Henderson (1993), 'Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations', *The Quarterly Journal of Economics* 108(3): 577-598.
- Lanjouw, J.O. & M. Schankerman (2001), 'Characteristics of patent litigation: a window on competition', *RAND Journal of Economics* 32(1): 129-151.
- Leydesdorff, L, F. Alkemade, G. Heimeriks & R. Hoekstra (2015), 'Patents as instruments for exploring innovation dynamics - geographic and technological perspectives on "photovoltaic cells"', *Scientometrics* 102(1): 629-651.
- March, J. (1991), 'Exploration and exploitation in organizational learning', *Organisation Science* 2(1): 71-87.
- Mazzucato, M. (2013), *The entrepreneurial State: Debunking Public vs Private Sector Myths*, Londen: Anthem press.
- Ministerie van Economische Zaken (2013), *Kamerbrief Groene Groei: voor een sterke, duurzame economie*. Den Haag: ministerie van EZ.
- Ministerie van Economische Zaken & ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015), *Tussenbalans groene groei*. Den Haag: ministerie van EZ & ministerie van IenM.
- Neffke, F., M. Hartog, R. Boschma & M. Henning (2014), 'Agents of structural change. The role of firms and entrepreneurs in regional diversification', *Papers in Evolutionary Economic Geography* (PEEG). Utrecht: Universiteit Utrecht.
- Neffke, F., M. Henning & R. Boschma (2011), 'How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions', *Economic Geography* 87(3): 237-265.
- Nelson, R. & S. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge MA: Belknap Press.
- Noailly, J. & V. Shestalova (2013), *On which technologies do renewable energy innovations build on?*, Den Haag: Centraal planbureau.
- Nooteboom, B. (2000), *Learning and innovation in organizations and economies*, Oxford: Oxford University Press.
- PBL (2013), *Vergroenen en verdienen. Op zoek naar kansen voor de Nederlandse economie*, Den Haag: PBL.
- Raspe, O., S. Groot, S. Boschman, P. Beckers, B. Sleutjens, W. Boterman & G. van Gessel (2014), *Buitenlandse kenniswerkers in Nederland. Waar werken en wonen ze en waarom?* Den Haag: PBL.

- Rodrik, D. (2014), Green industrial policy, *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3): 469-491.
- Schmoch, U. (2008), *Concept of a Technology Classification for Country Comparisons*, Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research.
- Schumpeter, J.A. (1939), *Business Cycles*, New York: McGraw-Hill Book Company.
- SER (2010), *Meer chemie tussen groen en groei: de kansen en dilemma's van een biobased economy*, Den Haag: SER.
- SER (2015), *De SER-agenda voor de stad*. Den Haag: SER.
- Squicciarini, M., H. Dernis & C. Criscuolo (2013), 'Measuring Patent Quality: Indicators of Technological and Economic Value', OECD Science, Technology and Industry Working Papers, Parijs: *OECD Publishing*.
- Steer, A. (2014) 'Resource Depletion, Climate Change, and Economic Growth', Chapter 6 in: Allen, F., J.R. Behrman, N. Birdsall, S. Fardoust, D. Rodrik, A. Steer & A. Subramanian (eds.) *Towards a Better Global Economy: Policy Implications for Citizens Worldwide in the 21st Century*, Oxford: Oxford University Press.
- Tanner, A.N. (2014), 'Regional Branching Reconsidered: Emergence of the Fuel Cell Industry in European Regions', *Economic Geography* 90(4): 403-427.
- Tödtling, F. & M. Trippl (2005), 'One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach', *Research Policy* 34(8): 1203-1219.
- Trajtenberg, M. (1990), 'A Penny for Your Quotes: Patent Citations and the Value of Innovations', *The RAND Journal of Economics* 21(1): 172-187.
- Veefkind, V., J. Hurtado-Albir, S. Angelucci, K. Krachalios & N. Thumm (2012), 'A new EPO classification scheme for climate change mitigation technologies', *World Patent Information* 34: 106-111.
- Weterings, A., O. Raspe & M. van den Berge (2011) *The European landscape of knowledge-intensive foreign-owned firms and the attractiveness of Dutch regions*. Den Haag: PBL.
- Weterings, A., D. Diadato & M. van den Berge (2013), *De veerkracht van regionale arbeidsmarkten*. Den Haag: PBL.
- WRR (2008), *Innovatie vernieuwd*. Den Haag: WRR.
- WRR (2013), *Naar een lerende economie. Investeren in het verdienvermogen van Nederland*, Den Haag: WRR.
- Zucker L.G., M.R. Darby, J. Furner, R.C. Liu & H. Ma (2007), 'Minerva unbound: Knowledge stocks, knowledge flows and new knowledge production', *Research Policy* 36(6): 850-863.

## Bijlage 1 Technologische classificatie

**Tabel B1.1 Classificatie eco-technologieën**

Technologietype en subtypen	IPC- en Y02-codering
<b>Energie*</b>	
Energieproductie	Geothermal, hydro, solar thermal, PV, tidal, wind (Y02E10, Y02B10)
Alternatieve brandstoffen	Production of fuel of non-fossil origin (Y02E50)
Energiebesparing	Lighting (Y02B20), heating, ventilation, airco (Y02B30), home appliances (Y02B40), isolation (Y02B80), smart grids (Y02B60, Y02B70, Y02B90/2, Y02E40/7, Y02E60/7), efficient electrical power generation, transmission or distribution (Y02E4, not Y02E40/7), energy efficiency elevators, escalators and moving walkways (Y02B50) other energy conversion or management systems reducing GHG emissions (Y02E70)
Energieopslag	Battery technology, ultracapacitors, double-layer capacitors, thermal storage, pressurised fluid storage, mechanical energy storage, pumped storage, hydrogen technology, fuel cells (Y02E60, not Y02E60/7), Applications of fuel cells in buildings (Y02B90/1)
<b>Transport*</b>	
Voertuigen (elektrisch, brandstofcel, hybride)	Hybrid vehicles (Y02T10/62), electric machine technologies for applications in electromobility (Y02T10/64), energy storage for electromobility (Y02T10/7), Electric charging stations (Y02T 90/12), Plug-in vehicles (Y02T 90/14), ICT improving the operation of electric vehicles (Y02T 90/16), Application of fuel cell technology to transportation (Y02T 90/3), Application of hydrogen cell technology to transportation (Y02T 90/4)
Alternatieve brandstoffen	Use of alternative fuels road transportation (gaseous, non-gaseous, multiple, non-fossil: Y02T10/3), , enabling use of sustainable fuels in air transportation (synthetic, bio: Y02T50/7)
Ecodesign	Air transport: drag reduction (Y02T50/1), wing lift efficiency (Y02T50/3), weight reduction (Y02T50/4), on board measures aiming to increase energy efficiency (Y02T50/5), efficient propulsion technologies (Y02T50/6), energy efficient operational measures (Y02T50/8), eco-design (Y02T50/9) Water transport: Measures concerning design or construction of watercraft hulls (Y02T 70/10), Measures to reduce greenhouse gas emissions related to the propulsion system (Y02T 70/50), Technologies for a more efficient operation of the waterborne vessel not otherwise provided for (Y02T 70/70) Railway transportation: Energy recovery technologies concerning the propulsion system in locomotives or motor railcars, Other technological aspects of railway vehicles (Y02T3) Road transportation: Tools or systems for aerodynamic design, Data processing systems, Optimisation of rolling resistance, Optimized components or subsystems [eg. lighting, glasses], Energy harvesting concepts, Energy efficient charging or discharging (Y02T 10/8)
<b>Opslag en afvang*</b>	
CO <sub>2</sub>	Capture by biological separation, chemical separation, absorption, adsorption, membranes or diffusion, rectification and condensation, Subterranean or submarine CO <sub>2</sub> storage (Y02C 10)
Overige broeikasgassen	Capture or disposal of nitrous oxide, methane, perfluorocarbons [PFC], hydrofluorocarbons [HFC] or sulfur hexafluoride [SF <sub>6</sub> ] (Y02C

	20)
<b>Milieumanagement**</b>	
Lucht (tegen gaan verontreiniging)	B01D46, B01D47, B01D49, B01D50, B01D51, B01D53/34-72, B03C3, C10L10/02, C10L10/06, C21B7/22, C21C5/38, F01N3, F01N5, F01N7, F01N9, F23B80, F23C9, F23G7/06, F23J15, F27B1/18.
Water (tegen gaan verontreiniging)	B63J4 C02F C05F7 C09K3/32 E02B15/04-06 E02B15/10 E03B3 E03C1/12 E03F
Afval (ophalen, verwerken, hergebruik)	Heat utilisation in combustion or incineration of waste (Y02E 20/12) Solid waste collection (E01H15 ;B65F), Material recovery, recycling, re-use (A23K1/06-10, A43B1/12, A43B21/14, B03B9/06, B22F8, B29B7/66, B29B17, B30B9/32, B62D67, B65H73, B65D65/46, C03B1/02, C03C6/02, C03C6/08, C04B7/24-30, C04B11/26, C04B18/04-10, C04B33/132, C08J11, C09K11/01, C10M175, C22B7, C22B19/28-30, C22B25/06, D01G11, D21B1/08-10, D21B1/32, D21C5/02, D21H17/01, H01B 15/00, H01J 9/52, H01M 6/52, H01M 10/54), Fertilizers from waste (C05F1, C05F5, C05F7, C05F9, C05F17). Not elsewhere classified: Disposal of solid waste (B09B), Production of liquid hydrocarbon mixtures from rubber or rubber waste (C10G1/10), Medical or veterinary science; Disinfection or sterilising methods specially adapted for refuse (A61L11)
Bodem(sanering)	Reclamation of contaminated soil (B09C)

\* Gebaseerd op CPC-classificatie (Y02):

<http://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc-Y.html>

\*\* Gebaseerd op IPC-classificatie en indeling van de OECD:

[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPEI\(2014\)6/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPEI(2014)6/FINAL&docLanguage=En)

**Tabel B1.2 Classificatie grijze en zwarte technologieën**

Technologietype	IPC- en Y02-codering	
	<i>Grijs*</i>	<i>Zwart*</i>
<b>Energieproductie</b> (als referentiecategorie energieproductie in eco-technologieën)	Combined combustion (Y02E20): Heat utilisation in combustion or incineration of waste (Y02E 20/12), Combined heat and power generation [CHP] (Y02E 20/14), Combined cycle power plant [CCPP] or combined cycle gas turbine [CCGT] (Y02E 20/16), Integrated gasification combined cycle [IGCC] (Y02E 20/18) Technologies for a more efficient combustion or heat usage (Y02E 20/3): Direct CO2 mitigation (Y02E 20/32), Indirect CO2 mitigation (Y02E 20/34), Heat recovery other than air pre-heating (Y02E 20/36)	Production of fuel gases by carburating air or other gases (C10J), Hydraulic engineering (E02B), (Steam) Engine plants (F01K), Gas-turbine plants (F02C), Steam generation (F22), Combustion apparatus; combustion processes (F23), Production or use of heat nt ohterwise provided for (F24J), Furnaces; kilns; retorts (F27), Heat exchange in general (F28)
<b>Transport</b> (als referentiecategorie transport in eco-technologieën)	Road: Internal combustion engine [ICE] based vehicles (Y02T 10/1), Exhaust after-treatment (Y02T 10/2), Engine management systems (Y02T 10/4), Intelligent control systems e.g. conjoint control (Y02T 10/5) Arrangement of fuel-injection apparatus (F02M39), Idling devices for carburettors preventing flow of idling fuel (F02M3/02-05), Apparatus for adding secondary air to fuel-air	Internal-combustion piston engines; combustion engines in general (F02B), Controlling combustion engines (F02D), Cylinders, pistons, or casings for combustion engines; arrangement of sealings in combustion engines (F02F), Supplying combustion engines with combustibles mixture of constituents thereof

	<p>mixture (F02M23), Engine-pertinent apparatus for adding non-fuel substances or small quantities of secondary fuel to combustion-air, main fuel or fuel-air mixture (F02M25), Electrical control of supply of combustible mixture or its constituents (F02D41), Methods of operating engines involving adding non-fuel substances or anti-knock agents to combustion air, fuel, or fuel-air mixture of engines, the substances including non-airborne oxygen (F02B47/06)</p> <p>Water: Measures to reduce greenhouse gas emissions related to the propulsion system (Y02T 70/30), Measures concerning recycling, retrofitting or dismantling of waterborne vessels (Y02T 70/80), Port equipment or systems reducing GHG emissions (Y02T 70/90)</p>	<p>(F02M), Starting of combustion engines (F02N), Ignition (other than compression ignition) for internal-combustion engines (F02P)</p>
--	--	---

\* Gebaseerd op (Dechezleprêtre et al. 2014): <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1300.pdf>

\*\* Gebaseerd op (Dechezleprêtre et al. 2014; Noailly & Shestalova 2013): <http://www.cpb.nl/publicatie/kennispillovers-van-duurzame-energietechnologie%C3%ABn-lessen-op-basis-van-patentverwijzingen>

**Tabel B1.3 Classificatie enabling technologies**

Technologieveld	IPC-codering
Biotechnologie*	<p>White: C12M, C12N, C12P, C12Q, C12S</p> <p>Green: A01H1, A01H4</p> <p>Red: A61K38, A61K39, A61K48, C07G11, C07G13, C07G15, C07K14, C07K16, C07K17, C07K19, C07K4, G01N27/327, G01N33/ 53, G01N33/68, G01N33/74, G01N33/76, G01N33/78, G01N33/88, G01N33/92</p>
ICT**	<p>Telecommunication: G01S, G08C, G09C, H01P, H01Q, H1S5, H03B, H03C, H03D, H03H, H03M, H04B, H04J, H04K, H04L, H04M, H04Q, H01S003/25, H01S003/43, , H01S003/63. H01S003/67, H01S003/85, H01S003/933, H01S003/941, H01S003/103, H01S003/133, H01S003/18, H01S003/19</p> <p>Consumer electronics: G11B, H03F, H03G, H03J, H04H, H04N, H04R, H04S, Computers, office machinery: B07C, B41J, B41K, G02F, G03G, G05F, G06, G07, G09G, G10L, G11C, H03K, H03L, Other: G01B, G01C, G01D, G01F, G01G, G01H, G01J, G01K, G01L, G01M, G01N, G01P, G01R, G01V, G01W, G02B006, G05B, G08G, G09B, H01B11, H01L, H01J011, H01J013, H01J015, H01J017, H01J019, H01J021, H01J023, H01J025, H01J027, H01J029, H01J031, H01J033, H01J040, H01J041, H01J043, H01J045</p>

\* Gebaseerd op RVO:

[http://www.rvo.nl/sites/default/files/octrooiportal/2013/11/Trendanalyse%2520Biotechnologie\\_0.pdf](http://www.rvo.nl/sites/default/files/octrooiportal/2013/11/Trendanalyse%2520Biotechnologie_0.pdf)

\*\* Gebaseerd op OECD:

<http://www.oecd.org/sti/inno/40807441.pdf>



## Bijlage 2 Variabelen opgenomen in regressieanalyse van kans op doorbraakinventie

**Tabel B2.1 Omschrijving variabele naam en wijzen van meten**

Variabele naam	Wijze van meten	Bron
Afhankelijke variabele:		
Aantal ontvangen citaties in latere patentaanvragen binnen 5 jaar na de patentaanvraag	Som van het aantal ontvangen citaties. Berekening doorbraakinventie op basis van deze indicator. Zie hoofdstuk 1 voor wijze berekenen doorbraakinventie.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
Onafhankelijke variabelen:		
# patentbureaus	Het aantal patentbureaus waar een inventie is aangevraagd. Een inventie kan bestaan uit meerdere patenten die bij verschillende patentbureaus, bijvoorbeeld zowel bij Europese patentbureau (EPO) als bij het patentbureau van de Verenigde Staten (USPTO), zijn aangevraagd.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
Toekeningsduur	Het aantal jaren tussen het jaar van registratie van een patent en het jaar van toekenning.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
# citaties eerdere patenten	Het aantal citaties naar eerder aangevraagde patenten.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
# citaties niet-patent literatuur	Het aantal citaties naar wetenschappelijke papers, conferenties, databases (DNA-structuren, chemische componenten etc.) en andere literatuur.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
# technologievelden	Het aantal IPC4-digit codes dat is toegekend aan een patent.	Patent Quality Indicator Database, juli 2014*
# patenten in technologieveld	Het aantal eerder aangevraagde patenten met dezelfde IPC4-digit code vermenigvuldigd met een jaarlijkse factor van 0,2 om rekening te houden met de afnemende waarde van kennis in de loop van de tijd.	OECD REGPAT database, juli 2014. Berekening PBL

\* Zie voor gedetailleerde informatie en formules Squicciarini et al. (2013):

[http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/measuring-patent-quality\\_5k4522wkw1r8-en](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/measuring-patent-quality_5k4522wkw1r8-en)

## Bijlage 3 Meten van de technologische ruimte

Om de mate waarin technologieklassen aan elkaar gerelateerd zijn te bepalen gebruiken we de *associated strength* (Van Eck & Waltman (2009)). Eerst berekenen we het verwachte aantal keren dat technologieklassen, laten we zeggen technologie  $i$  en  $j$ , gecombineerd worden in patenten op basis van het aantal keren dat zij totaal voorkomen in de patentdatabase. Daarna tellen we het werkelijk aantal keren dat de technologiecodes zijn gecombineerd en delen de verwachte waarde door dit getal:

$$(1) \phi_{ij} = \frac{o_{ij}}{e_{ij}}$$

Waarbij  $\phi_{ij}$  staat voor de mate waarin  $i$  en  $j$  aan elkaar zijn gerelateerd;  $o_{ij}$  voor het geobserveerde aantal keren dat  $i$  en  $j$  zijn gecombineerd; en  $e_{ij}$  voor de berekende verwachte waarde dat  $i$  en  $j$  worden gecombineerd. De maat heeft een probabilistische interpretatie:  $o_{ij} / e_{ij} > 1$ , wanneer  $i$  en  $j$  vaker worden gecombineerd dan verwacht op basis van kans en  $o_{ij} / e_{ij} < 1$  wanneer  $i$  en  $j$  minder vaak worden gecombineerd dan verwacht. De verwachte waarde wordt als volgt berekend:

$$(2) e_{ij} = \frac{S_i S_j}{P}$$

Waar  $S$  staat voor het aantal keren dat technology  $i$  en  $j$  samen voorkomen in de REGPAT data gedurende de geobserveerde periode en  $P$  voor het totaal aantal documenten (patenten) in dezelfde periode.

In één formule:

$$(3) \phi_{ij} = \frac{o_{ij} * P}{S_i S_j}$$

Vervolgens zijn betrouwbaarheidsintervallen berekend middels een binomiale test om te bepalen of het aantal combinaties tussen technologieklassen significant hoger of lager is dan dat mag worden verwacht op basis van kans met een p-waarde van 5% (zie Diodato & Weterings 2015). Voor alle waarden waarbij het aantal combinaties niet significant hoger of lager is dan verwacht, is de waarde vervangen door de verwachte waarde, resulterend in een score van 1 voor die combinaties. Alleen de combinaties met een score boven de 1 zijn behouden, oftewel waarbij het aantal combinaties significant hoger is dan verwacht. Tot slot hebben we de *associated strength* getransformeerd naar een getal tussen de 0 en 1 door:  $(\phi_{ij} - 1) / (\phi_{ij} + 1)$

### *Specifiek voor het bepalen van eco-kennisbasis*

Om te bepalen welke IPC-codes op 4 digit niveau aan de basis liggen van eco-technologieën hebben we dezelfde berekening toegepast als bovenstaand met 1 aanvullende voorwaarde: voor het bepalen de kennisbasis (IPC-codes 4-digit) per eco-technologie (Y02-codes 3-digit) hebben we alleen die IPC-codes meegenomen met een aandeel van meer dan 1% in het totale aantal combinaties. Dit komt omdat sommige eco-technologieën een laag aantal patenten kent waardoor een combinatie met een IPC-code van 1 soms al leidt tot de statistische uitkomst dat de codes significant vaker dan verwacht samen voorkomen in een patent. Dus als de zonneceltechnologie-code (Y02E10/5) 1.000 keer samen voorkomt met een bepaald aantal IPC-codes (en voldoet aan bovenstaande statistische voorwaarde van vaker voorkomen dan verwacht), worden alleen die IPC-codes meegenomen met minimaal 10 combinaties ( $(10 / 1.000) * 100 = 1\%$  van het totaal aantal combinaties).

## Bijlage 4 Indeling technologiedomeinen en deelgebieden

Tabel B4.1 Classificatie volgens Schmoch (2008)

Naam domein en en deelgebied	IPC-code
<b>I Electrical engineering</b>	
1 Electrical machinery, apparatus, energy	F21#, H01B, H01C, H01F, H01G, H01H, H01J, H01K, H01M, H01R, H01T, H02#, H05B, H05C, H05F, H99Z
2 Audio-visual technology	G09F, G09G, G11B, H04N-003, H04N-005, H04N-009, H04N-013, H04N-015, H04N-017, H04R, H04S, H05K
3 Telecommunications	G08C, H01P, H01Q, H04B, H04H, H04J, H04K, H04M, H04N-001, H04N-007, H04N-011, H04Q
4 Digital communication	H04L
5 Basic communication processes	H03#
6 Computer technology	(G06# not G06Q), G11C, G10L
7 IT methods for management	G06Q
<b>II Instruments</b>	
9 Optics	G02#, G03B, G03C, G03D, G03F, G03G, G03H, H01S
10 Measurement	G01B, G01C, G01D, G01F, G01G, G01H, G01J, G01K, G01L, G01M, (G01N not G01N-033), G01P, G01R, G01S; G01V, G01W, G04#, G12B, G99Z
11 Analysis of biological materials	G01N-033
12 Control	G05B, G05D, G05F, G07#, G08B, G08G, G09B, G09C, G09D
13 Medical technology	A61B, A61C, A61D, A61F, A61G, A61H, A61J, A61L, A61M, A61N, H05G
<b>III Chemistry</b>	
14 Organic fine chemistry	C07B, C07C, C07D, C07F, C07H, C07J, C40B not A61K, A61K-008, A61Q
15 Biotechnology	C07G, C07K, C12M, C12N, C12P, C12Q, C12R, C12S not A61K
16 Pharmaceuticals	A61K not A61K-008
17 Macromolecular chemistry, polymers	C08B, C08C, C08F, C08G, C08H, C08K, C08L
18 Food chemistry	A01H, A21D, A23B, A23C, A23D, A23F, A23G, A23J, A23K, A23L, C12C, C12F, C12G, C12H, C12J, C13D, C13F, C13J, C13K
19 Basic materials chemistry	A01N, A01P, C05#, C06#, C09B, C09C, C09F, C09G, C09H, C09K, C09D, C09J, C10B, C10C, C10F, C10G, C10H, C10J, C10K, C10L, C10M, C10N, C11B, C11C, C11D, C99Z
20 Materials, metallurgy	C01#, C03C, C04#, C21#, C22#, B22#10
21 Surface technology, coating	B05C, B05D, B32#, C23#, C25#, C30#
22 Micro-structure and nano-technology	B81#, B82#
23 Chemical engineering	B01B, B01D-000#, B01D-01##, B01D-02##, B01D-03##, B01D-041, B01D-043, B01D-057, B01D-059, B01D-06##, B01D-07##, B01F, B01J, B01L, B02C, B03#, B04#, B05B, B06B, B07#, B08#, D06B, D06C, D06L, F25J, F26#, C14C, H05H
24 Environmental technology	A62D, B01D-045, B01D-046, B01D-047, B01D-049, B01D-050, B01D-051, B01D-052, B01D-053, B09#, B65F, C02#, F01N, F23G, F23J, G01T, E01F-008,

	A62C
<b>IV Mechanical engineering</b>	
25 Handling	B25J, B65B, B65C, B65D, B65G, B65H, B66#, B67#
26 Machine tools	B21#, B23#, B24#, B26D, B26F, B27#, B30#, B25B, B25C, B25D, B25F, B25G, B25H, B26B
27 Engines, pumps, turbines	F01B, F01C, F01D, F01K, F01L, F01M, F01P, F02#, F03#, F04#, F23R, G21#, F99Z
28 Textile and paper machines	A41H, A43D, A46D, C14B, D01#, D02#, D03#, D04B, D04C, D04G, D04H, D05#, D06G, D06H, D06J, D06M, D06P, D06Q, D99Z, B31#, D21#, B41#
29 Other special machines	A01B, A01C, A01D, A01F, A01G, A01J, A01K, A01L, A01M, A21B, A21C, A22#, A23N, A23P, B02B, C12L, C13C, C13G, C13H, B28#, B29#, C03B, C08J, B99Z, F41#, F42#
30 Thermal processes and apparatus	F22#, F23B, F23C, F23D, F23H, F23K, F23L, F23M, F23N, F23Q, F24#, F25B, F25C, F27#, F28#
31 Mechanical elements	F15#, F16#, F17#, G05G
32 Transport	B60#, B61#, B62#, B63B, B63C, B63G, B63H, B63J, B64#
<b>V Other fields</b>	
33 Furniture, games	A47#, A63#
34 Other consumer goods	A24#, A41B, A41C, A41D, A41F, A41G, A42#, A43B, A43C, A44#, A45#, A46B, A62B, B42#, B43#, D04D, D07#, G10B, G10C, G10D, G10F, G10G, G10H, G10K, B44#, B68#, D06F, D06N, F25D, A99Z
35 Civil engineering	E02#, E01B, E01C, E01D, E01F-001, E01F-003, E01F-005, E01F-007, E01F-009, E01F-01#, E01H, E03#, E04#, E05#, E06#, E21#, E99Z

## Bijlage 5 Gerelateerdheid kennisbasis eco-technologieën

**Tabel B5.1 Combinaties van technologievelen binnen technologieën**

<b>Technologiegebieden</b>	<b>Aantal</b>	<b>Aandeel tussen deelgebieden</b>	<b>Gerelateerd- heid tussen deelgebieden</b>
<b>Hoofdgroepen</b>			
Alle technologieën	3.198.935	0,55	0,13
Ecotechnologieën	227.703	0,69	0,08
Per eco-technologietype:			
- Groene energie	92.466	0,56	0,05
- Groen transport	17.658	0,57	0,01
- Opslag en afvang	5.012	0,85	0,24
- Milieumanagement	124.004	0,76	0,11
<b>Deelgebieden energie</b>			
Energiebesparing gloei/gasontladingslampen	1.512	0,59	-0,03
High pressure/intensity discharge lamps	785	0,15	-0,12
Halfgeleiderlampen (LED)	1.009	0,48	0,05
Huisverwarming	790	0,20	0,08
Efficiënte verbranding/warmtegebruik gebouwen	1.230	0,47	0,07
Warmte- en koeltechnologie	493	0,34	-0,03
Efficiënte besturingssystemen warmte/koeltechnologie	1.774	0,63	-0,01
Controle- en regeltechnieken	3.774	0,57	0,12
Energiereductie kabelnetwerken	1.666	0,60	0,32
Switched-mode power supplies	2.212	0,31	-0,08
Smart grids in gebouwen	1.571	0,69	-0,10
Waterkracht	1.193	0,33	-0,11
Energie uit de zee	903	0,39	-0,14
Zon thermisch	3.167	0,67	-0,12
Fotovoltaïsch (PV), zonnecellen	14.714	0,67	0,08
Windenergie	5.718	0,44	-0,12
Combineren verbranding, warmte, elektriciteit	3.140	0,69	0,12
Overige warmte- en koeltechnologieën	1.669	0,74	0,15
Supergeleiders	592	0,42	0,03
Biobrandstoffen	4.664	0,67	0,14
Brandstof uit afval	3.180	0,73	0,08
Batterijtechnologie	10.888	0,57	-0,01
Energieopslag en distributie waterstof	5.495	0,86	0,06
Brandstofcellen	17.023	0,72	0,01
<b>Deelgebieden opslag/afvang</b>			
Opslag en afvang van CO2	2.918	0,83	0,25
Opslag/afvang overige broeikasgassen	606	0,82	0,39
<b>Deelgebieden transport</b>			
Efficiëntie interne verbrandingsmotoren	10.381	0,41	0,18
Motormanagementsystemen	6.477	0,48	0,18
Hybride voertuigen	6.125	0,73	0,08

Energieopslag en transmissie elektrisch rijden	8.521	0,63	-0,04
Broeikasgasreductie in transport algemeen	1.367	0,84	-0,08
Reductie luchtweerstand	699	0,50	0,00
Gewichtreductie in luchtvaart	1.849	0,19	0,00
Efficiënte aandrijving luchtvaart	6.238	0,56	0,04
Brandstofcellen als toepassing in transport	1.647	0,75	-0,05
<hr/>			
Referentietechnologieën			
Grijs	34.689	0,58	0,17
Zwart	127.687	0,68	0,06
ICT	790.089	0,65	0,16
Biotech	265.807	0,78	0,32
<hr/>			