Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

TNO 2016 R11105

De circulaire potentie van producten en de impact op leveringszekerheid

Datum	28 november 2016
Auteur(s)	Ton Bastein Elmer Rietveld

Aantal pagina's	46 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken
Projectnaam	De circulaire potentie van producten en de impact op leveringszekerheid
Projectnummer	060.20674

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

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

© 2016 TNO

Voorwoord

De resultaten van dit rapport worden o.a. gebruikt voor de actie uit het Rijksbrede programma Circulaire Economie genaamd “kansrijke business modellen ontwikkelen rond energie-intensieve producten met circulaire potentie en een substantieel export potentieel”. In dit kader zal het ministere van Economische Zaken de komende maanden verkennen wat nodig is om het toepassen van meer-circulaire business modellen te stimuleren bij bedrijven in de maakindustrie die platina groep metalen (PGM) en zeldzame aardmetalen (ZAM) als grondstof gebruiken voor hun producten. Het onderliggende rapport geeft een onderbouwing voor een focus op deze grondstoffen.

Samenvatting

TNO heeft de afgelopen jaren in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken onderzoek gedaan naar materialengebruik in de Nederlandse economie, weergegeven in de rapporten Materialen in de Nederlandse economie -een beoordeling van de kwetsbaarheid- TNO 2014 R10686 en TNO 2015 R11613. In aansluiting daarop onderzocht TNO in 2016 de impact van circulaire handelingsperspectieven per grondstof. Daarvan doet dit rapport verslag.

De conclusie van dit onderzoek luidt: de grondstofbehoefte kan relatief aanzienlijk reduceren voor met name de platina groep metalen en de groep zeldzame aardmetalen als gevolg van het toepassen van meer-circulaire business modellen. Het gaat dan om verlenging van levensduur en intensivering van gebruik. De bijdrage van additionele recycling wordt op korte termijn niet significant geacht.

Voorbeelden van productgroepen met deze metalen als grondstof: vliegtuigonderdelen, lampen, audioapparatuur, medische apparatuur, tablet PC's, laptops en smartphones.

De database van het project Materialen in de Nederlandse Economie[1] biedt de mogelijkheid om de potentie van circulaire businessmodellen in detail te analyseren. De combinatie van de database uit dat project (gericht op het gebruik van 64 abiotische materialen) en expert judgement per productgroep geeft een zogenaamde "vingerafdruk". De vingerafdruk geeft een uniek inzicht in de circulaire potentie van productgroepen[2]. De vingerafdruk bestaat qua data uit: prijs, volume eenheid, de huidige recyclinggraad van de aanwezige 64 grondstoffen in de productgroepen, en de langjarige maximale prijsstijging (MAPII). De vingerafdruk bestaat qua expert judgement uit: technische dynamiek, mogelijkheid gedeeld gebruik (op basis gebruiksfrequentie en repareerbaarheid/modulariteit) en mate van dissipatie tijdens gebruik. Tabel 1s geeft aan hoe de gegevens van de vingerafdruk zijn gebruikt bij het bepalen van de circulaire potentie, door het stellen van drempelwaarden.

[1] https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/12/11/materialen-in-de-nederlandse-economie

[2] op een 6-digit niveau van de internationale goederen naamlijst GN https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/classificaties#id=goederennaamlijst-internationale-handel-0

Tabel 1s: “vingerafdruk”, gedetailleerde analyse van specifieke GS productgroepen op 6-digit niveau (1079 productgroepen in totaal voor deze analyse) en de drempelwaarden die bepalen welke mate van circulaire potentie een productgroep heeft

	‘product life extension’		sharing platforms	‘resource recovery’
	Re-sell	Repair-maintain		
Prijs/artikel (<1euro, <10EUR, <100EUR, <1000EUR, >1000EUR)	> 10 EUR/art	> 100 EUR/art	> 100 EUR/art	Elk product
Technische dynamiek (<2j, 2-5j, 5-10j, >10j)	> 2-5 jaar (afhankelijk van actuele prijs)	> 2-5 jaar (afhankelijk van actuele prijs)	Elk product	Elk product
Mogelijkheid gedeeld gebruik[3] (ja/nee)	n.v.t.	n.v.t.	ja	Elk product
Dissipatief verbruik[4] (ja/nee)	nee	nee	nee	Elk product, behalve dissipatief gebruik
Recycleerbaarheid	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Inschatting voor elk product op basis huidige technologie en typical share

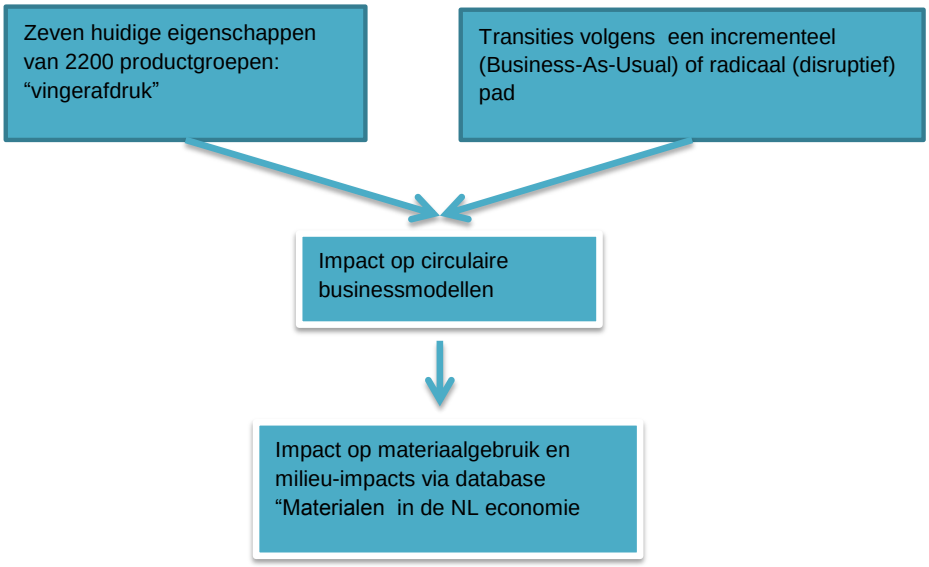
Naast deze vingerafdruk is nog de kwantitatieve schatting nodig van groei volgens een incrementeel/Business-As-Usual pad. Deze groei is gebaseerd op de basisgedachte achter “elasticiteit”: als een product duurder wordt zal het gebruik in bepaalde mate afnemen. Hiertoe is de elasticiteit evenredig aangenomen met de gemeten langjarige prijsschommelingen (MAPII). Bijvoorbeeld, indien een grondstof in 21% duurder[5] is geworden over langere termijn, zal het gebruik met 21% afnemen. Het is belangrijk dat deze prijsschommeling alleen de grondstof betreft en niet de hele productgroep. De effecten van de grondstofschommelingen zijn over het algemeen tussen de 0 en 0,4% voor productgroepen gegeven het lage aandeel van grondstoffen in de kostprijs. Daarbovenop is een algemene trend als gevolge van incrementele innovatie aangenomen, die een totale reductie van

[3] Gedeeld gebruik is alleen mogelijk indien de frequentie van gebruik niet hoog is, en wanneer de behoefte is in te plannen

[4] Producten die ‘op’ raken (voorbeeld : batterijen) a.g.v. gebruik kunnen slechts gerecycled worden; voor producten die dissipatief worden gebruikt doet zelfs die mogelijkheid zich niet voor (voorbeeld: metaalverlies bij schijfremmen)

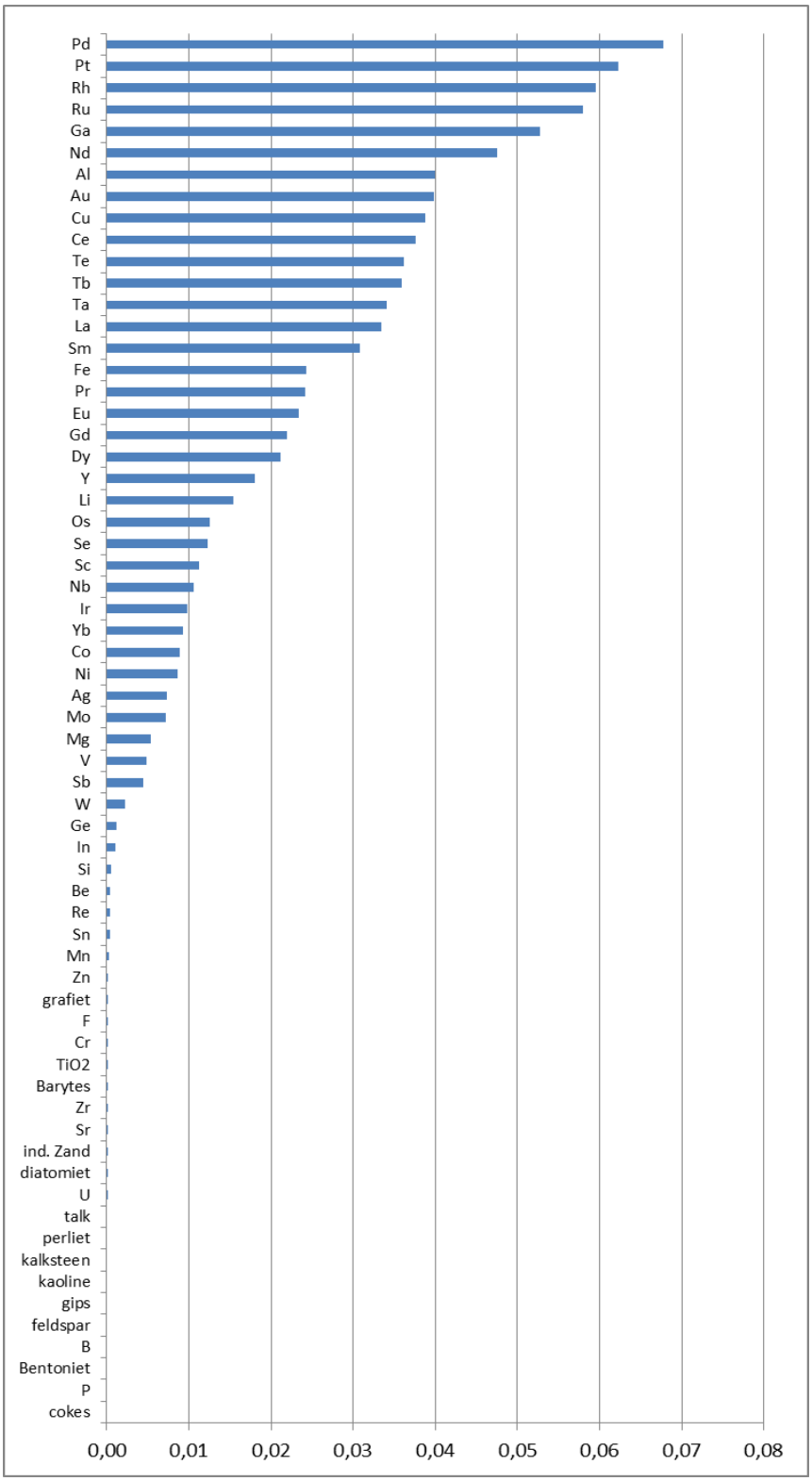
[5] Op basis constante prijzen, dus voor inflatie gecorrigeerd

materiaalgebruik van 2% impliceert. Dit getal is aangenomen op basis van de gemeten relatieve ontkoppeling tussen grondstofgebruik en waarde creatie in de NL economie. Bij wijze van gevoeligheidsanalyse zijn in dit rapport ook de effecten van een meer radicale en disruptieve innovatie meegenomen: 50% reductie van materiaalgebruik. Figuur 1s schetst de samenhang tussen de vingerafdruk, de incrementele of radicale transities, de impacts op monetaire waarde en de impacts op materiaalgebruik en bijbehorende milieu-impacts.



Figuur 1s. schematisch overzicht van de gevolgde methodiek

Omdat uit eerdere rapporten per productgroep een ‘typical share’ van grondstoffen per product is geschat, kan de impact van circulaire handelingsperspectieven per grondstof worden geschat. Het resultaat volgens het incrementele scenario is gegeven in figuur 2s.



Figuur 2s. Reductie van de materiaalbehoefte op basis van incrementele innovatie

Op basis van deze schatting kan de grondstofbehoefte van m.n. de platina groep metalen (PGM) en de groep zeldzame aardmetalen (ZAM) reduceren als gevolg van de introductie van meer circulaire businessmodellen.

De onderstaande tabellen 3s en 4s geven een rangschikking van belangrijke productgroepen en grondstoffen op basis van hun circulaire potentie.

CN code	CN label	CO_2 eq	Export	Risico
847130	DATA-PROCESSING MACHINES, AUTOMATIC, DIGITAL, PORTABLE, WEIGHING <= 10 KG, CONSISTING OF AT LEAST A CENTRAL PROCESSING UNIT, A KEYBOARD AND A DISPLAY (EXCL. PERIPHERAL UNITS)	9.6	538.2	0.42
392490	Other	9.7	190.6	0.40
842230	MACHINERY FOR FILLING, CLOSING, SEALING, CAPSULING OR LABELLING BOTTLES, CANS, BOXES, BAGS OR OTHER CONTAINERS; MACHINERY FOR AERATING BEVERAGES	10.0	13764.2	0.99
860691	RAILWAY OR TRAMWAY GOODS VANS AND WAGONS, COVERED AND CLOSED, SPECIALLY DESIGNED FOR THE TRANSPORT OF HIGHLY RADIOACTIVE MATERIALS [EURATOM] (EXCL. TANK WAGONS AND THE LIKE AND INSULATED, REFRIGERATED OR SELF-DISCHARGING GOODS VANS AND WAGONS)	10.0	989.6	0.81
854810	ELECTRICAL PARTS OF MACHINERY OR APPARATUS NOT SPECIFIED OR INCLUDED ELSEWHERE IN THIS CHAPTER	10.6	38835.6	0.42
902820	LIQUID METERS, INCL. CALIBRATING METERS THEREFOR	10.7	233077.1	0.95
851840	AUDIO-FREQUENCY ELECTRIC AMPLIFIERS, FOR CIVIL AIRCRAFT	10.7	3041.0	0.61
847910	MACHINERY FOR PUBLIC WORKS, BUILDING OR THE LIKE, N.E.S.	10.8	256.6	0.66
847920	MACHINERY FOR THE EXTRACTION OR PREPARATION OF ANIMAL OR FIXED VEGETABLE FATS OR OILS (OTHER THAN CENTRIFUGES, FILTERS AND HEATING APPLIANCES)	10.8	8364.1	0.41
847930	PRESSES FOR THE MANUFACTURE OF PARTICLE BOARD OR FIBRE BUILDING BOARD OF WOOD OR OTHER LIGNEOUS MATERIALS OR FOR TREATING WOOD OR CORK (EXCL. MACHINE TOOLS OF HEADING 8465)	10.8	122.7	0.42
902140	HEARING AIDS (EXCL. PARTS AND ACCESSORIES)	10.8	852.6	0.44
900890	PHOTOCOPYING APPARATUS, INCORPORATING AN OPTICAL SYSTEM (EXCL. ELECTROSTATIC)	10.8	2115.1	0.62
900911	ELECTROSTATIC PHOTOCOPYING APPARATUS, OPERATING BY REPRODUCING THE ORIGINAL IMAGE DIRECTLY ONTO THE COPY [DIRECT PROCESS]	10.8	245.7	0.74
900912	ELECTROSTATIC PHOTOCOPYING APPARATUS, OPERATING BY REPRODUCING THE ORIGINAL IMAGE VIA AN INTERMEDIATE ONTO THE COPY [INDIRECT PROCESS]	10.8	181258.7	0.36
900922	PHOTOCOPYING APPARATUS OF THE CONTACT TYPE	10.8	1.2	0.74
870290	MOTOR VEHICLES FOR THE TRANSPORT OF >= 10 PERSONS, INCL. DRIVER, WITH SPARK-IGNITION INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE, OF A CYLINDER CAPACITY OF > 2.800 CM^3, NEW	10.8	526.9	0.74
900490	SPECTACLES, GOGGLES AND THE LIKE, CORRECTIVE, PROTECTIVE OR OTHER (EXCL. SPECTACLES FOR TESTING EYESIGHT, SUNGLASSES, CONTACT LENSES, SPECTACLE LENSES AND FRAMES AND MOUNTINGS FOR SPECTACLES)	10.9	1821.4	0.74
730820	TOWERS AND LATTICE MASTS, OF IRON OR STEEL	11.0	6.8	0.74
851830	HEADPHONES AND EARPHONES, WHETHER OR NOT COMBINED WITH MICROPHONE, AND SETS CONSISTING OF A MICROPHONE AND ONE OR MORE LOUDSPEAKERS, FOR CIVIL AIRCRAFT (EXCL. HELMETS WITH BUILT-IN HEADPHONES, WHETHER OR NOT INCORPORATING A MICROPHONE)	11.0	3.8	0.32
851712	VIDEOPHONES/SMARTPHONES	11.0	1099.6	0.45
851718	VIDEOPHONES/SMARTPHONES	11.0	284300.4	0.45

Figuur 3s. Productgroepen met een hoge CO2 impact (kg CO2 equivalent per kg product), export waarde (000 EUR)en/of leveringszekerheid risico (op korte en lange termijn, gegeven afhankelijkheden van PGM en/of zeldzame aarden voor productgroep.

groep	Grondstof	CO_2 eq	TW	Risico
PGM	Palladium	7439.1	6739.4	0.15
PGM	Platina	28960.2	6986.0	0.26
PGM	Rhodium	29683.3	6997.1	0.26
PGM	Ruthenium	29683.3	4808.3	0.26
	Gallium	217.0	5248.2	0.96
ZAM	Neodymium	36.9	11779.7	1.13
	Aluminium	19.9	30279.0	0.14
	Goud	17116.6	16431.0	0.02
	Koper	5.4	31112.7	0.03
ZAM	Cerium	7.3	11862.7	1.13

Figuur 4s. Grondstoffen gesorteerd op potentie circulaire economie, met vermelding CO2 impact (kg CO2 equivalent per kg product), Toegevoegde Waarde (mlj. EUR)en/of leveringszekerheid risico op korte termijn.

Inhoudsopgave

Voorwoord **2**

Samenvatting **3**

1 Leveringszekerheid van grondstoffen is gebaat bij een circulaire economie 10

2 Introductie: Circulaire Economie **12**

3 Welke producten komen in aanmerking voor een meer circulair handelingsperspectief?: methode-ontwikkeling **14**

3.1 Producteigenschappen als basis circulair handelingsperspectief 16

3.2 'Fingerprints' van producten om circulair potentieel te bepalen: een voorstel voor een methode 19

3.3 Inschatting van de impact van innovaties op circulaire businessmodellen 23

3.4 Overzicht van de methodiek om de impact op circulaire business modellen te toetsen 31

4 Resultaten: de invloed van 'circulaire' innovaties op het gebruik van abiotische grondstoffen **33**

4.1 Invloed van circulair potentieel op de grondstofbehoefte van Nederland 33

4.2 Invloed van circulair potentieel op CO_2 emissie 36

A. Uit: Quick Scan t.b.v. de grondstoffennotitie **39**

B. Recycling rates (bron: MIDNE) **46**

1 Leveringszekerheid van grondstoffen is gebaat bij een circulaire economie

De leveringszekerheid van tal van grondstoffen (en halffabricaten) staat op de agenda van de Europese en (o.a.) Nederlandse overheid. Leveringsonderbrekingen kunnen een significant effect hebben op de nationale economieën van Europa en de grote import-afhankelijkheid van Europa heeft tot het besef geleid dat de Europese economie een concreet risico loopt. In Europa heeft dat geleid tot de formulering van een grondstoffenbeleid, tot het instellen van een European Innovation Partnership (EIP) on Raw Materials, het stimuleren van innovatie en onderzoek (o.a. door het opzetten van het EIT Raw Materials) en het uitbrengen van een regelmatig ge-update versie van de voor de EU28 meest kritieke grondstoffen. Het Europees beleid is gestoeld op drie pijlers:

1) Stimuleren van een vrije en transparante wereldhandel;
2) Stimuleren van Europese mijnbouw;
3) Het verminderen van de grondstofafhankelijkheid door het streven naar meer resource-efficiency en het ontwikkelen van substituten die gebruik maken van zo min mogelijk kritieke materialen.

In Nederland heeft (o.a.) het Ministerie van Economische Zaken in de afgelopen jaren verschillende initiatieven genomen, die hebben geleid tot het agenderen van de problematiek van leveringszekerheid. De Grondstoffennotitie[6] uit 2011 is de eerste poging om een adequaat Nederlands beleid te formuleren.
In de ontwikkeling van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie[7] zal ook aandacht worden besteed aan de wijze waarop een meer circulaire economie een bijdrage kan leveren aan een verminderde afhankelijkheid van import van grondstoffen. Het verband tussen de circulaire economie en leveringszekerheid zal in volgende hoofdstukken in meer detail worden toegelicht.
Tevens heeft het Ministerie van Economische Zaken studies geïnitieerd die de risico's van leveringsonzekerheid voor tal van abiotische materialen voor de Nederlandse economie in kaart brengen. De meest recente studie getiteld "Materialen in de Nederlandse Economie"[8] (NB: in dit document wordt naar deze studie gerefereerd als MIDNE) heeft o.a. een grote hoeveelheid informatie opgeleverd omtrent toepassing van grondstoffen in tal van applicaties en een methodiek voorgesteld om de risico's van deze grondstoffen (niet alleen op het gebeid van leveringszekerheid, maar ook m.b.t. de impact op het bedrijfsresultaat en de bedrijfsreputatie) te prioriteren. De data die zijn verzameld in het kader van dat project zullen ter beschikking worden gesteld aan het Nederlandse bedrijfsleven en aan Rijksinkopers, met de bedoeling dat zij inzicht krijgen in de eigen kwetsbaarheid en een eerste handreiking krijgen om de kwetsbaarheid te verminderen. Veel acties die genomen kunnen worden op het niveau van (strategisch) inkoop hebben te maken met het verkrijgen van een beter beeld van

[6] https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2011/07/15/grondstoffennotitie
[7] Dit programma zal in het najaar van 2016 worden gepubliceerd; de wijze waarop leveringszekerheid van grondstoffen en de link met circulaire economie vorm krijgt in dit programma is ten tijde van schrijven van dit document nog niet definitief bekend.
[8] Ton Bastein, Elmer Rietveld, Materialen in de Nederlandse economie - Een kwetsbaarheidsanalyse- , TNO 2015 R11613

en een betere grip op de gehele leveringsketen (kennis van de keten, afsluiten andere contracten, zoeken meer suppliers, aanleggen van een eigen voorraad, etc.). Daarnaast worden gebruikers gewezen op acties van meer strategische aard, zoals:

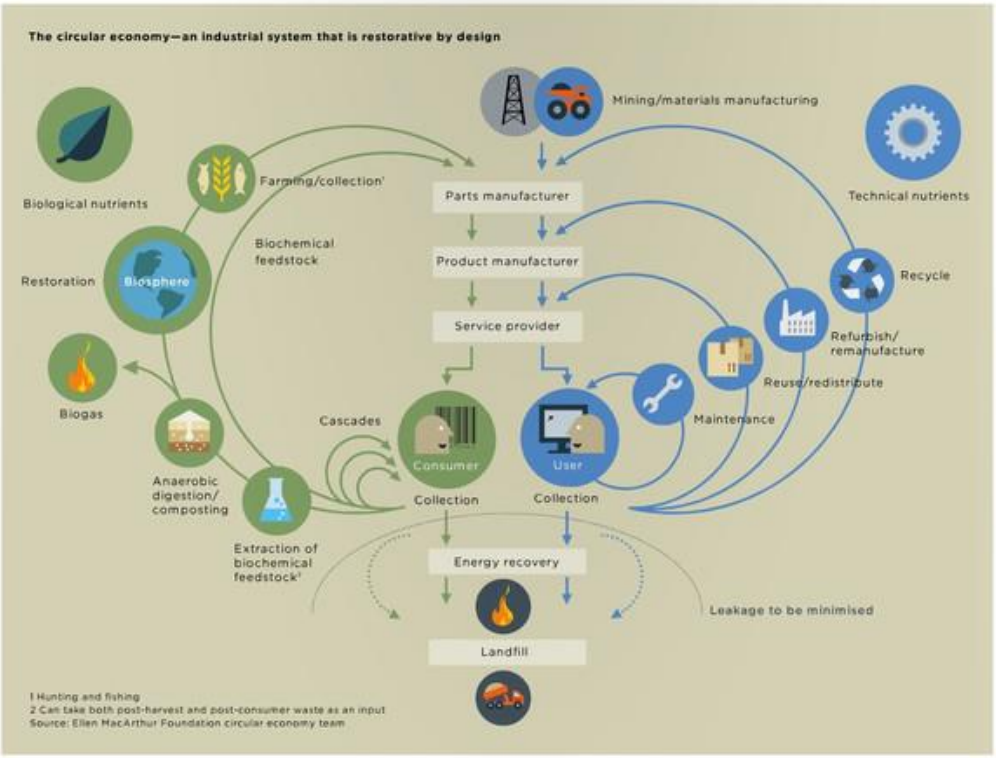
1) Efficiëntere processen voeren waarbij (netto) minder inzet van materialen nodig is, hetzij door procesverbeteringen, hetzij door het inzetten van (gerecycled) productie-afval;
2) Ontwikkelen van substituten met een robuustere supply-chain;
3) Het inzetten op een transitie naar een meer circulaire economie, oftewel: naar het verlengen van de economische levensduur van goederen en het intensiever gebruiken van goederen (bijvoorbeeld door gedeeld gebruik van assets), waarbij mogelijk de relatie tussen producent en consument van deze goederen aan verandering onderhevig is.

Kortom: zowel op het gebied van het Nederlands beleid, als op het gebied van het handelingsperspectief voor individuele ondernemers, speelt de verdere introductie van de circulaire economie een belangrijke rol. Waar het in het rapport “Kansen voor de circulaire economie in Nederland”[9] voornamelijk ging om de vertaling van circulaire activiteiten naar waarde in de economie, legt deze studie de nadruk op de mogelijk positieve impact van een meer circulaire economie op het verminderen van de import-afhankelijkheid van producten en grondstoffen en daarmee op het verlagen van de kwetsbaarheid van de Nederlandse economie.

[9] Ton Bastein, Elsbeth Roelofs, Elmer Rietveld, Alwin Hoogendoorn, Kansen voor de circulaire economie in Nederland , TNO 2013 R10864

2 Introductie: Circulaire Economie

De Ellen MacArthur Foundation heeft in haar rapport ‘Towards the Circular Economy’ van 2013 een inspirerend en aansprekend beeld van een circulaire economie gepresenteerd. Een circulaire economie is een economisch en industrieel systeem dat gebaseerd is op het hergebruik van producten en grondstoffen en het herstellend vermogen van natuurlijke hulpbronnen. Dit systeem probeert waarde-vernietiging in het totale systeem te minimaliseren en waardecreatie in elke schakel in het systeem te maximaliseren. Een meer circulaire economie draagt daarmee bij aan het verkleinen van de ecologische voetafdruk.
De Ellen MacArthur Foundation maakt onderscheid tussen biotische en technische nutriënten (figuur 1), omdat waardecreatie voor deze beide stromen op verschillende wijze vorm gegeven kan worden.



Figuur 1. Het concept van een circulaire economie (bron: Ellen MacArthur Foundation, 2013)

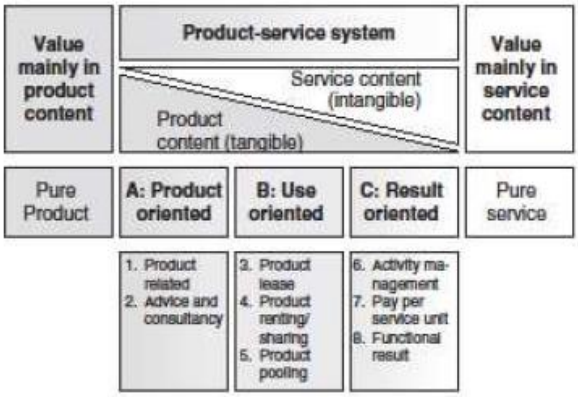
In de huidige studie richten we ons uitsluitend op de ketens die betrekking hebben op de technische nutriënten, en dan met name op de abiotische materialen die onderwerp waren van de studie “Materialen in de Nederlandse Economie”.

Het waardebehoud in een circulaire economie is gebaseerd op het verhogen van de economische levensduur van goederen, het intensiveren van het gebruik, en –uiteindelijk- het op een optimale wijze gebruik maken van de in een product vervatte grondstoffen met recycling. Het verbeteren van deze levensduur begint vanzelfsprekend bij een optimaal ontwerpproces: als daar rekening wordt gehouden met repareerbaarheid en onderhoud, met remanufacturing (het inzetten van nieuwe onderdelen t.b.v. een langere levensduur of een noodzakelijke update) of met

recycleerbaarheid (door gebruik te maken van recycleerbare materialen of verbindingstechnologie die separatie mogelijk maakt) is waardebehoud in de hele keten eenvoudiger te realiseren. Uitdaging daarbij is vaak wel dat de inspanningen aan de voorkant (het ontwerpproces) niet ten goede komen van de partijen die de vruchten ervan plukken (zoals consumenten, onderhoudsbedrijven of recyclers).

De overgang van een businessmodel waarin verkoop van goederen centraal staat, naar een businessmodel waarbij een sterke betrokkenheid van een leverancier of producent bij het product gedurende de nuttige levensduur centraal staat wordt in veel publicaties als een bijna natuurlijk onderdeel van de transitie naar een circulaire economie gezien. Dergelijke businessmodellen worden *Product-Service-Systems* (PSS) genoemd. In de publicatie "*Eight types of product-service system: eight ways to sustainability*? " geeft Arnold Tukker [10] een classificatie van deze PSS. In deze classificatie wordt gesproken van *product, use and result oriented PSS* (figuur 2).

De product-georiënteerde PSS dragen bij aan een verlenging van levensduur. Intensivering van deze businessmodellen zouden op bedrijfsniveau en op macro-niveau kunnen leiden tot een verlaagde kwetsbaarheid voor leveringsonderbrekingen.



Figuur 2. De essentie van de Product Service Systemen, business modellen die in het Ellen macArthur raamwerk uit 2012 nog niet een expliciete naam kregen. Thans staan ze bekend als "gedeeld gebruik".

Dit geldt ook en wellicht nog meer voor businessmodellen waarbij de producten in eigendom van de producent (of een tussenpartij) worden gehouden (in figuur 2: result oriented PSS), zoals bij professionele lease of pooling-systemen, of bij het in de markt zetten van pay-per-use concepten. In elk van deze gevallen blijven de assets op de balans van de producent of tussenhandel en kan dus gebruik worden gemaakt van de in een product vervatte componenten en materialen, bijvoorbeeld t.b.v. een hergebruik in nieuwe of 'refurbished' tweedehands-goederen. Naast een grotere leveringsonafhankelijkheid kan een dergelijk model ook leiden tot grotere inkomsten op termijn of een nauwere betrokkenheid van klant bij producent. Aan de keerzijde kunnen echter transactiekosten een enorme vlucht nemen, kan de overgang geheel nieuwe competenties vergen, kan kannibalisering van de markt plaatsvinden en kan de (voor)financiering obstakels kennen[11].

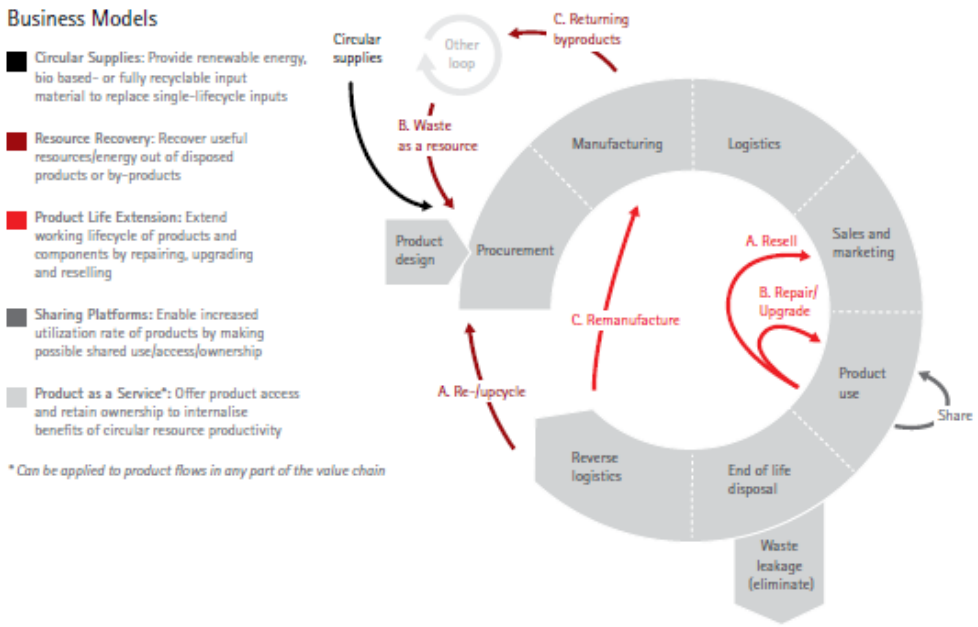
---

[10] Arnold Tukker, Bus. Strat. Env. 13, 246-260 (2004)
[11] Zie het rapport Money Makes the World Go Round, Working Group Finance, Sustainable Finance Lab, (draft) december 2015

3 Welke producten komen in aanmerking voor een meer circulair handelingsperspectief?: methode-ontwikkeling

We hebben vastgesteld dat de handelingsperspectieven die bijdragen aan een meer circulaire economie kunnen bijdragen aan een grotere leveringszekerheid. Die verschillende handelingsperspectieven zijn uitgebreid behandeld in de rapporten van de Ellen MacArthur Foundation of recenter nog in de studie van Accenture[12].

Figure 5: The five circular business models



Figuur 3. Het overzicht van vijf businessmodellen van Accenture.

[12] Circular Advantage - Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth, Peter Lacy, Justin Keeble, Robert McNamara – Accenture, 2014

Figuur 4. Het ReSOLVE framework: zes actiegebieden voor bedrijven die een circulaire transitie willen maken (bron: Ellen MacArthur Foundation)[13]

In deze studie zullen we een inschatting maken hoe externe veranderingen (technologie, beleid, prijseffecten) invloed zouden kunnen hebben op het veranderen van consumptiepatronen en versterken van bepaalde circulaire businessmodellen. We zullen daarbij met name de invloed op consumptie inschatten van een versterkte ‘resource recovery’, ‘product life extension’, en (versterking van)‘sharing platforms’.

Om te begrijpen wat de circulaire economie voor individuele bedrijven of -op macro-niveau- voor de leveringszekerheid van de Nederlandse economie kan betekenen, moeten we twee vragen beantwoorden:

- Welke producteigenschappen zorgen ervoor dat (minstens) één van de hiervoor besproken handelingsperspectieven van toepassing is of zou kunnen zijn ?

[13] DELIVERING THE CIRCULAR ECONOMY A TOOLKIT FOR POLICYMAKERS, The Ellen MacArthur Foundation, juni 2015

- Welke veranderingen (technologisch, prijs- of beleidsmatig van aard) zouden kunnen leiden tot het (nog nadrukkelijker) toepassen van deze handelingsperspectieven en zouden daarmee een eventuele verlaging van de kwetsbaarheid veroorzaken?

Als die vragen zijn beantwoord kan:
- Op bedrijfsniveau worden bekeken of circulaire handelingsperspectieven een oplossing kunnen bieden voor een te groot bevonden leveringsrisico;
- Op nationaal niveau geanalyseerd worden voor welke sectoren en productgroepen, en voor welke materialen het risico op nationale schaal verminderd zou kunnen worden. De databases die in de studie Materialen in de Nederlandse Economie zijn opgebouwd geven immers de relatie tussen grondstoffen, gebruik in producten en gebruik van die producten in industriële sectoren.

Het is dit tweede niveau dat in detail wordt uitgewerkt in deze studie. Het eerste niveau (impact op bedrijfsniveau) zal worden gebruikt in de verdere ontwikkeling van de te ontwikkelen grondstoffenscanner.

Verschillende publicaties hebben een poging ondernomen bovenstaande vragen te adresseren. We behandelen hier de aanpak gekozen door de Elllen MacArthur Foundation (EMF), door The Green Alliance (UK) en door TNO (in het rapport Kansen voor een Circulaire Economie in Nederland), waarna een set criteria zal worden voorgesteld die leiden tot een inschatting van toepasbaarheid van circulair handelingsperspectief.

3.1 Producteigenschappen als basis circulair handelingsperspectief

De Ellen MacArthur Foundation (EMF) publiceerde in 2013 haar eerste rapport omtrent de circulaire economie: TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY - Economic and business rationale for an accelerated transition. De EMF stelt daarin dat het hart van de kansen die zij signaleren ligt bij zogenaamde "**Medium-lived complex products"** . Het gaat dan om producten die " *are in use for a short enough timeframe that they are subject to frequent technological innovation, but long enough that they are not subject to one-off consumption. Most products in these sectors contain multiple parts and therefore are suitable for disassembly or refurbishment. Finally, this portion of the economy is quite large (…) The eight sectors (…)are as follows: machinery and equipment; office machinery and computers; electrical machinery and apparatus; radio, television, and communication equipment and apparatus; medical, precision and optical instruments, watches and clocks; motor vehicles, trailers, and semi-trailers; other transport equipment; and furniture and other manufactured goods."*

Aan de hand van enkele uitgewerkte cases (mobiele telefoon, bestelauto's, wasmachines) wordt in deze EMF-studie vervolgens een analyse gemaakt van de potentie van de besparingen als gevolg van een circulaire economie. De lessen uit deze case studies worden vervolgens geprojecteerd op tal van andere producten, en de resultaten van deze lessen geplot in een matrix die enerzijds aangeeft wat het totale circulaire potentieel is uitgezet tegen de mate waarin dat potentieel nu al 'geoogst' is.

De belangrijkste producteigenschappen die de EMF identificeert zijn:

- Geschiktheid van ontwerp:
  - Geen gebruik toxische materialen;
  - Eenvoud van ontmanteling;
  - Modulaire opbouw.
- Reeds ontwikkelde hergebruik-infrastructuur
  - Efficiënte collectie en transport;
  - Bestaande behandelingsinfrastructuur.
- Producten waarvoor circulaire businesspraktijk al is ingevoerd en omarmd door klanten.
- Geschikt voor transitie van eigendoms- naar gebruiksrelatie, bijvoorbeeld op basis van gebruiksfrequentie vs. TCO (*total cost of ownership*).

De resultaten van deze overwegingen door de EMF zijn weergegeven in figuur 5. Producten in het kwadrant linksboven representeren volgens de EMF de meeste potentie: er is potentie die op dit moment nog niet volledig is geoogst. Daarbij horen verpakkingsmateriaal, ziekenhuisbedden, bouw-equipment, zware machines en luchtvaart (alhoewel de laatste drie categorieën al ontwikkelde business modellen lijken te hebben ontwikkeld).

Figuur 5. Kansrijke producten en sectoren voor een circulair perspectief (bron: EMF)

Opmerkelijk is dat –in weerwil van deze vroege analyse- de projecten gestart door de EMF met haar partners (groten)deels gebaseerd zijn op intensiever hergebruik van plastics en papier, twee materiaalstormen die juist niet tot deze kansrijke kwadranten kunnen worden gerekend. Het tekent de weerbarstigheid om transities met complexere producten met complexere waardeketens in te zetten.

In het rapport “Resource resilient UK - report from the Circular Economy Task Force”[14] wordt een systematiek geschetst die inzicht geeft in de eventuele barrières voor het introduceren van meer circulaire systemen (figuur 6). Producten die gekarakteriseerd worden onder “Circular Use Likely” kennen een lage barriere om

[14] Dustin Benton and Jonny Hazell, Published by Green Alliance, July 2013

in de markt gezet te worden via een circulaire businessmodel. Circulaire businessmodellen voor producten gekenschetst door “Circular Use Unlikely” zullen overheidsinterventies vergen om meer levensvatbaar te kunnen zijn.

Characteristic	Circular use likely	⟷	Circular use unlikely
Value: products or materials with high value or high end-of-life harm justify investment in recovery	high	medium	low
Control, collection and communication: the ability to control or reliably collect a known quantity of materials or products enables circular models	single owner	two owners	many owners
Ease of recycling, remanufacturing and reuse: circular systems are more likely where the physical characteristics of products or materials make them easy to transform	easy	moderate	difficult
Pace of change: If product or material function changes too rapidly, investment in recovery may not occur. This is especially an issue where material substitution, technological development, or fashion changes demand rapidly	slow	medium	fast
Concentration / contamination: Where materials are dissipated or contaminated, recovery is either more expensive or impossible	pure / concentrated	moderate	contaminated / dispersed

Figuur 6. Op basis van het werk van de “Resource resilient UK - report from the Circular Economy Task Force”, vijf eigenschappen van productgroepen die de circulaire potentie van die productgroepen beschrijven

Producten waar circulair gebruik waarschijnlijk is, op basis van de huidige eigenschappen, kenmerken zich door een hoge waarde, eenvoud om gebruikers aan te spreken of te kunnen volgen, het gemak waarmee hergebruik of recycling ingezet kan worden, een traag tempo van technologische (of modieuze) verandering en een hoge concentratiegraad van de reststromen. Voorbeelden die in het rapport conform dit stramien worden uitgewerkt zijn lease van auto’s (geen obstakels, de markt pakte het op), auto-recycling, mobiele telefoon-hergebruik (in toenemende mate door markt opgepakt) versus remanufacturing van mobiele telefoons (zeer complex door technologische verandering van componenten en technologie van recycling).

Het European Remanufacturing Network (ERN)[15] heeft in November 2015 de Remanufacturing Market Study gepubliceerd. Remanufacturing wordt in dit rapport gedefinieerd als “*Returning a product to at least its original performance with a warranty that is equivalent or better than that of the newly manufactured product”*. Hierin wordt zowel een beeld gegeven van de huidige staat van remanufacturing als de potentie voor groei. De belangrijkste sectoren zijn luchtvaart, automotive, ‘heavy duty off road’ (HDOR), elektronische en elektrische apparatuur (EEE), meubilair, medische instrumentatie. Voor de Benelux zijn de belangrijkste sectoren Lucht- en ruimtevaart en automotive, gevolgd door EEE en HDOR. Deze sectoren worden gekarakteriseerd door de productie van kapitaalintensieve, robuuste producten met een lange levenscyclus. De huidige werkgelegenheid in Europa rond remanufacturing is ongeveer 190.000, met een totale omzet van zo’n 30 miljard euro. De in dat rapport geschetste scenario’s geven aan dat een groeimogelijk zou

[15] ERN is een project dat ondersteund wordt door Horizon2020; projectpartners zijn The Circle Economy, TU Delft, VTT, Grenoble INP, Linköping Universiteit, Fraunhofer, University of Strathclyde, CRR, Oakdene Hollins

zijn met 34.000 tot 65.000 banen in Europa. De basis voor deze groei is organische groei (waardering en begrip voor intrinsieke waarde van remanufacturing) aangevuld met een positieve beleidswaardering.

In het TNO-rapport “Kansen voor de circulaire economie in Nederland” werd voor tal van producten uit de metal-elektro-sectoren ingeschat in hoeverre op dit moment reparatie, onderhoud, refurbishing of recycling plaatsvindt. Uitgangspunt in de aanpak was dat de mate van bestaande circulariteit (en de potentie van meer circulariteit) afhangt van specifieke productkarakteristieken. Ten behoeve van de analyse werden zeventien productgroepen gedefinieerd uit de metalelektro-sector, die op bepaalde kenmerken overeenkomsten vertonen (de kenmerken prijs, verwachte levensduur, aantal schakels in waardeketen, complexiteit, dynamiek – modegevoeligheid of technologische dynamiek- en bestaand gebruik versus eigendom werden meegenomen in deze categorisatie). Vervolgens werd aan de hand van statistische of empirische gegevens een inschatting gemaakt van de verdeling van deze producten langs de zogenaamde feedback-loops reparatie, hergebruik, refurbishment en recycling.

De verdeling per productcategorie over de verschillende feedback loops is vanzelfsprekend sterk wisselend en afhankelijk van de eigenschappen van de productgroep. Zo werd geconstateerd dat lampen vrijwel uitsluitend in de recycling-loop terechtkomen, aangezien zij in het algemeen slechts worden aangeboden als ze stuk zijn. Huishoudelijke computers en soortgelijke apparaten vertegenwoordigen in gebruik nog zoveel waarde dat een redelijke hoeveelheid bij gebreken mankementen wordt aangeboden ter reparatie. De kwantitatieve analyse gaf aan dat de jaarlijkse stroom aan producten die wordt gerepareerd en hergebruikt ongeveer 16% is van wat er aan nieuwe producten Nederland binnenkomt. Het aantal producten dat uit deze sector aan recycling wordt aangeboden is ongeveer 81%. Daarmee komt het beeld naar voren komt dat in Nederland –in ieder geval voor de producten uit deze sector- een zekere mate van circulariteit gemeengoed is.

3.2 ‘Fingerprints’ van producten om circulair potentieel te bepalen: een voorstel voor een methode

Op basis van de bovenstaande literatuur en argumenten gaan wij er in deze studie van uit dat elk product gekarakteriseerd kan worden door een vingerafdruk (‘fingerprint’) die een indicatie is voor de inschatting van de mate waarin technische, beleids- of prijsveranderingen een impact op de intensivering van circulariteit kunnen hebben. Hierbij gebruiken we de volgende product-aspecten:

- Prijs per artikel: een hogere prijs per artikel versterkt incentives om levensduur te verlengen en over te gaan tot vormen van gedeeld gebruik;
- Technische dynamiek: als er snel significante technische veranderingen plaatsvinden beïnvloeden deze de economische levensduur en daarmee (in negatieve zin) de businessmodellen die verlenging van levensduur nastreven. Indien kosten van een dergelijk product hoog genoeg zijn, kan een kort-cyclisch product wel aanleiding geven tot businessmodellen waarin gebruik en niet eigendom centraal staan.
- Mogelijkheid tot gedeeld en/of verlengd gebruik; dit wordt gekarakteriseerd door:

  - Investeringskosten/TCO
  - In te plannen behoefte
  - Mobiel nutsgebruik mogelijk
  - Modulariteit
- Dissipatief en/of gebruikskarakter: producten die verbruikt worden kunnen hooguit tot recycling leiden. Dissipatieve producten leiden (zelfs) niet tot de mogelijkheid om gerecycled te worden.
- Recycleerbaarheid: omdat we hier alleen final goods behandelen kunnen alle goederen in principe via EoL-recycling behandeld worden. Recyclingsmogelijkheden worden gekarakteriseerd door:
  - De verdunningsgraad van de verschillende materialen in het product; op basis van de bekende samenstellingsgegevens van elk van de hier beschouwde producten (‘typical shares’) is die verdunningsgraad per materiaal bekend.
  - De mate waarin infrastructuur en technologie t.b.v. recycling van de verschillende materialen al bestaat of ontwikkeld zou kunnen worden (op basis van expert-opinies).
  - Deze beide aspecten hebben invloed op zowel de huidige recyclinggraad als op de eventuele te verwachten toename.

In de analyse wordt er verder van uitgegaan dat circulaire handelingsperspectieven alleen betrekking hebben op ‘eindproducten’ en niet op intermediairen en grondstoffen (‘*raw materials*’). Dit betekent dat ongeveer de helft van de productgroepen uit de in de MIDNE-studie ontwikkelde database wordt geëvalueerd op circulair perspectief.

Op basis van de in paragraaf 3.1 behandelde rapporten kan een vingerafdruk van een product worden vastgesteld, die richtinggevend is voor de mate waarin een circulair handelingsperspectief relevant kan worden geacht voor dit product. Een overzicht van de elementen van deze vingerafdruk is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. De vijf gekozen producteigenschappen en hun kwantitatieve grenzen voor toedelen normatieve score ("vingerafdruk")

	'product life extension'		sharing platforms	'resource recovery'
	Re-sell	Repair-maintain		
Prijs/artikel (<1EUR, <10EUR, <100EUR, <1000EUR, >1000EUR)	> 10 EUR/art	> 100 EUR/art	> 100 EUR/art	Elk product, afhankelijk van de samenstelling
Technische dynamiek (<2j, 2-5j, 5-10j, >10j)	> 2-5 jaar (afhankelijk van actuele prijs)	> 2-5 jaar (afhankelijk van actuele prijs)	Elk product	
Mogelijkheid gedeeld gebruik	n.v.t.	n.v.t.	Lage gebruiks-frequentie; In te plannen behoefte	
Dissipatief verbruik[16] (ja/nee)	nee	nee	nee	Elk product, behalve dissipatief gebruik
Recycleerbaarheid	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Inschatting voor elk product op basis huidige collectiegraad, huidige technologie en typical share

De rationale van de koppeling tussen deze producteigenschappen en het circulaire handelingsperspectief kan worden verduidelijkt aan de hand van enkele praktische voorbeelden, die hieronder worden uitgewerkt.

De prijs per artikel bepaalt de mate waarin we overwegen over te gaan op tweedehands goederen. Uit een analyse van het CBS[17] op basis van Marktplaats.nl-statistieken over de jaren 2006-2011 blijkt dat 97,4 % van de advertenties een vraagprijs had van minder dan duizend euro, 87,5% een vraagprijs minder dan honderd euro en de helft van de advertenties een vraagprijs onder de 25 euro. Deze lage mediaan wordt deels veroorzaakt door het enorme aantal CD's, boeken en hobby-artikelen die voor aanzienlijk minder dan 20 euro worden aangeboden. Voor enkele artikelen die relevant zijn voor deze studie worden de statistieken over deze periode gegeven in tabel 2.

[16] Producten die 'op' raken (voorbeeld : batterijen) als gevolg van gebruik kunnen slechts gerecycled worden; voor producten die dissipatief worden gebruikt doet zelfs die mogelijkheid zich niet voor (voorbeeld: metaalverlies bij schijfremmen)
[17] Marktplaats en statistiek - Andries Kuipers, Remco Mocking, Rik Schürmann – CBS - 2013

Tabel 2. Hoe prijs (“op website “Marktplaats”) bepaalt welke productgroepen geschikt worden geacht voor hergebruik c.q. langere levensduur

productcategorie	# advertenties	gemiddelde vraagprijs	mediaan vraagprijs
audio, TV	1988	144	50
auto div.	1068	314	70
auto-onderdelen	2771	196	89
auto's	1842	7257	4930
computers, software	1721	134	50
fietsen, brommers	2741	202	95
motoren	747	1382	100
muziek	1942	352	192
spelcomputers, games	1945	42	15
telecom	1404	133	80
watersport	568	1431	75
witgoed	1135	180	90

De prijs van het uiteindelijk aangeboden product zegt natuurlijk niets over de prijs van het oorspronkelijke , nieuwe artikel (naast het feit dat op Marktplaats.nl ook veel nieuwe producten worden aangeboden), maar gemakshalve kunnen we wel constateren dat goederen van prijsklassen vanaf 10 euro worden aangeboden en verhandeld via Marktplaats.nl.

Het delen van producten wordt aantrekkelijk voor producten vanaf 100 euro (en natuurlijk als de producten zich ervoor lenen: lage gebruiksfrequentie en gebruik tijdens van te voren in te plannen activiteiten). Een bedrijf als Bo-Rent verhuurt tal van spullen en kan als zodanig als een commercieel deelplatform worden beschouwd. Goederen in de laagste huurprijscategorie (vanaf 10 euro/dag), zoals tapijtreinigers, grindtegelreinigers, 3kg boorhamers en vlakzuigpompen hebben alle een consumenten-nieuwprijs van minimaal 100 euro.

De mate waarin er nog economische waarde gehecht kan worden aan technisch snel veranderende producten hangt natuurlijk af van de waarde die dat product nog vertegenwoordigt ten tijde van een noodzakelijk onderhoud, een reparatie of tweedehands re-sell. Als voorbeeld nemen we de case van smartphones. Smartphones zijn technisch tamelijk snel verouderende apparaten die als gevolg van hun hoge aanschafwaarde in toenemende mate worden gerepareerd en tweedehands verkocht (via officiële re-sellers of telefoonmaatschappijen). Analoog aan de redenering omtrent de drempelwaarde voor reparatie of onderhoud, zou gesteld kunnen worden dat, indien de ervaren waarde (waarde minus afschrijving) hoger is dan 100 euro/artikel onderhoud wordt overwogen. Dat deze businessmodellen werken is te zien aan de toename van het aantal bedrijven dat zich toelegt op de reparatie van PC’s en smartphones. Alleen al in een stad als Leiden zijn er 8 bedrijven gevestigd die zich toeleggen op de reparatie van snel veranderende producten als PC’s en smartphones.

3.3 Inschatting van de impact van innovaties op circulaire businessmodellen

In de voorgaande paragraaf worden criteria voorgesteld die kunnen leiden tot een zodanige categorisering van producten dat kan worden ingeschat in hoeverre (nieuwe) circulaire businessmodellen van toepassing zouden kunnen zijn. Wat een dergelijke koppeling tussen productgroepen en circulaire businessmodellen interessant maakt, is dat nu een handvat is ontstaan om de impact van mogelijke (beleidsmatige of technologische) veranderingen op de mate van circulariteit per productgroep te bepalen. Deze systematiek is door TNO al ingezet in het rapport "Kansen voor de circulaire economie in Nederland". Op basis van stakeholderinterviews en –workshops werd een aantal mogelijke veranderingen geconstateerd, werd vervolgens bekeken op welke businessmodellen deze veranderingen invloed zouden kunnen hebben en welke productcategorieën daar vervolgens door beïnvloed zouden kunnen worden. De mate waarin (gedragsmatige, beleidsmatige of technologische) veranderingen invloed zouden kunnen hebben werd ingeschat op basis van (uiterst voorzichtige) expert-oordelen. Een overzicht van in dat rapport aangehaalde maatregelen en veronderstelde impacts is gegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Circulaire maatregelen en hun impact (bron: Kansen voor de Circulaire Economie in Nederland)

# Prod. groep[18]	Betreft feedback loop….	Achtergrond verschuiving	Δ stuks
13	Reparatie	Lease- en huurcontracten wasmachines	+10%
3-17	Componenten, Reparatie	Opnemen voorwaarden levering onderdelen in B2B contracten	+3%
1-17	Hergebruik	Andere houding t.o.v. bezit	+3%
4-8, 13-17	Hergebruik	Leensystemen als Neemby, Flow2	+2%
2, 4, 5, 9, 10	Hergebruik, (-componenten)	divestment strategieën van 'stranded assets'	+2%
2-17	Hergebruik, (-componenten), Reparatie	Collectieve verzekering op garantie gerepareerde goederen/producten met gebruikte onderdelen	+2%
1-17	Hergebruik (-componenten), Reparatie, Recycling	Stijging grondstoffenprijzen	+12%
4-10, 13-17	Hergebruik, (-componenten), Reparatie, Recycling	BTW verlagen op circulaire diensten	+5%
4, 8-10, 13, 17	Hergebruik, (-componenten),	PSS ontwikkeling duurste productgroepen metalelektro	+3%

[18] 1 Basismetaal 2 Metaalproducten 3, Elektronische componenten 4 Huishoudelijke computers 5 Mobiele apparaten, 6 Televisies 7 Video en DVD 8 Overige consumentenelektronica 9 Waarnemingsapparatuur 10 Elektrisch vermogen 11 Elektrische onderdelen 12 Lampen 13 Wasmachines 14 Airconditioners 15 Magnetrons 16 Koeling 17 Overige huishoudelijke apparatuur

	Reparatie,		
1-17	Recycling	Verandering positie AVI's	+1%
12	Recycling	Toename recycling door waarde LED	+1%
3-17	Recycling	Ontwikkelen plastics die zijn ontworpen op recycling	+1%
4	Recycling	Assembly for disassembly PC's	+1%
3-17	Recycling	Herijken WEE directive	+2%
1-17	Recycling	Logistieke kennis rondom mainports benutten	+1%
1,2-17	Recycling	Introduceren grondstoffenpaspoort	+1%
1-17	Recycling	Opheffen verbod stockpiling	+1%
3-17	Recycling	Benutten pot van inzamelingsbijdrage	+1%

Deze maatregelen zijn samen te vatten als prijseffecten (grondstofprijzen, BTW), beleidsmaatregelen (WEEE directive, afstoten AVI's, verzekeringen rond garantiestelling), introductie van nieuwe businessmodellen al dan niet gefaciliteerd door ICT-ontwikkelingen (grondstoffenpaspoort, leasecontracten, PSS-ontwikkelingen) en gedragsveranderingen.
In deze paragraaf wordt een aantal mogelijke impacts (prijs, technologie) op mogelijk toenemende circulariteit nader toegelicht, en wordt een keuze gemaakt van een kwantitatieve parameter die deze impacts beschrijft.

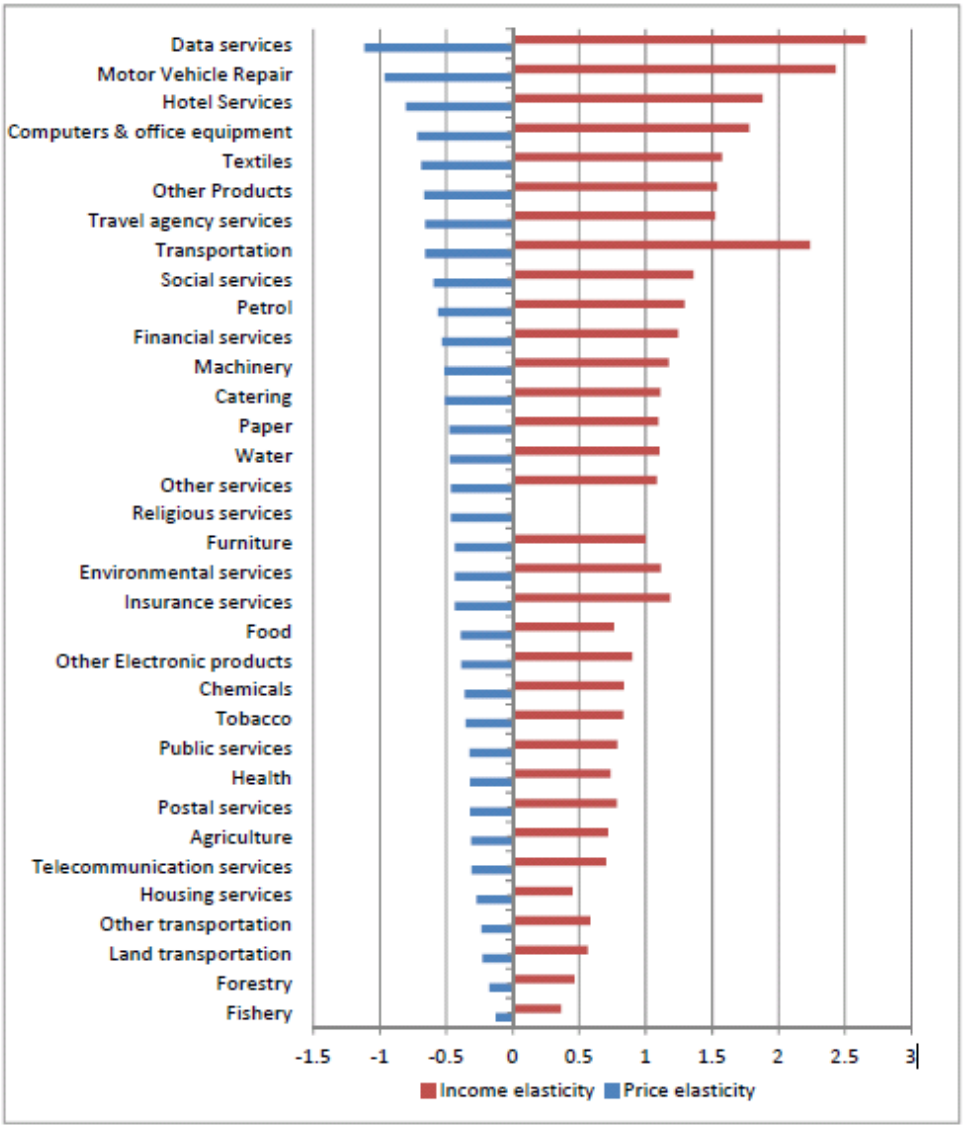
3.3.1 Inschatting van de impact van prijzen op circulaire businessmodellen

Bij de analyse verricht in het rapport "Kansen voor de circulaire economie in Nederland" werd ervan uitgegaan dat stijgende grondstofprijzen en fiscale maatregelen die dienstverlening bevorderen een positief effect hebben op circulaire businessmodellen. Hogere grondstofprijzen zullen leiden tot meer incentives om te recyclen, hogere productprijzen dan wel lagere servicekosten zullen leiden tot een grotere incentive om te repareren en te delen en te huren i.p.v. te kopen. Drie potentiële prijseffecten zullen we hier onder de loep nemen.

Prijselasticiteit. Prijzen, net als inkomens, zijn in het algemeen onderhevig het mechanisme van elasticiteiten. Neemt een prijs of inkomen toe -of af, dan zal de vraag op basis daarvan veranderen. Jusilla e.a. [19] hebben op basis van modellering met Algemene Evenwichtsmodellen en empirie zowel de prijs- als de inkomenselasticiteit bepaald van goederen en diensten. Deze zijn weergegeven in figuur 7.

Op basis van deze gebleken elasticiteiten, is het niet onwaarschijnlijk te veronderstellen dat een prijstoename van 1% ongeveer 1% reductie in vraag ten gevolge heeft. We kunnen deze relatie inzetten om de effecten van consumentenprijzen als gevolg van grondstofprijzen of fiscale maatregelen op consumptie in te schatten.

[19] http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/wp39.pdf



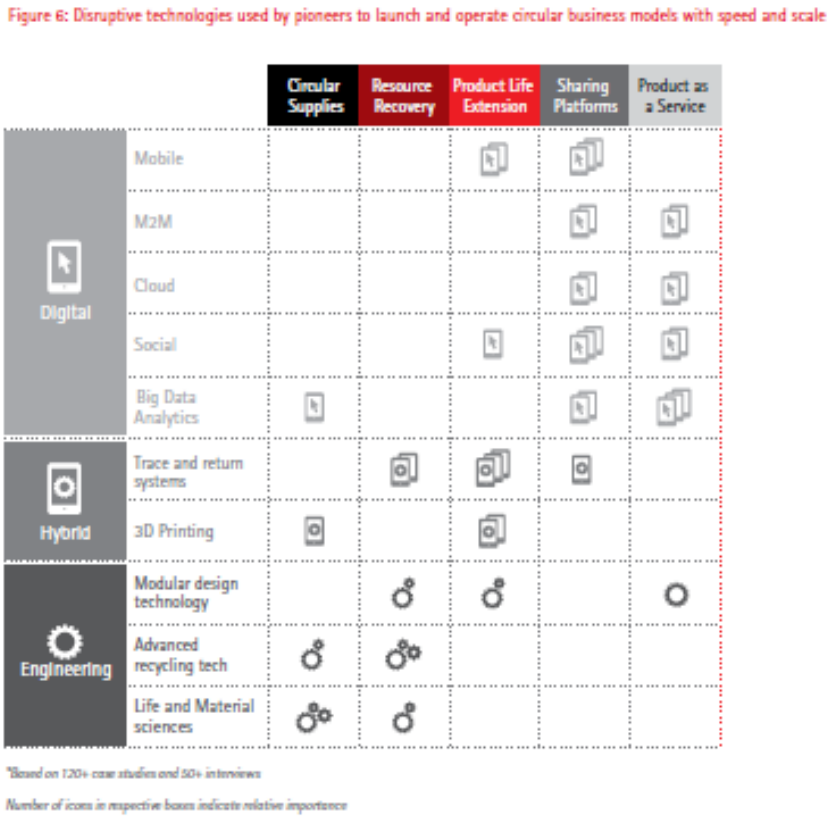
Figuur 7. Elasticiteiten van goederen/diensten aangeschaft door EU huishoudens op basis empirisch onderzoek.

Prijsvolatiliteit. Grondstofprijzen zijn de afgelopen jaren sterk gefluctueerd en hebben een impact op de kostprijs van producten afhankelijk van de concentratie (‘typical share’) van die grondstoffen in producten. Om een worst case scenario op te kunnen stellen voor de invloed van prijsstijging op de kostprijs, werd in het rapport “Materialen in de Nederlandse Economie” de MAPII geïntroduceerd, de Maximum Annual Price Increase Index, die de maximaal opgetreden relatieve prijsstijging in de afgelopen 20 jaar weergaf. Grofweg varieerde deze MAPII voor de bekeken materialen van 0,2 (20% prijsstijging in een bepaald jaar) tot 3 (een 300% stijging ofwel een verviervoudiging van de prijs in een bepaald jaar). Aan de hand van de MAPII en de bekende typical shares kan een inschatting worden gegeven van de maximale kostprijsstijging op basis van een tegelijk optredende stijging van alle abiotische grondstoffen in een product. Deze resulterende prijsstijging leidt in het hier gebruikte model tot een even grote incentive voor consumenten om over te gaan tot het delen van producten of het verlengen van de levensduur (via reparatie).

Een verschuiving van belasting op arbeid naar belasting op onttrokken grondstoffen stimuleert een overgang naar een meer circulaire economie, is de stelling van (o.a.) de organisatie Ex'Tax die samen met accountantskantoren EY, PWC, KPMG en Deloitte een voorstel heeft gelanceerd om meer dan 30 miljard belastingverschuiving te realiseren van arbeid-gerelateerde naar grondstofgerelateerde belasting. Dit voorstel is één van de vele voorstellen en studies naar de impact van een vergroening van het belastingstelsel op consumptie en op het mogelijk maken van het bereiken van klimaatdoelstellingen. Het Ex'Tax-voorstel kenmerkt zich door de concretiseringsslag: er wordt een concrete keuze gemaakt van verschuivingen tussen reeds bestaande belastinginstrumenten. In het kader van het FP7-project POLFREE heeft TNO een poging ondernomen de impact van dit scenario te modelleren met behulp van een evenwichtsmodel gebaseerd op de wereldwijde EE-IO-database EXIOBASE. Op dit moment zijn de effecten van dergelijke prijsverschuivingen nog niet meegenomen bij de bepaling van de impact van prijseffecten op circulaire businessmodellen.

3.3.2 Invloed van technologie-ontwikkeling op de circulaire economie

De impact van de hiervoor beschreven prijs beïnvloedende mechanismes op de circulaire economie zal plaatsvinden zonder dat daar wezenlijke technologische innovatie voor nodig is.
Voor de korte termijn is nog geen invloed te verwachten van massale introductie van disruptieve technologie. Toch zal de 'normale' incrementele technologie-ontwikkeling en de impact van beleid zoals verwoord in het Rijksbrede programma op het gebied van circulaire economie een zekere invloed hebben op de aantrekkelijkheid van nieuwe businessmodellen. Voor de analyse die we hier verrichten gaan we uit van een technologie-impact op verlenging van levensduur en de introductie van sharing platforms van 2%.
Voor de langere termijn zal ook nieuwe en disruptieve technologie invloed hebben op recycling, het verlengen van de levensduur en het intensiever gebruiken van goederen. In het eerder aangehaalde Accenture-rapport wordt een beperkt aantal disruptieve technologieën gesignaleerd die potentie hebben om circulaire verdienmodellen aantrekkelijker te maken. Deze technologieën bevinden zich in het domein van ICT en materiaalkunde (zie figuur 8).



Figuur 8. Disruptieve technologieën ten dienste van circulaire businessmodellen (bron: Accenture)

Verschil geleidelijke ontwikkeling v. disruptieve ontwikkeling: het bekende voorbeeld van de Bata schoenen

Aan het eind van de 19e eeuw kwamen vele Engelse gezanten van schoenfabrikanten terug bij hun bedrijven met de boodschap: “in Afrika draagt niemand schoenen, het is geen interessante markt voor ons.” Behalve de representant van Bata, die stelde: “in Afrika draagt niemand schoenen, het is een enorm interessante markt voor ons.”

Het verhaal is een illustratie van de moeilijkheid om de introductie van een nieuw product in de markt te voorspellen. In het geval van de Bata was het resultaat dat schoenmarkt in Afrika tot de dag van vandaag door hen wordt gedomineerd.

Eigentijdse equivalenten van het Bata verhaal kunnen worden gezien in de ontwikkeling van de Smart Phones, de ontwikkeling van vrij toegankelijke ICT diensten, de ontwikkeling van de micro chip en de ontwikkeling van Nano materialen. Het zijn voorbeelden van goederen of diensten die een disruptieve werking hebben (gehad) op producten (zowel in B2B als B2C), zonder dat de vraag naar deze producten bewust aanwezig was bij de gebruikers.

De Ellen MacArthur Foundation heeft in haar recente rapport “Intelligent Assets” een beschrijvende analyse gemaakt van de impact van ICT-innovaties en hun mogelijke disruptieve impact op de circulaire economie. Een overzicht van deze analyse is te vinden in Figuur 9.

FIGURE 2
INTERACTIONS OF CIRCULAR ECONOMY AND INTELLIGENT ASSET VALUE DRIVERS AND EXAMPLE OF VALUE CREATION OPPORTUNITIES

	INTELLIGENT ASSET VALUE DRIVERS		
CIRCULAR ECONOMY VALUE DRIVERS	Knowledge of the **location** of the asset	Knowledge of the **condition** of the asset	Knowledge of the **availability** of the asset
Extending the use cycle length of an asset	• Guided replacement service of broken component to extend asset use cycle • Optimised route planning to avoid vehicle wear	• Predictive maintenance and replacement of failing components prior to asset failure • Changed use patterns to minimise wear	• Improved product design from granular usage information • Optimised sizing, supply, and maintenance in energy systems from detailed use patterns
Increasing **utilisation** of an asset or resource	• Route planning to reduce driving time and improve utilisation rate • Swift localisation of shared assets	• Minimised downtime through to predictive maintenance • Precise use of input factors (e.g. fertiliser & pesticide) in agriculture	• Automated connection of available, shared asset with next user • Transparency of available space (e.g. parking) to reduce waste (e.g. congestion)
Looping/ cascading an asset through additional use cycles	• Enhanced reverse logistics planning • Automated localisation of durable goods and materials on secondary markets	• Predictive and effective remanufacturing • Accurate asset valuation by comparison with other assets • Accurate decision-making for future loops (e.g. reman vs. recycle)	• Improved recovery and reuse / repurposing of assets that are no longer in use • Digital marketplace for locally supplied secondary materials
Regeneration of natural capital	• Automated distribution system of biological nutrients • Automated location tracking of natural capital, such as fish stocks or endangered animals	• Immediate identification of signs of land degradation • Automated condition assessment, such as fish shoal size, forest productivity, or coral reef health	

Figuur 9. Impact ICT op de circulaire economie (bron: EMF: Intelligent Assets, 2016)

De impact van ICT wordt bepaald door een zeer sterk toegenomen kennis over beschikbaarheid, conditie en locatie van een product. Hiermee kunnen sharing platforms en activiteiten t.b.v. verlenging van de levensduur aanzienlijk in omvang stijgen. Het is vanzelfsprekend koffiedik kijken in welke mate deze ontwikkelingen de circulaire economie gaan beïnvloeden, maar voor de hier uitgewerkte case

m.b.t. de impact van radicale innovatie nemen we aan dat –voor die producten waar dat relevant voor is- een toename van 50% plaatsvindt. Oftewel: 50% van de relevante producten worden gebruikt in sharing platforms, en geselecteerde producten hebben een twee keer zo lange levensduur.

Technologische en beleidsinnovaties zullen uiteraard ook betrekking kunnen hebben op recycling.
Voor de materialen en product(groep)en die hier onder de loep liggen, is de mate van recycling sterk verschillend. Het potentieel om te verbeteren hangt natuurlijk sterk af van de integrale effectiviteit van huidige recycling. De totale effectiviteit van recycling hangt af van het aandeel dat ingezameld wordt, de wijze en de mate van hoogwaardige separatie en de efficiency van de procestechnologische laatste stap.

Bij de analyse van de ruim 1000 productgroepen die in het kader van deze studie is verricht, is een onderscheid gemaakt tussen productgroepen waarvoor collectie ook in de toekomst niet op gang zal komen (bijvoorbeeld door het dissipatieve karakter tijdens gebruik), productgroepen waarvoor de huidige collectie al sterk is ontwikkeld, en productgroepen waarvan verondersteld kan worden dat dit in de toekomst sterk verbeterd kan worden. Het is m.n. deze laatste groep waarvan de materiaalinhoud additioneel aangeboden kan gaan worden aan de recycling-infrastructuur. Met name grote en kostbare kapitaalsgoederen (maar ook auto's) kennen nu al een goed ontwikkelde recycling- en collectie-infrastructuur. De 'winst' kan daar dan ook niet in worden verondersteld.
Een inschatting van toegenomen collectie-efficiency laat zien hoeveel materialen er gerecycled kunnen worden. Het zegt niets over de mate waarin al een (economisch verantwoorde) technologie bestaat die die recycling ter hand neemt.

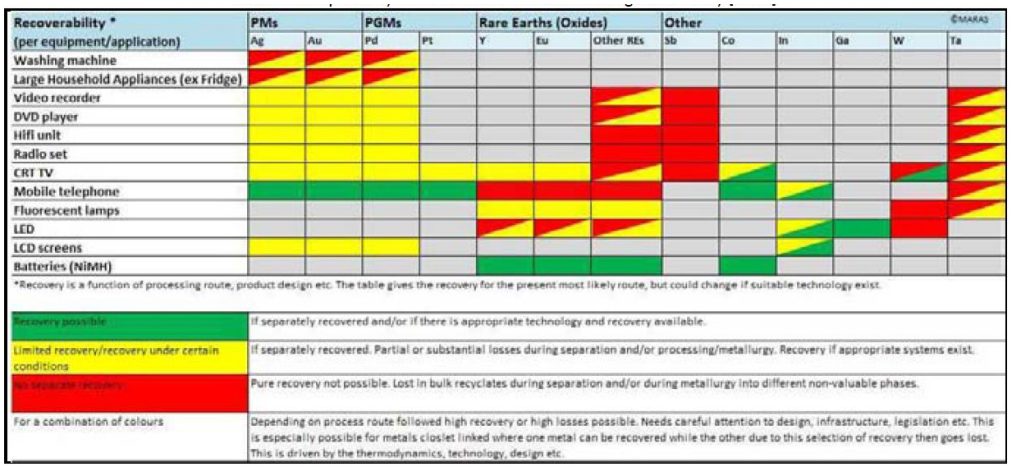
In de industrieel ontwikkelde wereld is voor de belangrijkste metalen de laatste –vaak metallurgische) stap geoptimaliseerd. Zoals staat in het UNEP-rapport Metal Recycling - Opportunities, Limits, Infrastructure[20]: *" Ingenuity in metallurgy has helped the industry to drive the efficiency of recycling of ferrous and base metals (e.g. steel, stainless steel, aluminium, copper, zinc, lead, nickel, tin) ever closer to the limits that are permitted by physics and thermodynamics*". De enige invloed op de drijfveren om tot daadwerkelijke collectie en recycling over te gaan zal liggen in de daadwerkelijke opbrengsten van de te recyclen materialen. De opbrengst-daling uit de laatste jaren zal de recycling-graad niet ten goede gekomen zijn.

Naast deze invloed op basis van grondstofprijs zouden de volgende ontwikkelingen een gevolg kunnen hebben voor de integrale recycling-graad van verschillende metalen (zie ook Figuur 10):

- Meer non-ferrous metalen (m.n. aluminium en koper) kunnen uit bodem-as worden gewonnen. In het eerder aangehaalde UNEP-rapport Metal Recycling (p.15) wordt ingeschat dat de huidige extractie van 130.000 ton (waarvan 65% aluminium) in 2020 verdrievoudigd kan worden als gevolg van betere procestechnologie en een toename van waste-to-energy plants. Deze laatste stap is in Nederland onwaarschijnlijk vanwege de afwezigheid van vuilstort, maar een verdubbeling zou mogelijk moeten zijn.

[20] UNEP rapport uit 2012, lead editor: Markus Reuter.

- De mate van collectie is verre van optimaal in de meeste geïndustrialiseerde landen: in het UNEP-rapport staat: “In many cases (sometimes despite legislation) small articles of WEEE are not collected separately for recycling but disposed of with mixed Municipal Solid Waste (MSW). For example, data on collection rates for WEEE in Europe for 2005 were published. The collection rates range between 20 % for electrical and electronic tools to 60 % for monitoring and control instruments. [CHA2/4] showed collection rates for mobile phone of 18% in Germany and of 12% in the United States. For larger WEEE, rates are higher: for PC collection rates are 76% in Germany and 54% in the United States.” Voor kleinere elektronische apparatuur kan gesteld worden dat een verdubbeling van de inzamelingsgraad zou kunnen worden bereikt. Grotere apparatuur (bijvoorbeeld auto’s of industriële productie-apparatuur) zal nu al een aanzienlijk hogere inzamelingsgraad kennen, dus daarvoor geldt een dergelijk verbeteringspotentieel niet.
- Het potentieel voor recycling uit WEEE is dus hoog voor Co, Ga en In, gemiddeld voor Au, Ag, Pd en Pt en matig tot slecht voor zeldzame aardmetalen. Deze ambities zullen worden meegenomen in de bepaling van het potentieel in recycling.



Figuur 10. Relatie matrix tussen enkele kritische grondstoffen, productgroepen en recycling (bron:UNEP)

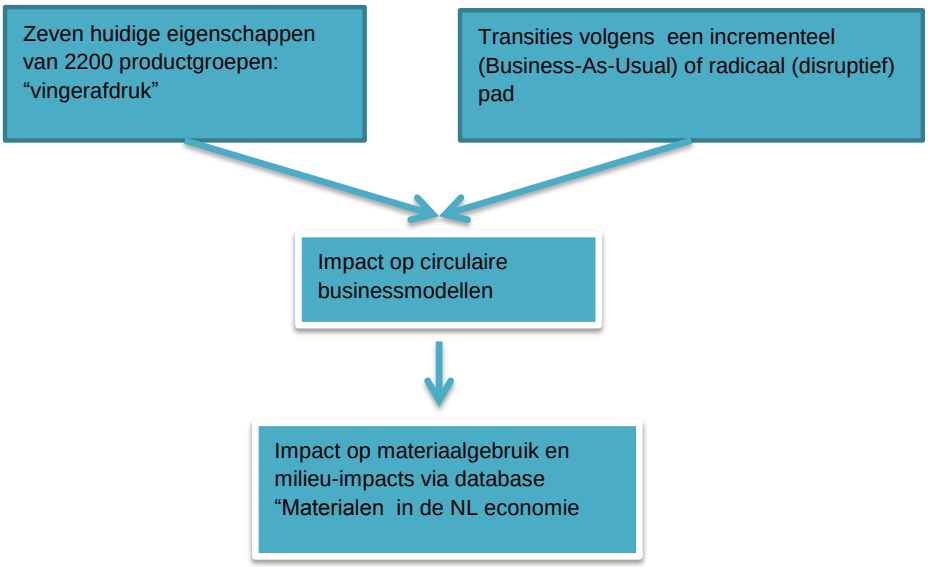
Naast deze mogelijke ontwikkelingen, gaan we bij de bepaling van de impact van recycling op de materiaalbehoefte ook uit van de End-of-life recyclingpercentages die door de UNEP zijn gerapporteerd[21] en die ook zijn gebruikt in de analyses in het MIDNE-rapport. Deze recycling-percentages zijn opgenomen als Bijlage B in dit rapport. Gezien de argumenten m.b.t. het potentieel van recycling die hiervoor werden beschreven zijn de recycling-percentages voor indium, gallium en neodymium (anders dus dan in MIDNE) op 50% gesteld.

[21] UNEP-rapport Recycling Rates of Metals, editor: International Resource Panel; lead author: M. Reuter, 2011.

3.4 Overzicht van de methodiek om de impact op circulaire business modellen te toetsen

De database van MIDNE biedt de mogelijkheid om de potentie van circulaire businessmodellen in detail te analyseren. De combinatie van data en expert judgement per productgroep geeft een “vingerafdruk” (zie Tabel 1). De vingerafdruk bestaat uit de prijs per eenheid (data), de huidige recyclinggraad van de aanwezige 64 grondstoffen in de productgroepen (data), de MAPII (data), de technische dynamiek (expert judgement) en de mogelijkheid van gedeeld gebruik op basis van gebruiksfrequentie en investeringskosten (expert judgement). Deze vingerafdruk geeft direct aan of de consumptie van de betreffende productgroep (en dus van de erin vervatte materialen) gereduceerd zou kunnen worden op basis van de drie handelingsperspectieven, te weten: sharing platforms, verlenging levensduur, of toegenomen recycling.

Naast deze vingerafdruk is nog de kwantitatieve schatting nodig van groei volgens een incrementeel /Business-As-Usual pad (prijsimpact van de MAPII en 2% impact van innovatie) of via een meer radicale en disruptieve innovatie (prijsimpact van de MAPII en 50% impact van de disruptieve innovatie). Figuur 11 schetst de samenhang tussen de vingerafdruk, de incrementele of radicale transities, de impacts op monetaire waarde en de impacts op materiaalgebruik en bijbehorende milieu-impacts.



Figuur 11. Onderdelen van methodiek gehanteerd om circulaire potentie voor Nederland op basis van de MIDNE database te kwantificeren

Belangrijkste uitkomst is de bepaling van de impact per grondstof (op basis van de 64 materialen onderzocht in MIDNE). Hierbij speelt de in het MIDNE-rapport uitgewerkte ‘typical share’ van grondstoffen in elk van de hier bekeken productgroepen een centrale rol. Immers, elk van de handelingsperspectieven heeft

een invloed op productniveau. Via de typical share kan dit niveau worden vertaald naar de impact op grondstofbehoefte.

Per productgroep wordt voor de berekeningen bepaald wat voor de Nederlandse economie relevant is in monetaire waarde en fysieke hoeveelheden (tonnage). Hiervoor zijn de export-data gebruikt, niet de import-data, omdat:

- de samenstellingsgegevens voor productgroepen vooral gebaseerd zijn op eindproducten; deze zijn in de Nederlandse export beter vertegenwoordigd dan in de import.
- het economisch belang voor Nederland het best vertegenwoordigd wordt door de Nederlandse Toegevoegde Waarde in exportproducten, niet in de Toegevoegde Waarde in geïmporteerde producten vanuit andere economieën.

De exportgegevens komen direct uit de op ComExt gebaseerde handelsgegevens van CBS statline.

4 Resultaten: de invloed van ‘circulaire’ innovaties op het gebruik van abiotische grondstoffen

4.1 Invloed van circulair potentieel op de grondstofbehoefte van Nederland

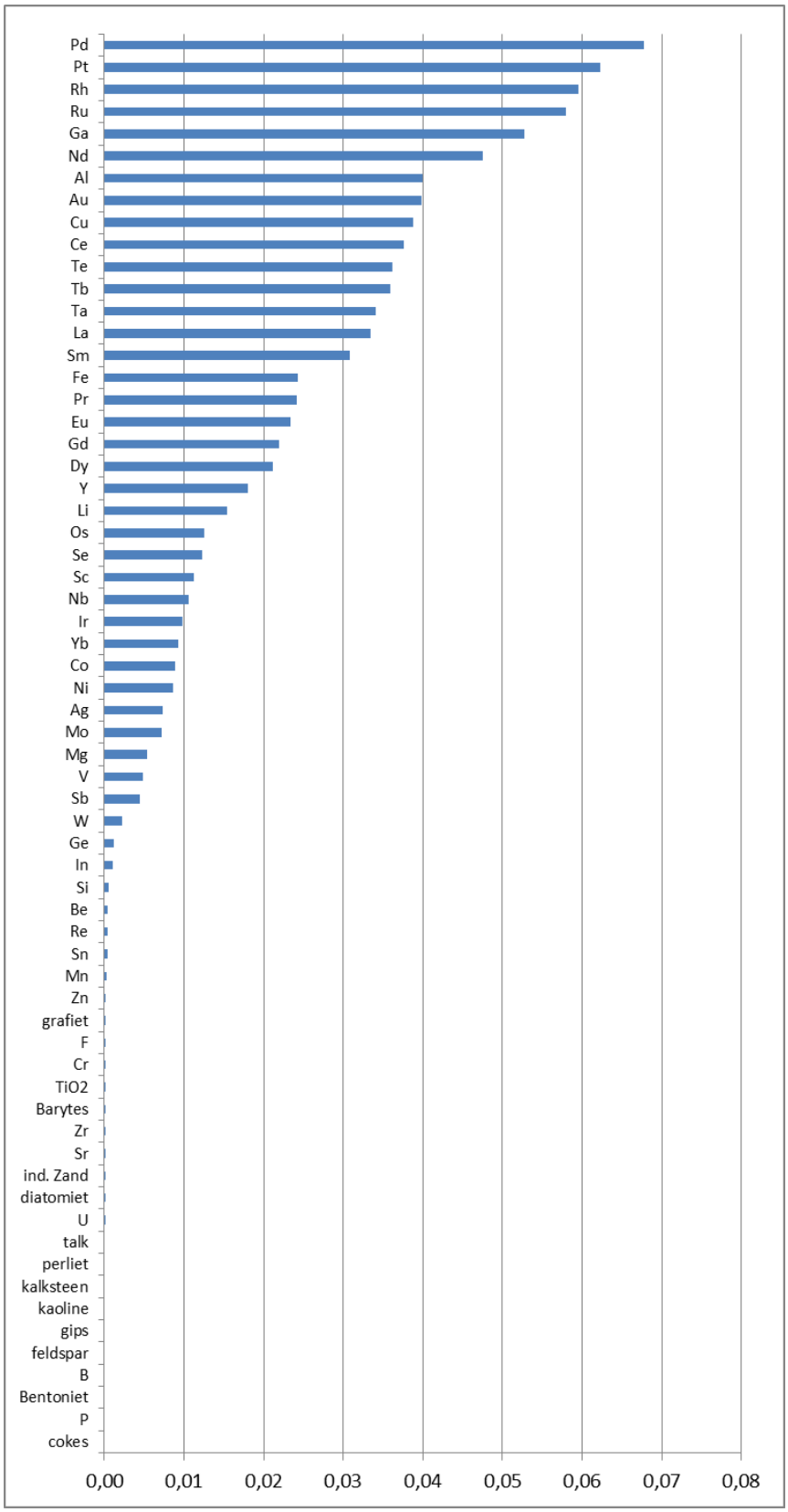
De methode die gepresenteerd werd in hoofdstuk 3 is gebaseerd op het ‘filteren’ van productgroepen op eigenschappen die van invloed kunnen zijn op de kans op een toename in collectie t.b.v. recycling, op een verlenging van de levensduur en op een intensiever gebruik als gevolg van de introductie van een deel-economie.

Zoals in hoofdstuk 3 aangegeven zijn we van twee scenario’s uitgegaan: één waarbij verschuivingen in recycling en businessmodellen plaatsvinden als gevolg van prijsverschuivingen en een 2% groei van de implementatie van circulaire businessmodellen (het incrementele scenario). En één waarbij deze verschuivingen als gevolg van innovatie 50% bedragen (het radicale scenario).

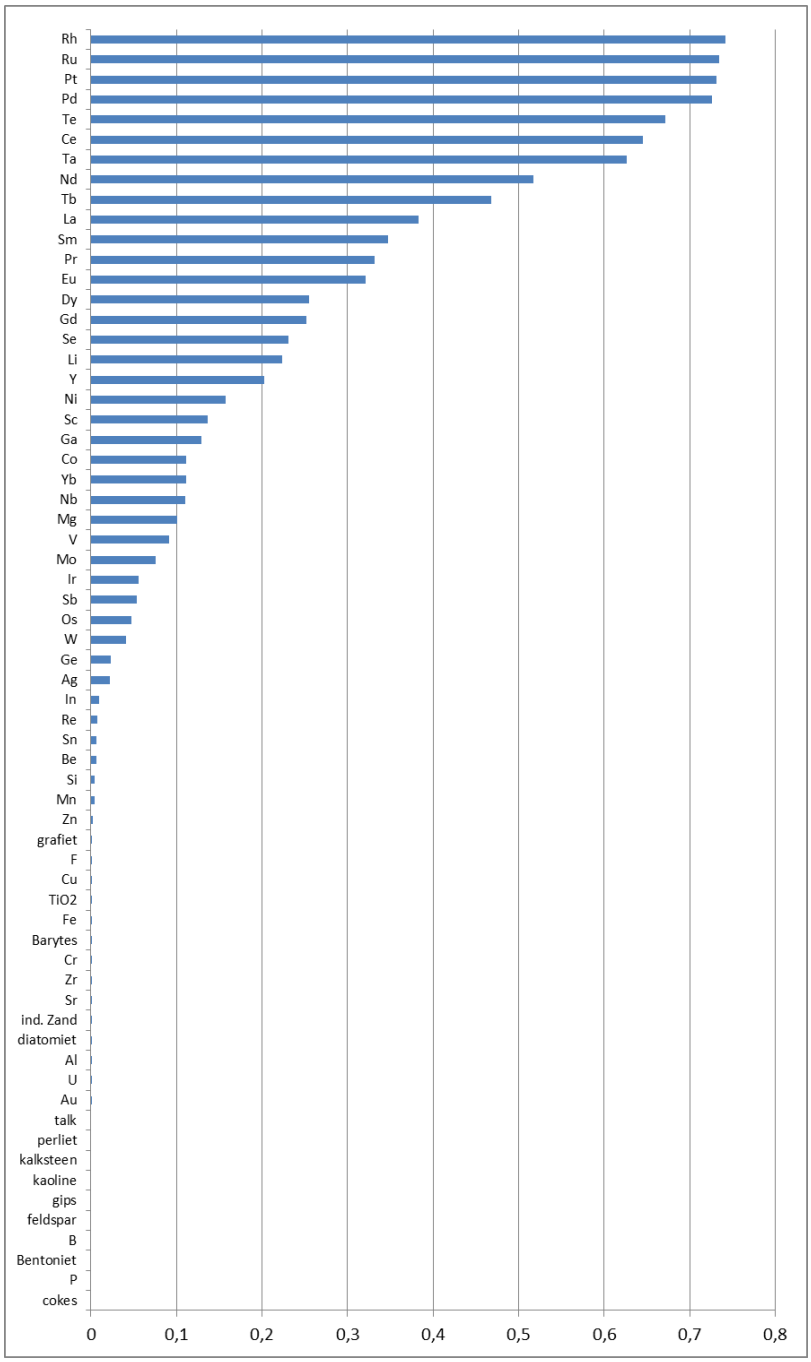
De resultaten van het incrementele scenario zijn gegeven in figuur 12.
De resultaten per materiaal voor het radicale scenario zijn gegeven in Figuur 13.

Verreweg de grootste bijdrage aan de reductie van de materiaalbehoefte wordt geleverd door de verlenging van de levensduur en de intensivering van gebruik (bijvoorbeeld door sharing platforms). De bijdrage van additionele recycling voor de hier bekeken productgroepen blijft (in het geval van het incrementele scenario) onder de 2%.

Een relatief grote impact wordt verwacht voor materialen uit de platina-groep en de zeldzame aardmetalen. Dit moet samenhangen met de inschatting dat het hier applicaties betreft die in grote mate een geringere materiaalbehoefte hebben door introductie van meer deelplatforms, andere eigendomsverhoudingen en een langere levensduur.



figuur 12. Reductie van de materiaalbehoefte op basis van incrementele innovatie



Figuur 13. Reductie van de materiaalbehoefte op basis van een radicaal scenario

4.2 Invloed van circulair potentieel op CO_2 emissie

De circulaire economie kan een belangrijke rol spelen in het halen van de Nederlandse verplichtingen zoals vastgelegd in het COP21 akkoord van december 2015 t.a.v. de reductie van CO_2-equivalenten.

Een fundamentele beslissing over de verantwoordelijkheid van CO_2 emissie ligt in het onderscheid tussen intermediair gebruik of finaal gebruik: welke vervuiler moet nu betalen? Indien de finale consument de schaduwprijzen van de CO_2 emissie moet betalen (bijvoorbeeld via product gebonden belastingen) dient alle geëmitteerde koolstofdioxide in de waardeketen naar het eindproduct te moeten worden toegerekend. Indien de sector die produceert de schaduwprijzen van de CO_2 emissie moet betalen (bijvoorbeeld via emissierechten) volstaat het de emissie per actor, bedrijf of sector vast te stellen. Om geen invulling te geven aan deze beslissing worden de vermeden CO_2 emissies als gevolg van de incrementele circulaire perspectieven aan productgroepen toegerekend, niet aan sectoren.

Tabel 4 geeft aan wat de top-30 is t.a.v. reductie van impact als gevolg van de circulaire perspectieve in een scenario met ene incrementele transitie (dus niet onder invloed van radicale innovatie). De gereduceerde impact is berekend door de CO_2 equivalenten van elk van de 64 materialen te vermenigvuldigen met de typische aanwezigheid in de productgroepen. Het resultaat is een getal op basis van de schaduwprijs van een CO_2 equivalent.

Het baseren van CO2eq op basis van de 64 materialen in de productgroepen heeft een significant effect op de uitkomst. De berekende reductie (als gevolg van de circulaire perspectieve) is op deze wijze beduidend lager dan de CO2eq van de productgroepen als geheel. De CO_2 emissies gerelateerd aan plastic, hout, regulier zand etc. dragen nu niet bij aan de CO2eq zoals die wel zijn berekend voor onze de 64 materialen in de Nederlandse economie (via SimaPro).

De totale vermeden CO_2 emissie als gevolg van de circulaire perspectieven in een incrementeel scenario liggen net boven de 2MTon. Dit is rond de 1% van de jaarlijkse uitstoot van CO_2 equivalenten in Nederland.

Wellicht ten overvloede wijzen we hier nogmaals op het feit dat het uitdrukken van de reductie t.o.v. de uitstoot in Nederland misleidend kan zijn. De berekende vermeden CO_2 equivalenten gaan immers in op de gehele keten van onderstaande productgroepen in de top-30. Dit betekent dat ook “ingebedde” emissies stroomopwaarts in de keten, veelal elders in de wereld geëmitteerd, hierin berekend zijn . De berekende equivalenten komen dus niet voort uit productie van deze productgroepen in Nederland alleen. Ze komen voort uit het intermediair of finaal gebruik van deze productgroepen in Nederland, in combinatie met het feit dat deze producten soms ook elders in de wereld zijn vervaardigd.

Tabel 4. Vermeden CO_2 equivalenten (in kg) per PRODCOM 6-digit productgroep die zijn gerelateerd aan de 64 materialen.

6-DIGIT Geharmoniseerd Systeem PRODUCT GROEP	Hoofdtoepassing	Huidige CO_2 eq ton	CO2 eq ton reductie	% reductie
MACHINES FOR MAKING GIMPED YARN, TULLE, LACE, EMBROIDERY, TRIMMINGS, BRAID OR NET AND MACHINES FOR TUFTING (EXCL. CHAIN OR BLANKET STITCH MACHINES)	industrial equipment n.e.c.	733 135	649 164	89%
MACHINERY FOR FINISHING PAPER OR PAPERBOARD (EXCL. CALENDERS)	industrial equipment n.e.c.	80 971 227	342 332	0%
DOOBIES AND JACQUARDS; CARD REDUCING, COPYING, PUNCHING OR ASSEMBLING MACHINES FOR USE THEREWITH	industrial equipment n.e.c.	4 107 984	342 332	8%
CLOCK MOVEMENTS, COMPLETE AND ASSEMBLED (EXCL. ELECTRICALLY OPERATED AND WATCH MOVEMENTS)	measuring instruments	2 206 662	342 332	16%
ELECTRO-CARDIOGRAPHS	medical equipment	320 355 883	23 022	0%
MACHINES USED IN THE MANUFACTURE OF LINOLEUM OR OTHER FLOOR COVERINGS FOR APPLYING THE PASTE TO THE BASE FABRIC OR OTHER SUPPORT (EXCL. CALENDERS AND GENERAL PURPOSE PRESSES)	industrial equipment n.e.c.	11 437 939	20 837	0%
OPTICAL MICROSCOPES (EXCL. FOR PHOTOMICROGRAPHY, CINEPHOTOMICROGRAPHY OR MICROPROJECTION, STEREOSCOPIC MICROSCOPES, BINOCULAR MICROSCOPES FOR OPHTHALMOLOGY AND INSTRUMENTS, APPLIANCES AND MACHINES OF HEADING 9031)	measuring instruments	754 057	15 873	2%
MACHINERY, APPARATUS AND EQUIPMENT FOR PREPARING OR MAKING PRINTING BLOCKS, PLATES, CYLINDERS OR OTHER PRINTING COMPONENTS (EXCL. MACHINE TOOLS OF HEADING 8456 TO 8465 AND MACHINERY FOR TYPE FOUNDING AND TYPESETTING)	industrial equipment n.e.c.	356 369	14 354	4%
STEREOSCOPIC MICROSCOPES	measuring instruments	236 831	12 994	5%
OPTICAL MICROSCOPES, FOR PHOTOMICROGRAPHY, CINEPHOTOMICROGRAPHY OR MICROPROJECTION (EXCL. STEREOSCOPIC MICROSCOPES)	measuring instruments	65 126	12 628	19%
STEREOSCOPIC MICROSCOPES	measuring instruments	1 855 820	12 605	1%
STEREOSCOPIC MICROSCOPES	measuring instruments	4 956 020	12 605	0%

STEREOSCOPIC MICROSCOPES	measuring instruments	19 022 495	12 605	0%
STEREOSCOPIC MICROSCOPES	measuring instruments	1 720 124	12 605	1%
PHOTOTYPESETTING AND COMPOSING MACHINES (EXCL. GENERAL PURPOSE AUTOMATIC DATA-PROCESSING MACHINES ALSO USED FOR PHOTOTYPESETTING)	industrial equipment n.e.c.	1 126 300	11 263	1%
MACHINERY FOR TYPE FOUNDING AND TYPESETTING "COMBINED", E.G. LINOTYPES, MONOTYPES AND INTERTYPES	industrial equipment n.e.c.	1 126 300	11 263	1%
MOTOR VEHICLES FOR THE TRANSPORT OF >= 10 PERSONS, INCL. DRIVER, WITH SPARK-IGNITION INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE, OF A CYLINDER CAPACITY OF > 2.800 CM³, NEW	other transport equipment	174 505	9 328	5%
MEDICAL, SURGICAL OR LABORATORY STERILIZERS	medical equipment	59 611 853	6 619	0%
BRASS-WIND INSTRUMENTS	appliances n.e.c.	9 723 533	6 098	0%
SEA-GOING SAILBOATS AND YACHTS, WITH OR WITHOUT AUXILIARY MOTOR, FOR PLEASURE OR SPORTS	other transport equipment	22 297	4 535	20%
COMBINED REEL SLITTING AND RE-REELING MACHINES, FOR MAKING UP PAPER PULP, PAPER OR PAPERBOARD	industrial equipment n.e.c.	15 938 720	4 235	0%
DRAFTING TABLES AND MACHINES, WHETHER OR NOT AUTOMATIC (EXCL. UNITS FOR AUTOMATIC DATA PROCESSING EQUIPMENT)	measuring instruments	246 958	4 054	2%
STRING MUSICAL INSTRUMENTS -FOR EXAMPLE, GUITARS, VIOLINS, PLAYED WITH A BOW	appliances n.e.c.	37 632 830	3 772	0%
PNEUMATIC POWER ENGINES AND MOTORS, LINEAR-ACTING, "CYLINDERS"	industrial equipment n.e.c.	61 150 944	3 626	0%
DUPLICATING MACHINES "HECTOGRAPH OR STENCIL" (EXCL. PRINTING MACHINES AND PHOTOCOPYING OR THERMO-COPYING MACHINES)	office equipment	2 417 083	3 168	0%
ADDRESSING MACHINES AND ADDRESS PLATE EMBOSSING MACHINES (EXCL. AUTOMATIC TYPEWRITERS, AUTOMATIC DATA-PROCESSING MACHINES AND UNITS THEREFOR AND LASER, THERMAL OR ELECTROSENSITIVE PRINTERS)	office equipment	30 000	3 168	11%
DRAW-BENCHES FOR METAL WIRE	industrial equipment n.e.c.	4 106	1 846	45%
APPARATUS BASED ON THE USE OF ALPHA, BETA OR GAMMA RADIATIONS (OTHER THAN FOR MEDICAL, SURGICAL, DENTAL OR VETERINARY USES)	medical equipment	8 009	1 654	21%
TUNNEL BAKERY OVENS, INCL. BISCUIT OVENS, NON-ELECTRIC	industrial equipment n.e.c.	14 380 745	1 593	0%
SIGNAL GENERATORS, ELECTRICAL	appliances n.e.c.	26 835 305	1 503	0%

A. Uit: Quick Scan t.b.v. de grondstoffennotitie

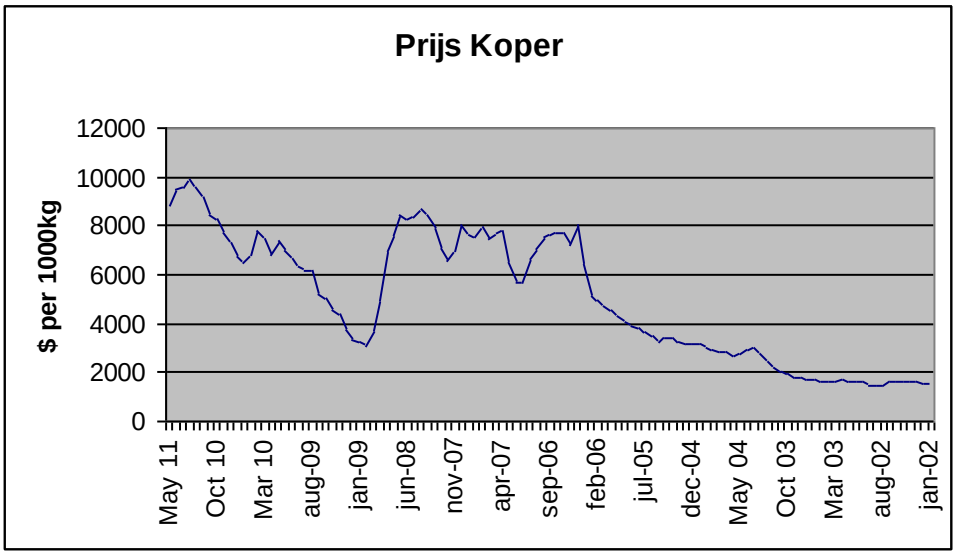
De data van de VS zijn gebruikt om veranderingen in het aanbod van de materialen te meten. Deze data is hiervoor bijzonder geschikt omdat de VS sinds WOII relatief milde importtarieven op metalen heeft geheven en voor alle geselecteerde materialen een binnenlandse winning als alternatief aanwezig is voor ondernemende private partijen. Dit betekent dat het land bij uitstek in staat is in te spelen op de vier corrigerende mechanismen zoals beschreven in §4.2. Dit betekent dat elasticiteiten (“hoe reageert het aanbod bij een veranderende prijs en vice versa”) zijn gebaseerd op data van de VS.

Een vraagelasticiteit met een waarde tussen -1 en 0 is inelastisch: een procent prijsstijging leidt tot minder dan een procent (de waarde tussen 0 en -1) vraagafname. Een positieve waarde van een vraagelasticiteit duidt op bijzondere economische omstandigheden en sterke economische groei. Een waarde lager dan -1 duidt op een elastische vraag die duidt op een lagere afhankelijkheid.

Een aanbodelasticiteit met een waarde tussen 1 en 0 is inelastisch. Een procent prijsstijging leidt tot minder dan een procent (de waarde tussen 0 en 1) aanbodtoename. Een waarde boven 1 duidt op elastisch aanbod, wat kan duiden op het aanspreken van voorraden of een aanbodsontwikkeling door exploratie, productie verhogende techniek etc.

Het verloop van de elasticiteiten van alle metalen laat over de 20^{e} een grillig verloop zien. Dit wordt verklaard door schokeffecten van oorlogen en economische crises. Om die reden worden elasticiteiten voor meerdere perioden getoond. Ook de groei van de economie is een belangrijke “achtergrond” variabele. Een gegroeide economie heeft namelijk per definitie een groeiende vraag, ongeacht de prijsontwikkeling.

Koper
De prijs van koper ligt per mei 2011 op een gemiddelde prijs van $8,88/kg. De onderstaande tabel geeft het prijsverloop sinds 2002 weer. Als we corrigeren voor prijsinflatie dan zien we dat dit het hoogste niveau is sinds het begin van de 20^{e} eeuw. Alleen tijdens WO1 vertoonde de prijs een relatief nog hogere stand.

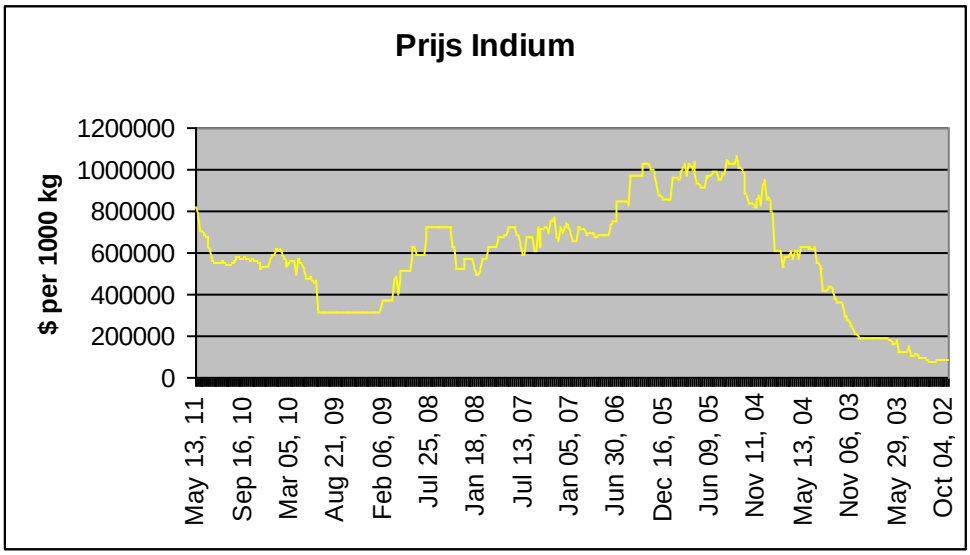


De aanbodelasticiteit van koper (gebaseerd op gebruik in de VS, zie boven) heeft over de periode van 1995 tot 2007 een gemiddelde waarde van -0,03. Dit betekent dat voor elke procent prijsstijging dat het aanbod met afneemt. Deze tegennatuurlijke mechanismen zijn te danken dat de wereldaanbod de explosieve vraag niet kan volgen.

Periode	Vraag Elasticiteit	Aanbod Elasticiteit	Opmerking
1901-1915	0,16	0,97	Stijgende vraag bij stijgende prijs door groei economie. Technologie maakt aanbod relatief elastisch (bijna waarde1)
1918-1940	1,89	1,92	Hetzelfde beeld als vorige periode, nog extra versterkt door oorlogsdreiging en ondanks grote depressie
1946-1973	-0,80	0,44	Minder elastische vraag door vraagstijging en prijsdaling in jaren ’60
1946-2007	0,02	0,44	Voor koper typerende inelastisch aanbod en vraag
1995-2007	-0,18	-0,03	Inelastische vraag, zeer inelastisch aanbod door vraag ontwikkeling Azie.
1901-2007	-0,11	0,15	Bevestiging inelasticiteiten over lange termijn

Indium

De prijs van indium ligt per mei 2011 op een gemiddelde prijs van $777/kg. De onderstaande tabel geeft het prijsverloop sinds 2002 weer. Als we corrigeren voor prijsinflatie dan zien we dat dit een gemiddeld niveau is gegeven de prijsstandaarden in de 20^{e} eeuw. In tegenstelling tot koper is het gebruik van Indium de afgelopen decennia pas echt op grote industriële schaal waarneembaar. Dit heeft voor 1995 tot grote schokken geleid, maar de prijsschommelingen zijn relatief klein.

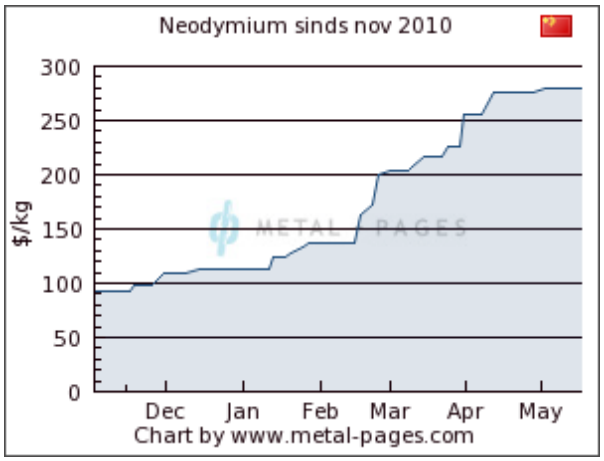


De elasticiteit van Indium (gebaseerd op gebruik in de VS, zie boven) heeft over de periode van 1995 tot 2076 een gemiddelde waarde van -0,6. Dit betekent dat voor elke procent prijsstijging de vraag met 0,6% afneemt. Dit duidt op een toenemende inelastische vraag, gegeven de opkomst van hi-tech gerelateerde toepassingen.

Periode	Vraag Elasticiteit	Aanbod Elasticiteit	Opmerking
1967-2007	-0,90	-0,31	Een vraag die nog net inelastisch genoemd mag worden in een periode waar men nog zoekt voor toepassingen van Indium. Overdreven inelastisch aanbod door onvolwassen mijnbouw.
1995-2007	-0,60	3,11	Toenemende inelastische vraag door bredere inzetbaarheid Indium. Aanbod zeer elastisch door afhankelijkheid van import en daarbij horende mogelijke schommelingen.

Neodymium

De prijs van neodymium ligt per mei 2011 op een gemiddelde prijs van $280/kg. De onderstaande grafiek geeft het prijsverloop weer sinds november 2010. De prijs van neodymium lijkt onderhevig aan een exponentiële stijging, een zeldzaam fenomeen voor grondstoffen. In april 2001 was de prijs ca. $9/kg, in november 2007 was de prijs ca. $26/kg, in april 2010 was de prijs ca. $48/kg en in juli 2010 ca. $92,5/kg.



Bron: metal-pages.com

De elasticiteit van zeldzame aarde metalen (gebaseerd op gebruik in de VS, zie boven) heeft over de periode van 1995 tot 2007 een gemiddelde waarde van -2,05. Dit betekent dat voor elke procent prijsstijging de vraag met 2,04% afneemt. Dit duidt op een elastische vraag. Tegelijk vertoont het aanbod een zeer inelastisch gedrag. Zelfs bij stijgende prijzen neemt het aanbod af. Zeldzame aarde metalen lijken meer dan koper en indium onderhevig aan prijsschommelingen. Dit is waarschijnlijk omdat het gebruik van de materialen voor lange tijd voor exclusieve producten is bestemd. Verwerking voor geavanceerde consumentenelektronica, militaire werktuigen etc. is van de laatste jaren.

Periode	Vraag Elasticiteit	Aanbod Elasticiteit	Opmerking
1947-1973	-1,78	4,39	Elastische vraag en aanbod door pioniersfase van toepassingen met zeldzame aarde metalen
1947-2007	-1,79	3,14	Ongewijzigd beeld ten opzichte van vorige periode
1995-2007	-2,05	-1,36	Een toenemende elastische vraag gekoppeld aan een omslag naar een zeer inelastisch aanbod.

Het is nog niet mogelijk om de elasticiteit te berekenen in het licht van de enorme prijsstijgingen in de afgelopen jaren. Dit komt omdat de data over prijzen en gebruik nog niet op elkaar zijn afgestemd. Er is te veel dynamiek in prijs en aanbod om de prijselasticiteit op een gegeven punt te bepalen.

Beschouwing elasticiteiten in relatie tot economisch belang
Koper volgt de klassieke patronen rond elasticiteiten van metalen. Dit betekent een gemiddeld inelastisch aanbod en vraag. De markt rond Indium is daarbij nog niet stabiel, gegeven een wisseling van elasticiteiten en de afhankelijkheid van internationale handel.

Zeldzame aarde metalen laten in het afgelopen decennium qua prijs en aanbod het meest grillige verloop zien van alle metalen. De exponentiële prijsstijging impliceert een zeer inelastische markt.

Deze vaststellingen hebben effect op het eerder berekende economisch belang. De inelasticiteiten duiden op beperkte mogelijkheden om substituten te vinden. Dit betekent dat de berekende “ bovengrenzen” van getroffen producten en sectoren reëler zijn dan gedacht.

PRIJSSCHOKANALYSE

Aan de hand van een aantal voorbeelden laten we zien hoe producten reageren op en prijsschok van een materiaal dat in dat product is verwerkt. We hebben reeds eerder in dit rapport aangetoond dat het belang van de Nederlandse economie niet ligt in de import van grondstoffen, maar van eindproducten en vooral halffabricaten. Een voorbeeld van een prijsschok zou kunnen zijn: welke procentuele prijsstijging van een mobiele telefoon kan ik verwachten als een metaal dat in de productie wordt gebruikt verdubbeld in prijs?

De basis van de prijsschokanalyse wordt gelegd door binnen TNO beschikbare expertise over productieprocessen. Deze leverde een gedetailleerde “cost-of-ownership” analyses op van diverse hightechproducten. Deze analyses stellen ons in staat om het aandeel van een metaal in de totale kostprijs van een product vast te stellen. Omdat Indium en Neodymium de laatste jaren minimaal een verdubbeling van de prijs hebben ondervonden zullen we deze prijsschok, een verdubbeling, als uitgangspunt nemen.

Flat panel display
De totale kostprijs van een Flat panel display (FPD) van 40 inch in april 2011 ligt rond de €600. In een FPD zit 2,13gram Indium per m2, gegeven dat een 40 inch scherm een oppervlak van 0,43m2 heeft komt dit neer op 0,92gram per scherm. Met een prijs van €486/kg komt dit neer op een waarde van €1,21 aan Indium per scherm. Een verdubbeling van de kostprijs van indium zou het scherm van €600 met €1,21 verhogen, een zeer geringe kostenstijging van 0,2%.

CIGS panel
Een innovatief zonnepaneel, de zogenaamde CIGS (Copper Indium Galium Selenine) PV panelen, zou in de toekomst een hoog renderend alternatief kunnen vormen voor Silicium panelen. Het aandeel van de prijs van Indium in de kostprijs van een CIGS paneel is op dit moment 16% (bron: COO modeling CIGS TNO). Dit betekent dat een CIGS paneel 16% duurder zal worden indien de prijs van Indium verdubbelt. Betekent ook dat de kostprijs van de geproduceerde energie naar schatting met ongeveer 10% zal stijgen.

Toyota Prius
In de Prius, een hybride aangedreven auto met een relatief hoog rendement op fossiele brandstoffen, is in de krachtige electromotoren ca. 1-2 kg Neodymium verwerkt [bron: Financial Times, Buying at the Point of Maximum Pessimism: A Rare Opportunity, Scott Phillips, May 25, 2010). Gegeven een kostprijs van een basale Prius van €12.000, en een kiloprijs van 92,5/kg (bron Metalprices.com??)(zomer 2010) bepaald Neodymium dus ongeveer 0,8% van de kostprijs. Een verdubbeling van de prijs van Neodymium zou een Prius dus een krappe €100, 0,8%, duurder maken.

Voor een (off shore direct drive) windturbine is 135 kg neodymium per MW nodig. Een gemiddelde windturbine heeft een capaciteit tussen de 1-5 MW. Zonder neodymium zijn zulke krachtige windturbines niet mogelijk. Beleidsintenties kunnen niet worden waargemaakt bij het wegvallen van de supply. Met een 15% kostenaandeel (interview met Panu Kurronen, Product Manager Standard Generators at The Switch Drive Systems, speaks to IQPC, May 11, 2011) van Nd op een turbine zal de energieprijs aanzienlijk stijgen bij een verdubbeling van de Nd prijs.

Factors affecting price elasticity of demand

1. The number of close substitutes – the more close substitutes there are in the market, the more elastic is demand because consumers find it easy to switch. E.g. Air travel and train travel are weak substitutes for inter-continental flights but closer substitutes for journeys of around 200-400km e.g. between major cities in a large country.
2. The cost of switching between products – there may be costs involved in switching. In this case, demand tends to be inelastic. For example, mobile phone service providers may insist on a12 month contract which has the effect of locking-in some consumers once a choice has been made
3. The degree of necessity or whether the good is a luxury – necessities tend to have an inelastic demand whereas luxuries tend to have a more elastic demand. An example of a necessity is rare-earth metals which are an essential raw material in the manufacture of solar cells, batteries. China produces 97% of total output of rare-earth metals – giving them monopoly power in this market
4. The proportion of a consumer's income allocated to spending on the good – products that take up a high % of income will have a more elastic demand
5. The time period allowed following a price change – demand is more price elastic, the longer that consumers have to respond to a price change. They have more time to search for cheaper substitutes and switch their spending.
6. Whether the good is subject to habitual consumption – consumers become less sensitive to the price of the good of they buy something out of habit (it has become the default choice).
7. Peak and off-peak demand - demand is price inelastic at peak times and more elastic at off-peak times – this is particularly the case for transport services.
8. The breadth of definition of a good or service – if a good is broadly defined, i.e. the demand for petrol or meat, demand is often inelastic. But specific brands of petrol or beef are likely to be more elastic following a price change

	Voorbeelden van producten in deze productgroep	**Nieuwe producten (x 1000)**	**Reparatie (x 1000)**	**Hergebruik (x 1000)**	**hergebruik componenten (x 1000)**	**Recycling (x 1000)**
Lampen	Gloeilampen, CFL, LED, TL,	52 540	0	4	89	44 444
Basismetaal	Balken, rollen, platen, draad,	2 226	0	4	2	2 020
Airconditioners	Airconditioners	1 273	153	512	238	952
Mobiele telefoons	Mobiele telefoons,	9 627	1.444	105	2.250	9 000
Elektronische componenten	Halfgeleiders, Printed circuit	809	0	400	375	750
Metaalproducten	Constructiedelen, vakwerken, deuren, kozijnen, tanks, hekken,	16 510	330	2.740	81	8 080
Magnetrons	Magnetrons	730	15	525	30	595
Televisies	Televisies	3 806	457	2.052	180	3 600
Elektrische onderdelen	Batterijen, condensatoren,	775	39	682	6	565
Ov. Consumenten	Zenders, audio apparatuur,	3 150	378	4	340	2 267
Huishoudelijke computers	Printers, laptop's ,	18 611	2.792	639	1.667	16 667
Video en DVD	Videospelers, DVD spelers,	4 548	364	106	200	4 000
Koelkasten vriezers	Koelkasten vriezers	922	46	53	38	750
Wasmachines	Wasmachines, wasdrogers,	1 183	177	1.025	300	857
Overige huishoudelijke	Ovens, elektrische	1 193	143	733	143	950
Elektrisch vermogen	Elektromotoren ,	693	14	77	75	500
Waarnemingsapparatuur	Meetinstrumenten, overige	4 234	423	3.209	375	3 750

B. Recycling rates (bron: MIDNE)

End-of-life recycling rate
De huidige studie is gericht op de problematiek die verbonden is aan de levering van grondstoffen. Via het importeren van materialen en goederen ontstaat in onze samenleving als vanzelf een zogenaamde 'urban mine', een voorraad grondstoffen opgeslagen in onze infrastructuur, kapitaalsinvesteringen of consumpties. Recycling zal in de komende decennia in toenemende mate een belangrijke bron van materialen vormen en er voor zorg moeten dragen dat de eventuele uitputting van bronnen in trager tempo gaat[22].

Uitdagingen bij recycling
Recycling is momenteel voornamelijk commercieel gedreven en beperkt zich dus tot materialen die voldoende opleveren tijdens recycling, hetgeen in veel gevallen betekent dat ze zowel in voldoende hoeveelheden als in voldoende hoge concentratie aanwezig dienen te zijn in de aangeleverde afvalstromen. Veel elementen in moderne electronica komen slechts in beperkte hoeveelheden en/of in een complexe matrix met vele andere materialen voor. Als gevolg daarvan wordt slechts een gering deel van de materialen in complexe apparatuur gerecycled. Dit geldt minder voor materialen in tal van staalsoorten en andere legeringen, en voor het zogenaamde productieafval. Deze beide typen afval komen in acceptabele concentraties bij verwerkers waardoor een recycler in staat is een proces commercieel verantwoord te draaien. De complexe metallurgie van materialen maakt het overigens niet noodzakelijk alle metalen in pure vorm ter recycling aan te bieden; daar waar metalen in ertsen van elkaar gescheiden kunnen worden (zie paragraaf 2.2.3 waar companionality wordt behandeld) is in het algemeen ook een recycling-proces

Indien deze materialen via recycling-processen ter beschikking komen, kan dat onze afhankelijkheid t.o.v. bronlanden verminderen mits die recycling en de eventuele verwerking van deze gerecyclede materialen maar hier plaatsvindt. Nu zijn precieze gegevens omtrent aard en vooral plaats van recycling zeer ondoorzichtig. Een overzicht van de zogenaamde end-of-life recycling rates (EOL-RR; de mate waarin recycling plaatsvindt aan het einde van de levensduur van gebruikte goederen) –gebaseerd op de gegevens in het UNEP-rapport "Recycling Rates of Metals"[23] is gegeven in Tabel 5. In deze tabel staat EOL-RR voor het percentage van de bewuste materialen die in de end-of-life fase worden gerecycled. RC staat voor Recycled Content en staat voor het percentage waaruit op de markt gebracht materiaal uit gerecycled materiaal bestaat. De tabel is gesorteerd naar afnemende hoeveelheid end-of-life-recycling.

[22] Het is hier wel belangrijk op te merken dat de rol van recycling hier belangrijk is vanwege het grote aandeel metalen in de onderzochte lijst. Metalen behouden als gevolg van goede procestechnologie in veel gevallen hun kwaliteit. Voor biotische materialen ligt deze situatie complexer en zal in voorkomende gevallen recycling leiden tot een achteruitgang in kwaliteit en dus waarde. Het gerecyclede materiaal is in dat geval geen substituut voor 'virgin' materiaal.
[23] UNEP-rapport Recycling Rates of Metals, editor: International Resource Panel; lead author: M. Reuter, 2011.

Tabel 5. Overzicht recycling-graad

	EOL-RR (%)	RC (%)		EOL-RR (%)	RC (%)
Cr	90	19	**W**	46	40
Sn	75	22	**Al**	43	35
Fe	70	40	**Zn**	40	23
Pt[24]	70	20	**Mg**	39	33
Ag	65	30	**In**	0	38
Pd[21]	65	21	**Co**	32	68
Ni	60	35	**Mo**	30	33
Rh	55	40	**Ir**	25	17
Mn	53	37	**Sb**	20	5
Nb	53	22	**Ta**	5	20
Au	50	30	**Re**	17	60
Cu	50	30	**Ru**	10	55

Op basis van deze gegevens zou ingeschat kunnen worden hoeveel materialen in principe beschikbaar zouden zijn op basis van geïmporteerde goederen.
De gegevens kunnen ook ingezet worden om een gedetailleerder beeld te geven van het aantal ‘bronlanden’ dat geraffineerde materialen op de markt brengt. ‘Bronlanden’ zijn in dit geval landen waar de recycling zelf plaatsvindt. De gegevens voor een dergelijk gedetailleerd overzicht ontbreken echter. Het grote aantal bedrijven dat metaalrecycling in Europa bedrijft (van talloze schrootverwerkers tot uiterst gespecialiseerde bedrijven als Umicore waar via metallurgische procestechnologie materialen als de platinagroep-metalen, koper, zilver, goud, antimoon, telluur, seleen, indium, nikkel, tin, germanium, zink en kobalt worden gerecycled uit productie-afval en elektronica) doet vermoeden dat de levering van verschillende van deze materialen uit secundaire bronnen binnen Europa verkregen kan worden, hetgeen de wereldwijde leveringssituatie in een gunstiger daglicht plaatst. De situatie voor platina en palladium (bron: 2015-status-rapporten van ThomsonReuter) is illustratief. Waar de gewogen WGI voor platina en palladium als grondstof respectievelijk 5,5 en 13 is, verbetert de gewogen WGI tot respectievelijk 25 en 35 indien rekening wordt gehouden met de aanvoer van gerecyclede materialen. Het is met name dit argument waarop in deze studie is besloten de EOL-RR direct mee te nemen als factor die de kritikaliteit van grondstoffen vermindert.

[24] Voor platina en voor palladium zijn de gedetailleerde gegevens omtrent recycling genomen afkomstig uit de 2015-status-rapporten van ThomsonReuter. Recycling van deze materialen komt bijna volledig van het recyclen van auto-uitlaatgas-katalysatoren.