

WP4.1 Trends en storylines



TNO-rapport**TNO 2021 R10223****Trends in materiaalconsumptie****Strategic Analysis & Policy**

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

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	5 februari 2021
Auteur(s)	Elmer Rietveld, Ton Bastein, Bart Kaas, Sara Wieclawska
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	71 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	PBL
Projectnaam	WP4.1 Trends
Projectnummer	

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.

© 2021TNO

Samenvatting

In het kader van het werkprogramma Circulaire Economie is de noodzaak gedefinieerd om te verkennen welke trends in grondstoffengebruik door de Nederlandse economie relevant kunnen zijn in een nieuwe versie van WLO. Er liggen daarmee twee hypothesen ten grondslag aan dit rapport. Ten eerste dat grondstofgebruik een rol speelt in de manier waarop de fysieke leefomgeving in Nederland de komende jaren wordt beïnvloed. Ten tweede dat het relevant is om de trends in grondstofgebruik te modelleren, omdat in Nederland via beleid invloed kan worden uitgeoefend op het grondstofgebruik.

Deze studie bouwt voort op de structuur zoals die is gehanteerd in de Welvaart en Leefomgeving (WLO) studie gepubliceerd in 2015. Daarnaast is er bestaand werk van het Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML) en de European Environmental Bureau dat de twee hypothesen onderschrijft.

Het analytisch raamwerk in deze studie is gebaseerd op de beroemde $I = P \times A \times T$ formule: Impact (van mensheid) = Population x Affluence X Technology. Het gebruik van raamwerken die een interactie zoeken tussen deze grootheden en drijfveren is niet ontwikkeld omdat de complexiteit van een dergelijk raamwerk de scope van deze studie snel ontsteeg. De "IPAT benadering" heeft zich vertaald in een raamwerk van in totaal tien modules. Daarbij worden de "P" en "A" vertegenwoordigd door demografie en BBP. De "T" van de IPAT formule wordt vertegenwoordigd door de resterende acht modules. Drie modules beschrijven doorsnijdende thema's: technologische innovatie, internationaal beleid en grondstoffenmarkten. De resterende vijf modules zijn gebaseerd op de WLO thema's uit 2015, aangevuld met consumentengoederen.

Drijfveren (donker gearceerde) en dwarsdoorsnijdende (licht gearceerde) modules	Modules die sterk overeenkomen met WLO thema's
Demografie	Landbouw
BBP/capita en samenstelling BBP	Mobiliteit
Technologische innovatie	Energie
Internationaal beleid met direct effect op grondstoffengebruik	Consumentengoederen
Aanbod grondstoffen & basis materiaal producten	Gebouwde omgeving

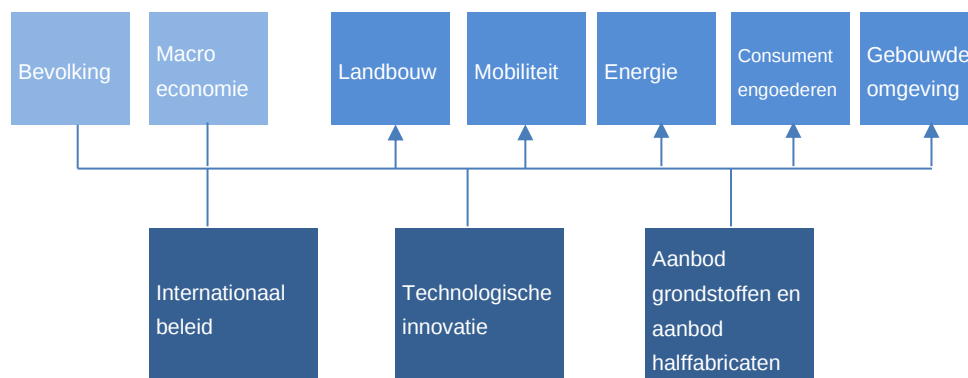
Elke module bevat enkele trends die het meest relevant zijn bevonden gedurende interactieve sessies met experts. Voorbeelden van ("blauwe") trends uit dwarsdoorsnijdende modules zijn materiaalkundige innovaties, klimaatdoelstellingen, ontwikkeling handelsrestricties, de ontwikkeling winbare reserves door exploratie, ertsgraad en (volatiele) grondstofprijzen. Voorbeelden van ("oranje") trends zijn de veranderende samenstelling van energiemix, verandering aandrijving en besturing voertuigen, eigendom structuur voertuigen, gentech, optimalisatie biochemische kringlopen, veranderende voedingspatronen vraagkant en het aanbod aan circulaire diensten.

FIG. 6-1 Het analytisch raamwerk van de studie

In hoofdstuk 6 worden per module de trends en subtrends toegelicht.

We concluderen dat het gebruik van grondstoffen elk onderdeel van de samenleving raakt. Grondstoffen verdienen dus een plek in het modelleren van de leefomgeving van Nederland op basis van scenario's. Tegelijk is het goed om die plek eenvoudig te houden vanwege de analytische complexiteit die het gevolg is van de alom aanwezige rol van grondstoffen in onze samenleving.

Het analytisch raamwerk dat volgt uit onze bevindingen wordt hieronder getoond.



De keuze om een eenvoudige maar robuuste opzet van het analytisch raamwerk te definiëren is bewust gemaakt. Zelfs een relatief eenvoudig raamwerk wordt al snel complex wanneer de interacties tussen trends worden besproken. De robuustheid kan worden bepaald door de aanwezigheid van de meest relevante trends, die bovendien op een relatief eenduidige manier kunnen worden besproken. Een kwalitatieve duiding van de relaties tussen trends is goed te maken, waarbij het onze bevinding is dat een streven naar volledigheid niet reëel is.

Het gebruik van de vermelde bronnen in deze studie geldt als startpunt voor deskresearch in het geval onderzoekers zich moeten inlezen in de rol van grondstoffengebruik in de economie en leefomgeving.

Inhoudsopgave

Samenvatting	Error! Bookmark not defined.
Voorwoord	5
1 Inleiding	6
1.1 Grondslag voor deze studie: twee hypothesen	6
1.2 Voortbouwen op WLO 2015 en CML studie	6
1.3 Voorgestelde werkwijze voor bepalen trends en storylines.....	7
2 Relevantie grondstoffen voor leefomgeving in Nederland	9
2.1 Aangenomen: demografie en economische groei op wereldschaal.....	9
2.2 Relevantie grondstoffen op basis van prijzen.....	10
2.3 Relevantie grondstoffen op basis van koppeling groei en grondstofgebruik.....	12
2.4 Conclusie	14
3 Relevantie rol van grondstoffen in macro-economische modellen	15
3.1 Aangenomen: grondstoffen hebben een plaats in macromodellen	15
3.2 Conclusie	16
4 Hoofdpijnen analytisch raamwerk: onze suggestie hoe verhaallijnen op te nemen in grondstof modellering.....	17
4.1 IPAT als basis.....	17
4.2 Via IPAT naar een analytisch raamwerk voor grondstoffen in WLO	17
4.3 Modules en de noodzaak onderlinge relaties te versimpelen	18
5 Overzicht trends	20
5.1 Voorbeeld grondstoffen in deze studie	20
5.2 Criteria voor benoemen trends	20
5.3 Geobserveerde trends binnen dwarsdoorsnijdende modules	21
5.4 Geobserveerde trends binnen leefomgevingsthema's modules	23
6 Onderbouwing van relevantie en omvang trends	25
6.1 Hoe demografie en materiaalgebruik samenhangen	25
6.2 Hoe BBP en metaalgebruik samenhangen	26
6.3 Dwarsdoorsnijdende trend: Technologische innovatie.....	29
6.4 Dwarsdoorsnijdende trend: Internationaal beleid met direct effect op grondstoffengebruik	33
6.5 Dwarsdoorsnijdende trend: Aanbod van grondstoffen & productie van halffabrikaten	34
6.6 Landbouw	42
6.7 Mobiliteit.....	48
6.8 Energie	52
6.9 Consumentengoederen	57
6.10 Gebouwde omgeving.....	59
7 Bevindingen	64
Literatuur	66

Bijlage(n)

1 Structurerende elementen uit WLO 2015

Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie 2019-2023. Dit werkprogramma is een samenwerkingsverband van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML), het Centraal Planbureau (CPB), het RIVM, RVO.nl, Rijkswaterstaat en TNO onder leiding van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het kabinet streeft naar een volledig circulaire economie in 2050. Het doel van het werkprogramma is om de door het kabinet uitgezette koers naar 2050 te kunnen monitoren en te evalueren en de overheid te voorzien van de kennis die nodig is voor de vormgeving of bijsturing van beleid. Meer informatie over het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie is te vinden op <https://www.pbl.nl/onderwerpen/circulaire-economie>.

1 Inleiding

1.1 Grondslag voor deze studie: twee hypothesen

De komende jaren zal door de het Centraal PlanBureau (CPB) en het PlanBureau voor de Leefomgeving (PBL) worden gewerkt aan een nieuwe editie van de brede verkenning “Welvaart en Leefomgeving” (WLO). In voorgaande edities van de WLO hebben onderzoekers van beide planbureaus trends en toekomstige onzekerheden verkend die van belang zijn voor de fysieke leefomgeving. De studie biedt daarmee de basis voor veel beleidsbeslissingen op het gebied van de fysieke leefomgeving in Nederland.

In het kader van het werkprogramma Circulaire Economie is de noodzaak gedefinieerd om te verkennen welke trends in grondstoffengebruik door de Nederlandse economie relevant kunnen zijn in een nieuwe versie van WLO. Er liggen daarmee twee hypothesen ten grondslag aan dit rapport. Ten eerste dat grondstofgebruik een rol speelt in de manier waarop de fysieke leefomgeving in Nederland de komende jaren wordt beïnvloedt. Ten tweede dat het relevant is om de trends in grondstofgebruik te modelleren, omdat in Nederland via beleid invloed kan worden uitgeoefend op het grondstofgebruik.

1.2 Voortbouwen op WLO 2015 en CML studie

Deze studie kan voortbouwen op eerder werk. Ten eerste de WLO 2015, dat de toekomstige onzekerheden heeft verkend in een scenario Hoog en Laag. Scenario Hoog combineert een relatief hoge bevolkingsgroei met een hoge economische groei van het Bruto Binnenlands Product (BBP) van ongeveer 2% per jaar. In scenario Laag gaat een beperkte demografische ontwikkeling samen met een gematigde economische groei van ongeveer 1% per jaar.

In een WLO geldt dat de te formuleren scenario's één geheel van trends en storylines moeten zijn, waardoor ze de ontwikkeling van economie en leefomgeving op een coherente manier kunnen beschrijven. Het mag niet zo zijn dat scenario's worden opgebouwd met trends en storylines die tegenstrijdig zijn.

Deze toekomstverkenning van WLO had naar eigen zeggen een drietal belangrijke beperkingen. Een daarvan was het inperken van het aantal beleidsterreinen. Natuurlijke hulpbronnen als metalen en andere mineralen vielen buiten het bestek van de WLO 2015. Dit betekent dat voor een analyse over bijvoorbeeld circulaire economie deze WLO niet direct bruikbaar is. De analyse van natuur en water is beperkt. Deze aspecten van de leefomgeving zijn in het kader van deze WLO niet onderzocht. Bovendien werd de ontwikkeling van de technologie gezien als dé grote onzekerheid. Hoe technologie en daarmee de arbeids-, kapitaal- en grondstofproductiviteit zich in de toekomst ontwikkelt is één van de grote onzekerheden.

Bij het ontwikkelen van de modellen van het CPB en PBL werd gewerkt met een modulaire aanpak. De materialen waar de studie zich op richtte waren kunstmest, staal en ruwe olie (voor energie en kunststoffen). In elke module werden de relevante onzekerheden van het betreffende thema verkend. Vervolgens werd een

kwantitatieve invulling gekozen door drijvende krachten c.q. trends. Zo werd bijvoorbeeld de vervoersvraag in de toekomst bepaald door drijvende krachten zoals bevolkingsontwikkeling, macro-economische ontwikkelingen, ruimtelijke patronen en internationale ontwikkelingen rondom klimaat en energie.

Die modulaire opbouw impliceert ook een zekere natuurlijke volgorde waarin de integrale scenario's zijn opgebouwd. De modules voor grootschalige ontwikkelingen zoals demografie en macro-economie zijn in 2015 als eerste uitgewerkt. De output van deze twee modules was vervolgens input voor de vier leefomgevingsthema's (landbouw, mobiliteit, stedelijk gebied en energie) die in meer detail zijn uitgewerkt.

Ten tweede ligt er het rapport "Demand for resources in the Netherlands". Dit heeft het Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML) in opdracht van PBL in 2018 opgesteld. In het licht van de noodzaak inzicht te krijgen in de mogelijke impact van CE-beleid op de materiaalconsumptie in Nederland, richtte dit verkennend rapport zich op het ontwikkelen van een business-as-usual-scenario (BAU-scenario), waarin voor een aantal materiaalstromen gepoogd werd inzicht te verkrijgen in de verwachte vraag naar grondstoffen zonder dat daar specifiek beleid op is gericht. De gevolgde methode ging uit van historische groei van een aantal specifieke grondstofsoorten, de (veronderstelde en ook getoetste) relatie met maatschappelijke en economische drivers (bij wijze van validatie) en een eerste uitzicht naar de gevolgen van deze trends voor 2030 en 2050. Het expliciet meenemen van de trends in dematerialisatie in de toekomstvoorspellingen bleek moeilijk. Een duidelijke conclusie uit het rapport was dat het belang van deze dematerialisatie groot is maar het moeilijk is om deze factor af te leiden uit historische gegevens.

De materialen waar de CML-studie zich op richtte waren landbouwgewassen (t.b.v. veevoeder en menselijke consumptie), fosfaat, staal, enkele 'major' (bijvoorbeeld ijzer, aluminium) en 'minor' (bijvoorbeeld magnesium) metalen, plastics, cement en beton. Het rapport onderscheidde verschillende drijvende krachten voor de ontwikkeling van dergelijke materiaalstromen, waarbij de aannames uit de WLO-scenario's en de historische wereldwijde en Nederlandse BBP-groei een belangrijke rol spelen. CML constateerde dat deze uitgangspunten op een aantal aspecten verbeterd zouden kunnen worden en dat de relatie tussen drivers en materiaalgebruik niet sterk is. Zo is de causale relatie tussen trends en materiaalgebruik niet altijd voorhanden en leidt de inzet van de EXIOBASE-database tot een erg grote afhankelijkheid van via modellen en extrapolaties afgeleide materiaaldata. CML concludeerde dat voor metalen met een specifiek toepassingsgebied een bottom-up aanpak -alhoewel intensief- waarschijnlijk tot betere en gedetailleerdere input leidt voor scenario-vorming dan de (EXIOBASE-gebaseerde) top-down aanpak. Voor materialen zoals zand, cement, plastics, ijzer etc. die overal worden toegepast is een bottom-up aanpak niet van extra toegevoegde waarde. Verdere aanbevelingen betreffen de uitbreiding van WLO-scenario's met meer materiaal-gerelateerde aspecten.

1.3 Voorgestelde werkwijze voor bepalen trends en storylines

De gehanteerde definitie van grondstoffen in dit rapport luidt "alle non-energie grondstoffen". Dit betekent dat kunstmest, landbouwproducten en vooral alle industriële input (metaal, mineraal, biomassa, fossiel) binnen die definitie vallen.

Steenkool, ruwe olie voor energetisch gebruik, biomassa voor energetische gebruik en alle andere energiedragers vallen buiten de in dit rapport gehanteerde definitie. Indien relevant worden die energiedragers apart benoemd.

De besproken aanpak van voorgaande CML-studie levert goede inzichten op met betrekking tot een beperkt aantal stromen, maar laat ook zien dat de maatschappelijke trends zich niet eenvoudig naar materiële consequenties laten vertalen. De zoektocht naar en analyse van trends op het gebied van (voor het CE beleid) relevante materiaalstromen zal dan ook bottom-up, ondersteund met voorbeelden, moeten plaatsvinden. Het moet reeds in dit rapport duidelijk zijn wat de verhouding zou kunnen zijn tussen geobserveerde trends en de uiteindelijke verhaallijn in de nieuwe WLO.

Dit rapport gaat daarmee niet reeds in op scenario's, zelfs niet over onderdelen van scenario's. Dit rapport gaat in op het aanreiken van een analytisch raamwerk met trends. Zo kunnen in de komende jaren coherente verhaallijnen worden gekozen die de uiteindelijke scenario's vormgeven.

Een overweging betreft het begrip "beleidsarm" als het gaat om trends. Met beleidsarm wordt bedoeld dat een trend niet wordt beïnvloed door nieuw te ontwikkelen beleid. Verkenning naar trends die we hier beogen is zo veel mogelijk beleidsarm vanuit de Nederlandse context. (Internationaal beleid kan wel als trend worden gezien). In welke mate deze ambitie wordt waargemaakt blijkt uit de context van de specifieke trend. Het wordt aan de lezer gelaten of deze ambitie voldoende is waargemaakt.

De volgende zaken worden buiten de scope van WP 4.1 geacht:

- Samenstellen Business-AS-Usual (BAU) scenario. Die taak ligt bij WP 4.2 van het werkprogramma 2019 of in projecten na 2019
- Keuze consumptie- of productieperspectief: die keuze ligt bij WP 1.1 van het werkprogramma 2019
- Gekwantificeerde milieu-impacts van grondstofgebruik (milieu-impact als drijfveer kan wel binnen scope 4.1 liggen)
- Het schetsen van bandbreedtes over reële prijsontwikkelingen van grondstoffen. Dit rapport ambieert wel om in de volgende WLO onderbouwde aannames te maken over de ontwikkeling van grondstofprijzen. Dit zal op termijn mogelijk zijn gegeven de vraag- en aanbodpatronen die volgen uit trends en storylines. Zonder een aanname over de prijs is het immers niet mogelijk om economische afhankelijkheden te modelleren.

2 Relevantie grondstoffen voor leefomgeving in Nederland

Eén van de twee grondslagen van dit rapport is dat grondstofgebruik een rol speelt in de fysieke leefomgeving in Nederland. We beschouwen de validiteit van deze grondslag op twee manieren. Ten eerste bekijken we de grondstoffen vanuit het marktperspectief: de prijzen van grondstoffen op de wereldmarkt. Hierbij wordt verwacht dat uitputting van natuurlijke hulpbronnen gepaard gaat met schaarste en dus hoge prijzen. Een tweede manier om de relevantie van grondstoffen te bekijken ligt in sociale en milieukundige druk. De (on)mogelijkheden van het ontkoppelen van de druk veroorzaakt door grondstofgebruik en economische groei bepalen of er in de komende decennia onzekerheden moeten worden verwacht die verbonden zijn met grondstofgebruik.

Voor zowel een beschouwing van prijzen als een beschouwing van ontkoppeling van grondstofgebruiken economische groei is de groei op wereldschaal aangenomen als een gegeven.

2.1 Aangenomen: demografie en economische groei op wereldschaal

Sinds het rapport voor de Club van Rome in 1972 (Meadows et al. 1972) zijn er waarschuwingen geweest dat het onmogelijk is om de economie voor altijd op een eindige planeet te laten groeien.

De studie uit 1972 schetste een tijdlijn. Aan het begin van de 20e eeuw waren er ongeveer 1,6 miljard mensen en bestond een waargenomen overvloed aan grondstoffen en land. Technologische vooruitgang maakte in toenemende mate de verbetering van de levensomstandigheden en de menselijke gezondheid mogelijk. Het gebruik van fossiele brandstoffen maakte het gebruik van grondstoffen in een ongekend toenemend tempo mogelijk. Na 1945 resulteerde dit in een exponentiële groei van de bevolking en in broeikasgasemissies. In 1972 werd voor het eerst sinds lange tijd de vraag gesteld of toekomstige generaties beter af kunnen zijn dan de toenmalige.

De lidstaten van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) van het 'oude' rijke Westen hebben een gezamenlijke bevolking van ongeveer een miljard en een BBP dat ongeveer USD50.000 per persoon per jaar bedraagt. China, India, Rusland, Zuid-Afrika en Brazilië (BRICS) zien momenteel de buitengewoon snelle ontwikkeling van een nieuwe middenklasse van tussen de een en twee miljard mensen, die ook verwachten een vergelijkbaar inkomen te hebben tegen 2050. Geen enkele politicus uit dergelijke landen is in de positie te suggereren dat mensen in die OESO-landen en snel ontwikkelende economieën tevreden moeten zijn met minder dan die USD50.000 per persoon. Met een wereldbevolking van ten minste negen miljard in 2050, blijven er nog ongeveer zes tot zeven miljard mensen over die in de armere landen en regio's wonen. Fischer-Kowalski (2009) heeft aangetoond dat een gemiddeld bbp van USD 10.000 per persoon per jaar nodig is voor een redelijke levensverwachting en toegang tot basisvoorzieningen zoals onderwijs en schoon drinkwater. Als het BBP onder dit niveau daalt, wordt het leven van mensen al snel slechter: kortere levensverwachting, hogere kindersterfte enzovoort. Leiders van die landen zullen

daarom willen streven naar een minimum BBP-niveau van ongeveer USD 10.000 per persoon per jaar, en zullen dit niet willen dwarsbomen door bijvoorbeeld de milieudoelstellingen van Rio + 20 of de recente COP21 in Parijs in 2015. Deze wensenlijst - die de wereldleiders in hun achterhoofd hebben op internationale duurzaamheidsconferenties - betekent dat de omvang van de wereldeconomie in 2050 USD 200 biljoen zou moeten zijn. Dit is vier keer zoveel als in 2005.

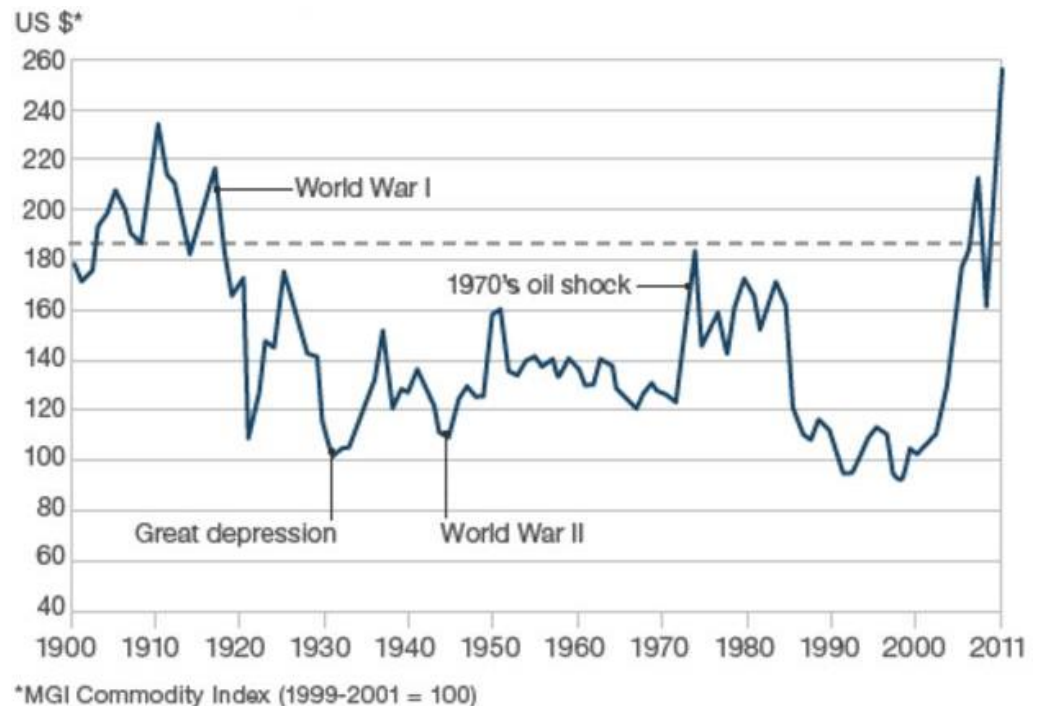
2.2 Relevantie grondstoffen op basis van prijzen

Het ligt voor de hand dat door deze verviervoudiging van BBP, of door de eindigheid van aanbod van grondstoffen zoals aangenomen door de Club van Rome in 1972, prijsstijgingen zijn te verwachten. Dit is echter niet het geval.

Perioden van dalende prijzen die volgen op perioden van prijsstijgingen, zoals tussen begin jaren '80 en de eeuwwisseling en recent tussen 2013 en 2016 duiden op een functionerende markt met corrigerende mechanismen die vraag en aanbod in evenwicht brengen. Deze ontwikkeling heeft in het verleden geleid tot de bewering dat dezelfde Club van Rome een groep verkeerd geïnformeerde pessimisten leek te zijn¹. Met dat perspectief zijn problemen die de extractie van grondstoffen kan veroorzaken overkomelijk met hulp van menselijke inventiviteit. Optimisten wijzen erop dat er tot nu toe in ieder geval geen fundamentele crisis is geweest met betrekking tot de beschikbaarheid van natuurlijke hulpbronnen.

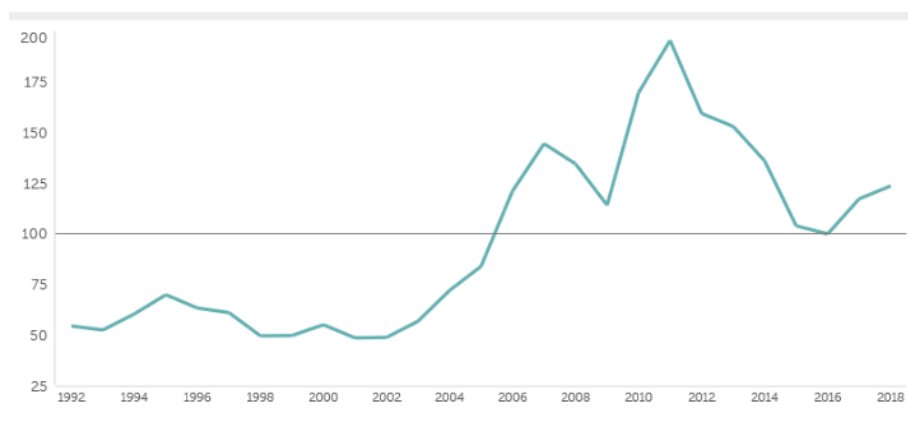
Voor de waargenomen daling of stijging van de voor inflatie gecorrigeerde grondstofprijzen op lange termijn (periode van 1900–2011) kunnen we kijken naar Figuur 1 (Dobbs et al. 2011). Deze commodity price index neemt vier materiaalgroepen in beschouwing: energie, voedsel, landbouwgewassen en bosbouw, metalen. Het is duidelijk dat de opkomende economieën sinds 2000 de vraag en daarmee de prijs van commodity's hebben opgestuwd.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Simon-Ehrlich_wager



Figuur 1 Inflatie gecorrigeerde prijzen van wereldwijd verhandelde commodity's, 1900–2011 (Dobbs et al. 2011)

De sterke prijsdaling van grondstoffen vanaf 2011 is echter niet in Figuur 1 getoond. Voor de ontwikkeling in de afgelopen jaren moeten we kijken naar Figuur 2. Ook in dit figuur is de commodity price index getoond (vier materiaalgroepen), maar zijn wel alleen de prijzen van materialen meegenomen die aan de industrie (dus niet landbouw of finale consumptie) zijn geleverd. De meest algemene en ook meest gangbare verklaring voor de ontwikkelingen tussen 2009 en 2018 hebben te maken met de vraag naar grondstoffen van de Chinese economie. Prijzen van staal, non-ferro metalen, kunstmest en industriële mineralen (feldspar, perliet, diatomiet, kaolien klei etc.) werden opgestuwd tussen 2000 en 2011 door een combinatie van een vertraagde aanpassing in het productievolume van grondstoffen en geopolitieke ontwikkelingen. De afkoeling van de Chinese economie na 2014, in het bijzonder de vertraagde groei in vraag naar bouwmaterialen, zorgde voor enorme overschotten op markten voor commodities.



Figuur 2 Prijsindices van industriële inputs, 1992–2018 (2016 = 100)²

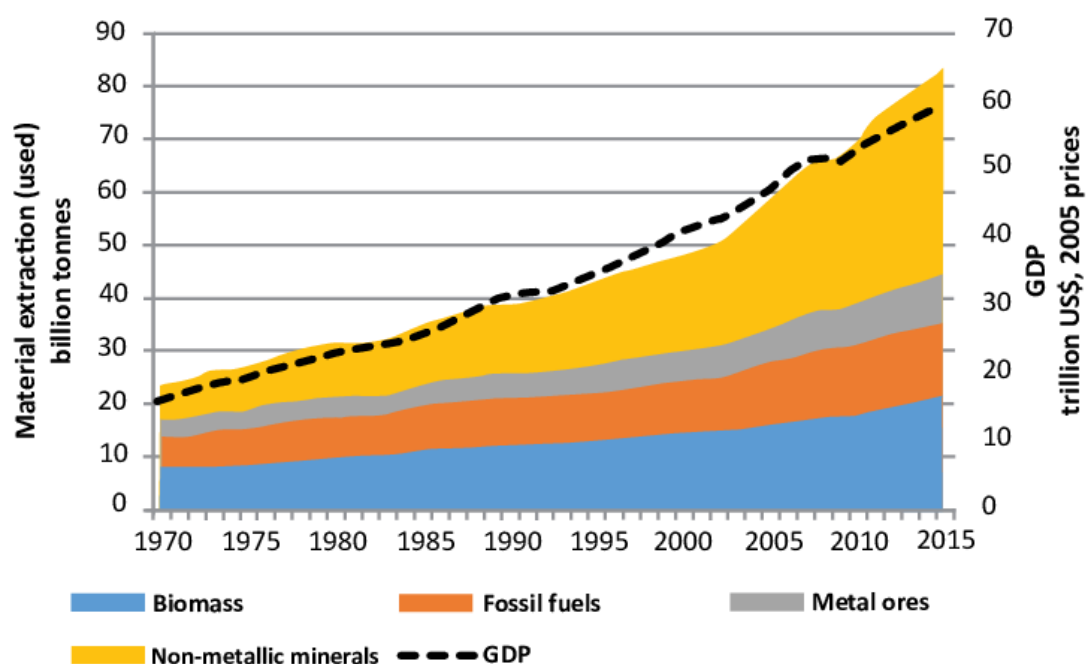
Op basis van Figuur 2 kan worden gesteld dat markten op de termijn van enkele jaren hebben gefunctioneerd in het bedienen van de grondstofbehoefte voor de huidige economie. Een factor in de stijging van prijzen na 2016 is de vraag naar commodity's die nodig zijn voor de vervaardiging van innovatieve elektronica en producten die de energietransitie vormgeven³. De eerdergenoemde vertraagde groei in aanbod (met name de moeite die mijnbouwproductie heeft om snelle aanpassingen te volgen) rechtvaardigt daarmee het onderzoeken in de rol van grondstoffen in de ontwikkeling van de economie. Welke rol spelen grondstofprijzen in de snelheid waarmee bijvoorbeeld elektronische voertuigen de markt kunnen betreden? Wat als alle batterijmaterialen allemaal zo overvloedig c.q. goedkoop waren als bijvoorbeeld ijzererts?

2.3 Relevantie grondstoffen op basis van koppeling groei en grondstofgebruik

Naast ontwikkelingen in ontwikkelde economieën en de eerder genoemde BRICS landen, wordt in de komende decennia een majeure groei verwacht in andere landen. Voorbeelden zijn India, Indonesië, Pakistan, Egypte, Nigeria, Bangladesh en de Filipijnen. De enorme economische groei die in die landen tegen 2050 wordt verwacht, vormt een uitdaging voor ons sociaal en milieukundig systeem.

² <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>

³ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/three-surprising-resource-implications-from-the-rise-of-electric-vehicles>



Figuur 3 Global primary raw material extraction and GDP growth (UNEP 2016)

Een economische groei van 3% per jaar zal na 23 jaar resulteren in een economie die twee keer zo groot is als vandaag. Zoals weergegeven in Figuur 3, is er geen bewijs voor ontkoppeling, dus moeten we vooralsnog aannemen dat het gebruik van grondstoffen in dezelfde orde van grootte zal groeien. In feite toont de grafiek een koppeling van economische groei en het gebruik van hulpbronnen sinds 2010. Er is dus op basis van het verleden geen verwachting dat ontkoppeling van grondstofextractie en economische groei zal plaatsvinden. Een gekoppelde groei van economie en gebruik van hulpbronnen zal in een dergelijke toekomst realistisch worden geacht door te wijzen op de mogelijkheid van technologische innovatie. Voorbeelden van dergelijke technologische disruptieve innovatie zijn synthetische fotosynthese, kernfusie, versnelde toename van computerrekenkracht, Additive Manufacturing, CCS of een op biomassa gebaseerde economie.

Het International Resources Panel van de VN toonde de enorme groei in materiaal- en energiewinning sinds 1900 (IRP 2019). De inspanningen die nodig zijn om nieuwe fossiele energiebronnen aan te boren zijn met 300% zijn toegenomen, waarbij de productie in 2012 met slechts 14% is toegenomen, beide in vergelijking met het jaar 2000 (Lewis 2014). In 2030 heeft de wereld 40% meer zoet water nodig dan op de huidige niveaus duurzaam kan worden gewonnen. Wereldwijde vissersvloeden kunnen, ondanks geavanceerdere technieken, minder vis vangen dan in de jaren zeventig. De noodzaak van klimaatbeleid, vervat in het klimaatakkoord van Parijs in 2015, vereist een reductie van circa 80% van de CO₂-uitstoot tegen 2050. Het gebruik van nog meer land voor landbouw of bio-energie heeft grote implicaties voor ecosystemen en dus de biodiversiteit (van Vuuren & Faber 2009). In vergelijking met 1900 is meer dan 60% van de vruchtbare landgebieden gecultiveerd ten koste van natuurlijke ecosystemen (MES 2005; Alexandros & Bruinsma 2012). De kwaliteit van erts daalt omdat de beste bronnen al zijn uitgeput. Dit betekent niet dat uitputting voor 2050 op handen is, maar het betekent wel dat de energie-eisen voor het extraheren van metalen zullen toenemen (Northey et al. 2014). Voorbeelden zijn te zien van politisering van de toegang tot grondstoffen. De

crisis met 'zeldzame aarden' in 2010 en 2011 had bijvoorbeeld ernstige gevolgen voor de hightech-industrie, vooral in Japan, maar ook in de VS en Europa (Peck 2016).

Bij de zoektocht van drijfveren voor materiaalgebruik in de toekomst is het ook nuttig om te kijken naar majeure ontwikkelingen in productiefactoren in het verleden. Dit kunnen naast technische innovaties ook andere veranderingen in aanwezige productiefactoren zijn. Voorbeelden zijn de toevoeging van het Amerikaanse continent aan de wereldeconomie, het benutten van fossiele brandstoffen en elektriciteit als energiebronnen, de introductie van de welvaartsstaat, het einde van de koude oorlog en de opname van vrouwen in de beroepsbevolking zijn duidelijke voorbeelden van grote en blijvende absolute groei van productiefactoren.

Voor de viervoudige economische groei die tot 2050 nodig is zou ontkoppeling noodzakelijk zijn, maar zoals eerder aangegeven is er geen bewijs dat wereldwijd economische groei kan worden ontkoppeld van de winning van primaire mineralen en metalen. Met dat in gedachten zou in 2050 bijna drie keer zoveel grondstoffen nodig zijn als in 2014. Gecombineerd met de toezeggingen van de klimaatovereenkomst moet deze ontkoppeling worden gerealiseerd in een economie die ongeveer vijf keer minder uitstoot moet veroorzaken in vergelijking met 2014.

2.4 Conclusie

Grondstofmarkten zijn bij uitstek internationale markten. Waar bulkmaterialen zoals zand en grind nog een relatief sterke geografische component hebben vanwege de verhouding tussen de waarde en transportkosten, zijn de meeste grondstofmarkten globaal te noemen. Wat relevant is voor de wereld is dus in de meeste gevallen relevant voor Nederland. Evenals de prijsontwikkeling na 2016 biedt de afwezigheid van bewijs voor absolute ontkoppeling een onderbouwing van de hypothese dat de druk op de beschikbaarheid van grondstoffen alleen maar zal toenemen. En daarmee zijn de dit hoofdstuk geschetste trends in mondiaal gebruik van grondstoffen mogelijk van betekenis voor lokaal gebruik c.q. het opstellen van scenario's voor de fysieke leefomgeving in Nederland tot 2040.

3 Relevantie rol van grondstoffen in macro-economische modellen

Eén van de twee grondslagen van dit rapport is dat het relevant is om de trends in grondstofgebruik te modelleren, omdat in Nederland via beleid invloed kan worden uitgeoefend op het grondstofgebruik.

3.1 Aangenomen: grondstoffen hebben een plaats in macromodellen

Veel van de thans gehanteerde macro-economische modellen zijn gebaseerd op de concepten van een Nationale Rekeningen (NR). Deze modellen zijn in een aantal gevallen voorzien van “Environmental Extensions” (EE) in een poging om effecten die geen marktprijs hebben toch in een economisch model te kunnen kwantificeren (Hoekstra 2019). Beleidsmakers kunnen het vermogen van modellen waarderen om de gevolgen van grote veranderingen in een bepaalde sector in relatie tot de economie als geheel te verklaren (André et al. 2010; Aguilar-Hernandez et al. 2018), en beleidsmakers van mondiale instellingen benadrukken het belang van het laten groeien van de economie op duurzame manieren (Lagarde 2019), wat onmogelijk is zonder goed begrip van grondstoffenmarkten. Deze uitspraken leiden tot de verwachting dat op NR gebaseerde modellen een essentieel hulpmiddel zijn voor het beoordelen van kansen voor een circulaire economie. Toch kunnen de beschikbare gegevens en bijbehorende modellen met EE de impact op economische groei, banengroei en mondiaal concurrentievermogen niet accuraat genoeg inschatten op een manier die robuust genoeg is voor politieke leiders om hun boodschap op te bouwen. Het is bijvoorbeeld ook mogelijk om een causaal verband te leggen tussen economische activiteit die wordt gecreëerd als gevolg van grondstof- en productgebruik en de effecten op de arbeidsmarkt, een behoefte die in SER (2016) wordt benadrukt.

De uitkomsten van macro-economische modellen zijn sterk afhankelijk van de aannames die zijn gemaakt om scenario's te evalueren. De aannames die in deze modellen worden ingevoerd - die met betrekking tot de toekomstige productiviteitsgroei, de mate van substitueerbaarheid tussen verschillende materiaalsoorten en toekomstige consumptiepatronen - zijn belangrijke bepalende factoren voor de modelresultaten (McCarthy et al. 2018). Bijvoorbeeld, een veelvoorkomend probleem is dat substitueerbaarheid op een algemene manier wordt gemodelleerd zonder rekening te houden met technische grenzen. Zo kan staal in een auto deels vervangen worden door plastics/composieten, zoals bij bumpers. Een macro-economisch model heeft veelal echter geen technisch onderbouwde grens aan deze substitutie. In de meeste gevallen worden parameters in de modellen geschat op tijdreeksen op basis van de NR en in andere gevallen afgeleid van theorie en modellen worden daarna gekalibreerd om plausibele en bruikbare resultaten te leveren. Dit maakt dat macro-economische modellen per definitie afhankelijk van historische relaties die misschien niet meer in dezelfde mate van belang zijn in de toekomst. Een macro-economisch model is geen voorspeller van de ontwikkelingen in de verre toekomst maar een beste inschatting. Bijvoorbeeld Meyer et al. (2016) stellen dat technische coëfficiënten exogeen zijn aangepast voor de productie van metalen, niet-metalen mineralen en papier. Het gebruik van materiaal-, sector- of product specifieke onderliggende onderzoeken kan zeer nuttig zijn om de scenario's te kaderen (Winning et al. 2017)

Met de juiste gegevens kan men de juiste scenario's beoordelen. Substitutie tussen materialen en kapitaal en arbeid kan met deze modellen worden geanalyseerd. Denk hierbij aan materiaal-voor-materiaalvervanging, product-voor-product of functionaliteit-voor-functionaliteit. Een endogeen model zou ervoor kunnen kiezen om de vervanging van materialen (d.w.z. productgroepen voor beter presterende aandelen of diensten) mogelijk te maken. In de weinige gevallen waarin deze vervangingsopties zijn gemodelleerd, waren deze opties gebaseerd op bestaande technologieën of eenvoudigweg exogene input. Dit betekent dat innovaties in product- of procesontwerp niet in aanmerking kunnen worden genomen of dat er helemaal geen feedback is tussen productiefactoren. Het model moet ook het deel van de sector/industrie identificeren dat de grondstoffen en goederen vertegenwoordigt.

Grondstoffen, natuurlijke hulpbronnen en (milieu)-externaliteiten (EE) hebben reeds decennia een plaats in macro-economische modellen en scenario gebaseerd onderzoek. Deze modellen vormen de basis van de WLO-studie. Dit biedt een onderbouwing van de hypothese dat het relevant is om de trends in grondstofgebruik te modelleren, omdat in Nederland via beleid invloed kan worden uitgeoefend op het grondstofgebruik.

4 Hoofdpijnen analytisch raamwerk: onze suggestie hoe verhaallijnen op te nemen in grondstof modellering

Om bottom-up in kaart te brengen wat de effecten zijn van verschillende trends op het grondstofgebruik zal in dit hoofdstuk het voorgestelde analytisch raamwerk worden toegelicht. Het uitgangspunt voor dit raamwerk is het versimpelen van onderlinge relaties in trends om het grondstofgebruik in verhaallijnen uit te kunnen drukken. Het volgende hoofdstuk zal vervolgens ingaan op de inventarisatie van de trends.

4.1 IPAT als basis

Voor deze studie is de veelgebruikte IPAT formule (Ehrlich & Holdren 1971) als basis en uitgangspunt gekozen. Deze formule wordt gebruikt om de impact (I = Impact) van menselijke activiteit op het milieu te kwantificeren op basis van de bevolkingsomvang (P = Population), het BBP/capita (A = Affluence) en technologie, uitgedrukt in milieu impact/EUR (T = Technology): $I = P * A * T$

Van oudsher is dit een vermenigvuldiging waarbij technologie voor de ont koppeling moest zorgen om de milieu impact te beperken. Om aan te sluiten bij het doel van deze studie is ervoor gekozen om hiervan af te wijken en de bevolkingsomvang (P) en het nationaal BBP (A) als drijvende krachten te gebruiken en de T van technologie breder te interpreteren, namelijk als een samenstelling van verschillende Trends. Technologie blijft een belangrijke factor die ook als trend meegenomen wordt, echter hierdoor zijn ook andere factoren mee te nemen zoals trends in sociale aspecten, internationaal beleid en handel.

Voordat we dieper ingaan op trends is het nog goed om kort stil te staan bij de “ P ” van bevolking en de A van inkomen per hoofd van de bevolking. Voor demografie geldt dat de opbouw van de leeftijdsgroepen van invloed zijn op de omvang en de timing van de impact. Voor het Bruto Binnenlands Product, dat aan de basis staat van inkomen per hoofd van de bevolking geldt dat de economische structuur van invloed is. Bepaalde sectoren hebben een grotere impact dan anderen, zo hebben sectoren uit grondstofextractie en basisindustrie een grotere impact dan diensten. Door wereldwijde ketens zijn deze sectoren echter verbonden in complexe productie en consumptiepatronen.

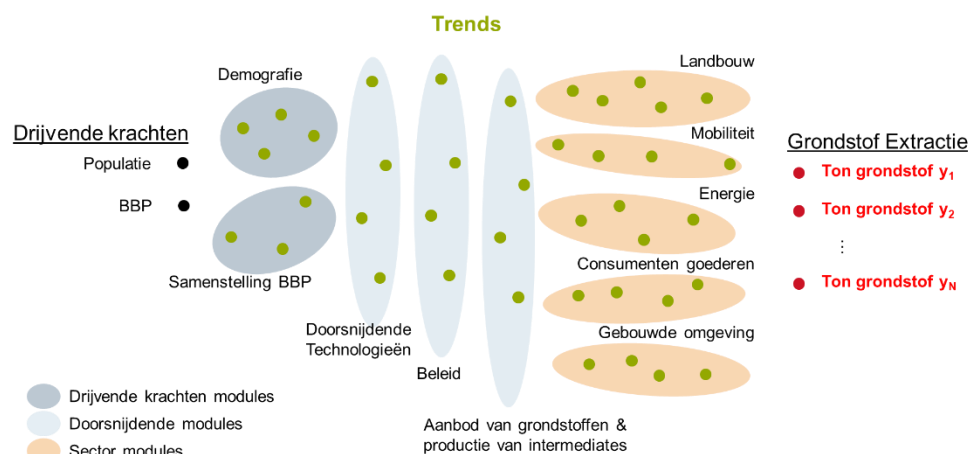
4.2 Via IPAT naar een analytisch raamwerk voor grondstoffen in WLO

De trends en storylines van deze studie willen de T van technologie breder te interpreteren, namelijk als Trends. Deze trends kunnen verbonden worden aan de modelmatige onderdelen van het WLO, de verschillende modules. Hoe de modules zijn gekozen en hoe de relaties tussen de modules conceptueel wordt gezien is belangrijk voor het begrip in de rest van dit hoofdstuk

In Figuur 4 is de samenhang van de tien modules te zien en hun relatie met de drijvende krachten en grondstof extractie. Aan de linkerzijde staan de twee drijvende krachten: populatie en BBP. Hier direct naast zijn de twee modules

weergegeven die de detail trends omvatten van de drijvende krachten, de drie doorsnijdende modules in het midden en de vijf sector modules aan de rechterzijde. Helemaal rechts zijn vervolgens de verschillende grondstoffen weergegeven die worden gedreven door dit raamwerk.

Om het verwachte grondstofgebruik te bepalen dient er vanuit een enkele grondstof gedacht te worden aan de rechterzijde. Zo zal de rol van de module landbouw anders zijn voor de grondstof fosfaat als voor de grondstof koper. Voor fosfaat zullen verschillende belangrijke trends binnen de module landbouw te identificeren zijn en voor koper zullen de meest relevante trends bij andere modules zijn ondergebracht.



Figuur 4 Schematische weergave van het analytisch raamwerk

4.3 Modules en de noodzaak onderlinge relaties te versimpelen

Zoals Figuur 4 laat zien zijn talloze trends, drijvende krachten en onderlinge relaties te identificeren. Het is dus zaak te vereenvoudigen. Het vereenvoudigen kan op veel verschillende manieren gedaan worden, in deze studie is, in overleg samen met de begeleidingscommissie, ervoor gekozen om tot een indeling te komen die eerdere WLO-modules en cruciale drijvende krachten in beeld brengt. Zo is gekomen tot een samenhangend geheel van tien modules⁴, zoals te zien in tabel 1.

Tabel 1 De voorgestelde tien modules uit het analytisch raamwerk trends en storylines

Drijfveren (donker gearceerde) en dwarsdoorsnijdende (licht gearceerde) modules	Modules die sterk overeenkomen met leefomgevingsthema's
Demografie	Landbouw
BBP/capita en samenstelling BBP	Mobiliteit
Doorsnijdende technologieën	Energie
Internationaal beleid met direct effect op grondstoffengebruik	Consumentengoederen
Aanbod grondstoffen & basis materiaal producten	Gebouwde omgeving

⁴ Overeengekomen met PBL, CML en CPB op 21-11-2019 tijdens werksessie.

Trends in demografische aspecten en de samenstelling van het BBP zijn zoals gezegd de meest drijvende krachten. Ze zijn evengoed ondergebracht in twee modules. Het karakter van deze drijvende krachten is via de IPAT formule reeds besproken.

Vervolgens zijn er drie doorsnijdende modules geïdentificeerd, te weten doorsnijdende technologieën, Internationaal beleid met een direct effect op wereldwijd grondstofgebruik en ontwikkelingen in het globale aanbod van grondstoffen & basis materiaal producten (producten die geen grondstoffen meer zijn maar nog relatief vroeg in de waardeketen worden verhandeld). Bij doorsnijdende technologieën kan men denken aan bijvoorbeeld digitalisering en Additive Manufacturing ("3D printen") mogelijkheden.

Zelfs met het gegeven dat de WLO uitgaat van een Nederlands nationaal perspectief kan internationaal milieubeleid als exogene ontwikkeling worden beschouwd. Het beste voorbeeld zijn de effecten die het wereldwijde klimaatbeleid zal hebben op de vraag naar grondstoffen en hulpbronnen zoals water en vruchtbaar land. Afsluitend kan bij het aanbod van grondstoffen en basis materiaal producten worden gedacht aan geopolitieke aspecten en wettelijke voorwaarden van een specifieke grondstof of basisproduct die het aanbod kunnen vergroten of verkleinen.

Er zijn ook vijf leefomgevingen thema's geïdentificeerd met een sterke invloed op grondstofgebruik, dit zijn de landbouw, mobiliteit, energie, consumentengoederen en de gebouwde omgeving. Deze thema's komen in grote mate overeen met de indeling van de voorgaande WLO-studie. Trends die bij landbouw onder te brengen zijn: gentech/veredeling van gewassen, precisie landbouw. Bij mobiliteit hoort de verdienstelijking, de aandrijving van voertuigen en het geautomatiseerd rijden. Bij energie hoort de trend van veranderende infrastructuur en de aanleg van nieuwe capaciteit. Onder gebouwde omgeving vallen ook trends met betrekking op bijvoorbeeld leeftijdsopbouw van de bevolking, gezinssamenstelling en ongelijkheid. Een module voor consumentengoederen (alle goederen die door huishoudens worden geconsumeerd) is een nieuwe toevoeging ten opzichte van de vier modules van de voorgaande WLO-studie. Deze goederen krijgen een aparte module vanwege de grote hoeveelheid beleidsopties en de significantie in de totale Nederlandse economie. Te denken valt aan huishoudelijke apparatuur, kleding en elektronica.

De module structuur poogt een goed evenwicht te bieden tussen mate van detail en een haalbare modellering. Zoals gezegd is grondstofgebruik een doorsnijdend element in een economie. Het verbindt de onderdelen van het analytisch raamwerk en is tevens afhankelijk van een zeer groot aantal variabelen. Zodoende worden de minder sterke onderlinge relaties tussen leefomgeving modules in dit raamwerk geacht niet aanwezig te zijn. De verwachting is dat de sterkste onderlinge relaties zijn geïdentificeerd en samengebracht in de vijf leefomgeving modules. De relaties tussen leefomgeving modules enerzijds en drijfveren en dwarsdoorsnijdende modules worden vanzelfsprekend wel geacht aanwezig te zijn.

5 Overzicht trends

5.1 Voorbeeld grondstoffen in deze studie

Om de relatie tussen trends en grondstofgebruik illustratief te houden, zullen enkele grondstoffen relatief vaak als voorbeeld worden gebruikt in de onderbouwing.

Met dit doel zullen in deze studie de volgende grondstoffen consistent als voorbeeld worden gebruikt:

- IJzer: gemiddelde wereldproductie 2010-2015 1 596 304 000 ton. Werelds meest intensief verhandelde commodity, en basis voor het met afstand meest gebruikte materiaal dat op basis van metalen wordt gemaakt: staal.
- Koper: gemiddelde wereldproductie 2010-2015 18 600 000 ton. Een veelgebruikt metaal met een grote ecologische voetafdruk vanwege de relatief lage ertsgraden (meestal minder dan 1%).
- PlatinaGroepMetalen: gemiddelde wereldproductie 2010-2015 430 ton. Een kostbaar metaal met één zeer grote ecologische voetafdruk. Belangrijk voor zowel katalyse in fossiele brandstoffen als potentieel in de katalyse van groene waterstof.
- Zeldzame aardmetalen (Rare Earth Metals REM): wereldproductie 2010-2018 tussen de 130.000 en 170.000 ton. Deze groep van 17 elementen omvat materialen als neodymium en dysprosium, die ingezet worden in tal van technologieën die sterk verband houden met de energietransitie *elektrisch vervoer, windturbines), en daarbij is de monopolypositie van China bij de winning van betekenis voor het ontwikkelen van leveringszekerheid.
- Fosfaaterts: gemiddelde wereldproductie (uit fossiele mineralen) 2010-2015 144 000 000 ton. Een cruciaal verschil zit in het onderscheid fosfaaterts en het chemisch element fosfaat. De ertsen worden verderop in de keten gescheiden van het chemisch element Fosfor (P).
- Ruwe olie voor polyethyleen: gemiddelde wereldproductie polyethyleen 2010-2015 85 000 000 ton. Het meest gebruikte plastic in de wereld (aandeel 30-40%) een belangrijk materiaal voor (voedsel)verpakkingen.

5.2 Criteria voor benoemen trends

In het selecteren van de trends zijn de volgende criteria gebruikt. De auteurs nodigen lezers graag uit om zelf te oordelen of de criteria die in paragrafen 5.3 en 5.4 worden gepresenteerd daadwerkelijk aan deze criteria voldoen.

- Is de relatie met de drijfveren BBP en Bevolking zo onafhankelijk/orthogonaal mogelijk? Doel van dit criterium is om trends te benoemen die de met de IPAT formule kunnen sturen, waarbij de T niet als technologie maar als trend wordt beschouwd (zie ook paragraaf 4.1).
- Zijn de trends onafhankelijk van de twee in WLO 2015 gebruikte sleutelonzekerheden in scenario's, te weten de omvang van de publieke overheid en de globalisering uitgedrukt in intensiteit van wereldhandel? Doel van dit criterium is om trends te benoemen die minder sterk verbonden zijn met een sleutelonzekerheid en zodoende een nuttigere bouwsteen vormen voor een toekomstig scenario.
- Zijn de drijfveren beleidsrelevant voor de vijf transitieagenda's?

De volgende trends zijn geselecteerd binnen de drie dwarsdoorsnijdende modules als meest relevant voor het Nederlandse gebruik van materialen zoals geselecteerd in paragraaf 5.1.

Module	Trend(s)	Subtrend	Voorbeelden en overwegingen bij trend
Doorsnijdende technologieën	Opname marktrijpe technologie		
		Additive Manufacturing	<i>3D printen</i>
		Human machine interfaces	<i>Robotisering en drones</i>
		Databeheer & Communicatie	<i>Meer datacentra; impact van ICT op productie(funcities) en consumptiepatronen (internetsales)</i>
	Materiaalkunde innovatie		<i>Recycling, meer gesloten kringlopen dus hoogwaardiger. Een grotere inzet van biomassa, die metalen en niet-energetisch gebruik van aardolie vervangt. Ook het HISARNA proces is een voorbeeld, waarbij 30% minder CO₂ per eenheid staalproductie wordt geproduceerd. Dit betekent meer ruimte in klimaatdoelen voor staalproductie, trend zoeken in procestechnologie:</i>

ENIG 01 ENIG 0001 ENIG 0002 ENIG 0003 ENIG 0004 ENIG 0005

Internationaal beleid	Klimaatdoelstellingen		<i>De vanzelfsprekendheid van een impact door aard en omvang van kapitaalgoederen en land- en bosbouw die in een energietransitie passen</i>
	Overig beleid met direct effect op grondstoffen		<i>De rol van de 50% doelstelling in 2030 valt onder deze trend. De trend aandacht beleidsmaker en betrokken burger waarneembaar, maar in grote delen samenleving nog niet</i>
		Zeer Zorgwekkende Stoffen	
		Microplastics	
Aanbod grondstoffen & basis materiaal	Ontwikkeling handelsrestricties		<i>WTO artikel 20 uitzonderingen voor grondstoffen</i>
	Ontwikkeling winbare reserves		<i>Substituten die voor bestaande producten direct beschikbaar zijn</i>
	Ertsgraad en CO2-emissie mijnbouw		
	Grondstofprijzen		

5.4 Geobserveerde trends binnen leefomgevingsthema's modules

De volgende trends zijn geobserveerd binnen de vijf leefomgevingsthema's modules.

Tabel 2: overzicht drijfveren, trends en subtrends

Module	Trend	Subtrend	Voorbeelden en overwegingen bij trend
Module gebouwde omgeving	Samenstelling huishoudens		
		Meer consumptie door oudere cohorten	<i>Relatief meer medicijnen, relatief minder gezinsproducten</i>
		Aantal kinderen per vrouw	<i>Heeft gevolgen voor gezinsgrootte en dus op huisvesting</i>
	Ruimtelijke concentratie (Urbanisatie)		<i>Type woningen, woninggrootte, gebruik landbouwgrond</i>
		Partijen in waardeketen geografisch mogelijk dichterbij elkaar	<i>Geografische impact Additive Manufacturing, distributie, nieuwe rol van detailhandel</i>
		Ongelijkheid	<i>Naar leeftijd, woonlocatie, opleiding, inkomen. Ook relatie met digitalisering</i>
Module Energie	Veranderende samenstelling van energiemix		
	Aanleg hernieuwbare energie infra		
Module Mobiliteit	Verandering aandrijving en besturing voertuigen		<i>Elektrische voertuigen en waterstofgas</i>

	Eigendom structuur voertuigen		<i>Private lease en deelsystemen onder invloed van geautomatiseerde besturing</i>
Module Landbouw	Gentech		<i>Gentech leidt tot verhoging productiviteit landbouw. Invloed op meststoffen?</i>
	Optimalisatie biochemische kringlopen		
	Veranderende voedingspatronen en vraagkant		
		Bewustzijn effecten voeding op eigen lichaam	<i>Gezonder willen eten & Eisen aan voedingswaarde van eten; ontwikkelingen dieet, vegetarisch o.i.d.</i>
		Bewustzijn effecten voeding op dier en natuur	<i>Consumptie Minder vlees, meer draagvlak voor milieubeleid</i>
Consumentengoederen	Behoeften vervulling via fysieke goederen		<i>Balans Huishoudelijke uitgavenpatronen tussen goederen en diensten</i>
		Gebruik kunststofproducten	
	Aanbod circulaire diensten		<i>Lease, reparatie, hergebruik</i>

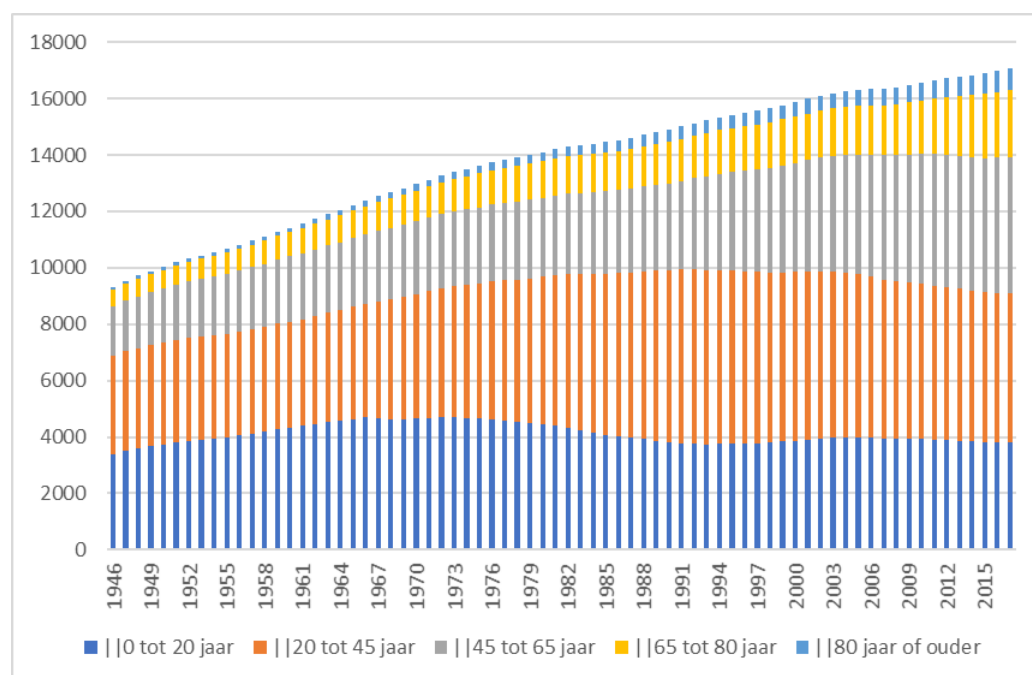
6 Onderbouwing van relevantie en omvang trends

In dit hoofdstuk wordt de relevantie, in relatie tot de WLO-modellering, van de geselecteerde trends met een aantal voorbeelden onderbouwd. Deze onderbouwing zal niet uitputtend zijn. Dit betekent dat, met Tabel 2 in gedachte, voor elke trend een voorbeeld wordt gegeven maar niet voor elke subtrend. Het geeft wel een illustratie van de gebruikte bronnen en de mogelijkheden om een op het geografische niveau van Nederland trends te kwantificeren en te verbinden met modelvariabelen die in voorgaande WLO-studies zijn gebruikt.

6.1 Hoe demografie en materiaalgebruik samenhangen

6.1.1 Leeftijdsopbouw

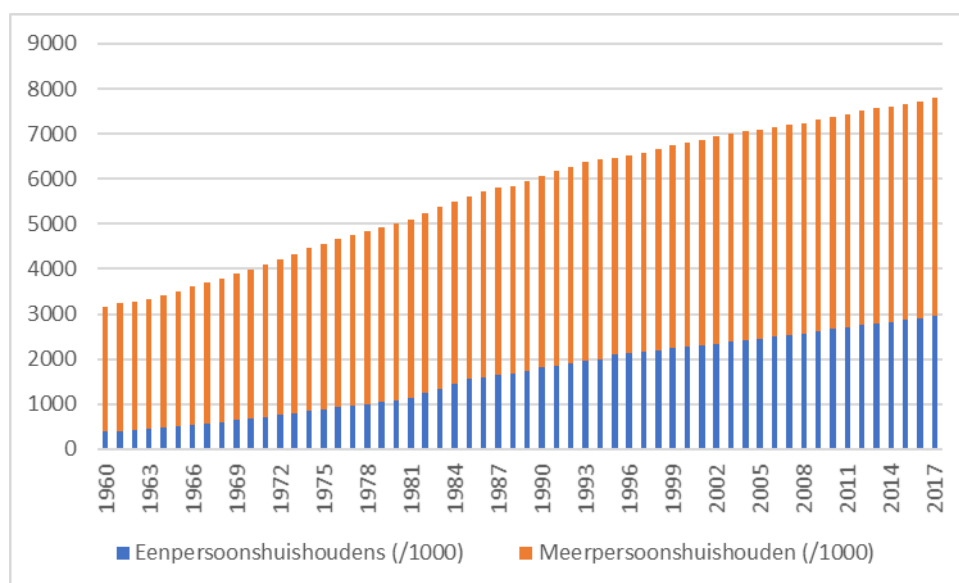
Figuur 5 geeft een beeld van de ontwikkeling van de leeftijdsopbouw van Nederland in de afgelopen 70 jaar. Dergelijke demografische gegevens zullen invloed hebben op o.a. de ontwikkeling van het aantal eenpersoonshuishoudens, en daarmee op aard en grootte van huisvesting.



Figuur 5 Ontwikkeling leeftijdsopbouw Nederlandse bevolking (schaal x 1000)

6.1.2 Gezinssamenstelling

De demografische trend van een toenemende oudere bevolking zal zich deels vertalen in het aantal éénpersoonshuishoudens, die toch al enorm toeneemt in de afgelopen jaren. Deze veranderingen zullen o.a. gevolgen hebben voor het aantal woningen en dus het daarmee gemoeide materiaalgebruik.



Figuur 6 Ontwikkeling één- en meerpersoonshuishoudens (schaal x 1000) (bron: Statline)

6.2 Hoe BBP en metaalgebruik samenhangen

De onderzoeksgroep van Halada (Innovative Materials Engineering Laboratory, National Institute for Materials Science, Tsukuba) heeft tussen 2008 en 2010 enkele studies gepubliceerd die ingaan op de relatie tussen GDP en de consumptie van een brede groep metalen. Hij gebruikte daar enerzijds de ontwikkeling van de Japanse GDP voor in relatie tot dat materiaalgebruik, en gebruikte die aanpak vervolgens om materiaalgebruik af te zetten tegen het GDP van een brede groep landen. Deze trends lijken van een universeel karakter en vormen daarmee een basis voor een studie naar trends op het gebied van metaalconsumptie.

In de publicatie⁵ "Decoupling Status of Metal Consumption from Economic Growth" wordt onderzocht in hoeverre het gebruik van 22 metalen (te weten: Fe, Al, Cu, Cr, Zn, Mn, Pb, Ni, Co, Sn, Sb, Si, Mo, W, Li, In, Ga, Ag, Au, Pt, Pd and rare earths) ontkoppeld is van economische groei in Japan (voor het geval van staal vergelijkt hij de Japanse data met die van China, Korea, de VS, Canada, Australië en Maleisië). Hij onderscheidt daarbij 'gekoppelde' materialen, materialen met een relatieve ontkoppeling, en met een absolute ontkoppeling.

Hier zullen we de meest karakteristieke patronen opnemen en ingaan op de argumentatie die Halada inzet ter verklaring van de observaties.

⁵ Kohmei Halada, Masanori Shimada and Kiyoshi Ijima, Materials Transactions, Vol. 49, No. 3 (2008) pp. 411 to 418

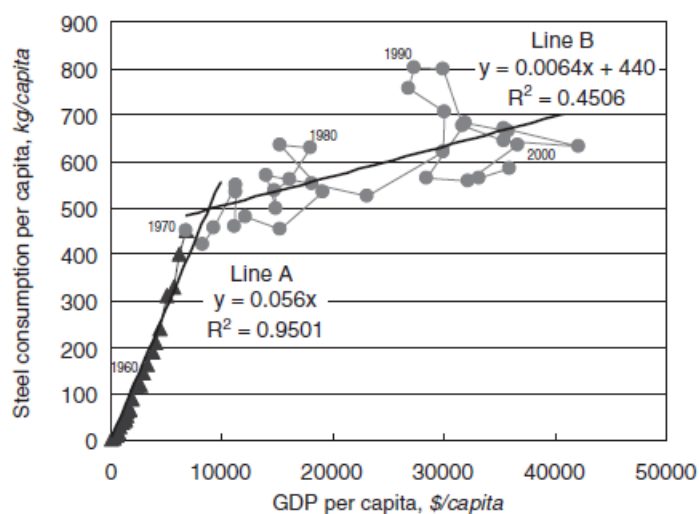


Fig. 3 The relation between steel consumption per capita and GDP per capita in Japan.

Figuur 7 relatie tussen GDP/capita en staalconsumptie in Japan (bron:Halada)

In figuur 7 staat de per capita consumptie van staal afgezet tegen het BBP per capita. De datapunten betreffen de ontwikkeling in Japan tussen 1945 en 2004. De groei van de Japanse staalconsumptie verloopt tot 1970 (GDP ongeveer 10.000 \$/cap) sneller dan na dat moment, een voorbeeld van relatieve ontkoppeling. Dit omslagpunt voor relatieve ontkoppeling bij 10.000 \$/cap lijkt ook op te treden voor aluminium (met een zeer zwakke relatieve ontkoppeling), nikkel, molybdeen, antimoon en zilver. Halada stelt dat dit 'gedrag' veroorzaakt kan zijn door een verandering van de aard van de toepassing (na het opbouwen van basale infrastructuur), zoals de inzet van aluminium en sterker staal in lichte en sterke auto's.

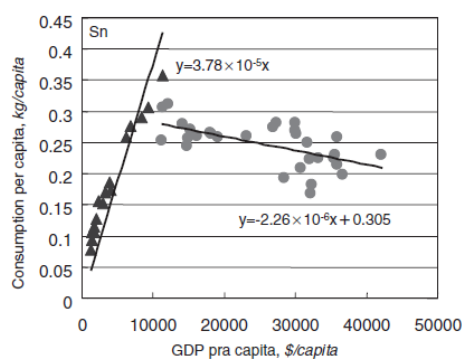


Fig. 4-8 Tin

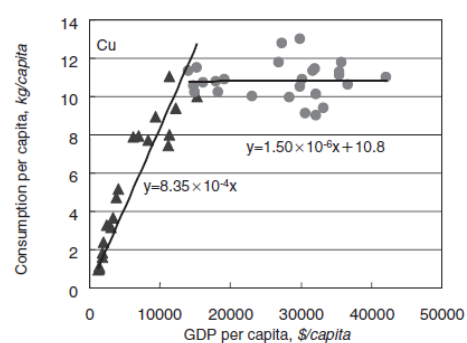


Fig. 4-11 Copper

Figuur 8 Relatie tussen GDP per capita en de consumptie van tin en koper (bron:Halada)

Figuur 8 is kenmerkend voor de situatie m.b.t. tin, goud (maar dan bij een veel hoger omslagpunt van 25.000 \$/cap.), zink en wolfram: een absolute ontkoppeling, waarbij een stijgend GDP een afnemende consumptie laat zien. De situatie van koper (en lood) lijkt een tussencategorie, waarbij groeiend GDP geen invloed heeft op de consumptie. Kenmerkend is elke keer dat vrijwel gelijke omslagpunten worden gevonden (deze varieert tussen 7.500 en 13.000 \$/cap).

Halada verklaart het gedrag van deze categorie op basis van het lange gebruik van deze materialen en hun belang voor het opbouwen van een infrastructuur en/of voor het actief zoeken naar alternatieven a.g.v. schaarste of kosten (goud!).

Een dergelijk omslagpunt bestaat niet voor silicium en platina: daar is een sterke koppeling over het gehele spectrum. Een bijzondere groep die Halada identificeert is die van de bijzondere high-tech-elementen zoals gallium, indium en de zeldzame aardmetalen. Daar lijkt de groei van nieuwe toepassingen (energietransitie, electronica) voor een versnelling van de consumptie bij groeiend GDP te zorgen.

Tot slot concludeert Halada dat de situatie van Japan m.b.t. de ontwikkeling van de staalvraag zich uitstekend laat vergelijken met die van andere landen. Daarmee kan verondersteld worden dat vergelijkbare (ont)koppelingen voor andere ontwikkelde landen gelden.

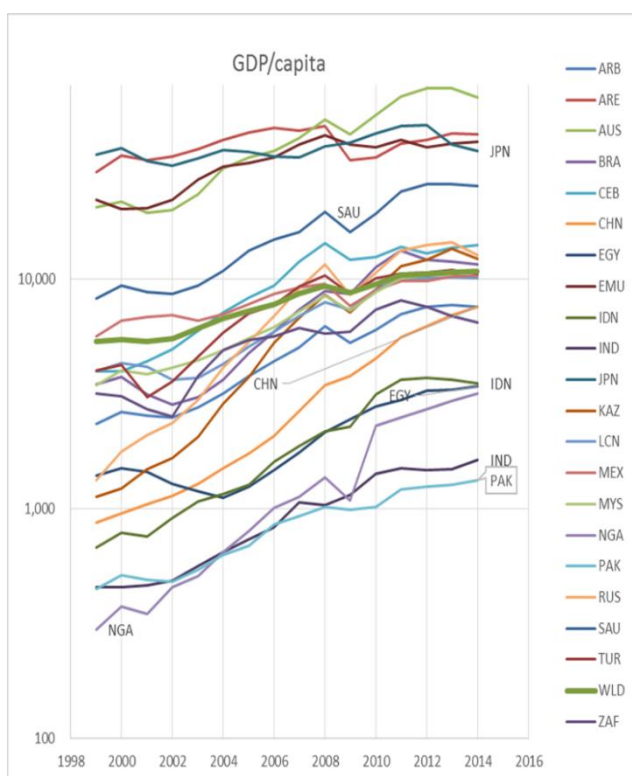
Hoe zich dit verhoudt tot de ontwikkeling van scenario's voor de Nederlandse situatie is complex. Enerzijds kan de GDP-ontwikkeling voor Nederland van invloed zijn op de binnenlandse consumptie: de geschetste relaties tussen GDP en materiaalconsumptie zouden op basis van Halada's werk kunnen worden overgenomen. Wat de zaak complexer maakt is dat deze relaties gelden voor de wereldwijde ontwikkeling van grondstofgebruik. De stijgende behoefte afgezet tegen de (eventueel) stijgende productie van grondstoffen wereldwijd kan relevant worden voor de leveringszekerheid van deze materialen voor de Nederlandse consumptie, en productie.

Zelf hanteert Halada de door hem gevonden koppelingscoëfficiënten in de publicatie "Forecasting of the Consumption of Metals up to 2050"⁶ om een beeld te schetsen van de verwachte consumptie tot 2050. Hij maakt daarin de vergelijking met de nu bekende metaalreserves: Halada maakt zich zorgen over het overstijgen van die huidige reserves, terwijl het zeer de vraag is of reserve-rapportages relevant zijn voor daadwerkelijke (toekomstige) schaarste.

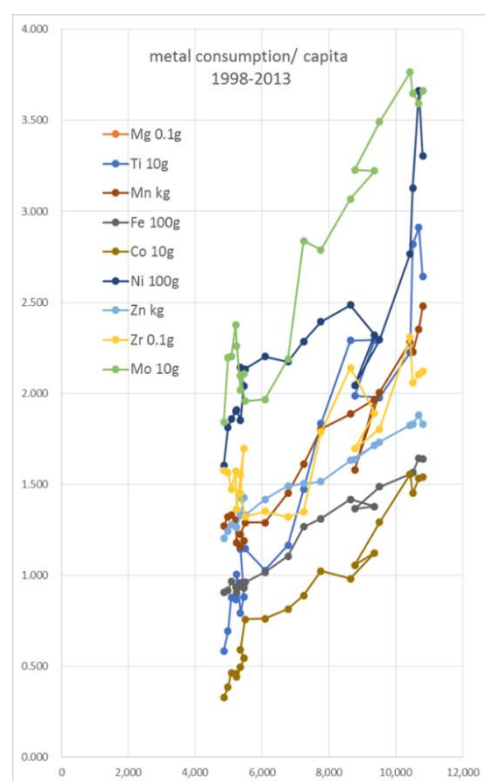
Overigens constateert dezelfde Halada in zijn presentatie op het WRF in Davos in 2015 dat de gemiddelde wereld-GDP de al eerder aangestipte 10.000 \$/cap inmiddels heeft bereikt (en dat in lijn met zijn eerdere werk de consumptie van vrijwel alle metalen tot dit moment vrijwel lineair is verlopen!)

⁶ Kohmei Halada, Masanori Shimada and Kiyoshi Ijima, Materials Transactions, Vol. 49, No. 3 (2008) pp. 402 to 410

FIG. 9. Groei van de wereldwijde economie, 1998-2014



Figuur 9 Groei GDP per capita



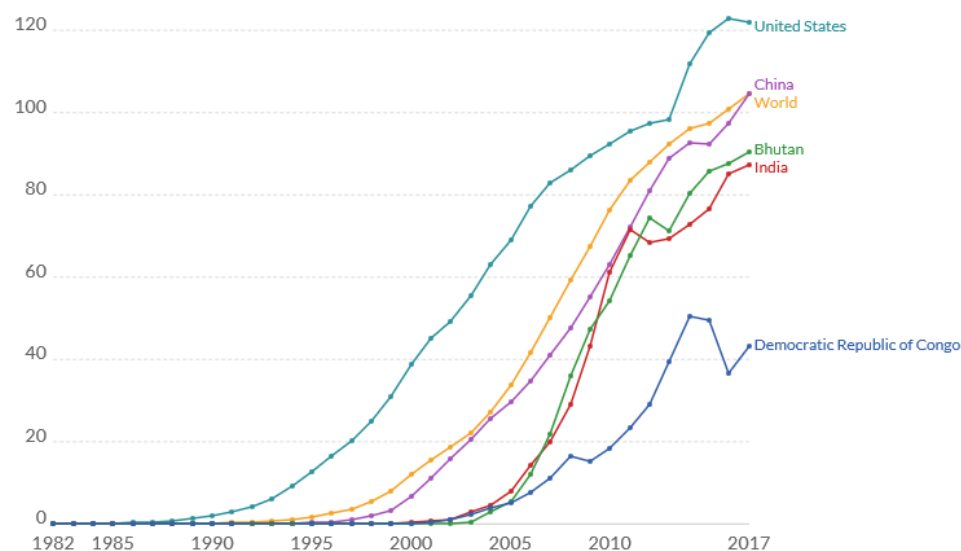
Figuur 10 Ontwikkeling van de metaalconsumptie per capita

6.3 Dwarsdoorsnijdende trend: Technologische innovatie

6.3.1 Opname snelheid marktrijpe technologie

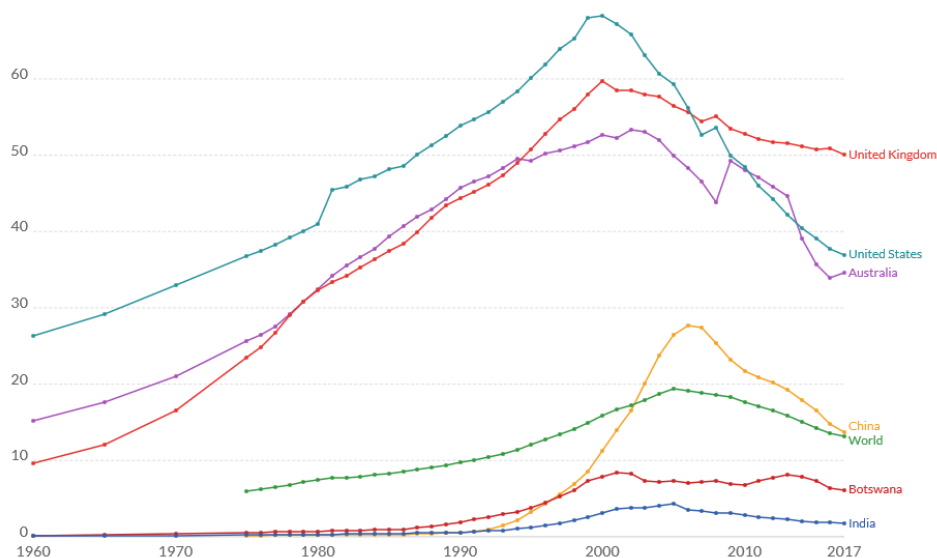
Bij het opstellen van scenario's gerelateerd aan de inzet van grondstoffen is het van belang een beeld te hebben van de snelheid van penetratie van nieuwe technologie, zowel in Nederland als wereldwijd. Dat laatste vanwege de globale druk op (de beschikbaarheid van) grondstoffen.

Ourworldindata.org verschaft ons gegevens over de snelheid van adoptie van (bijvoorbeeld) telefonie. Daaruit blijkt dat de adoptiesnelheid van nu opkomende economieën sneller is dan die van gevestigde economieën. Dit is een voorbeeld van 'leapfrogging'. Deze waarneembare trend heeft gevolgen voor de inschatting van de toekomstige leveringszekerheid voor een importerend land als Nederland. Niet alleen zal er meer inkoopkracht in grote delen van de wereld ontstaan, de snelheid waarmee die inkoopkracht wordt omgezet in consumptie van nieuwe technologie gaat ok nog sneller.



Figuur 11 De implementatiesnelheid van mobiele telefonie abonnementen (schaal: aantal abonnementen per 100 mensen) (bron: outworldindata.org)

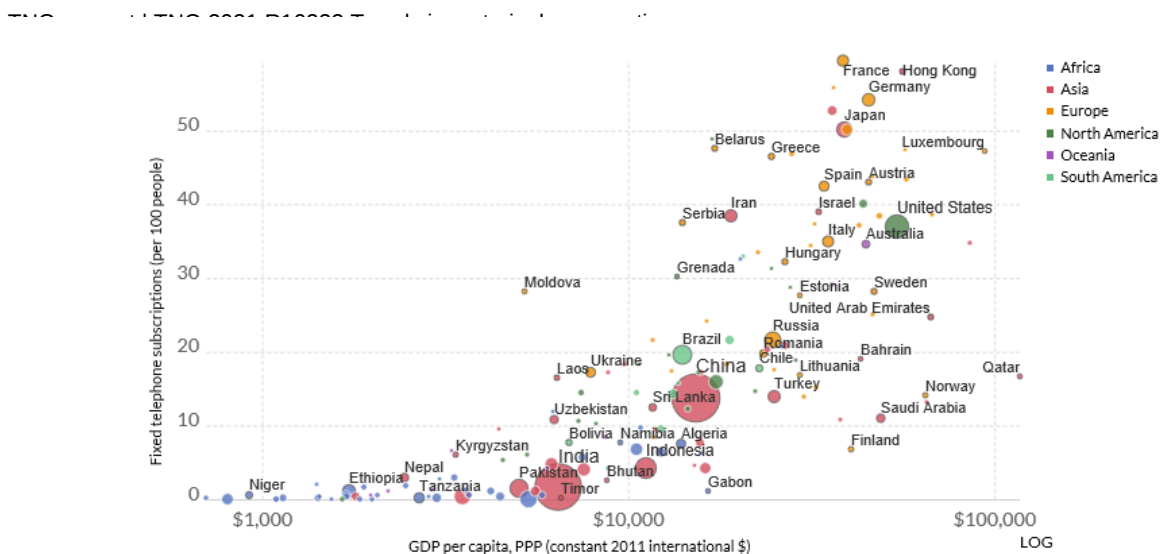
Dit heeft natuurlijk gevolgen voor de penetratie van vast landlijnen.



Figuur 12 Aantal abonnementen op vaste landlijnen (schaal: aantal abonnementen per 100 inwoners) (bron: ourworldindata.org)

De observaties van Halada worden bevestigd door te kijken naar de relatie tussen GDP en telefonie: “*Interestingly, there appears to be a typical income threshold beyond which the use of landline telephone technologies became common. We see that generally the adoption of fixed telephones was rare below a GDP per capita threshold of approximately \$7000-8000. Below this level of income, there were only a few subscriptions for every 100 people.*”⁷

⁷ <https://ourworldindata.org/technology-adoption>



Voor nieuwe technologie lijkt die relatie niet meer te bestaan: *“Unlike landline subscriptions, there appears to be no clear income threshold for the adoption of mobile phone technologies. Even at the lowest income levels (below \$1000 per capita), subscription rates reach greater than 25 per 100 people.”*

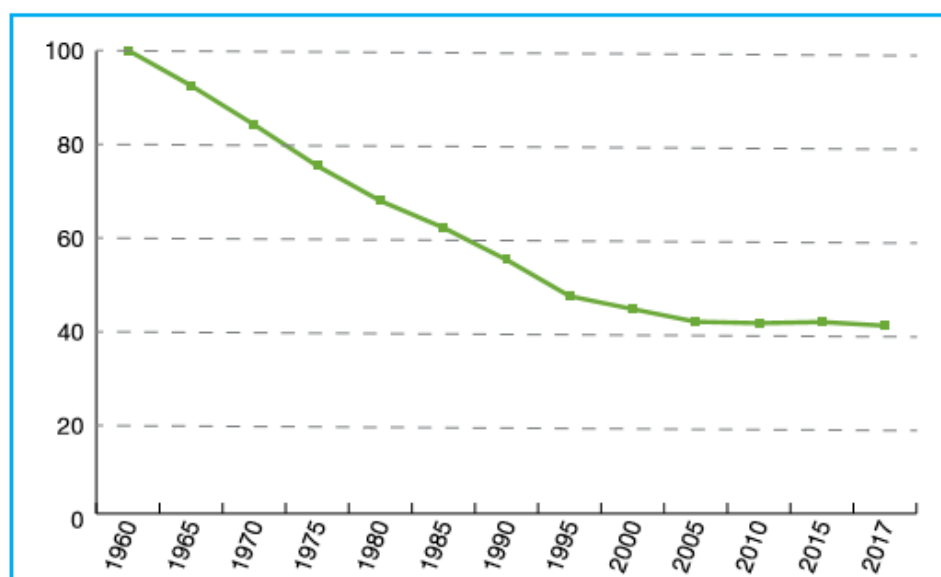
6.3.2 Materiaalkunde

Het gebruik van materialen leidt tot CO₂-emissies. Dat is één van de grondslagen voor de verbinding tussen circulaire economie en klimaatdoelstellingen.

Het is daarom relevant te bezien in hoeverre de energiebehoefte van de productie van de materialen die hier in focus zijn in de afgelopen decennia is veranderd.

Dat is voor het geval van staal onderzocht (Figuur 13). In 1960 is de gemiddelde wereldwijde energiebehoefte 40 GJ/ton staal⁸, waarna deze zakt tot praktisch 40% van die waarde in vier decennia, waarna een stabilisatie optreedt. Volgens Allwood, zijn specialisten het erover eens dat deze waarde niet verder omlaag gaat, en niet het theoretisch minimum van 8 GJ/ton (oftewel 20% van de waarde uit 1960) bereikt.

⁸ J.M. Allwood et al. Sustainable Materials without the hot air, p.78



Figuur 13 Geïndexeerde energieconsumptie per ton geproduceerd ruw staal (bron: Worldsteel.org)⁹

Voor de situatie in Nederland betekent dit dat de emissie van in Nederland geproduceerd staal naar alle waarschijnlijkheid niet meer zal veranderen in de komende jaren (tenzij revolutionaire technologie zoals het Hisarna-proces wordt geïmplementeerd) en ook dat de milieu-impact van staal-consumptie niet meer zal veranderen.

Voor de productie van aluminium wordt de energie-intensiteit gerapporteerd door het World Aluminium Institute¹⁰. Sinds 1980 is de efficiëntie van de productie verbeterd van 17 MWh/t Al tot iets meer dan 14 MWh/t Al, een verbetering van ongeveer 16%.

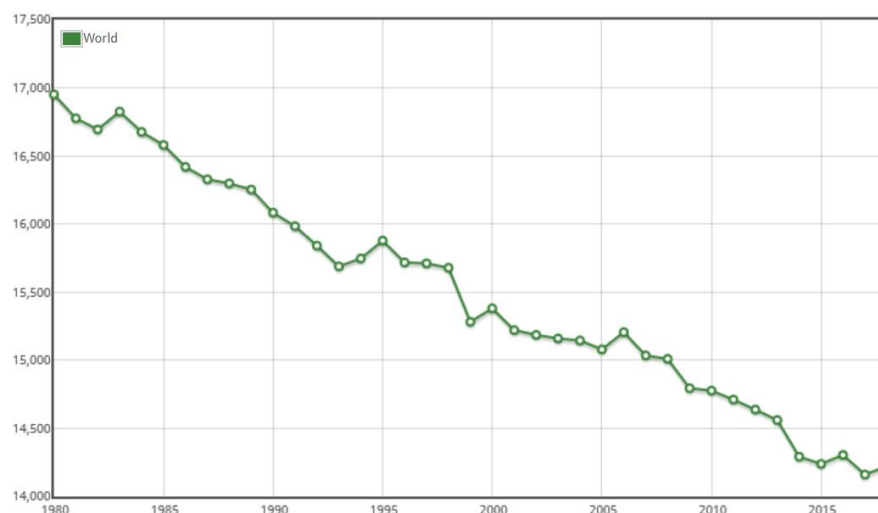
In de afgelopen jaren verbetert de energie-efficiëntie van primaire aluminiumproductie elk jaar met iets meer dan 1%¹¹

De grote bijdrage van een lagere CO₂-footprint van aluminiumproductie zal moeten komen van de verandering van de wijze waar elektriciteit wordt opgewekt.

⁹ https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f07b864c-908e-4229-9f92-669f1c3abf4c/fact_energy_2019.pdf

¹⁰ www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity

¹¹ <https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2019/aluminium>



Figuur 14 kWh / ton aluminium

6.4 Dwarsdoorsnijdende trend: Internationaal beleid met direct effect op grondstoffengebruik

Internationaal beleid op het gebied van klimaat en gebruik van natuurlijke hulpbronnen zal ingrijpen op de economie en consumptie in Nederland. Een voorbeeld zijn de continu aangepaste doelen van de EU op het gebied van circulaire economie (Circular Economy Package). Een andere bestudeerde trend die de leefomgeving via het materiaalgebruik in Nederland gaat beïnvloeden zijn de doelen op basis van het akkoord van Parijs van 2015. De TNO studie “global energy transition and metal demand”¹² becijfert in welke mate de wereldwijde metaalmarkten worden beïnvloed door de benodigde aanbouw van kapitaalgoederen die hernieuwbare energie produceren.

	Gemiddelde jaarlijkse groei in mijnbouw 1998-2016	Vereiste jaarlijkse groei 2011-2050, als naast economische groei additionele vraag door klimaatbeleid wordt meegenomen	Is een versnelling nodig of is de jaarlijkse groei vertoond tussen 1998 en 2016 voldoende?
Zilver (Ag)	2.86%	3.0%	onduidelijk
Aluminium (Al)	5.37%	2.8%	huidige groei voldoende
Goud (Au)	1.48%	2.8%	versnelling nodig

¹² Rietveld, Boonman, Hauck, van Harmelen, Bastein (2019) Global energy transition and metal demand

<http://publications.tno.nl/publication/34627352/5WmZem/TNO-2018-R11544.pdf>

Tabel 6.5.1: Ontwikkeling van grondstofproductie en van aangetoonde reserves

Cadmium (Cd)	0.20%	2.7%	versnelling nodig
Boor (B)	2.32%	3.2%	versnelling nodig
Cerium/Lanthanum (Ce/La)	0.00%	3.2%	versnelling nodig
Kobalt (Co)	8.07%	4.1%	huidige groei voldoende
Chroom (Cr)	5.33%	2.8%	huidige groei voldoende
Koper (Cu)	2.92%	3.4%	versnelling nodig
Dysprosium (Dy)	0.00%	5.2%	versnelling nodig
Ijzer (Fe)	6.55%	3.0%	huidige groei voldoende
Gallium (Ga)	-0.77%	3.1%	versnelling nodig
Gadolinium/ Samarium/Terbium (Gd/Sm/Tb)	0.00%	3.8%	versnelling nodig
Indium (In)	5.41%	3.6%	huidige groei voldoende
Lithium (Li)	4.61%	6.2%	versnelling nodig
Magnesium (Mg)	5.58%	2.7%	huidige groei voldoende
Mangaan (Mn)	5.40%	2.7%	huidige groei voldoende
Molybdenum (Mo)	3.85%	3.0%	huidige groei voldoende
Neodymium (Nd)	0.00%	4.5%	versnelling nodig
Nikkel (Ni)	3.22%	3.3%	onduidelijk
Lood (Pb)	2.43%	2.7%	versnelling nodig
Praseodymium (Pr)	0.00%	3.9%	versnelling nodig
Platina/Palladium (Pt/Pd)	0.02%	2.8%	versnelling nodig
Selenium (Se)	3.30%	3.0%	huidige groei voldoende
Silicium (Si)	5.66%	3.3%	huidige groei voldoende
Tin (Sn)	2.05%	3.1%	versnelling nodig
Tantalum (Ta)	5.20%	3.4%	huidige groei voldoende
Tellurium (Te)	4.54%	6.9%	versnelling nodig
Titanium (Ti)	2.00%	2.7%	versnelling nodig
Vanadium (V)	2.75%	3.2%	versnelling nodig
Zink (Zn)	2.70%	2.8%	onduidelijk

Elk metaal waar een versnelling noodzakelijk is in de jaarlijkse groei, vertegenwoordigt een risico voor de stabiliteit van de markten voor deze grondstof. Er is in geen enkel geval een geologische reden op voorhand aan te wijzen waarom een dergelijke versnelling onmogelijk is. Tegelijk is het mogelijk dat een nooit eerder vertoonde versnelling niet gerealiseerd wordt met verminderde consumptie en/of prijsstijgingen van de gerelateerde producten tot gevolg.

6.5 Dwarsdoorsnijdende trend: Aanbod van grondstoffen & productie van halffabricaten

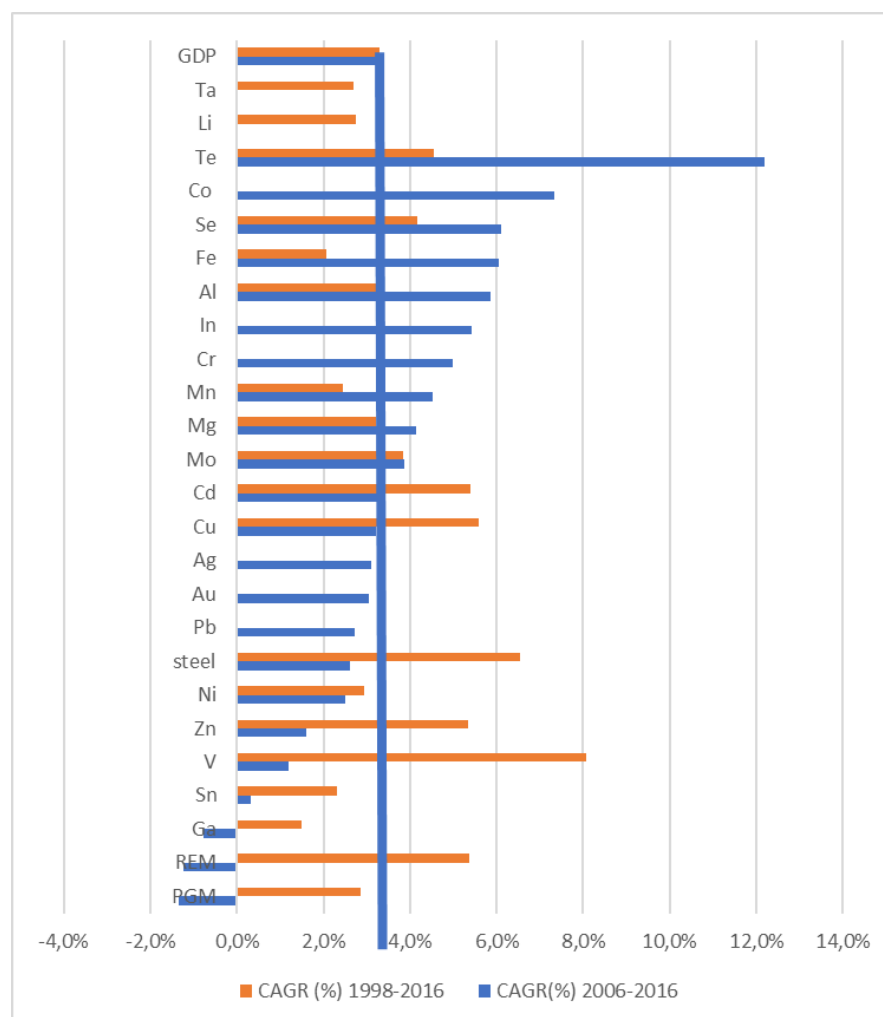
6.5.1 Ontwikkeling van grondstofproductie en van aangetoonde reserves

Een beschouwing van de productiegroei van een groot aantal metalen is gemaakt op basis van gegevens van de British Geological Survey (BGS). Wanneer we niet naar de jaarlijkse groei kijken maar naar de zogenaamde Compound Annual Growth Ratio (CAGR) blijkt dat een aantal materialen zich in de jaren 2006-2016 (voor een aantal materialen ontbreekt een deugdelijk inzicht in de productie tussen 1998 en 2006) ongeveer ontwikkelt als het wereldwijde GDP (dat in deze twintig

FIGUUR 15: Gemiddelde groei van jaarlijkse grondstofproductie (lijn = gemiddelde groei GDP in de afgelopen 20 jaar)

jaar een gemiddelde groei van 3,3 % laat zien). Wat ook opvalt is het grote verschil in groeitempo over de afgelopen 10 jaar vergeleken met dat over de afgelopen 20 jaar. Qua productie lijkt de grote groeispurt van REM, V, Zn, staal, cadmium en koper voorbij: de groei is de laatste 10 jaar enorm afgezwakt. Gek genoeg lijkt m.n. de REM een afname van productie te laten zien. Onduidelijkheid m.b.t. Chinese productie- en exportcijfers kunnen hier aan ten grondslag liggen. Maar de afwezigheid van gerapporteerde groei is een signaal dat onbegrensde applicatie van zeldzame aardmetalen niet zonder risico's is.

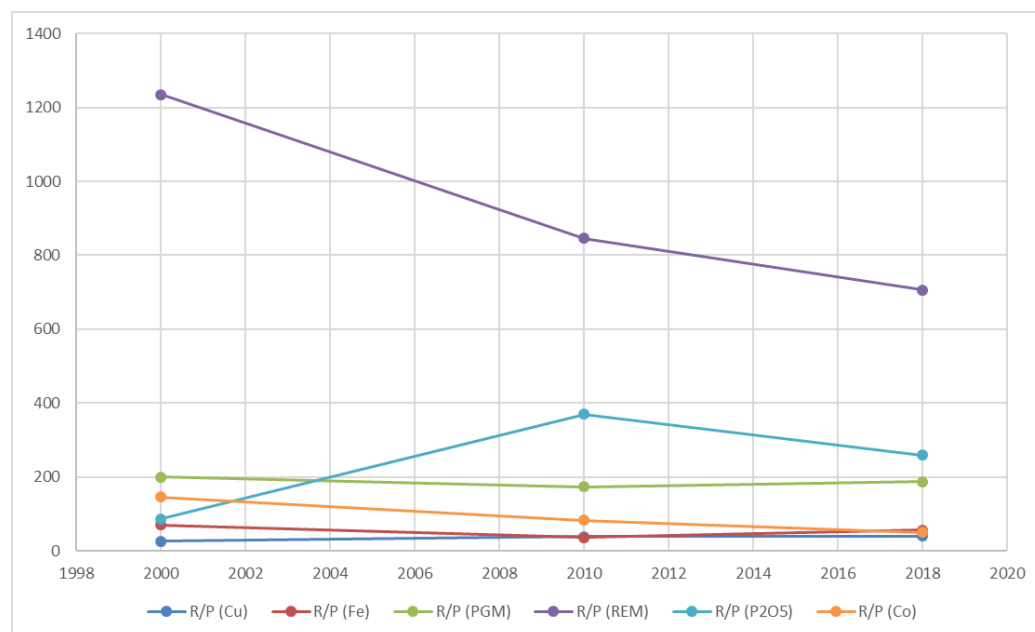
De productie van een aantal materialen lijkt de afgelopen jaren juist veel harder te groeien dan het GDP en harder dan over de hele periode van 20 jaar. We hebben het dan met name over: Te, Co, Se, Fe, Al. De sterke groei van de eerste zal zeker te maken hebben met de groei van gebruik voor energieopwekking (Se, Te) en energieopslag (Co).



Figuur 15 Gemiddelde groei van jaarlijkse grondstofproductie (lijn = gemiddelde groei GDP in de afgelopen 20 jaar)

Voor de materialen waarop in dit rapport de focus ligt (koper, ijzer, PGM, Zeldzame aardmetalen, fosfaat) en kobalt (vanwege het belang voor de energietransitie)

hebben we de ontwikkeling in productie en reserves sinds 1990 onder de loep genomen.



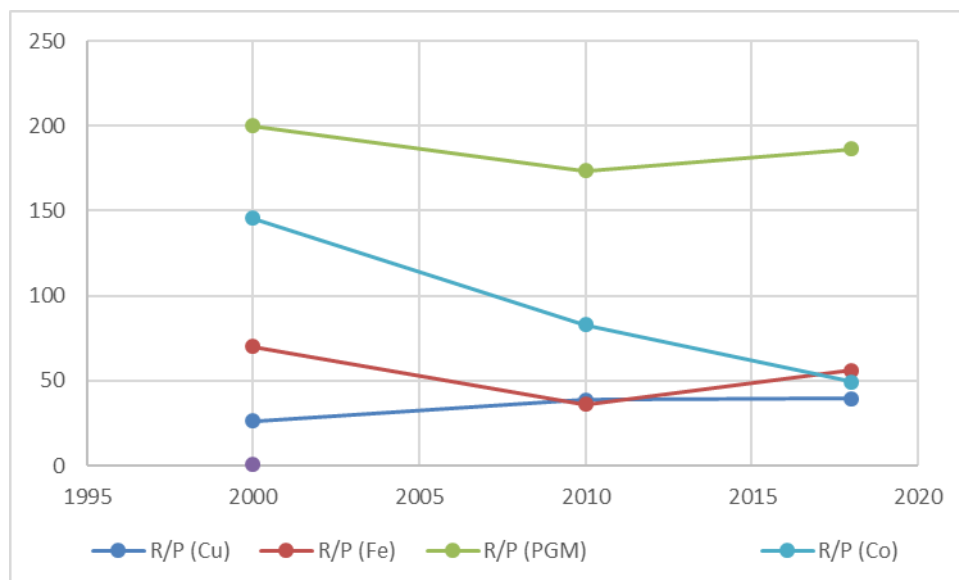
Figuur 16 Ontwikkeling van de R/P-verhouding voor geselecteerde grondstoffen

De R/P-verhouding (in jaren) geeft de verhouding weer tussen de bewezen voorraad (die tegen bestaande economische randvoorwaarden en onder momenteel bewezen technologie economisch winbaar wordt geacht). Er is veel af te dingen op dit verhoudingsgetal, vooral omdat de vaststelling van voorraden van veel factoren kan afhangen. Zo blijkt voor materialen als koper de voorraad door mijnbouwbedrijven altijd rond de 40 jaar gehouden: meer voorraad aantonen is extreem kostbaar en draagt niet bij aan de positie van betrokken mijnbouwbedrijven.

Voor een materiaal als fosfaat is in de afgelopen decennia vooral door toedoen van Marokko de reserve sterk opgewaardeerd ogenschijnlijk zonder dat daar geologische activiteiten voor plaatsvonden. Deze administratieve aanpassing draagt vanzelfsprekend niet concreet bij aan de hoeveelheid beschikbare fosfaat.

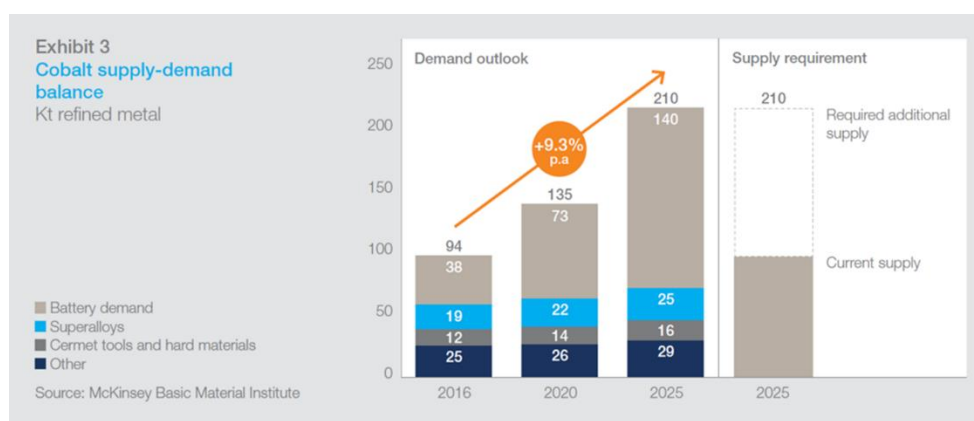
De reservevoorraad zeldzame aardmetalen lijkt (door toenemende productie) afgenomen, maar is nog steeds extreem groot (hinderden jaren).

De situatie m.b.t. kobalt (Co) is hier expliciet meegenomen. De reservevoorraad van dit materiaal -voor 50% afkomstig uit Congo- is de afgelopen jaren afgenomen (zie figuur 16) van 150 naar 50 jaar. Dit gaat gepaard met een toename van het gebruik van dit materiaal in batterijen. De elektrificatie van de samenleving zal een toenemende druk op dit type materialen uitoefenen. Bij het opstellen van scenario's zullen trends m.b.t. materiaalgebruik die het gevolg is van de energietransitie en bijkomende elektrificatie van de samenleving win ogenschouw moeten worden genomen. Wereldwijde inzet van deze materialen draagt in ieder geval bij aan een verhoging van de risico's voor het welslagen van de energietransitie.



Figuur 17 Ontwikkeling R/P-verhouding voor geselecteerde grondstoffen

Dit beeld m.b.t. kobalt wordt bevestigd door een studie van McKinsey uit 2017¹³ (zie figuur 18):



Figuur 18 Verwacht ontwikkeling in vraag naar kobalt (bron: McKinsey)

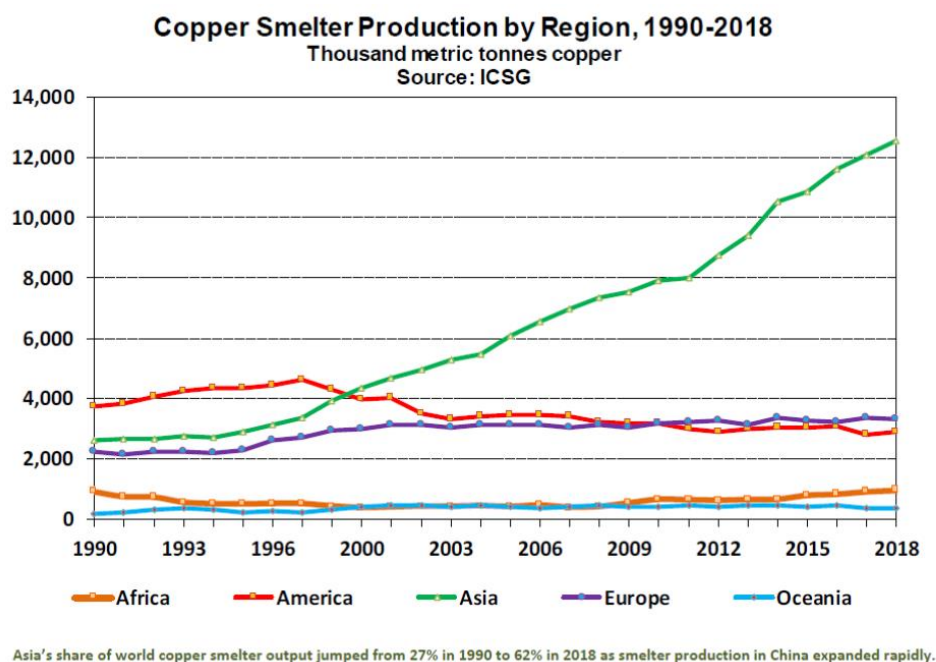
6.5.2 Ontwikkeling concentratie van halffabricaten

Dat mijnbouw in het algemeen sterk geconcentreerd is in slechts enkele landen is een algemeen bekend fenomeen. Dit wordt weergegeven door de HHI, de Herfindahl-Hirschman Index, die is opgebouwd uit de optelsom van de kwadraten van de concentratie van winning per bronland. Dit is een gangbare maat voor concentraties in een bedrijfstak (in dit geval bronlanden). De HHI is de som van de kwadraten van de productiepercentages. De maximale waarde is derhalve 10.000 (één land produceert 100% van het totale volume). Een waarde boven de 2500 wordt (althans door de US Federal Trade Commission¹⁴) gezien als hooggeconcentreerd.

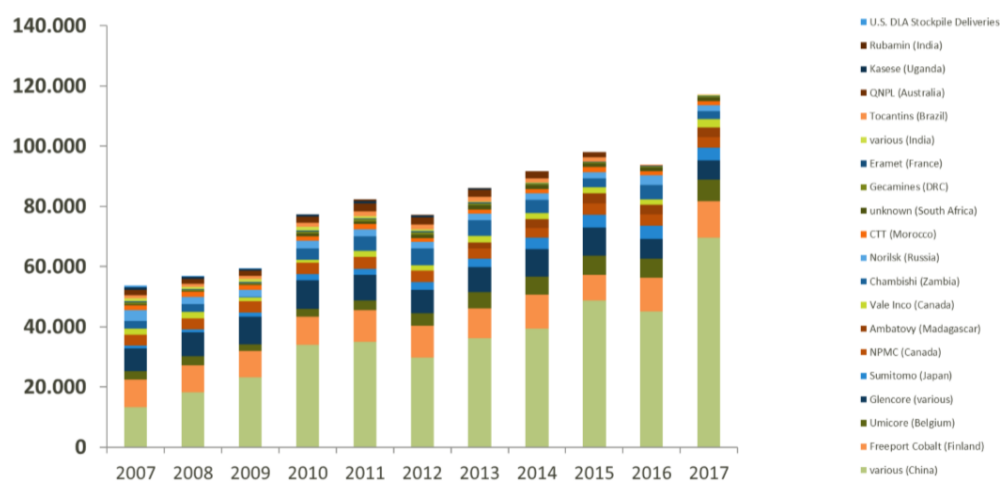
¹³ Metal mining constraints on the electric mobility horizon, McKinsey Basic Materials Institute, 2017

¹⁴ www.justice.gov/atr/public/guidelines/hmg-2010.pdf.

FIGUUR 20 Ontwikkeling in de koper-raffinage in verschillende regio's



Figuur 20 Ontwikkeling in de koper-raffinage in verschillende regio's



Figuur 21 Ontwikkeling kobalt-raffinage (bron: USGS; bewerking Metabolic/Copper8/CML)

Een vergelijkbare situatie doet zich voor bij kobalt-raffinage. Daar waar 50% van de kobalt-mijnbouw plaatsvindt in Congo, heeft dat land een kleine positie in de volgende stap van de waardeketen. Ook hier is het aandeel van China groot en groeiend. De situatie voor Europa (en dus voor Nederland) is hier nog tamelijk gunstig door de belangrijke positie van België en Finland in de kobalt-raffinage. De kans dat geopolitiek geïnspireerde leveringsonzekerheid impact op Nederland heeft is in relatie tot die landen klein.

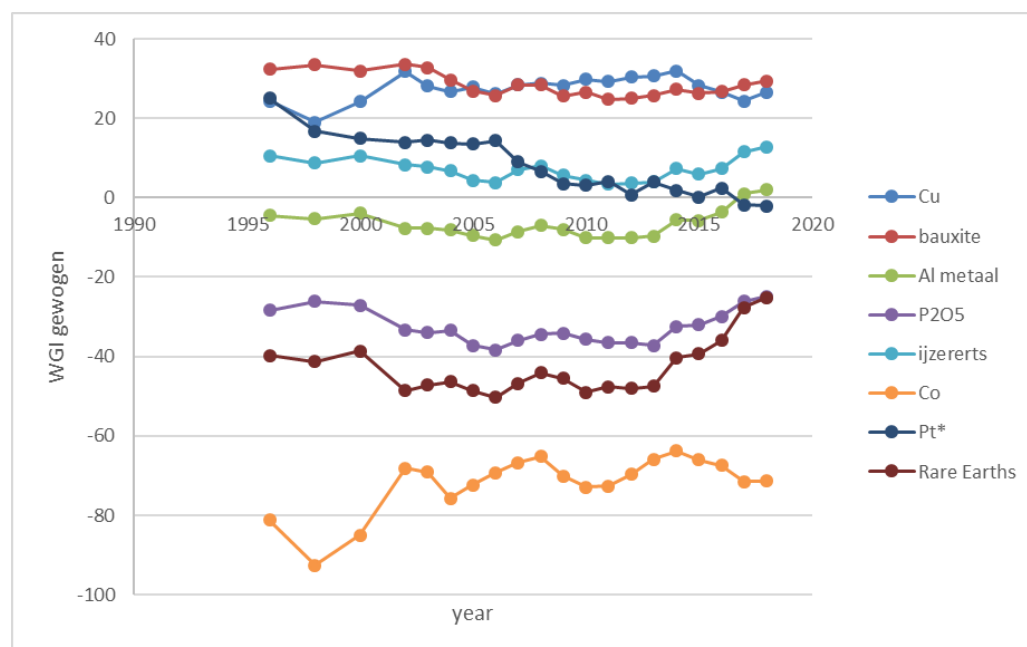
6.5.3 Ontwikkeling van de kwaliteit van bestuur in bronlanden

Bij de bepaling van kritikaliteit van grondstoffen staan 2 begrippen centraal: op de eerste plaats de mate van concentratie (zie 6.5.1) en op de tweede plaats de kwaliteit van bestuur in die bronlanden, zoals weergegeven door (bijvoorbeeld,

maar wel het meest frequent gebruikt) World Governance Index (WGI). De World Governance Indicator is gebaseerd op indicatoren voor 215 economieën tussen 1996 en 2012¹⁵, waarbij zes bestuursdimensies worden gemeten:

- Verantwoording en meetbaarheid;
- Politieke stabiliteit en afwezigheid van geweld;
- Overheidsefficiëntie;
- Regelgevingskwaliteit;
- Rechtsstatelijkheid;
- Corruptiebestrijding.

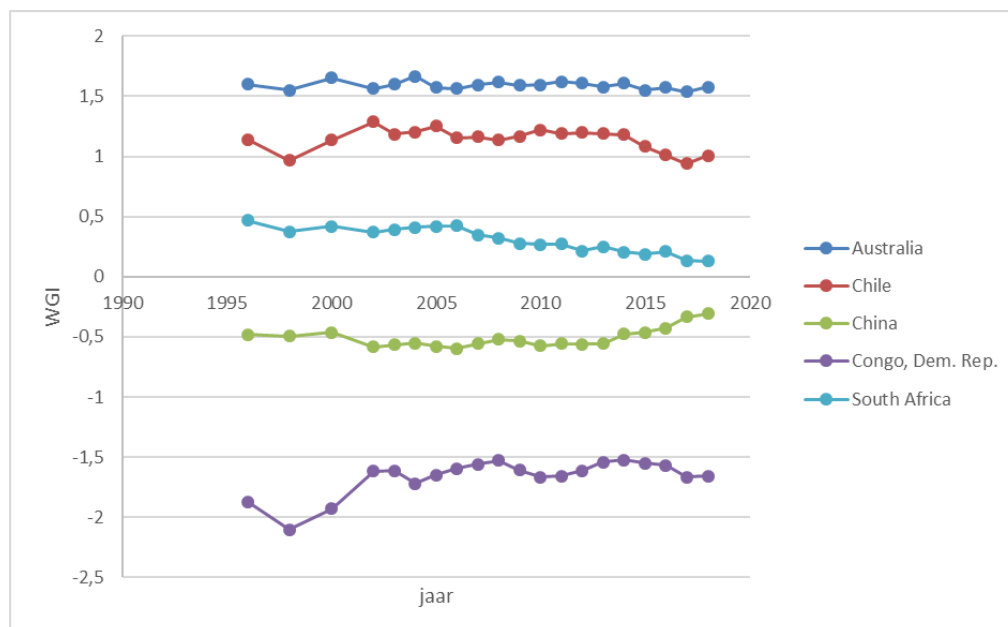
Een gewogen risicofactor a.g.v. stabiliteit van bestuur kan voor elke grondstof gecreëerd worden door de WGI van een bronland, gewogen naar het aandeel in de wereldwijde productie mee te nemen. Als we dat doen voor de materialen in focus ontstaat het beeld uit figuur 22 (hierbij is niet gecorrigeerd voor eventueel veranderende bijdragen van landen aan de wereldproductie; deze verdeling is constant gehouden op de wereldproductie van 2012).



Figuur 22 Ontwikkeling van de kwaliteit van bestuur van bronlanden voor geselecteerde grondstoffen

De verschuivingen in de voornaamste productielanden voor deze materialen is gegeven in figuur 23.

¹⁵ Van <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>: "Deze gezamenlijke indicatoren zijn gevormd door de visies van een groot aantal ondernemingen, burgers en deskundigen als respondenten in onderzoeken in zowel geïndustrialiseerde landen als ontwikkelingslanden te combineren. Zij zijn gebaseerd op 31 afzonderlijke gegevensbronnen die zijn samengesteld door uiteenlopende onderzoeksinstituten, denktanks, niet-gouvernementele organisaties, internationale organisaties en het bedrijfsleven".



Figuur 23 Ontwikkeling van de World Governance Index voor belangrijke bronlanden (bron: worldbank)

Over de afgelopen 20 jaar is er bijzonder weinig verschuiving waar te nemen a.g.v. verbeteringen van governance. Een opwaartse trend voor China werkt door in veel materialen vanwege het grote aandeel van China in de mijnbouwproductie van bauxiet, ijzer, fosfaat en zeldzame aarde. De situatie in Zuid-Afrika ontwikkelt zich in ongunstige zin met gevolgen voor de risico-inschatting voor platina-metalen.

Als we deze trend doortrekken betekent dit dat het risico voor leveringszekerheid niet significant zal veranderen in de komende a.g.v. veranderingen in de kwaliteit van bestuur.

6.5.4 Ertsgraad en CO₂-emissie mijnbouw

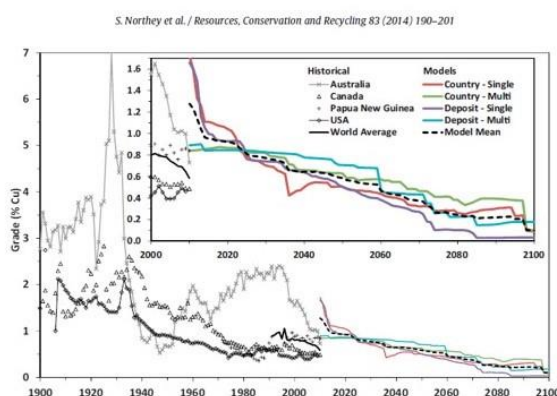


Fig. 8. Actual historical Cu ore grades for selected countries to 2010 (data from Mudd and Weng, 2012; Mudd et al., 2013) and projected global ore grades 2010 onwards.

Figuur 24 Ontwikkeling van de koper-ertsgraad (bron: Calvo et al.)

Met name voor de winning van koper (een belangrijk materiaal voor onze energietransitie) is onderzoek verricht naar de mate waarin de ertsgraad van

winbare voorraden in de afgelopen eeuw is afgenomen, en welke consequenties dat heeft voor het energie- en waterverbruik van die winning.

De conclusie van Calvo et al.¹⁶ is: *“Analyzing only copper mines, the average ore grade has decreased approximately by 25% in just ten years. In that same period, the total energy consumption has increased at a higher rate than production (46% energy increase over 30% production increase).”*

Northey et al. concluderen dat de koperertsgraad over de afgelopen jaren inderdaad aan het afnemen is, met de geschetste gevolgen voor energieverbruik van de extractie.¹⁷

Om de milieu- en klimaatconsequenties van deze ontwikkelingen inzichtelijk te maken zal een dergelijke relatie in principe zichtbaar moeten zijn, of op termijn zichtbaar moeten worden in lifecycle analyses (LCA). Alleen dan zal de veranderende milieu-impact van ons grondstoffengebruik ook effectief van invloed kunnen zijn op nationaal beleid.

6.6 Landbouw

6.6.1 Ontwikkeling in gebruik van (kunst)mest en fosfaat

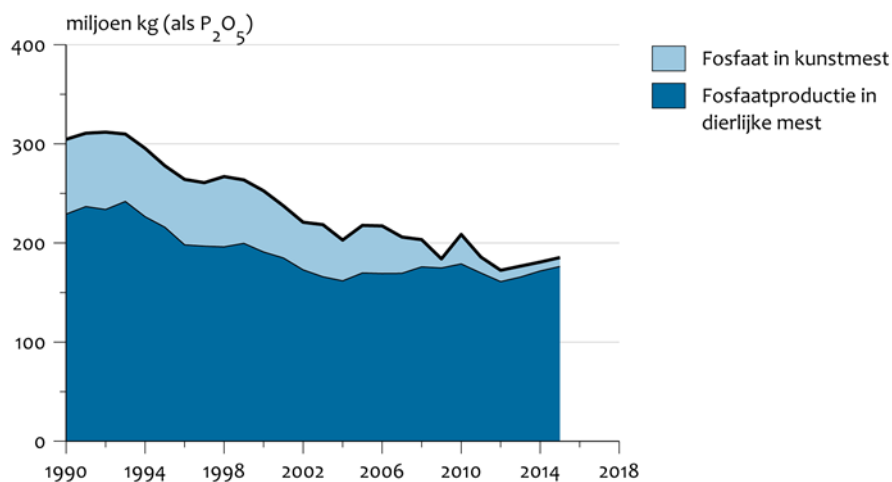
De wereldwijde voedselvoorziening hangt sterk af van het gebruik van elementen in mest (P, N, K). Zonder in dit rapport op details in te gaan heeft met name in Europa en in Nederland regelgeving omtrent eutrofiëring vanaf de jaren 90 een gestage daling van het additionele gebruik van kunstmest en dus van het gebruik van fosfaat daarin veroorzaakt.¹⁸ (Zie figuur 25).

¹⁶ Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality? Guiomar Calvo, Gavin Mudd, Alicia Valero and Antonio Valero, Resources 2016, 5(4), 36; <https://doi.org/10.3390/resources504003>

¹⁷ Modelling future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining, S.Northey, S.Mohr, G.M.MuddaZ.Weng, D.Giurco, Resources, Conservation and Recycling Volume 83, February 2014, Pages 190-201

¹⁸ Zie o.a.: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl010617-stikstof-en-fosfaat-in-mest>

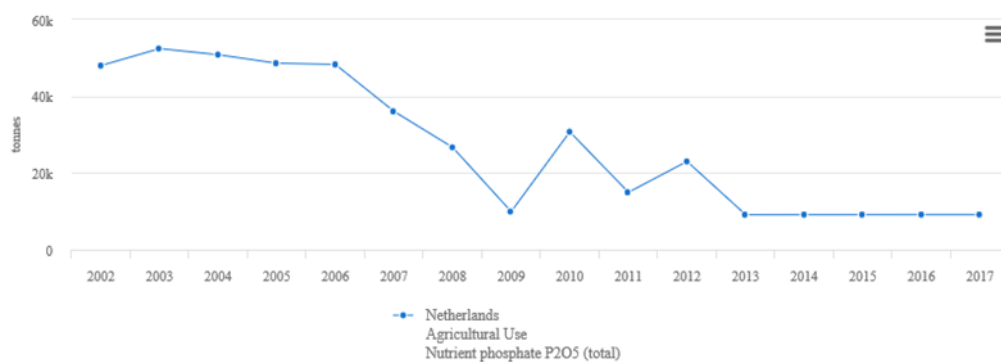
Fosfaat in dierlijke mest en kunstmest



Bron: CBS en LEI.

CBS/jan16
www.clo.nl/nl010617

Figuur 25 ontwikkeling van depositie fosfaat in Nederland (bron: CLO, CBS, LEI)

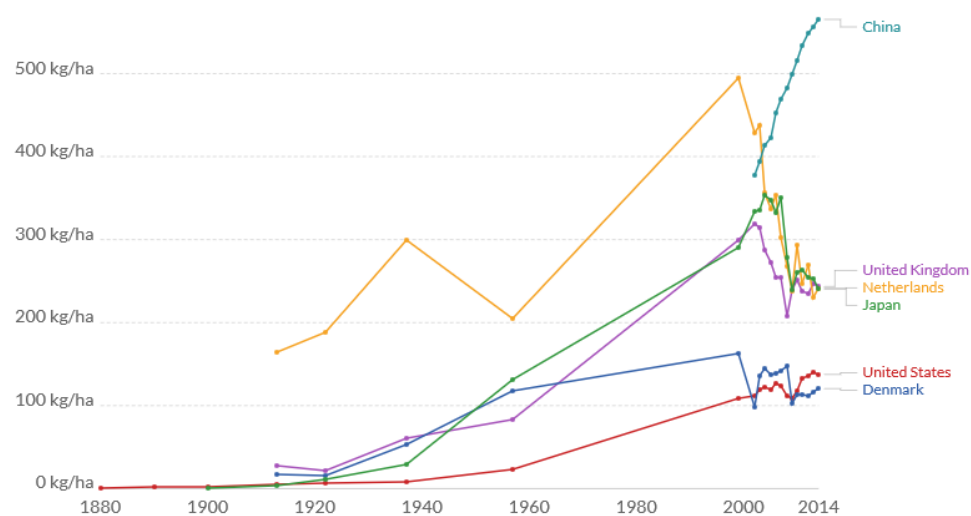


Figuur 26 Ontwikkeling inzet fosfaat in Nederland (bron: FAOSTAT)

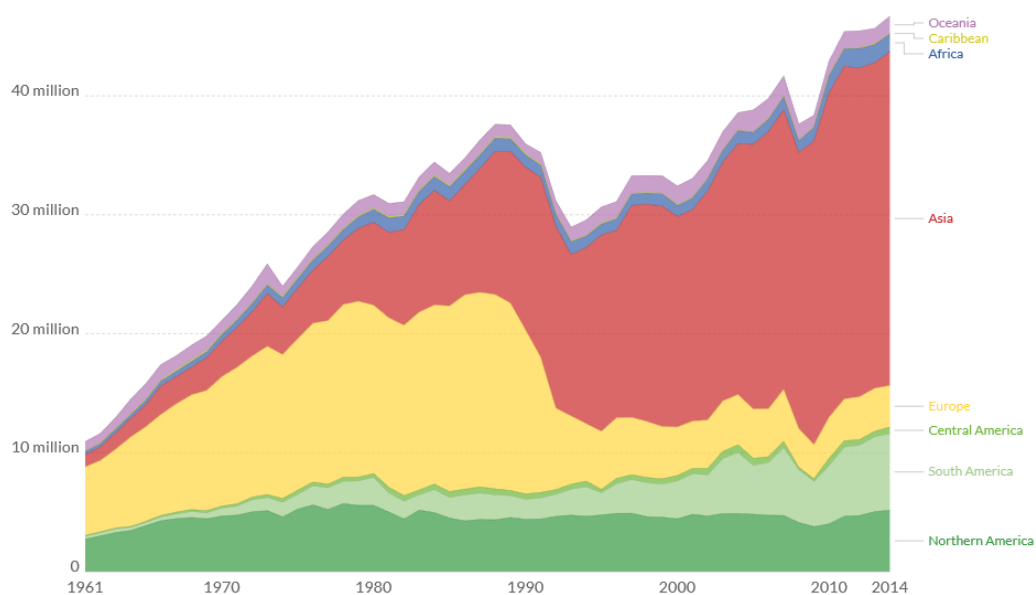
De gegevens verzameld en gepresenteerd door de FAO bevestigen dat beeld.¹⁹ Dit past in een bredere Europese trend, waarbij wel het intensieve karakter van de Nederlandse landbouw opvalt t.o.v. bijvoorbeeld die van Denemarken. Wereldwijd is vooral de toename van China in fosfaatgebruik per hectare opvallend: dat is nu

¹⁹ <http://www.fao.org/faostat/>

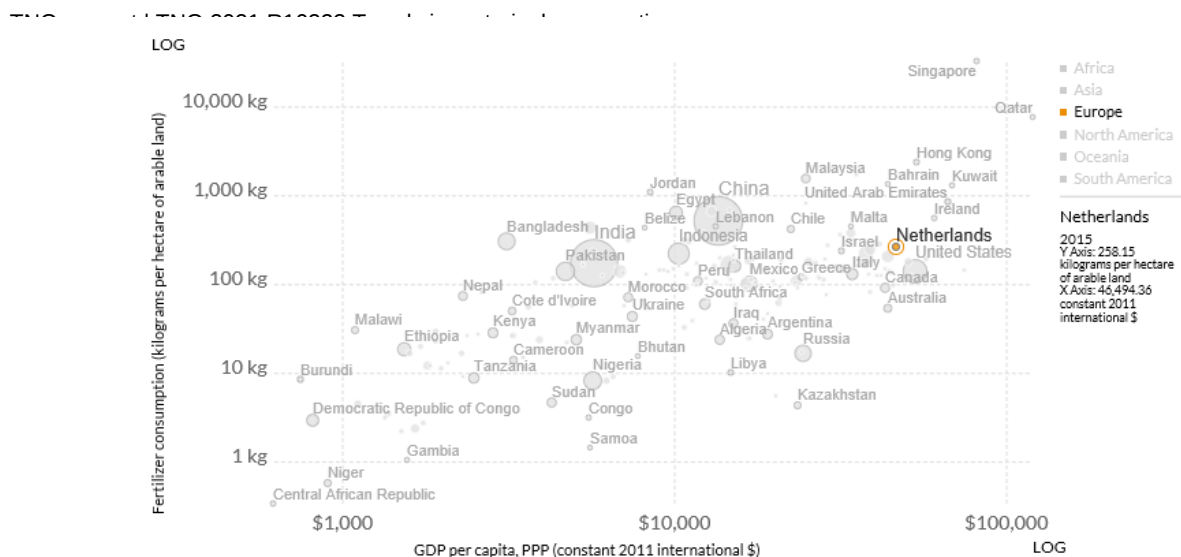
groter dan het Nederlandse historisch hoogste gebruik.



Figuur 27 Ontwikkeling van de inzet van fosfaat (in kg/ha) in enkele landen (bron: FAOSTAT)



Figuur 28 Ontwikkeling van de wereldwijde inzet van fosfaat



Figuur 29 Relatie tussen GDP/capita en de inzet van de consumptie van kunstmest (bron: ourworldindata.org)

Grofweg kunnen we stellen dat de combinatie van intensiteit van landbouw en regelgeving op het gebied van fosfaat- en stikstofoverschot er de oorzaak van is dat de relatie tussen GDP en kunstmest-consumptie afwezig is. Onder een GDP van 5000\$ lijkt kunstmestgebruik drastisch te verminderen, maar boven die drempel lijkt GDP daar geen invloed meer op te hebben.

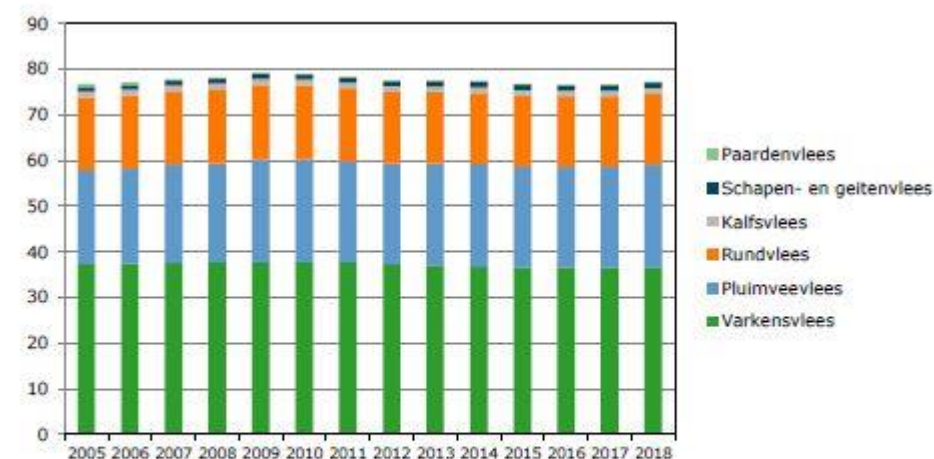
Concluderend kunnen we stellen dat de inzet van kunstmeststoffen in Nederland, waaronder fosfaat, door regelgeving al jaren is verlaagd, en nu al enkele jaren op een constant niveau zit. Discussies omtrent de toekomstbestendigheid van onze intensieve landbouw zullen eerder leiden tot een verdere afname van de inzet van meststoffen, dan een toename, onafhankelijk van de eventuele groei van het Nederlandse BNP.

6.6.2 Veranderende voedingspatronen vraagkant

De trends die we onderzoeken hebben te maken met de materiaal-aspecten van voedselbereiding, en de eventuele drivers die daar achter zitten: GDP, bewustwording, regelgeving rond intensieve landbouw etc.

Een belangrijk gegeven dat in september 2019 aan de orde kwam was de min of meer constante vleesconsumptie in Nederland sinds 2005 (anders dan 'populair belief').²⁰

²⁰ <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/499852>



Figuur 3.1 Vleesverbruik a) per hoofd van de bevolking in Nederland, 2005-2018 (kg)

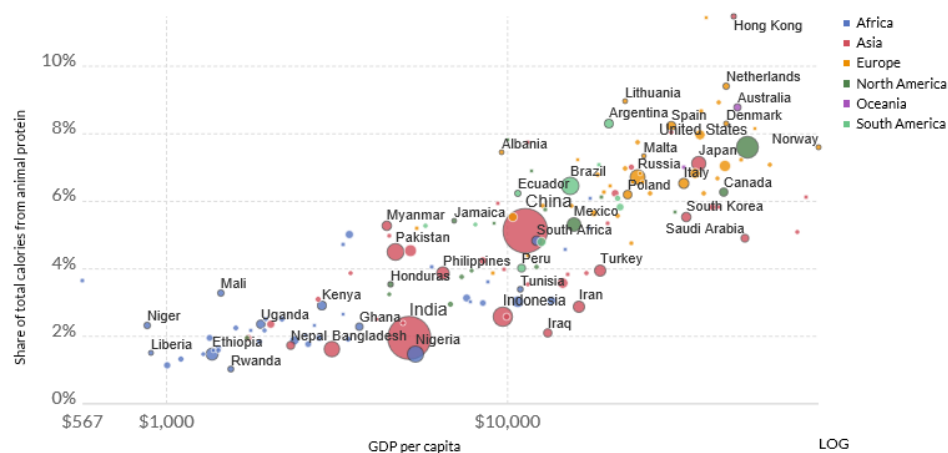
a) Op basis van karkasgewicht (gewicht met been).

Bron: CBS, berekening Wageningen Economic Research.

Figuur 30 Ontwikkeling Nederlands voedselpatroon (bron: WUR, CBS)

Er is in media en wetenschap continu aandacht voor de noodzaak tot verandering van ons dieet, omwille van persoonlijke gezondheidsredenen en maatschappelijke redenen. Deze aandacht lijkt dit dus tot dusverre nog geen gevolgen te hebben voor het vleesverbruik per hoofd van de bevolking. Bij het opstellen van scenario's voor Nederland zou dus ook voorzichtig moeten worden omgegaan met deze veronderstelde trend.

Wereldwijd is de trend naar vleesconsumptie bij stijgende welvaart goed gedocumenteerd. De (o.a. bij Halada) geconstateerde ont koppeling rond de 10.000\$/capita lijkt bij de vleesconsumptie afwezig: culturele aspecten van voedselconsumptie zullen een grote invloed hebben op de ontwikkeling van voedingspatronen bij stijgende welvaart.



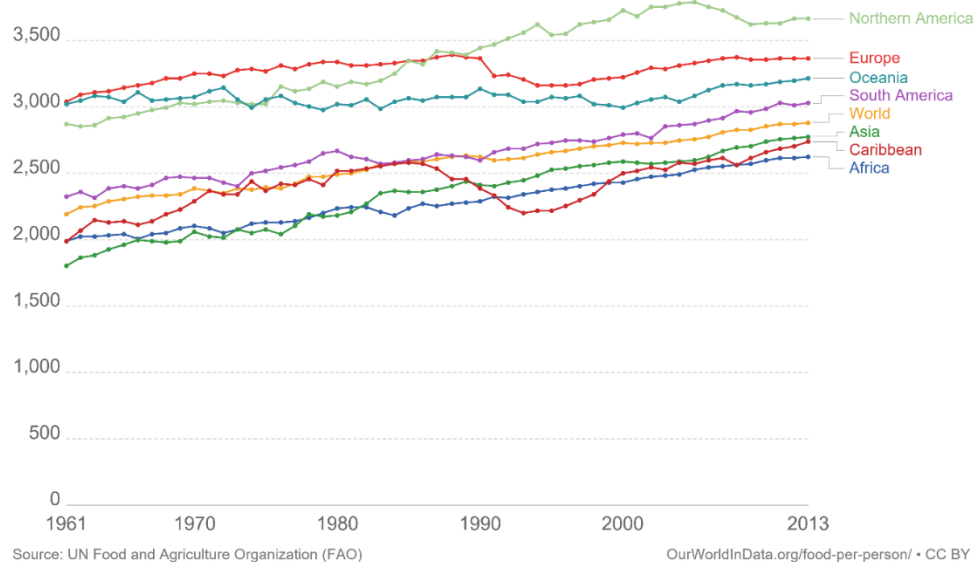
Figuur 31 Ontwikkeling van aandeel eiwit uit vleesconsumptie (bron: ourworldindata.org)

De ontwikkeling in de calorische waarde van voedsel in de afgelopen 50 jaar wordt gegeven in figuur 32.

Food energy supply by region

Daily per capita food supply by world region, measured on the basis of average caloric supply (kilocalories per person per day). Note that this measures the food available for consumption at the household level but does not account for any food wasted or not eaten at the consumption level.

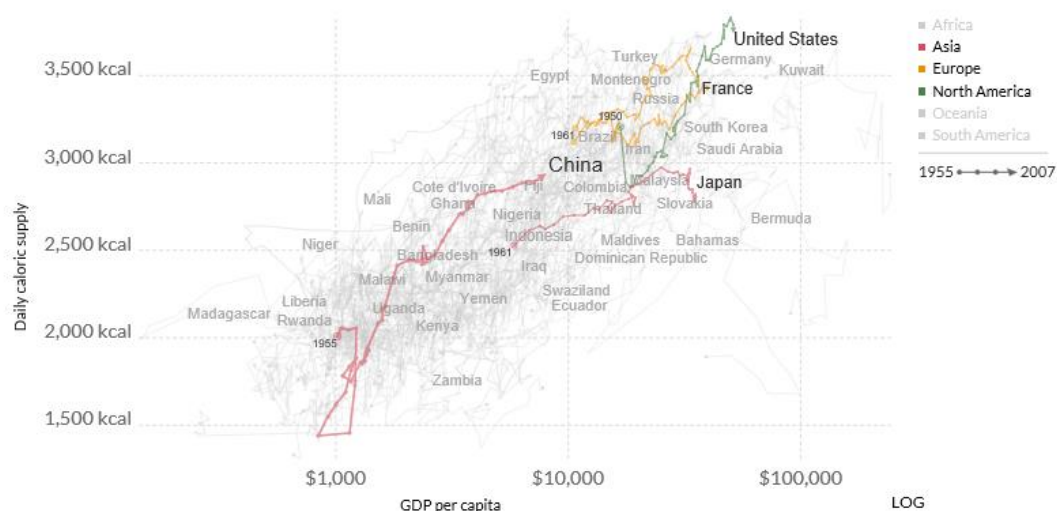
Our World
in Data



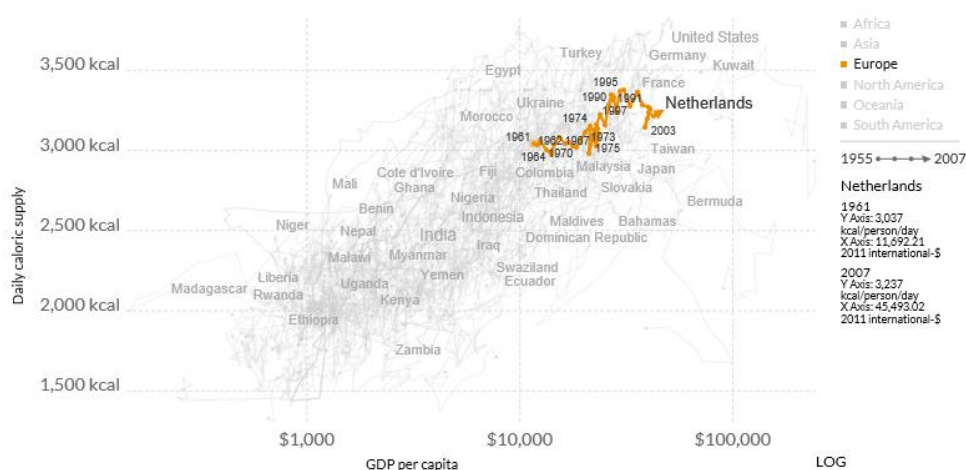
Figuur 32 Voedselvoorziening in verschillende regio's (schaal: kCal/persoon/dag)
(bron:ourworldindata.org)

De grote lijn lijkt een correlatie aan te tonen tussen welvaart en de energie uit voedselinname (uit <https://ourworldindata.org/food-per-person/>): *“There is a strong correlation between per capita food supplies and prosperity. This is true both between countries (higher-income regions, as we have explored earlier in this entry tend to have higher levels of food supply relative to poorer regions), but also as a country’s prosperity grows over time”*

Ook hier lijkt zich een relatieve ontkoppeling af te tekenen, vergelijkbaar als die geobserveerd werd in het geval van de relatie tussen de inzet van metalen en GDP: *“This growth is particularly true from low to upper-middle income ranges. However, in recent years we have seen an overall plateauing (or in some cases a decline) in per capita supply across a number of high-income countries. For example, if we look at recent trends for the United States, France, the United Kingdom and Japan in the charts below on calories and protein, we see a typical stabilisation or decline in per capita intakes.”*



Figuur 33 Ontwikkeling van voedselconsumptie als functie van GDP met nadruk op de groei per land (bron:ourworldindata.org)



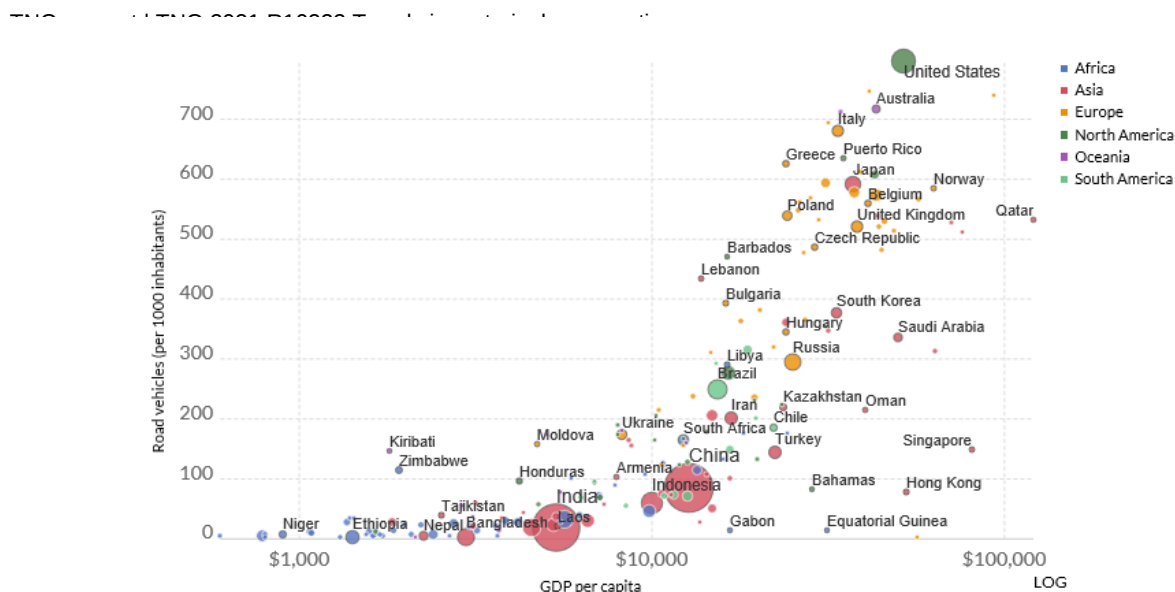
Figuur 34 Ontwikkeling van de voedselconsumptie als functie van gdp en tijd met nadruk op Nederland (bron:ourworldindata.org)

In Nederland is er sprake van een absolute teruggang in kcal/p/d sinds 1995, ondanks een duidelijke groei in bbp-groei. Hier toont zich de invloed van media en populaire wetenschap zich wel als het gaat om het beïnvloeden van de consumentenkeuzes van de Nederlander. De sterke ontwikkeling van China is goed te zien in figuur 33. Ook hier loopt de groei tot ongeveer 10.000 eur/capita door.

6.7 Mobiliteit

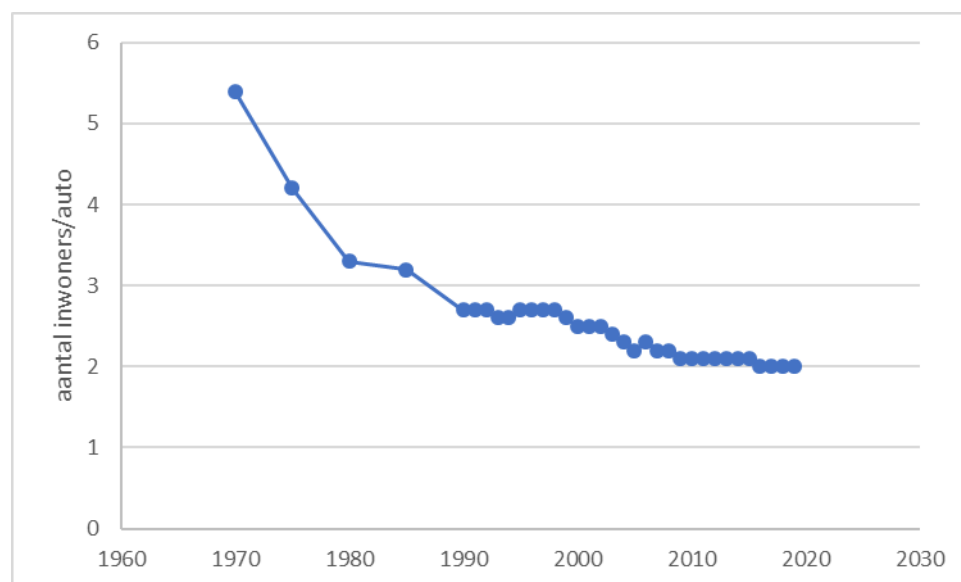
6.7.1 Autobezit en GDP

Autobezit is sterk afhankelijk van welvaart, maar ook van specifiek lokale omstandigheden zoals bevolkingsdichtheid en de afstand die burgers moeten afleggen voor werk en noodzakelijke diensten. Dit wordt goed geïllustreerd door figuur 35 (bron: worldindata.org): hier is het autobezit (per 1000 inwoners) uitgezet tegen het GDP/capita.



Figuur 35 Aantal auto's per 1000 inwoners als functie van GDP/capita (in 2014; bron: ourworldindata.org)

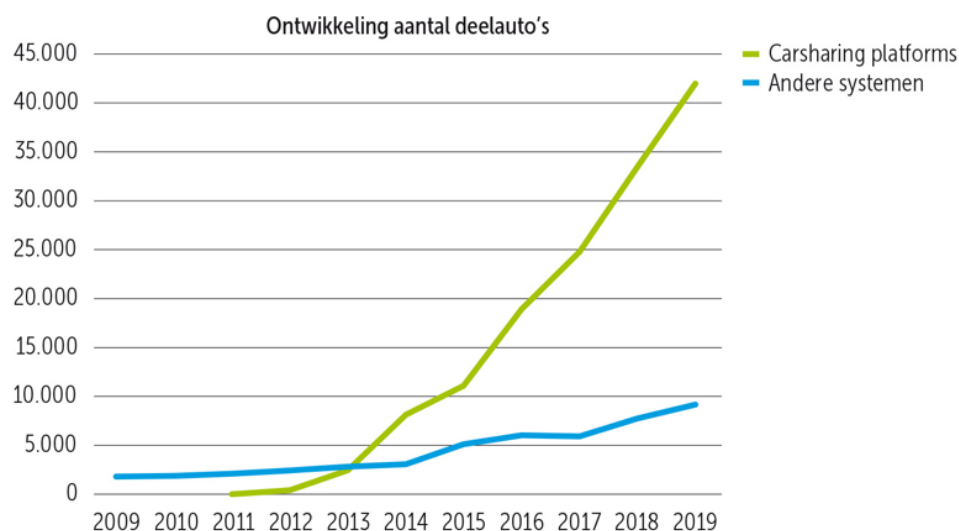
Vanaf een inkomen rond de 10.000\$/persoon begint het autobezit sterk te stijgen. Kenmerkende afwijkingen worden gevormd door zeer dichtbevolkte stadstaten als Hong Kong en Singapore waar kleine afstanden en uitstekend openbaar vervoer (en eventuele druk op parkeren) zorgen voor een bijzonder klein aantal voertuigen per hoofd van de bevolking. Sinds 2009 is het autobezit amper meer veranderd in Nederland: het staat nu op 1 auto per 2,0 inwoners. In 2000 was dat nog 1 auto op 2,5 inwoners en in 1990 2,7.²¹ Tegelijk zorgt het simpele feit dat de bevolking sinds 1990 met ca. 2,5 miljoen is gegroeid voor een absolute aantal auto's in Nederland.



Figuur 36 Ontwikkeling van autobezit in Nederland (bron: BOVAGRAI)

²¹ <https://bovagrai.info/auto/2019/bezit/1-2-ontwikkeling-van-het-personenautopark-en-het-personenautobezit/>

Op de langere termijn zou de relatief recente ontwikkeling van autodeelplatforms een impact kunnen hebben op het bezit van auto's in Nederland. Momenteel is wel een sterke (relatieve) groei zichtbaar, maar het absolute aantal is nog te gering om van een trend te kunnen spreken²². De circa. 45.000 deelauto's zijn een kleine fractie van de circa 8 miljoen auto's in Nederland.



Figuur 37 Ontwikkeling van het aantal deelauto's in Nederland (bron: crow.nl)

De plaatsen met de sterkste groei zijn Utrecht en Amsterdam. Verder restrictief parkeerbeleid en een eventuele groei van stedelijke versus rurale bevolking zou daarmee een impact kunnen hebben op het gemiddelde autobezit in Nederland, waarbij de aanname zou kunnen zijn dat binnenstedelijke gebieden minder autobezit laten zien dan rurale gebieden.

6.7.2 Verandering aandrijving en besturing voertuigen

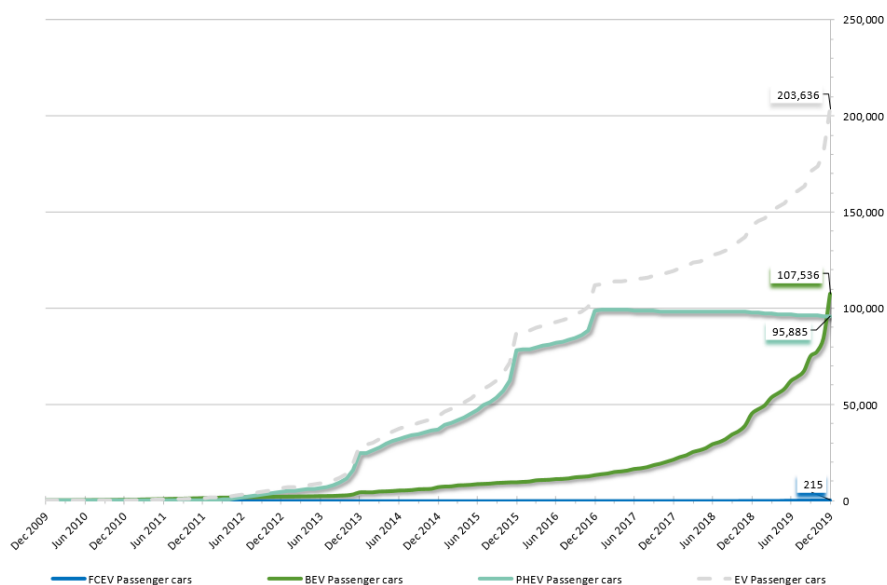
De snelle introductie van elektrisch rijden zal de komende jaren een enorme impact hebben op de materiaalvraag voor mobiliteit. Het aantal auto's als zodanig zal allicht niet afnemen (die trend is althans niet zichtbaar in de totale autopopulatie in de afgelopen jaren), maar het aandeel elektrisch rijden wel. Enerzijds omdat regelgeving en dan voornamelijk fiscale maatregelen daar een sterke impuls geven, anderzijds ook omdat door massale investeringen van de grote autobedrijven de kosten voor elektrisch rijden zullen dalen en de actieradius zal sterken.

Het is onmogelijk een kwantitatief inzicht te geven in de 'trends' op dit vlak aangezien deze tot nu toe gedomineerd worden door fiscale maatregelen.²³

²² <https://www.crow.nl/dashboard-autodelen/home/aanbod/aanbod-resultaat>

²³

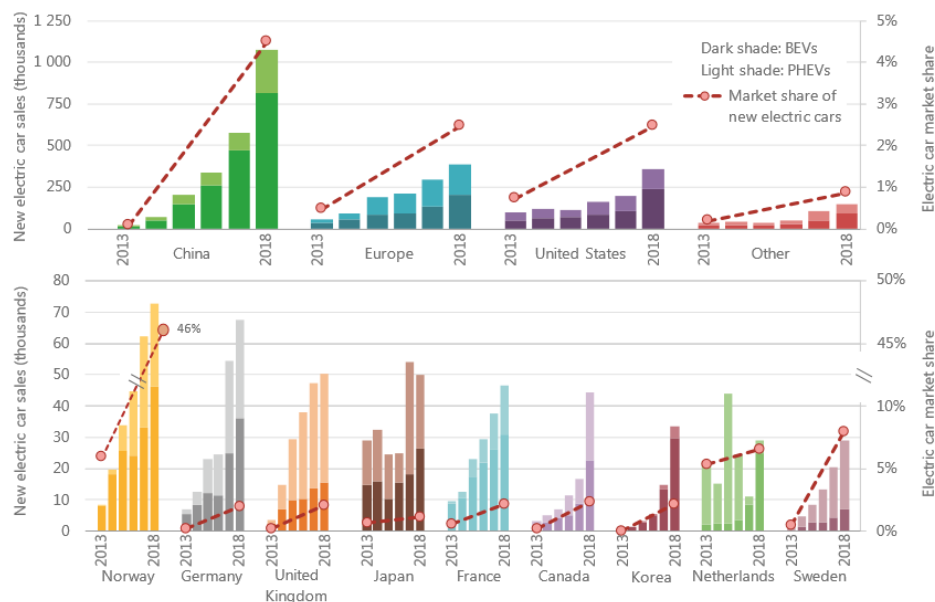
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/01/Statistics%20Electric%20Vehicles%20and%20Charging%20in%20The%20Netherlands%20up%20to%20and%20including%20December%202019.pdf>



Figuur 38 Ontwikkeling hybride en elektrisch aangedreven auto's in Nederland (bron: RVO)

Dit Nederlandse plaatje is afwijkend t.o.v. tal van andere landen, toont enerzijds de enorme invloed van beleid aan en aan de andere kant ook de geringe mate van continuïteit t.o.v. tal van andere landen²⁴.

Figure 1.2. Electric car sales and market share in the top-ten EVI countries and Europe, 2013-18



Figuur 39 Verkoop van elektrische auto's (bron:IEA)

Alhoewel op basis van doelstellingen uit het Klimaatakkoord en o.a. van het IEA een beeld is te schetsen van het te verwachten (groeierende) elektrisch autobezit en de daarmee gepaard gaande behoefte aan materialen t.b.v. accu's en elektra-

²⁴ May 2019 Global EV Outlook 2019

opwekking (zie o.a. recente rapporten van Copper8 en Metabolic) gaan we vanwege die sterke relatie met fiscaal beleid hier niet verder in op de eventueel groeiende materiaalvraag.

6.8 Energie

6.8.1 Veranderende samenstelling van energiemix

Het is een bekend gegeven dat de energietransitie grootschalige investeringen met zich meebrengt op het gebied van materiaal-intensieve infrastructuur, zoals zonne- en windenergie, opslagcapaciteit, en verderop in de waardeketen elektrificatie van industrie, vervoer, en huishoudelijk gebruik. Voor deze investeringen zijn grote hoeveelheden materialen nodig. Dit kan een effect hebben op de prijzen en beschikbaarheid van grondstoffen in de Nederlandse economie. Dit fenomeen kreeg in 2011 al geruime aandacht in de Europese Unie²⁵ en onder andere in het proefschrift van René Kleijn (CML, Universiteit Leiden)²⁶. Meer recent hebben TNO²⁷ en Copper8 en Metabolic kwantitatieve analyses verricht aan de materiaalbehoefte van de energietransitie, wereldwijd en in Nederland. Deze verkenningen gingen uit van veronderstelde dan wel gewenste scenario's.

De basis voor het door TNO geanalyseerde scenario werd gevormd door de in 2017 gepubliceerde IEA beyond 2 degrees scenario's. De hierna te bespreken materiaalconsequenties van de energietransitie zijn dan ook niet als unieke trend te beschouwen: het gaat hier om consequenties van een voortvarend energiescenario.

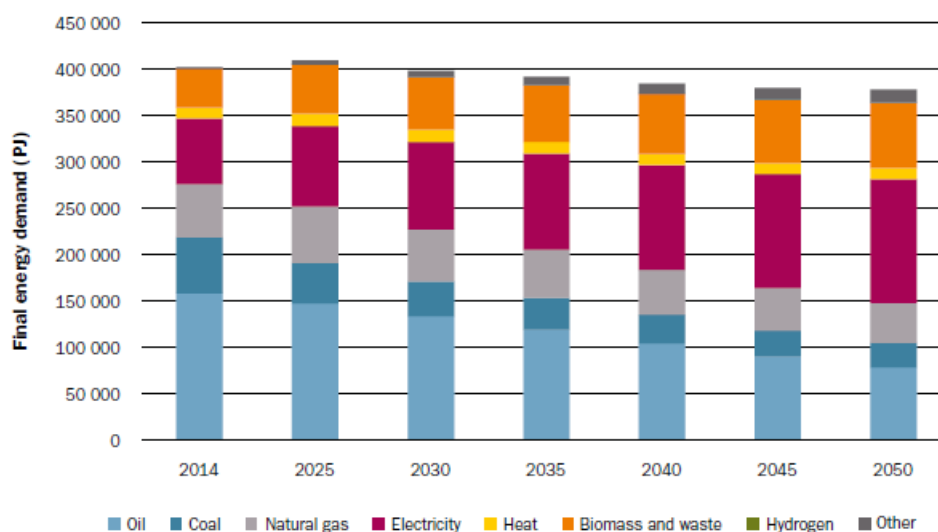


Figure 1 Development of final energy demand (B2D scenario)

De finale globale energievraag volgens dit scenario daalt in geringe mate waarbij vanzelfsprekend de vraag naar elektriciteit sterk zal toenemen.

²⁵ Critical Metals in Strategic Energy Technologies
Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies
R.L.Moss, E.Tzimas, H.Kara, P.Willis and J.Kooroshy, JRC, 2011

²⁶ Materials and energy: a story of linkages
René Kleijn, Universiteit Leiden, 2012

²⁷ GLOBAL ENERGY TRANSITION AND METAL DEMAND - AN INTRODUCTION AND CIRCULAR ECONOMY PERSPECTIVES

De elektriciteitsmix in dit scenario ziet er als volgt uit:

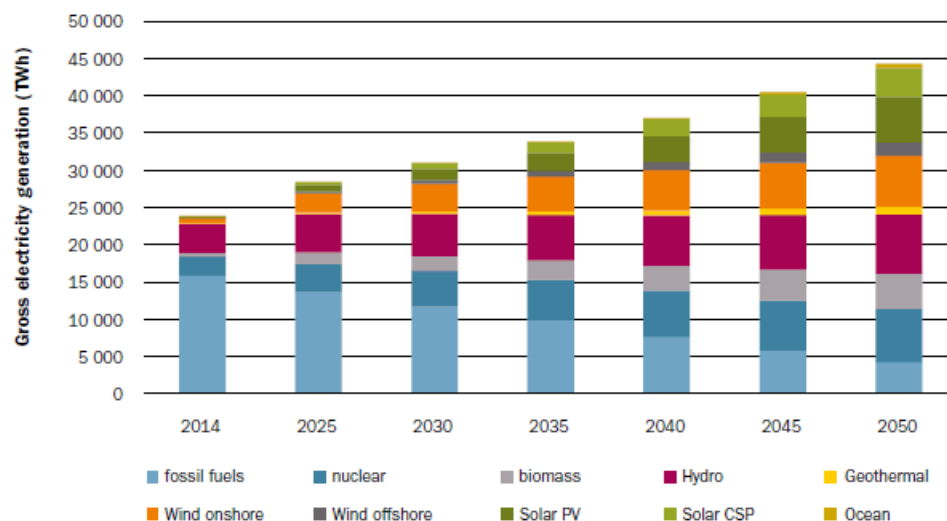


Figure 3 Development of gross electricity generation in a B2D scenario (source: IEA)

Dit scenario gaat uit van een zeer stevige toename van zonne-energie (Solar PV en CSP) en windenergie (on shore en off-shore). De toename van wind- en PV-energie ziet er als volgt uit:

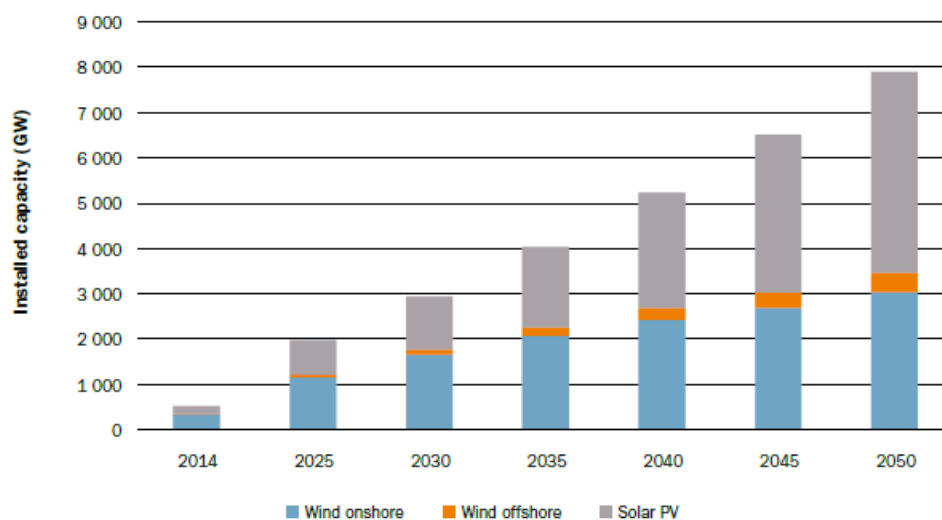


Figure 7 Installed capacity for wind and PV in 2050 according to B2D scenario

In het genoemde TNO-rapport is de materiaalbehoefte voor deze voortvarende introductie van wind- en zonne-energie doorgerekend. Maar niet alleen de energietransitie heeft materialen (waarvan enkele kritieke) nodig. Deze zelfde materialen worden voor tal van andere technologieën ingezet, niet alleen t.b.v. de generatie van elektriciteit maar ook voor opslag van energie (batterijen) en de omzetting ervan.

Op basis van analyses van Fraunhofer-onderzoek naar de impact van tal van nieuwe technologieën op de behoefte van materialen is het volgende beeld samengesteld voor het zeldzame-aarde-element neodymium (Nd). Hieruit blijkt al

FIGURE 2024-2025-2026-2027-2028-2029-2030-2031-2032-2033-2034-2035-2036-2037-2038-2039-2040-2041-2042-2043-2044-2045-2046-2047-2048-2049

dat de behoefte aan neodymium voor windturbines op zich relatief klein is t.o.v. andere applicaties waaronder e-bikes en ander elektrisch vervoer.

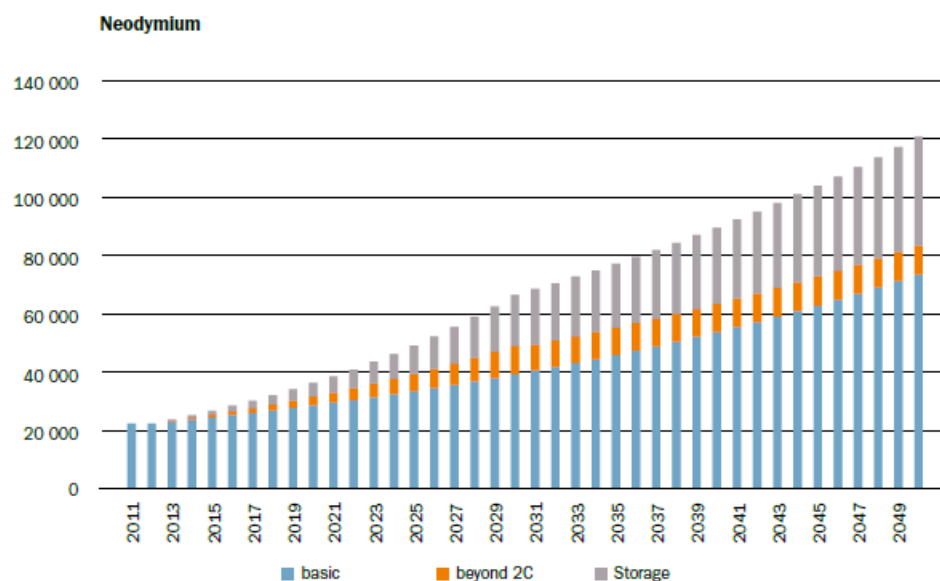
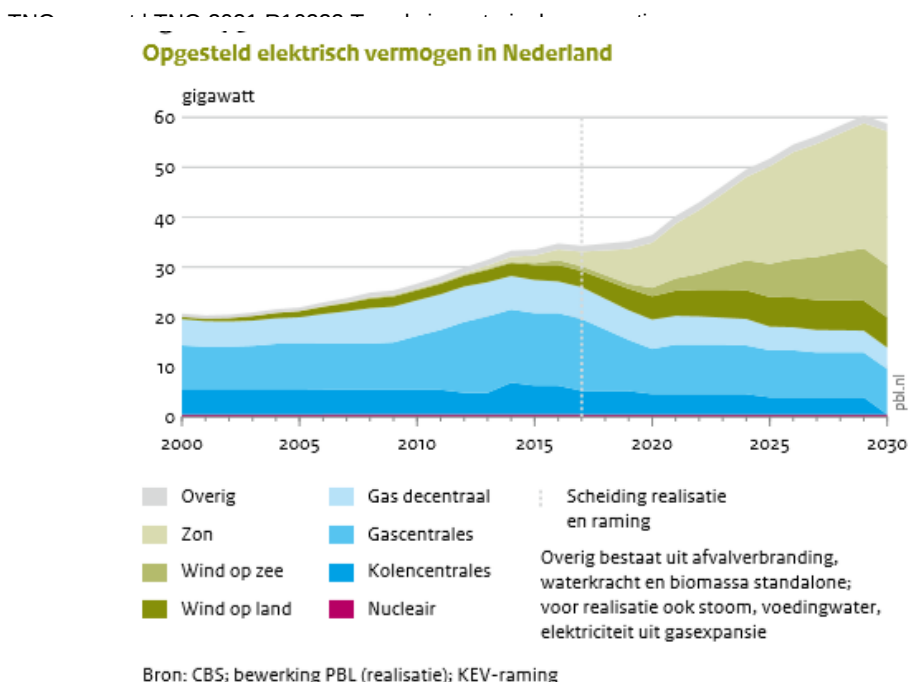


Figure 13 Required growth of neodymium

Dit beeld laat al zien dat de aandacht voor de gevolgen van de energietransitie op zich relevant is, maar vooral en eigenlijk alleen in de context van de opkomst van andere technologieën: alhoewel er grote onzekerheden zijn in de scenario's die de opkomst van e-mobiliteit, energieopslag en -generatie zijn, zullen scenario's die zich richten op de toekomstige indeling van Nederland hier uitdrukkelijk rekening mee moeten houden.

De gevolgen voor de materiaalbehoefte van de energietransitie kan ten behoeve van de hier gepresenteerde verkenning beter worden gebaseerd op de meest actuele en realistische scenario's voor Nederland, dan op het hierboven aangehaalde Beyond-2-degrees (BDS)-scenario van het IEA.

In de recente Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019 (PBL, 2019), de opvolger van de 2-jaarlijkse Nationale Energieverkenning (NEV), wordt een beeld geschetst van de ontwikkeling van het elektrisch vermogen dat in de komende decennia wordt opgesteld in Nederland.



Figuur 40 Ontwikkeling energiemix in Nederland (bron: KEV 2019)

Hieruit blijkt dat in 2025 ruim de helft van de Nederlandse elektriciteitsproductie wordt opgewekt uit hernieuwbare energie. In 2030 is dit naar verwachting ruim tweetende van de elektriciteitsopwekking in Nederland.

Om de materiaalbehoefte van de opwekking van hernieuwbare energie vast te stellen baseren we ons dus op de behoefte aan opgesteld vermogen voor zon- en windenergie in 2030 volgens het in het KEV 2019 opgestelde scenario. We komen dan uit op een tussen 2018 en 2030 nog op te stellen vermogen van 9,1GW wind-op-zee, 2,7 GW wind-op-land en 20,9 GW zon (PV).²⁸ Dit vermogen moet dan in 12 jaar tot stand komen waardoor de jaarlijkse materiaalbehoefte op 1/12^e van de totale behoefte uitkomt.

Voor een eerste analyse van de materiaalbehoefte op van deze KEV-scenario's gaan we uit van de gemiddelde materiaalbehoefte (in kg/MW) voor de verschillende energietechnologieën. De complexiteit daarbij is dat zowel voor wind- als voor zonne-energie verschillende alternatieve technologievormen bestaan, die al naar gelang marktomstandigheden en technologische progressie meer of minder kunnen worden toegepast. Bij windenergie hebben we dan bijvoorbeeld over direct drive turbines met een behoefte aan neodymium van 200 kg/MW of bijvoorbeeld over een synchronous, gearbox-driven, high speed turbine met 'slechts' 25 kg Nd/MW. Op basis van literatuur-roadmaps komt het reeds genoemde TNO-rapport tot de volgende gemiddelde materiaalcomposities voor wind-en zonne-energie.

²⁸ Deze hoeveelheden komen in grote lijnen overeen met de aannames in het rapport METAALVRAAG VAN DE NEDERLANDSE ENERGIETRANSITIE van Copper8 en Metabolic uit december 2018.

Tabel 3 Gemiddelde materiaalbehoefte (per GW en per jaar) van hernieuwbare energietechnologie (bron:TNO, 2018)

	wind onshore 2030 (t/GW)	wind offshore 2030 (t/GW)	PV (t/GW)	totale behoefte per jaar (ton)
Ag	0	0	19	33
Al	856	898	9010	16566
B	1	1	0	1
Cd	0	0	6	10
Cr	646	706	0	680
Cu	2120	2085	2251	5978
Dy	5	5	0	5
Fe (magnet)	137	104	0	109
Fe (cast)	20320	20810	0	20353
Ga	0	0	0	0
In	0	0	2	4
Mn	54	54	0	53
Mo	125	125	0	123
Nd	64	59	0	59
Ni	576	583	0	572
Pr	1	2	0	2
Se	0	0	2	3
Si	0	0	4500	7838
Sn	0	0	452	786
steel	110000	110000	0	108167
Tb	1	1	0	1
Te	0	0	6	10
Zn	5500	5500	1	5410
glass	0	0	69570	121168
frame	0	0	9630	16772
concrete	400000	400000	0	393333

Bij deze analyse hoort een aantal kanttekeningen en opmerkingen:

- De analyse laat zien dat met op zich eenvoudige samenstellingsgegevens de transitie naar hernieuwbare energie is om te zetten naar een materiaalbehoefte voor Nederland. De materiaalbehoefte is overigens slechts ten dele zichtbaar op Nederlands grondgebied. Omdat er geen productiecapaciteit in Nederland aanwezig is voor deze technologieën gaat het hier om import van materialen in de vorm van finale producten (zonnecellen, windturbines). Slechts het benodigde beton, ten dele het staal en de frames waarin PV wordt opgesteld zullen Nederlandse grondstoffen of halffabricaten vragen.
- De samenstelling van de verschillende energietechnologieën zal de komende jaren van samenstelling veranderen: zo is maar zeer de vraag of CdTe-PV-cellen hun huidige marktaandeel vasthouden en ontwikkelen rond

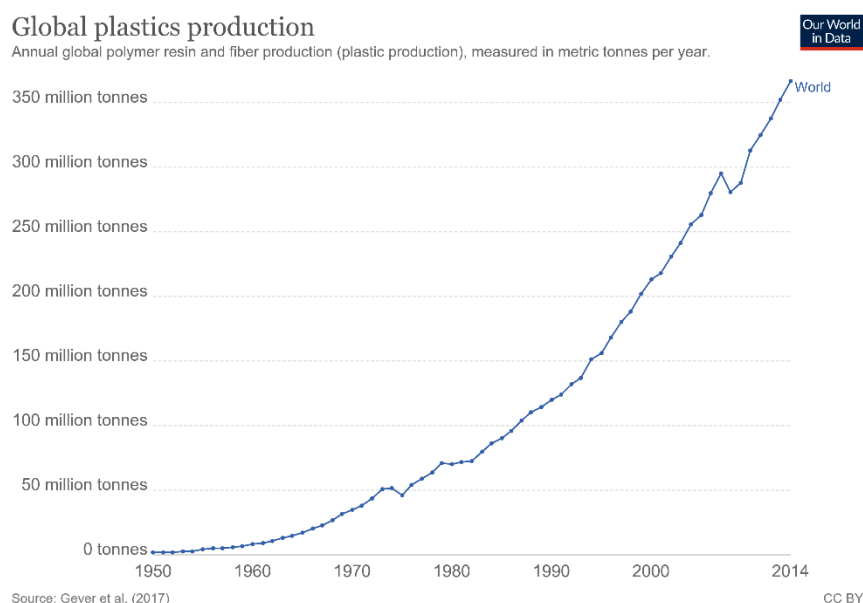
conventionele windturbines ervoor zorgen dat de behoefte aan zeldzame-aardmetalen niet explosief groeit.

- Het verdient aanbeveling om ook de overige consequenties van de energietransitie mee te nemen in toekomstige scenario's: zo zal energieopslag, -transport en -gebruik leiden tot toename van het aantal geïnstalleerde (Li-ion-)batterijen, van het gebruik van koper als geleider en van neodymium in bijvoorbeeld elektrische fietsen.

6.9 Consumentengoederen

6.9.1 Toename van kunststofconsumptie

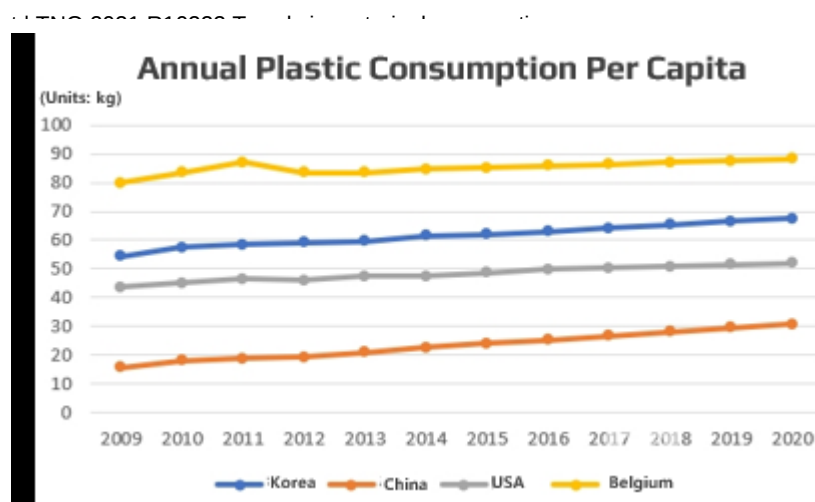
Sinds de Jaren '50 is er een enorme toename in de productie van plastic in de wereld te zien:



Figuur 41 Toename van wereldwijde plastic productie (bron: ourworldindata.org)

Een trend die ogenschijnlijk op globaal niveau doorgaat, en lijkt te schalen met welvaart en bevolkingsaanwas. Bij ongewijzigd beleid betekent dat, dat de milieudruk als gevolg van plastic-consumptie wereldwijd zal toenemen. Voor landen met een relatief stabiel GDP zal deze toename niet te zien zijn (zie Figuur 42)²⁹

²⁹ Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME) | Economics Review



Figuur 42 Gebruik van verpakkingsplastic per persoon (bron: APME)

Gezien bovenstaande is er in Nederland geen trend waarneembaar voor een toename van plastic-consumptie. Wat de komende jaren gaan brengen met het eventueel terugbrengen van deze consumptie zal afhangen van het succes van afspraken die o.a. in het kader van het Plastic Pact worden gemaakt.

6.9.2 Aanbod circulaire diensten

Naast de directe consumptie van goederen (en materialen zoals plastic) staat consumenten ook dienstverlening ter beschikking die een bijdrage kan leveren aan de levensduur van de producten of aan het gedeeld gebruik ervan (en dus mogelijk aan de verhoging van het uitnutten van de utiliteit van het product). Deze dienstverlening zouden we circulaire dienstverlening kunnen noemen, aangezien ze bijdragen aan de potentieel het meest bijdragen een waardebehoud, een centraal thema in het circulair economisch gedachtengoed.

Trends in het gebruikmaken van dergelijke diensten zouden kunnen worden waargenomen door naar de specifieke SBI-sectoren te kijken die zich hiermee bezig houden en vervolgens hoe deze zich in het afgelopen decennium hebben ontwikkeld.

Circulaire dienstverlening leidt tot werkgelegenheid in sectoren als:

- 3314 Reparatie van elektrische apparaten
- 7733 Verhuur en lease van computers
- 9521 Reparatie consumentenelektronica
- 9601 Wasserijen

Statline verschaft gegevens over de ontwikkeling van deze sectoren, onderverdeeld naar bedrijfsgrootte. Uit een vergelijking van gegevens tussen 2020 en 2010 blijkt dat tal van sectoren op SBI4-niveau sterk gegroeid zijn (in aantal bedrijfsvestigingen). Het aantal bedrijven in de volgende sectoren is minimaal verdubbeld:

- 3311 Reparatie van producten van metaal;
- 3312 Reparatie en onderhoud van machines
- 3313 Reparatie van elektronica
- 3314 Reparatie van elektrische apparaten
- 9512 Reparatie van communicatieapparaten (aantal vestigingen van 15 naar 435!)

De werkgelegenheid is in een aantal gevallen nog bescheiden (veel eenmanszaken), maar bij de laatstgenoemde is de geschatte werkgelegenheid gegroeid van ongeveer 1000 fte naar meer dan 17.000 fte. In absolute zin is de stijging bij o.a. 3312 Reparatie en onderhoud van machines (groei van 80.000 fte), 7721 Verhuur van recreatieartikelen (19.000 fte) en 9529 Reparatie van overige artikelen (19.000 fte) groot te noemen.

Vanzelfsprekend zal de groei in tal van andere, niet per se circulaire, bedrijfstakken in deze periode ook zijn gestegen, maar t.b.v. een economische scenario-analyse zijn deze trends waardevol om te volgen.

6.10 Gebouwde omgeving

6.10.1 Samenstelling huishoudens

Een significant deel van het volume van materiaalstromen is gerelateerd aan de bouw.

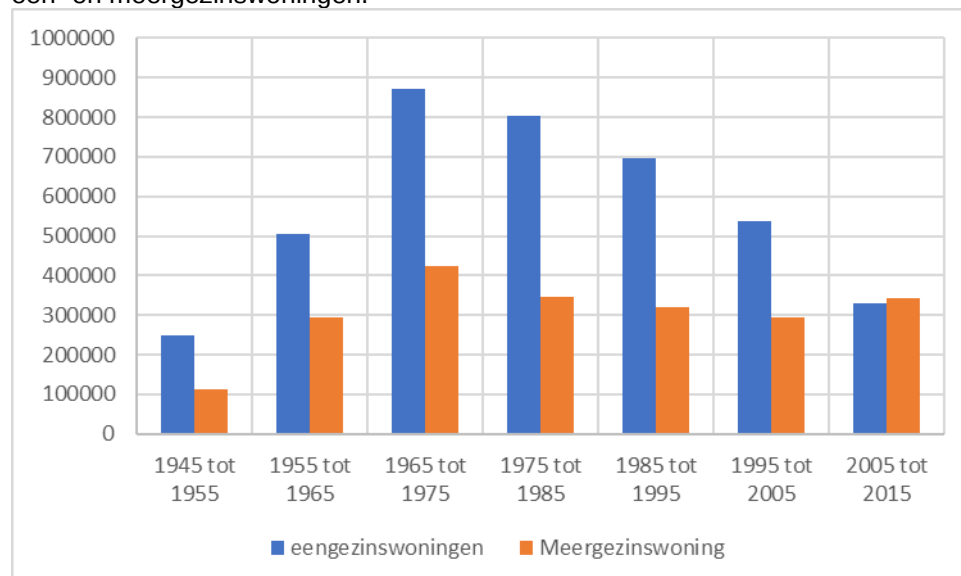
Het bouwvolume in de komende decennia zal door verschillende trends worden beïnvloed:

- De bevolkingsgroei
- Veranderende gezinssamenstelling
- Veranderende eisen aan woningen m.b.t. comfort en grootte en vooral energieprestatie.
- Trek naar de steden (in Nederland los van GDP-ontwikkeling(?))

Statline verschaft veel informatie over de trends en ontwikkelingen in de huizenmarkt. Een interessante analyse betreft:

- Het gemiddelde woonoppervlak van meergezins- en eengezinswoningen (in de tijd uitgezet)
- Het gemiddelde woonoppervlak per persoon en de ontwikkeling in het aantal eenpersoonshuishoudens

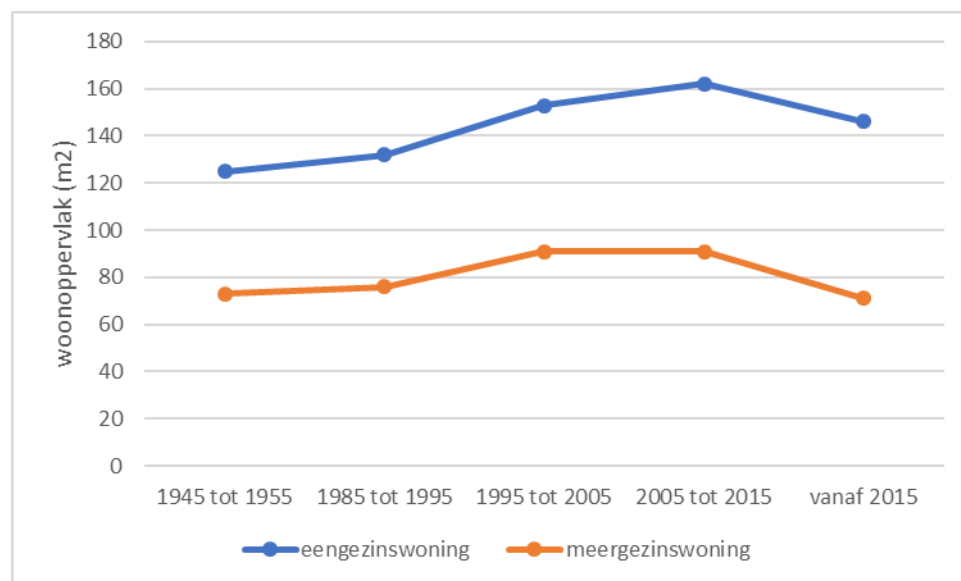
In 2017 bestond het woningbestand van Nederland uit de volgende hoeveelheid een- en meergezinswoningen.



Figuur 43 Opbouw woningbestand van Nederland

FIGUUR 44: Ontwikkeling woonoppervlak voor verschillende bouwperiodes

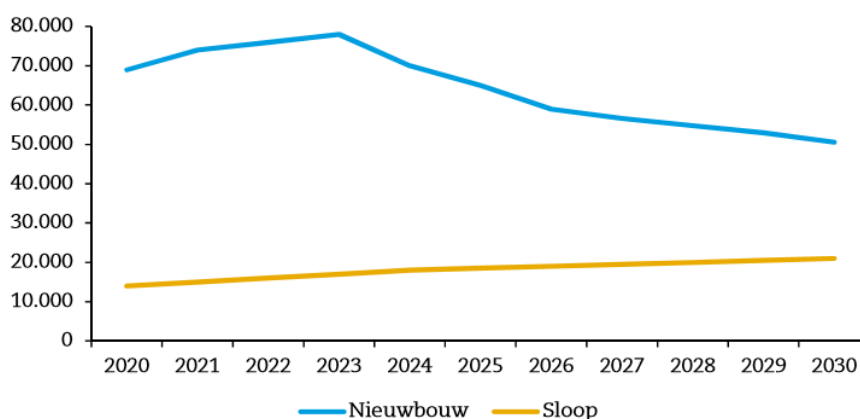
De instorting van de huizenmarkt na 2008 is goed te zien in deze figuur. De verschillende bouwperiodes kenmerken zich ook door een verandering in het gemiddelde woonoppervlak.



Figuur 44 Ontwikkeling woonoppervlak voor verschillende bouwperiodes (bron: CBS Statline)

Beide woningtypes hebben een stijging laten zien van het gemiddelde woonoppervlak voor tot 2015. In de periode daarna daalt dat oppervlak weer.

De verwachting van de nieuwbouw in de komende decennia wordt geschetst door het EIB, Metabolic en SGS Search³⁰, zie Figuur 45.



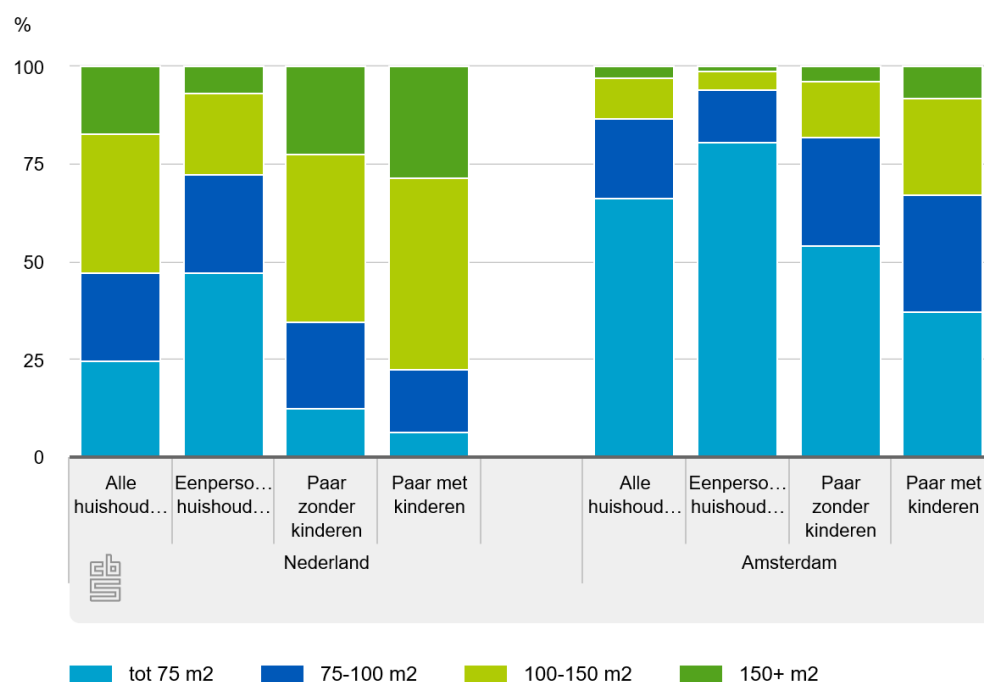
Figuur 45: ontwikkeling woningnieuwbouw en sloop, aantal woningen, 2020-2030 (EIB 2019)

De auteurs verwachten na een hoogtepunt van rond de 75.000 woningen per jaar dat het bouwvolume in 2030 zakt tot ongeveer 50.000 woningen per jaar in 2030.

³⁰ "Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw", Jelger Arnoldussen (EIB) Gerard Roemers (Metabolic) Samira Errami (EIB) Merlijn Blok (Metabolic) Radislav Semenov (EIB) Martijn Kamps (Metabolic) Kees Faes (SGS Search), augustus 2019

6.10.2 Ruimtelijke concentratie (urbanisatie)

Het woonoppervlak van een eenpersoonshuishouden is door CBS onderzocht³¹. Zie Figuur 46. De gevolgen van urbanisatie blijken wel uit deze opmerkingen van CBS: *“Een eenpersoonshuishouden in Amsterdam heeft gemiddeld 62 m² woonoppervlakte tot zijn beschikking, een eenpersoonshuishouden in Nederland 88 m². Bij de paren zonder kinderen is het verschil tussen Nederland en Amsterdam relatief het grootst. Per persoon hebben de Nederlandse paren 60 procent meer woonoppervlakte dan de Amsterdamse paren (respectievelijk 64 m² en 40 m²). Paren met kinderen bewonen per persoon 38 (Nederland) en 25 (Amsterdam) vierkante meter per persoon, oftewel gemiddeld anderhalf keer zoveel woonoppervlakte voor niet-Amsterdammers.”*



Figuur 46: woonoppervlakte naar type huishouden in 2017 (CBS 2018)

Urbanisatie leidt dus tot een lagere materiaalintensiteit vanwege de kleinere woonruimte. Anderzijds is het aantal eenpersoonshuishoudens een trend die zorgt voor toenemend materiaalgebruik.

6.10.3 Materiaalbehoefte nieuwbouw

Onlangs is door EIB, Metabolic en SGS Search het rapport “Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw”³² uitgebracht. Hierin wordt een beeld geschetst van de te verwachten nieuwbouw (woningbouw en utiliteitsbouw) en sloop tot 2030. Dit rapport besteedt tevens aandacht aan de gedetailleerde materiaalstromen die gemoeid zijn met deze nieuwbouw. Een gecombineerd beeld van het aantal woningen (of utiliteitsgebouwen), het oppervlak

³¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/22/amsterdamse-huishoudens-hebben-minder-woonoppervlakte>

³² “Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw”, Jelger Arnoldussen (EIB) Gerard Roemers (Metabolic) Samira Errami (EIB) Merlijn Blok (Metabolic) Radislav Semenov (EIB) Martijn Kamps (Metabolic) Kees Faes (SGS Search), augustus 2019

Voor scenario-analyses kan een dergelijk inzicht in materiaalstromen toekomstige scenariobouwers ondersteunen in het bepalen van de materiaalstromen a.g.v toekomstige bouw. Ook TNO heeft een database ontwikkeld waarmee een inschatting van de materiaalsamenstelling van woningen (BoB) in relatie tot het woonoppervlak kan worden bepaald.

Sum of materiaalvolume (kg)

Bouwelement

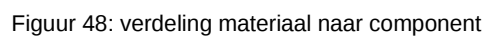
- Vloerisolatie
- Vloeren
- Ramen
- Muurisolatie
- Leidingen
- Kozijnen
- Gebouwfundering
- Deuren
- Dakwaterafvoer
- Dakisolatie
- Daken
- Buiten- en zijmuren
- Binnenmuren
- Bedekking muren en plafond

Bouwmaterialen

Bouwmaterialen	Bouwelement	Sum of materiaalvolume (kg)
Baksteen	Buiten- en zijmuren	~8500
Beton	Vloeren	~39000
Bitumineuze laag	Daken	~500
Dubbelglas	Ramen	~100
Enkelglas	Ramen	~100
Gasheton	Gebouwfundering	~500
Gipsplaat	Binnenmuren	~1000
Glaswol	Isolatie	~100
Grind	Isolatie	~100
Hout	Deuren	~1000
HR-glas	Ramen	~100
Kalkzandsteen	Buiten- en zijmuren	~6000
Koper	Leidingen	~100
Kunststof	Isolatie	~100
Multiplex	Deuren	~1000
Polystyreen	Isolatie	~100
PVC	Leidingen	~100
Staal	Deuren	~1000
Stucwerk	Binnenmuren	~100
Triplex	Deuren	~100
Zandcement	Bedekking muren en plafond	~6000
Zink	Bedekking muren en plafond	~100

Het leeuwendeel van het gewicht van woningen zit dus in beton, zandcement en kalkzandsteen. De hoeveelheid staal is in volume gering, alhoewel de gesommeerde milieu-footprint van staal de hoogste is van alle bouwmaterialen.

De hier gepresenteerde gegevens en andere data in het genoemde EIB-rapport leveren ruim voldoende informatie op om de gevolgen van scenario's op het gebied van woningbouw op materiaalintensiteit te kunnen schatten.

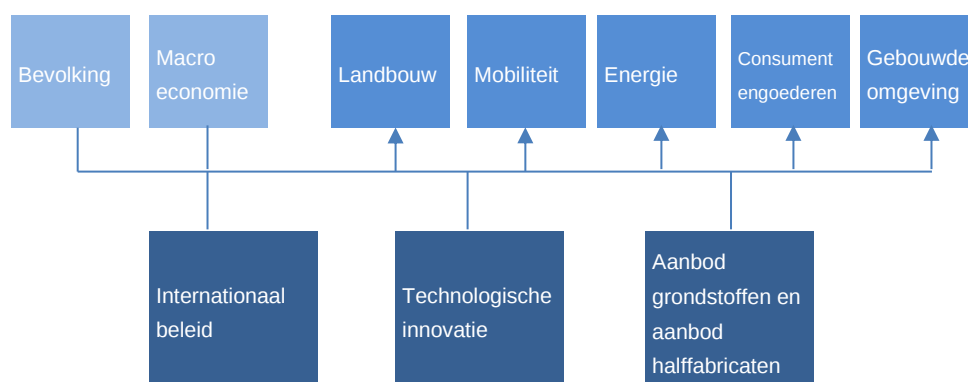


7

Bevindingen

Grondstoffen raken aan elk onderdeel van de samenleving. Grondstoffen verdienen dus een plek in het modelleren van de leefomgeving van Nederland op basis van scenario's. Tegelijk is het goed om die plek eenvoudig te houden vanwege de analytische complexiteit die het gevolg is van de alom aanwezige rol van grondstoffen in onze samenleving.

Het analytisch raamwerk dat volgt uit onze bevindingen wordt getoond in Figuur 49.



Figuur 49: voorgesteld analytisch raamwerk WLO op basis deze studie

De keuze om een eenvoudige maar robuuste opzet van het analytisch raamwerk te definiëren is bewust gemaakt. Op basis van de voorbeelden en uitwerkingen in hoofdstuk 6 is deze keuze juist gebleken: het dwarsdoorsnijdende karakter van grondstoffen zal storylines naar verwachting snel nodeloos ingewikkeld maken indien een te complex raamwerk wordt gekozen. Zelfs een relatief eenvoudig raamwerk wordt al snel complex wanneer de interacties tussen trends worden besproken. De robuustheid kan worden bepaald door de aanwezigheid van de meest relevante trends, die bovendien op een relatief eenduidige manier kunnen worden besproken. Een kwalitatieve duiding van de relaties tussen trends is goed te maken, waarbij het onze bevinding is dat een streven naar volledigheid niet reëel is. Met het streven om uiteindelijk kwantitatieve scenario's te formuleren is het niet volledig zijn in het beschrijven van alle relevante trends echter geen onoverkomelijke barrière. Het is met name belangrijk om de belangrijkste trends en de samenhang met bevolkingsomvang en ontwikkelingen in productiviteit in beeld te brengen. De trends (T) moeten zo onafhankelijk mogelijk worden gezien van bevolkingsomvang (P) en het BNP (A).

Het spreekt vanzelf dat we aanraden toekomstig werk te baseren op de opzet van het analytisch raamwerk zoals beschreven in dit rapport.

Het gebruik van de vermelde bronnen in deze studie geldt als startpunt voor deskresearch in het geval onderzoekers zich moeten inlezen in de rol van grondstoffengebruik in de economie en leefomgeving.

Voor de selectie van meest relevante grondstoffen zijn de specifiek aangetoonde trends belangrijk maar ze dienen toch eerder om het raamwerk te toetsen. Op korte

Het verdient aanbeveling een volledig en eenduidig beeld te krijgen van de wijze waarop trends kunnen worden getoond en bediscussieerd. Hiermee bedoelen we heldere eenheden waar het gaat om data. Daarnaast bedoelen we de noodzaak om vaste illustraties en grafieken volgens een consistent ontwerp te maken. Beide aanbevelingen leveren de noodzakelijke structuur in het onderzoek naar trends in grondstofgebruik. Met deze structuur wordt het risico van misverstanden geminimaliseerd en de acceptatie van grondstoffen in het WLO-kader versterkt.

De wellicht meest belangrijke bevinding is om, in navolging van de verwachting zoals gedeeld in de begeleidingsgroep, de modeloefening te starten met een aparte module voor grondstoffen. Deze module zou dan overeenkomen met de dwarsdoorsnijdende module zoals beschreven in paragraaf 6.5. Voor deze module dient onderzocht te worden of de databehoeftte kan worden vervuld en of de interactie met exogene variabelen in andere modules de belangrijkste trends in grondstofgebruik kan modelleren. Een alternatieve aanpak zou zijn om grondstoffen endogeen in te passen in meerdere modules, maar op basis van het analytisch raamwerk zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4 en 5 lijkt dit moeilijk te realiseren.

Literatuur

- Aguilar-Hernandez, G.A., Sigüenza-Sanchez, C.P., Donati, F., Rodrigues, J.F.D., Tukker, A. (2018) Assessing circularity interventions: A review of EEIOA-based studies. *Journal of Economic Structures* 7(14):1-24.
- Aguilar-Hernandez, G.A., Sigüenza-Sanchez, C.P., Donati, F., Merciai, S., Schmidt, J., Rodrigues, J.F.D., Tukker, A. (2019) The circularity gap of nations: A multiregional analysis of waste generation, recovery, and stock depletion in 2011, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 151, 2019, 104452, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104452>.
- Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- Allwood, J.M. (2014) Squaring the circular economy. In *Handbook of recycling: State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Cambridge University Press, Cambridge UK. Te vinden online (geopend 17 Oktober 2019): https://www.researchgate.net/publication/288191780_Squaring_the_Circular_Economy
- Allwood, J.M., Cullen, J.M (2017) Sustainable materials with both eyes open. 2nd edition ISBN: 978-1906860301
- André, F.J., Cardenete, A., Romero, C. (2010) Designing public policies: An approach based on multi-criteria analysis and computable general equilibrium modeling. Springer, Berlin.
- BGR (undated) ROSYS informationsystem. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover. Te vinden online (geopend 9 Oktober 2019): <https://rosys.dera.bgr.de/mapapps/resources/apps/rosys/index.html?lang=de> <https://doi.org/10.1111/jiec.12605>
- Bohringer, C., Rutherford, T. (2015) The circular economy – an economic impact assessment. Report to SUN-IZA. Te vinden online (geopend 9 Oktober 2019): <https://sunstiftungsfonds.files.wordpress.com/2015/06/report-circular-economy.pdf>
- CREM (2017) Grondstoffen scanner [Raw-material scanner]. Dienst ICT Uitvoering, Ministry of Economic Affairs and Climate Policy. Te vinden online (geopend 9 Oktober 2019): <https://www.grondstoffenscanner.nl/#/info>
- Dobbs, R., Oppenheim, J., Thompson, F., Brinkman, M., Zornes, M. (2011) Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs. McKinsey Global Institute, New York. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Resource%20revolution/MGI_Resource_revolution_full_report.ashx
- EC (2014) Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption. Technical report 2014-2478. European Commission, Brussels. Te vinden online (geopend 9 Oktober 2019): http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf
- Ehrlich, P. R. Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth. *Science*. American Association for the Advancement of Science. 171 (3977): 1212–1217.
- Eurostat (2017) Material flow accounts in raw material equivalents – Modelling estimates [env ac rme]. European Commission, Eurostat, Luxembourg. Te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_rme_esms.htm

- Fischer-Kowalski N. (2009) Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10):2696–2705. Te vinden online (geopend 17 Oktober 2019): https://www.researchgate.net/publication/222430349_Growth_in_global_materials_use_GDP_and_population_during_the_20th_century
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J. (2017) The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production* 143:757-768.
- Gordon, R.J. (2016) *The rise and fall of American growth: The U.S. standard of living since the Civil War*. Princeton University Press, Princeton.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M. (2015) How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *Journal of Industrial Ecology* 19:765– 777.
- Hanemaaijer, A., Potting, J., Delahaye, R., Hoekstra, R., Lijzen, J. (2018) Circular economy: What we want to know and can measure. Framework and baseline assessment for monitoring the progress of the circular economy in the Netherlands. PBL publication number: 3217. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Hoekstra, R. (2019) *Replacing GDP by 2030*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IRP (2019) *Global resources outlook 2019: Natural resources for the future we want*. A Report of the International Resource Panel, UNEP, Nairobi. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/unep_252_global_resource_outlook_2019_web.pdf
- Koning A. de, Kleijn E.G.M., Huppel G., Sprecher B., Engelen G. van & Tukker A. (2018), Metal supply constraints for a low-carbon economy? *Resources Conservation and Recycling* 129: 202-208.
(geopend 7 Oktober 2019): <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.09.006>
- Koning, A. de, Voet, E. van der (2018) Expected demand for resources in the Netherlands; A consumption and production view. Te vinden online: <https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/64879>
- Lagarde, C. (2019) How to ensure the effective and sustainable financing of international development. International Monetary Fund, Washington DC. Te vinden online (geopend 11 Oktober 2019): <https://www.imf.org/en/News/Articles/2019/05/07/sp050719-how-to-ensure-the-effective-and-sustainable-financing-of-international-development>
- Leontief, W. (1991) The economy as a circular flow. *Structural Change and Economic Dynamics* 2(1):181–212.
- McCarthy, A., Dellink, R., Bibas, R. (2018) The macroeconomics of the circular economy transition: A critical review of modelling approaches. *OECD Environment Working Papers* 130, OECD, Paris. Te vinden online (geopend 11 Oktober 2019): https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/the-macroeconomics-of-the-circular-economy-transition_af983f9a-en
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W. III (1972) *Limits to growth*. Club of Rome, Zurich. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): <https://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Northey, S., Mohr, S., Mudda, G.M., Weng, Z., Giurco, D. (2014) Resources, Conservation and Recycling Volume 83, February 2014, Pages 190-201
- OECD (2017) *Green growth indicators 2017*, OECD Publishing, Paris. Te vinden online (geopend 7 Oktober 2019): <http://dx.doi.org/10.1787/9789264268586-en>

- Peck, D.P. (2016) Prometheus missing: Critical materials and product design. Design Engineering, Delft Technical University, Delft.
- SDG Resources (2017) SDG 12: Responsible consumption and production — Indicators by targets. Medium. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): <https://medium.com/sdgs-resources/sdg-12-indicators-f95c7a9b12bb>
- SER (2016) Werken aan een circulaire economie: Geen tijd te verliezen [Working on a circular economy: No time to lose]. Advies 16/05. Social and Economic Council, The Hague. English summary te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): <https://www.ser.nl/-/media/ser/downloads/engels/2016/circular-economy.pdf>
- Suh, S. (2004) Functions, commodities and environmental impacts in an ecological-economic model. *Ecological Economics* 48:451– 467.
- TCE (2019) The circularity gap report. Circle Economy, Amsterdam. Te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): <https://www.circularity-gap.world/>
- Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., Koning, A. de, Lutter, S., Simas, M., Stadler, K., Wood, R. (2016) Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Global Environmental Change* 40:171–181.
- UNEP (undated) Data downloader. United Nations Environmental Programme (UNEP), Paris, France. Te vinden online (geopend 9 Oktober 2019): <http://uneplive.unep.org/downloader#>
- UNEP (2016) Global material flows and resource productivity: Assessment report for the UNEP International Resource Panel. UN Environment Programme, Paris. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/global_material_flows_full_report_english.pdf
- Verrips, A., Hoogeboom, S., Hoekstra, K., Romijn, G., Folmer, K., Van Gemeren, J. (2017) The circular economy of synthetics/plastics: From raw materials to waste. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague. Te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Communication-13sept2017-The-circular-economy-of-plastics-from-raw-materials-to-waste.pdf>
- Vollebergh, H., Van Dijk, J., Drissen, E., Eerens, H., Vrijberg, H. (2017) Belastingverschuiving van arbeid naar grondstoffen, materialen en afval. Verkenning van belastingen voor het stimuleren van de circulaire economie [Taxation shifts from labour to raw materials and waste. Exploration of taxation to stimulate the circular economy]. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Vuuren, D.P. Van, Faber, A. (2009), Growing within Limits - A Report to the Global Assembly 2009 of the Club of Rome, Netherlands Environmental Assessment Agency, ISBN 978-90-6960-234-9.
- Webster, K. (2015) The Circular Economy: A wealth of flows. Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation. ISBN: 139780992778460
- Weidema, B., Hansen, K. (2004) The product, functional unit and reference flows in LCA. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- Weizsäcker, E. Von, Hargroves, K., Smith, M., Desha, C., Stasinopoulos, P. (2009) Factor Five: Transforming the Global Economy through 80% Improvements in Resource Productivity. Earthscan/Routledge, London. ISBN 9781844075911
- Wiebe, K.S., Harsdorff, M., Guillermo Montt, M., Simas, S., Wood, R. (2019) A global circular economy scenario in a multi-regional input-output framework. American Chemical Society, Washington DC. Te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b01208>
- Winning, M., Calzadilla, A., Bleischwitz, R., Nechifor, V. (2017) Towards a circular economy: Insights based on the development of the global ENGAGE-materials

- model and evidence for the iron and steel industry. *Journal of International Economics and Economic Policy* 14(3):383–407. Te vinden online (geopend 11 Oktober 2019): <https://doi.org/10.1007/s10368-017-0385-3>
- World Bank (2016) Little green data book. Te vinden online (geopend 7 Oktober 2019): <https://data.worldbank.org/products/data-books/little-green-data-book>
- World Commission on Environment and Development (1987) Our common future. Annex to document A/42/427. UN General Assembly, Rome. Te vinden online (geopend 14 Oktober 2019): <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- World Economic Forum (2019) Global risks report. 14th edition. World Economic Forum, Geneva. Te vinden online (geopend 16 Oktober 2019): http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf
- Zink, T., Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*. 10.1111/jiec.12545.

Bijlage 1 Structurerende elementen uit WLO 2015

Figuur 2.1
Samenhang tussen de modules



Bron: PBL/CPB

Trends

Bbp-wereld, Bbp-EU28
Wereldhandel
Olieprijs in US\$/barrel in eindjaar
CO2-prijs in €/tCO2 in eindjaar
Sectorstructuur
Vergrijzing

Demografie

Hoog migratiesaldo Sterke stijging levensverwachting, hoge vruchtbaarheid
Laag migratiesaldo Beperkte stijging levensverwachting, lage vruchtbaarheid

Economie

Sterkere groei wereldeconomie en internationale handel Behoud concurrentiepositie, Sterkere groei arbeidsproductiviteit Grotere dienstensector
Beperkte groei wereldeconomie en internationale handel Behoud concurrentiepositie, Gematigde groei arbeidsproductiviteit Kleinere dienstensector

Technologie

Snellere ontwikkeling
Tragere ontwikkeling

Klimaatbeleid

Substantieel
Beperkt

Energieprijzen (olie, kolen, gas)

Laag

Hoog

Ruimte

Voortzetting trend tot concentratie in de Randstad en enkele grote steden

Afzwakking concentratietrend

Gedrag consumenten

Geen fundamentele gedragsverandering

Geen fundamentele gedragsverandering

Voor de WLO-scenario's zijn de CO2-prijzen voor 2050 bepaald op basis van de preventiekostenmethode (CE Delft 2010) met behulp van het TIMER/FAIR model (Van Vuuren et al. 2015) en het MERGE model (Aalbers et al. 2015)