



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Stock-driven scenarios on global material demand: the story of a lifetime

Deetman, S.P.

### Citation

Deetman, S. P. (2021, December 8). *Stock-driven scenarios on global material demand: the story of a lifetime*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3245696>

Version: Publisher's Version

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3245696>

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

## Samenvatting (Dutch)

De wereldwijde vraag naar grondstoffen en materialen groeit en de negatieve gevolgen van materiaalproductie op het milieu zijn een reden tot zorg. Tegelijkertijd zijn er materialen nodig voor het halen van beleidsdoelen met betrekking tot klimaatverandering en duurzame ontwikkeling (SDGs). Het concept van de Circulaire Economie biedt mogelijk een oplossing voor deze schijnbare beleidsparadox, omdat het de afhankelijkheid van grondstoffenextractie probeert te beperken door middel van efficiënter gebruik van producten en materialen en door het gelijktijdig sluiten van kringlopen. *Integrated Assessment* modellen worden gebruikt bij de analyse van wereldwijde milieuproblematiek, en de effectiviteit van beleidsopties, maar zijn op het moment nog niet geschikt om vraagstukken rondom de Circulaire Economie volledig te beantwoorden.

In dit proefschrift worden een aantal van de eerste stappen uiteengezet die nodig zijn voor het beter modelleren van materiaalstromen in het IMAGE *Integrated Assessment* model. Door gebruik te maken van dynamische modellering van gebruiksvoorraden en gedetailleerde informatie over de compositie en levensduur van producten, in combinatie met scenario's tot aan 2050, gedefinieerd door de *Shared Socioeconomic Pathways*, wordt onderzocht hoe de groeiende vraag naar de diensten die geleverd worden door gebouwen, voertuigen en de elektriciteitssector zich vertalen naar materiaalgebruik. Daarnaast wordt bepaald hoe de vraag naar nieuwe materialen leidt tot het ontstaan van afvalstromen, en hoe deze zich in de komende decennia kunnen ontwikkelen. Deze aanpak op basis van materiaal voorraden in producten in de gebruiksfase maakt de modellering zowel consistent, als ook gedetailleerder, omdat de ontwikkelingen in verschillende economische sectoren expliciet kunnen worden meegenomen. Tevens kan hiermee het effect van klimaatbeleid op de vraag naar materialen beter in kaart worden gebracht, op basis van de meest recente inzichten uit industrieel ecologisch onderzoek.

In de verschillende hoofdstukken worden scenario's gebruikt om antwoord te geven op de onderzoeksvraag; hoe zal de wereldwijde vraag naar materialen zich ontwikkelen tot en met 2050, en hoe beïnvloedt dit de beleidsdoelstellingen rond klimaatverandering, duurzame ontwikkeling en de circulaire economie? Hoofdstukken 2 en 3 gaan hiervoor in op de oorzaak en de ontwikkeling van de vraag naar schaarse metalen zoals tantalum, neodymium en kobalt. Omdat deze materialen nodig zijn in verschillende moderne toepassingen zoals mobiele digitale technologie, hernieuwbare energie toepassingen en ook elektrische auto's, kan de toekomstige vraag van deze materialen snel en sterk groeien. Voor bulkmaterialen is de relatieve groei van de vraag in de komende decennia wellicht wat kleiner, maar toch zeker relevant met betrekking tot milieueffecten. De hogere productievolumes van materialen als staal, aluminium en beton kunnen een substantieel effect hebben op zowel de energievraag als de gerelateerde broeikasgasemissies. Hoofdstuk 4 tot en met 7

## Samenvatting

beschrijven daarom de bijdrage aan de vraag naar bulkmaterialen van drie belangrijke toepassingen, namelijk gebouwen, voertuigen en de elektriciteitssector.

Gebouwen (hoofdstukken 4 en 5) bepalen over het algemeen een groot deel van het totale gewicht van materialen zoals staal en beton in gebruiksvorraden. Op basis van een database met gegevens over het gebruik van bouwmaterialen (in kilogram per vierkante meter vloeroppervlak) in verschillende gebouwtypen laten de resultaten de dynamische ontwikkeling van de hoeveelheid materialen in de staande bouwvoorraad zien. Daarnaast geeft deze analyse ook inzicht in de ontwikkeling van de jaarlijkse vraag naar bouwmaterialen en de beschikbaarheid van afvalstromen zodra bestaande gebouwen gesloopt worden. Het detail in de onderliggende scenario's maakt het mogelijk om onderscheid te maken in de ontwikkeling van stedelijke en landelijke gebieden. Daardoor is duidelijk te zien dat de woningvoorraad buiten de steden in veel regio's stabiliseert, terwijl de vraag naar woonoppervlak in steden blijft groeien tot ten minste het jaar 2050. Daarnaast valt op dat het vloeroppervlak in commerciële en openbare gebouwen wereldwijd sneller groeit dan het totale stedelijke woonoppervlak. Dit betekent dat het belangrijk is om bij het bepalen van de ontwikkeling van mondiale materiaalstromen niet alleen te kijken naar woningen, maar ook naar andere gebouwen.

Materiaal gebruik in de elektriciteit sector (hoofdstuk 6) wordt berekend voor zowel de opwekkingscapaciteit, transmissie en distributie als ook voor de elektriciteit opslag. Daarmee dekt de analyse de belangrijkste infrastructuur die benodigd is om wereldwijd een stabiel elektriciteitsnetwerk te realiseren. Onder de aannames van het tweede *Shared Socioeconomic Pathway* (SSP2) scenario vertaald de groei in de vraag naar elektriciteit zich in een snelle groei van de benodigde infrastructuur, met als gevolg een relatief hoge groei van de jaarlijkse vraag naar materialen als koper en aluminium. Als datzelfde SSP2 scenario daarnaast gecombineerd wordt met streng klimaatbeleid (in overeenstemming met een 2-graden doelstelling), leidt dat in eerste instantie tot een tijdelijk lagere materiaalvraag als gevolg van verschillende energie besparingsmaatregelen. Echter, het gecombineerde effect van de groeiende elektrificatie en een hogere materiaal-intensiteit van hernieuwbare elektriciteit opwekkingstechnologieën zorgt er rond 2050 juist voor dat de materiaalvraag van de elektriciteitssector hoger ligt als gevolg van klimaatbeleid.

Ten slotte wordt het materiaal gebruik in voertuigen (hoofdstuk 7) besproken voor een baseline scenario. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de bestaande uitwerking van de vraag naar zowel personenvervoer als vrachtverkeer uit het IMAGE model. Deze data beschrijven zowel de dynamische verschuiving tussen transport modi als ook de ontwikkeling van verschillende voertuigtypes binnen iedere transport modus. In de analyse worden deze scenario's gecombineerd met een gedetailleerde dataset over het gebruik en de compositie van voertuigen, om zo het materiaalgebruik in de bestaande voertuigvloot te berekenen. De omvang van bijbehorende materiaal vraag en afvalstromen worden ook afgeleid op

jaarbasis. De resultaten laten zien dat, rond 2050, het totale gewicht van voertuigen, van ongeveer 5 gigaton wereldwijd, vooral bestaat uit personenauto's en dat staal hierin het voornaamste aandeel heeft. Echter, andere voertuigen zoals schepen en trucks zijn niet verwaarloosbaar. Ook de materialen in batterijen van elektrische voertuigen worden berekend op basis van een dynamisch ontwikkelende markt, materiaal-compositie en batterij gewicht. Hiermee kan de ontwikkeling van de vraag naar kritische materialen als kobalt preciezer worden bepaald. Met een gemiddelde levensduur van ca. 15 jaar veroorzaken voertuigen een relatief groot deel van de jaarlijkse vraag naar staal, aluminium en koper, ten opzichte van gebruiksvorraden met een langere levensduur zoals elektrische infrastructuur (ca. 40 jr.) of gebouwen (ca. 60 jr.). Tegelijkertijd zorgt de kortere levensduur voor een snellere beschikbaarheid van metaalschroot uit voertuigen.

Door de resultaten uit de verschillende hoofdstukken te combineren wordt duidelijk dat de wereldwijde vraag naar materialen zoals staal, aluminium, koper en beton waarschijnlijk zullen blijven groeien tot en met 2050, als gevolg van een groeiende vraag naar gebouwen, voertuigen en infrastructuur voor elektriciteit. Voor de vraag naar staal in deze toepassingen komt dit neer op een groei van 45% en voor koper ca. 94% ten opzichte van de afgelopen jaren. De groei van de populatie en de welvaart leiden tot een groei van maatschappelijke gebruiksvorraden, in het bijzonder geldt dat voor publieke en commerciële gebouwen, vrachtvoertuigen en infrastructuur voor elektriciteit. De dynamiek in de ontwikkeling van gebruiksvorraden van individuele producten, ieder met een eigen samenstelling, levensduur en regionale vraag, heeft fundamentele gevolgen voor de circulaire economie.

De tweede onderzoeksvraag richt zich op de dynamische ontwikkeling van gebruiksvorraden, de beschikbaarheid van gerecyclede materiaalstromen en de consequenties voor de realisatie van een circulaire economie. De levensduur van producten is over het algemeen zeer bepalend voor de relatie tussen maatschappelijke materiaal voorraden, de jaarlijkse materiaal vraag en de daaruit af te leiden afvalstromen van materialen. Gebouwen zijn bijvoorbeeld de belangrijkste factor in de omvang van gebruiksvorraden, hoewel de jaarlijkse materiaalvraag van de bouwsector relatief minder groot is omdat gebouwen een relatief lange levensduur hebben. Voor toepassingen met een lange levensduur zal de beschikbaarheid van afvalstromen voor recycling van materialen sterk achter blijven lopen op de groei van de nieuwe vraag naar materialen, met als gevolg dat de wereld waarschijnlijk tot in 2050 afhankelijk zal blijven van extractie van nieuwe grondstoffen. Dit is een fundamentele uitdaging voor het bereiken van een volledig circulaire economie, in ieder geval onder de aanname van een *business-as-usual* scenario.

Regio-specifieke ontwikkelingen, beschreven in het IMAGE model, laten zien dat een groot deel van de groei in de vraag naar producten en materialen waarschijnlijk plaats zal vinden in snel ontwikkelende regio's. In die gebieden vormen de ontwikkeling van de

## Samenvatting

infrastructuur, gebouwen en voertuigen vaak een essentiële basis voor de ontwikkeling van welvaart en een behoorlijke levensstandaard, waarmee zij bijdragen aan de duurzame ontwikkelingsdoelen. Circulaire economie maatregelen die gericht zijn op het reduceren van de vraag naar producten en materialen zijn daarom wellicht meer geschikt in regio's met hogere inkomens. In andere regio's waar de populatie stabiliseert zullen specifieke toepassingen, zoals fietsen of huizen buiten de steden, al voor 2050 een netto bron van materialen vormen. Het is daarom van belang om op tijd een passend afvalbeleid en voldoende afval verwerkingscapaciteit te realiseren. Met name richting de tweede helft van de eeuw, wanneer een groeiende hoeveelheid materialen beschikbaar zal komen in afvalstromen. Regio-specifieke dynamiek en de resulterende timing van materiaalstromen, zoals gepresenteerd in dit proefschrift, kunnen helpen bij het bepalen van de effecten op de industriële energievraag, de ontwikkeling van secundaire grondstoffenhandel, en bij het bepalen van optimale strategieën voor het sluiten van kringlopen.

Klimaatbeleid leidt, daar bovenop, waarschijnlijk tot een hogere materiaalvraag in elektrische auto's en de elektriciteitssector, maar er is meer onderzoek nodig om het volledige effect van klimaatbeleid op materiaalvraag te bepalen. Verder onderzoek zou zich hiervoor kunnen richten op het uitbreiden van de modellering van materiaalgebruik in andere sectoren, zoals bijvoorbeeld in industriële machines of transportinfrastructuur. De product specifieke en dynamische materiaalstroom analyse zoals hier beschreven kan als voorbeeld dienen voor verder onderzoek, waarbij de beschikbaarheid van data over product-compositie en levensduur een belangrijke vereiste zijn. Uiteindelijk zou de volledige integratie van sectorspecifieke materiaalvraag modelering een toegevoegde waarde hebben voor *integrated assessment modellen* zoals IMAGE, o.a. omdat de modellering hierdoor consistentere wordt, maar ook gedetailleerder en intuïtiever.

Op basis van het gepresenteerde onderzoek wordt geconcludeerd dat in een *baseline* scenario, de wereldwijde ontwikkeling van de vraag naar verschillende materialen in gebouwen, voertuigen en de elektriciteitssector waarschijnlijk door zal groeien tot aan 2050. Daarnaast zorgt de lange levensduur van deze toepassingen voor een vertraagde beschikbaarheid van afvalstromen. Hierdoor zal de productie van materialen waarschijnlijk nog lange tijd afhankelijk blijven van primaire grondstoffen, zelfs als alle afval volledig gerecycled zou worden. Aangezien de gemodelleerde toepassingen ongeveer de helft van de wereldwijde materiaalvraag verklaren, zal het zeer moeilijk zijn om voor 2050 een volledig circulaire economie te realiseren. Hoewel milieueffecten of circulaire economie beleidsmaatregelen nog niet expliciet worden meegenomen in de gepresenteerde analyses, zou een voortzetting van dit werk en de integratie in *integrated assessment* modellen zoals IMAGE het uiteindelijk mogelijk maken om de potentiële impact van circulair economie beleid op klimaatmitigatie te analyseren in de passende dynamische context en voor de lange termijn.