Universiteit Leiden
The Netherlands

Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie - deel III: met case studies op gebied van het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen

Verhagen, T.J.; Pieters, L.; Voet, E. van der; Straalen, V. van; Tunn, V.

Citation
Verhagen, T. J., Pieters, L., Voet, E. van der, Straalen, V. van, & Tunn, V. (2022). *Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie - deel III: met case studies op gebied van het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/3281618

Version:	Not Applicable (or Unknown)
License:	Leiden University Non-exclusive license
Downloaded from:	https://hdl.handle.net/1887/3281618

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

Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie

deel III

1 februari 2022

met case studies op gebied van het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen

CML: Teun Verhagen, Lowik Pieters & Ester van der Voet
CBS: Vincent van Straalen & Vivian Tunn

Universiteit Leiden

Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie; met case studies op gebied van het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen

Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie

Werkpakket 3 Grondstoffen en Effectmonitoring

T3.5 Dataverzameling voorraden

Universiteit Leiden, Centrum voor Milieuwetenschappen:

Teun Verhagen
Lowik Pieters
Ester van der Voet

Centraal Bureau voor de Statistiek:

Vincent van Straalen
Vivian Tunn

Februari 2022

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 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RVO.nl, Rijkswaterstaat, TNO en de Universiteit Utrecht (UU) 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/monitoring-circulaire-economie.

Monitoring en Sturing Circulaire Economie

Samenvatting

Een essentieel onderdeel van een circulaire economie is het benutten van de *urban mine*, de stedelijke mijn. In een economie waarin kringlopen zoveel mogelijk gesloten zijn is de stedelijke mijn de voornaamste bron van grondstoffen. Onze kennis van deze stedelijke mijn is tot nu toe zeer beperkt. Het is dan ook van groot belang hierin meer inzicht te krijgen. De stedelijke mijn verschilt op een aantal essentiële onderdelen van geologische mijnen:

- De stedelijke mijn is alomtegenwoordig, en de hoogste concentraties zijn waar ook de concentraties van mensen zijn
- De materialen in de stedelijke mijn zijn in gebruik, en daarmee niet onmiddellijk beschikbaar
- De materialen in de stedelijke mijn raken niet op maar worden steeds opnieuw aangevuld.

Dat maakt dat ook de exploitatie van de stedelijke mijn er anders uit zal zien dan die van een geologische mijn. Op dit moment echter bevindt het onderzoek naar *urban mining* zich in de fase van *prospecting*, het identificeren en kwantificeren van geschikte *deposits*. Vragen die zich voordoen zijn, onder andere:

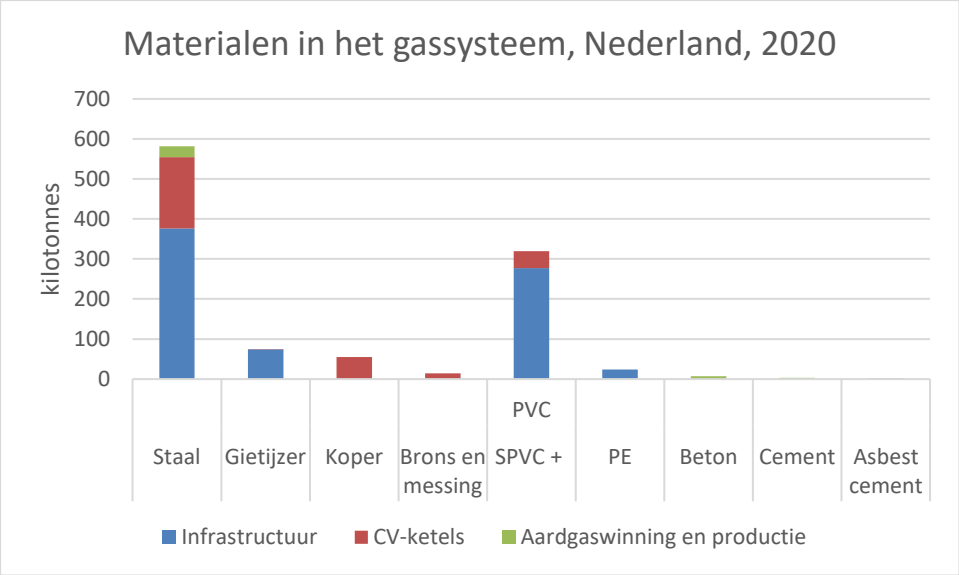
- Hoeveel van welke materialen zitten in de stedelijke mijn?
- In welke hoeveelheden en in welk tempo komen deze beschikbaar voor hergebruik of recycling?

In 2019 hebben we de voorraden van materialen in het elektriciteitssysteem, in elektronica en in voertuigen in kaart gebracht; in 2020 die in gebouwen, textiel en elektronische machines. Dit jaar, 2021, is een inventarisatie gemaakt van de materialen in het gassysteem, in de railinfrastructuur en in een groot aantal verschillende consumentenproducten.

Vorig jaar is het onderzoek gestart naar de tweede vraag: de beschikbaarheid van materialen uit de *urban mine* voor hergebruik of recycling. In 2020 hebben we scenario's tot 2050 uitgewerkt voor het elektriciteitssysteem. Dit jaar zijn scenario's voor gebouwen uitgewerkt en vertaald naar de ontwikkelingen in materiaalvoorraden en -stromen tot 2050. Deze worden apart gerapporteerd (van Oorschot et al., 2021), hierop wordt in het voorliggend rapport niet verder ingegaan.

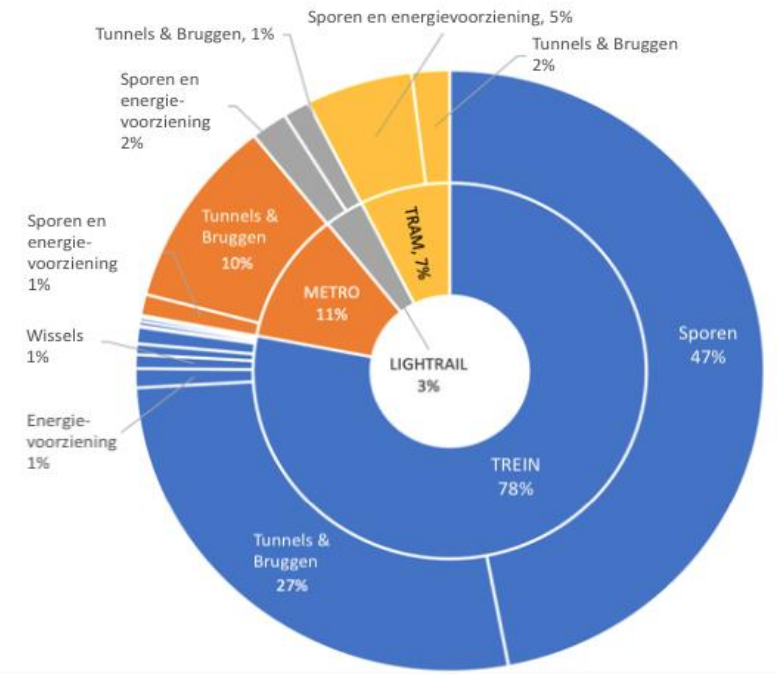
Ook de dit jaar onderzochte voorraden zijn zeer divers.

Het gassysteem (hoofdstuk 3)laat zich het best vergelijken met het elektriciteitssysteem: een productiesysteem gelinkt aan een fijnmazig distributiesysteem. Ook hier hebben we gebruik kunnen maken van GIS data en van data geleverd door netbeheerders. Qua omvang (in tonnen) lijkt het gassysteem wat kleiner te zijn. Het verschil is met name gelegen in het productiesysteem, dat voor gas bescheiden is. De distributienetwerken zijn van eenzelfde ordegrootte.



Figuur S1 Materialen in het gassysteem van Nederland

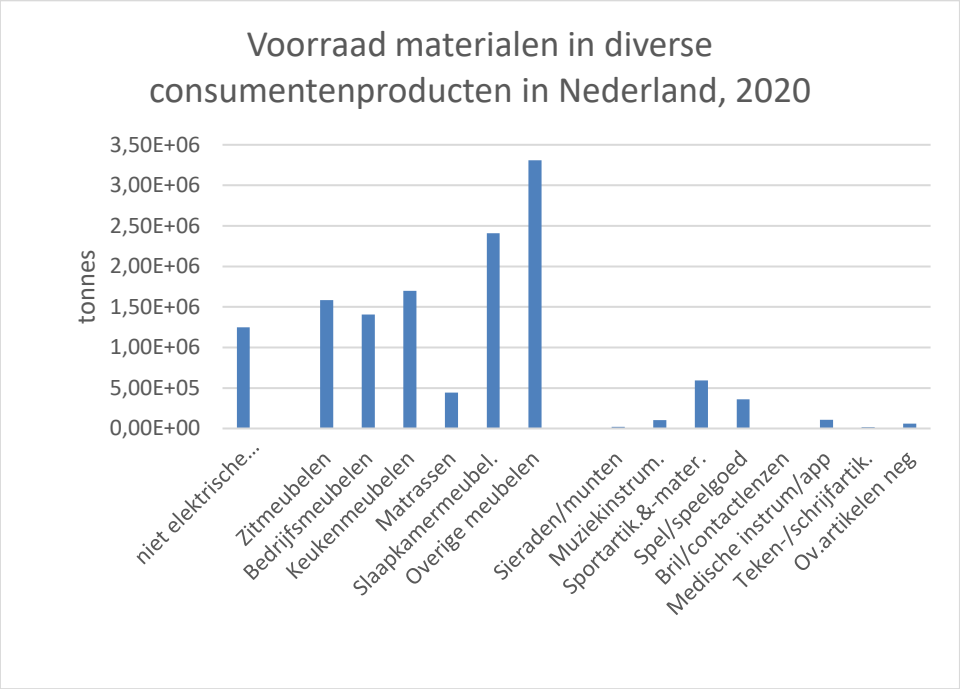
De spoorinfrastructuur (gerapporteerd in hoofdstuk 4) is onderdeel van de Nederlandse transportinfrastructuur. Het bestaat uit het spoorbed en rails, maar ook uit spoorbruggen en -overgangen en stations. Trein- tram- en metrospoorinfrastructuur zijn alle meegenomen. Figuur S2 laat dit zien, en laat ook zien wat het aandeel van de verschillende onderdelen is in de totale voorraad, die ongeveer 70 miljoen ton beslaat.



Figuur S2 Materialen in de spoorinfrastructuur

Het overgrote deel (ca 95%) bestaat uit beton en steengranulaat. De rest is voornamelijk staal, met kleine bijdrages voor andere materialen zoals koper, aluminium, hout en kunststoffen.

Consumentenproducten vormen een zeer grote en diverse groep van allerhande producten. Ongeveer twee derde van het totale gewicht van deze voorraad wordt gevormd door meubels. Daarnaast draagt de categorie “niet-elektrische kookapparatuur” significant bij. In de “overige producten” categorie vormen sport, spel en muziekinstrumenten relatief grote categorieën. Figuur S3 laat dit zien.

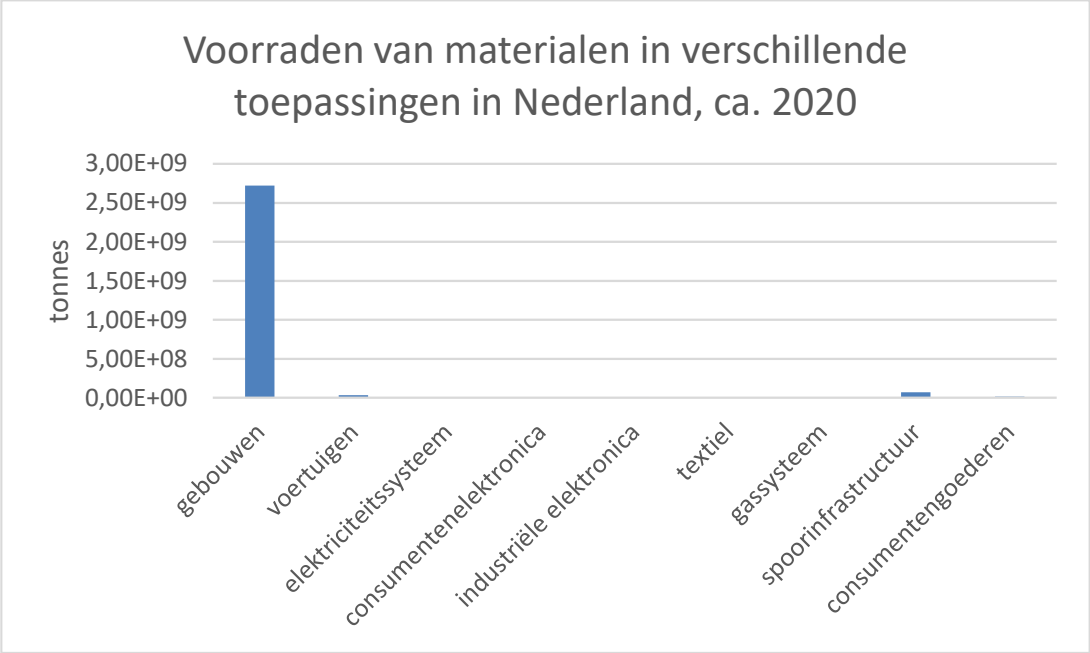


Figuur S3 Materialen in diverse consumentenproducten

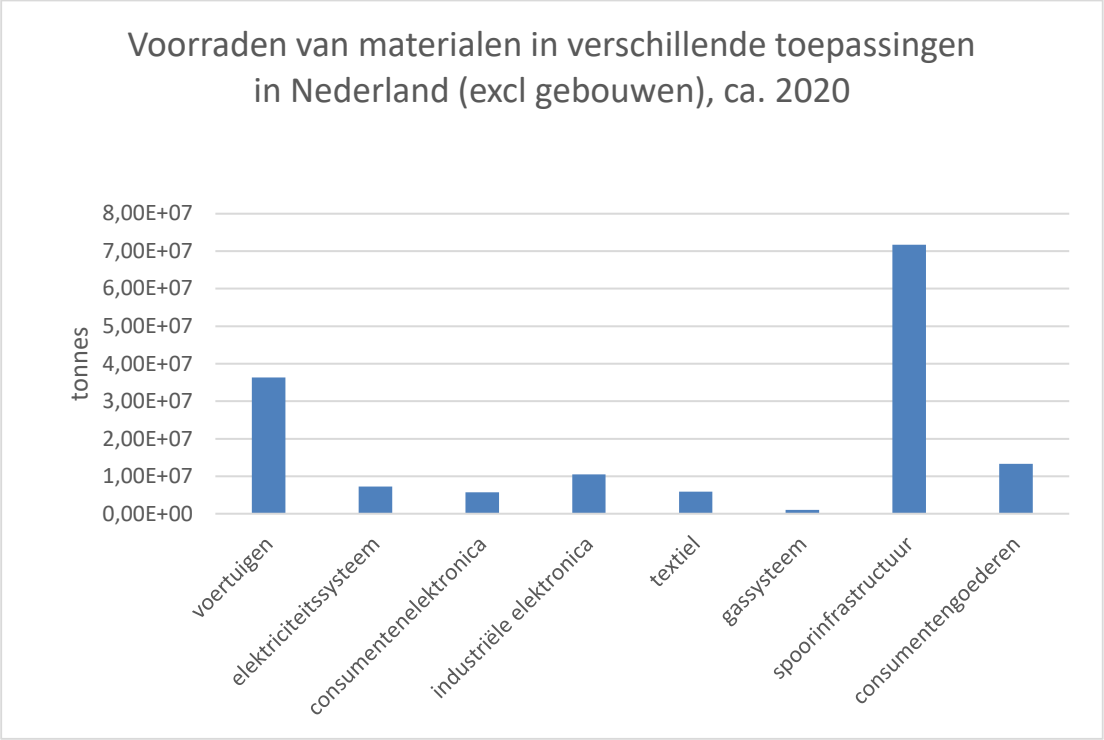
Er is dit jaar geen poging gedaan tot het verzamelen van materiaalgehaltes van deze producten, die het mogelijk moeten maken deze totalen uit te splitsen naar de verschillende in de voorraad opgenomen materialen.

Wel zijn voor deze voorraad ook in- en uitstromen gespecificeerd en is onderzoek gedaan naar de levensduren van de verschillende producten. Dit is essentiële informatie voor scenario-verkenningen waarbij de dynamiek van deze voorraden bepalend is voor wat wanneer beschikbaar komt als grondstof voor een circulaire economie.

Onderstaande figuur toont de omvang van de voorraden die we tot nu toe, in 2019, 2020 en 2021, hebben geïnventariseerd. Gebouwen domineren als we kijken naar het totaalgewicht. Om die reden tonen we dezelfde figuur nogmaals exclusief gebouwen.



Figuur S4a Omvang voorraden in gebouwen, voertuigen, het elektriciteitssysteem, elektronica, elektronische machines, textiel, het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen in Nederland, ca. 2020



Figuur S4b Omvang voorraden in voertuigen, het elektriciteitssysteem, elektronica, elektronische machines, textiel, het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentengoederen in Nederland, ca. 2020

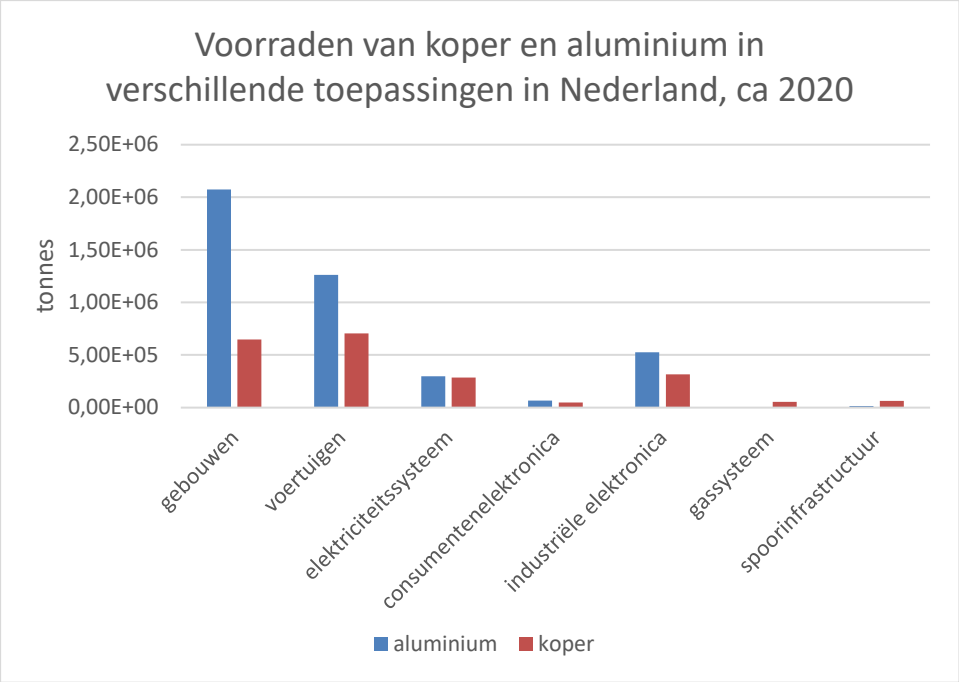
Spoorinfrastructuur blijkt ook een grote voorraad te zijn, groter zelfs nog dan voertuigen. Het gassysteem is klein, in deze figuur nauwelijks zichtbaar. Het distributiesysteem is in dezelfde ordegrootte als dat van elektriciteit.

De omvang zegt nog weinig over de materialen die we in deze voorraden aantreffen. Diverse van deze voorraden zijn grotendeels opgebouwd uit metalen en mineralen. Voor de bouw, de spoorinfrastructuur en het elektriciteitssysteem vormt beton het grootste onderdeel. We kunnen de vergelijking maken voor drie bulk-metalen: staal, aluminium en koper. Onderstaande figuren laten dit zien.

Figuur S5 Voorraden van ijzer en staal in gebouwen, voertuigen, het elektriciteitssysteem, elektronica, elektronische machines, het gassysteem, de spoorinfrastructuur, en consumentengoederen in Nederland, 2020.

Gebouwen vormen de grootste voorraad, nog steeds gevolgd door voertuigen. In de spoorinfrastructuur zijn serieuze hoeveelheden staal te vinden. In het gassysteem vormt staal een relatief groot onderdeel maar vergeleken met andere voorraden is het weinig. Voor consumentengoederen is geen staalgehalte gespecificeerd. Om toch een ordegrootte schatting te kunnen geven, is hierbij een gewichtsaandeel van 20% aangenomen, hetzelfde als voor electronics.

Onderstaand wordt voor de voorraden waar daarover gegevens zijn verzameld, de vergelijking gegeven voor aluminium en koper.



Figuur S6 Voorraden van aluminium en koper in gebouwen, voertuigen, het elektriciteitssysteem, elektronica, elektronische machines, het gassysteem en de spoorinfrastructuur, Nederland, 2020.

Voor koper en aluminium zien we een ander beeld. Deze metalen zijn verspreid over alle onderzochte voorraden, gebouwen vormen nog steeds een grote voorraad maar domineren niet. De nieuw onderzochte voorraden leveren slechts een kleine bijdrage.

Hoewel het beeld langzamerhand completer wordt, zijn er nog enkele relevante voorraden die geïnventariseerd moeten worden om een totaalbeeld te krijgen van de stedelijke mijn. Van de transportinfrastructuur is momenteel alleen het railsysteem in kaart gebracht. Weg- en waterbouw zullen daarnaast belangrijk zijn. Andere grote fijnmazige distributiesystemen zijn het watersysteem (waterleidingen en riolering), en mogelijkerwijs ook de data- en communicatie-infrastructuur. Deze voorraden komen naar verwachting in een volgende fase van dit onderzoek aan de orde.

Uit het onderzoek van 2019, 2020 en 2021 blijkt dat het mogelijk en waardevol is het voorraden-onderzoek te koppelen aan geografische informatiesystemen. Voor immobiele voorraden zoals in bouw, infrastructuur en elektriciteitssysteem kunnen GIS systemen ook dienen als databron. Mobiele voorraden als voertuigen, apparaten en textiel zijn niet met behulp van GIS systemen geïnventariseerd, maar zijn daar eventueel wel aan te koppelen. Voertuigen staan geregistreerd op adressen en kunnen daarmee eenvoudig gekoppeld worden aan de BAG GIS. Voor consumentenproducten zou een koppeling gemaakt kunnen worden aan huishoudens. GIS is geografisch specifiek, en kan daarmee een goede basis vormen voor de opbouw van een database die op elk relevant schaalniveau gebruikt kan worden. Dit lijkt een relevante route om te verkennen in het kader van de afstemming van het circulaire economie beleid van de lokale, provinciale en nationale overheden.

Nog meer dan vorig jaar is gebleken, dat een inschatting van de voorraden op productniveau verrassend goed mogelijk is. Echter, de vertaling naar materialen is vaak problematisch. Dat kan komen door de grote diversiteit aan producten, die elk een eigen samenstelling hebben die ook nog eens verandert in de tijd. Maar het is ook een kwestie van ontbrekende informatie. Het is van groot belang dat deze informatie veel systematischer gaat worden bijgehouden.

Tenslotte is de vraag, hoe dergelijke informatie gebruikt kan worden voor de ondersteuning van een circulaire economie.

In de eerste plaats is het van belang deze informatie bij te houden in het te ontwikkelen GRondstoffen Informatie Systeem (GRIS). De voorraden en hun uitstroom bepalen de mogelijkheid kringlopen te sluiten en informatie daarover is dus belangrijk.

In de tweede plaats kan de informatie gebruikt worden bij het maken van toekomstverkenningen. Grondstoffen worden niet standaard meegenomen in toekomstmodellen. Voor het schatten van de vraag naar grondstoffen in de toekomst is de dynamiek van deze voorraden belangrijk. Daarmee is al een begin gemaakt in 2020 in een studie naar in- en uitstromen uit het elektriciteitssysteem (van Oorschot et al., 2021). Hierin zijn verkenningen gemaakt van de (sterk groeiende) vraag naar materialen voor het elektriciteitssysteem onder verschillende scenario's tot 2050. Een vergelijkbare exercitie hopen we in 2021 uit te voeren voor het warmtesysteem en de transitie van het huidige gasgebaseerde systeem naar een op hernieuwbare grondstoffen gebaseerd systeem.

Dit jaar, 2021, hebben we samen met PBL en Metabolic scenario's uitgewerkt voor de omvangrijke en trage voorraad van gebouwen. Deze worden apart gerapporteerd (van Oorschot et al., 2022). Om een tipje van de sluier op te lichten: de scenario's zijn een combinatie van de WLO scenario's, verschillende ruimtelijke scenario's en verschillende materialisatiescenario's voor gebouwen (BENG standaard, bio-based en circulair).

In de derde plaats kunnen deze inventarisaties een startpunt vormen voor het nadenken over welke activiteiten, actoren en zelfs sectoren in het leven geroepen moeten worden om de circulaire economie vorm te geven. Informeren, inventariseren, inzamelen, en verwerken moet anders. Product- en materiaalontwerp moet anders. Er zullen nieuwe vormen van bedrijvigheid nodig zijn.

Inhoudsopgave

Voorwoord 3

Samenvatting 4

1 Inleiding 13

2 Methode Inventarisatie Voorraden in de Maatschappij t.b.v. Ondersteuning van een Circulaire Economie beleid 16

2.1 Het voorraad-stroom systeem van de maatschappij. 16

2.2 “Prospecting the urban mine” 16

2.2.1 Berekenen van voorraden uit stroomgegevens 17

2.2.2 Rechtstreekse inventarisatie van voorraden 18

3 Case study Gassysteem 21

3.1 Inleiding 21

3.2 Methode & Data 21

3.3 Resultaten & discussie 23

3.3.1 Materiaalvoorraden in de onderdelen van het gassysteem van Nederland 23

3.3.2 Totale materiaalvoorraden in het gassysteem van Nederland 25

3.4 Conclusies en discussie 26

4 Case study Spoor-infrastructuur 29

4.1 Inleiding 29

4.2 Methode en data 29

4.3 Resultaten 30

4.3.1 Materiaalvoorraad 2018 30

4.3.2 Historische ontwikkeling van de voorraad 32

4.3.3 Geografische spreiding van de voorraad 34

4.3.4 Mogelijke inzet van afgedankte spoorinfrastructuur 37

4.4 Conclusies en discussie 38

5 Case study Consumentenproducten 40

5.1 Inleiding 40

5.1.1 Achtergrond 40

5.1.2 Doelen 40

5.2 Methode 41

5.3 Resultaten 42
5.3.1 Levensduur 44
5.3.2 Totale voorraden 2020 46
5.3.3 In- en uitstromen gerelateerd aan de voorraden in 2020 51
5.5 Conclusies en discussie 54
6 Conclusies, discussie, aanbevelingen 56
6.1 Conclusies 56
6.2 Discussie 57
6.2.1 Discussie: data en onzekerheden 57
6.2.2 Discussie: methode 58
6.2.3 Discussie: voorraden in de maatschappij 59
6.3 Aanbevelingen 59
6.3.1 Gebruik voorraad-informatie voor een circulaire economie beleid 60
6.3.2 Uitbreiding inventarisatie 61
6.3.3 Data en onzekerheden 63
7 Referenties 64
Bijlagen 67
Bijlage A ProSUM urban mining methode 67
Bijlage B. Data gebruikt voor de omrekening van de lengte van leidingen naar de hoeveelheid materiaal 68
Bijlage C. Put-on-market data voor enkele consumentenproducten, 2000-2020 70
Bijlage D – Links tussen MateriaalMonitor classificatie en Internationale Handel-goederengroepen 74

1 Inleiding

De Nederlandse overheid heeft ambitieuze doelstellingen in verband met het realiseren van een circulaire economie: in 2030 moet Nederland voor 50% circulair zijn, en in 2050 moet de economie volledig circulair zijn. Om deze doelstellingen te concretiseren is een Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie in het leven geroepen. Deze rapportage over voorraden van materialen in de maatschappij maakt onderdeel uit van Werkpakket 3: Grondstoffen en Effectmonitoring. Het is een vervolg op een eerdere studie naar voorraden, gepubliceerd in begin 2020 (van Oorschot et al., 2020a).

In de Policy Brief Doelstelling Circulaire Economie 2030 (PBL, 2019) wordt het algemene doel, 50% circulariteit in 2030, nader uitgewerkt. Dit algemene doel wordt vertaald in termen van een reductie van de vraag naar primaire abiotische grondstoffen van 50%. In deze notitie wordt verwoord, waarom een circulaire economie belangrijk is, en hoe uit dit belang meer concrete doelstellingen gedestilleerd kunnen worden. Drie “achterliggende doelen” worden genoemd:

1. Reductie van milieu-effecten
2. Leveringszekerheid van grondstoffen
3. Economische kansen: waardebehoud en nieuwe activiteiten.

In de notitie wordt aangegeven hoe deze doelen aanknopingspunten kunnen bieden voor een nadere invulling van de halveringsdoelstelling, die op detailniveau te grof is en niet altijd tot gewenste effecten hoeft te leiden. Een voorbeeld is de energietransitie: deze vermindert milieu-effecten maar heeft wel een stijging van de vraag naar metalen tot gevolg. Belangrijke reducties kunnen plaatsvinden in CO2 emissies door een groter aandeel secondair materiaal (o.a. van der Voet et al., 2019), maar dit is niet in alle gevallen waar.

Deze rapportage probeert bij te dragen aan het formuleren van concretere doelstellingen door een groter inzicht te bieden in het metabolisme van de maatschappij. Hoe ontstaat de vraag naar grondstoffen, voor welke doeleinden worden zij gebruikt, en wat is de dynamiek van het materialengebruik in de maatschappij? Deze inzichten kunnen bijdragen aan het identificeren van mogelijkheden de grondstoffenvraag van de maatschappij op een andere manier te voldoen.

Een reductie van de vraag naar grondstoffen brengt risico’s met zich mee. Kan de maatschappij zichzelf nog wel voorzien in de noodzakelijke behoeften? Daarvoor is het belangrijk te beseffen dat een reductie in de vraag naar primaire grondstoffen niet hetzelfde is als een reductie in de vraag naar grondstoffen in het algemeen. Als we primaire productie zoveel mogelijk willen terugdringen zonder verlies aan welvaart of functionaliteit, betekent dat dat het aanbod zoveel mogelijk uit secondaire grondstoffen zal moeten worden voldaan. Deze secondaire grondstoffen halen we niet uit het milieu, maar uit de *urban mine*, de stedelijke mijn: de voorraden van grondstoffen en materialen die aanwezig zijn in de maatschappij, en die op een gegeven moment vrij komen voor hergebruik of recycling. Dat betekent dat de stedelijke mijn een essentieel onderdeel is van een CE. En dat betekent weer, dat informatie over deze stedelijke mijn noodzakelijk is om een CE beleid te ondersteunen. Deze informatie is momenteel schaars, versnipperd of zelfs afwezig, en een van de belangrijkste hiaten in de kennisbasis voor een CE.

De stedelijke mijn

De begrippen "*urban mine*" en "*urban mining*" zijn niet strak gedefinieerd. Over het algemeen (Krook & Baas, 2013) worden vier typen voorraden onderscheiden:

- De voorraden van materialen die in gebruik zijn: grondstoffen die zijn opgesloten in gebouwen, infrastructuur, voertuigen, en allerlei producten. Gebouwen en infrastructuur bevatten vele tonnen materialen. In bepaalde productgroepen zoals elektronica vinden we specifieke materialen en grondstoffen, waaronder kritische materialen. Voertuigen bevatten beide. Deze voorraden groeien, maar kunnen op een gegevens moment ook verzadigd raken (Hu et al., 2010; Pauliuk et a., 2013). In de literatuur vinden we vooral studies naar twee typen voorraden: woningbouw, en elektronica (Heeren & Fishman, 2019; Tanikawa et al., 2015; Marinova et al., 2019; Deetman et al., 2019; Swilling et al., 2018; Deetman et al., 2018; ProSUM project). Woningbouw is een omvangrijke voorraad die een aantal veelgebruikte mineralen en metalen bevat, zoals beton, cement, staal, glas, hout, aluminium en koper. Elektronica case studies richten zich vooral op de *specialty* metalen, waaronder diverse kritische materialen.
- De voorraden van materialen die momenteel op afvalstortplaatsen liggen. Concentraties aan bepaalde elementen op afvalstorten soms hoger is dan in mijnen. *Landfill mining* is daarom een onderwerp dat ter sprake komt. Voor Nederland lijkt dit sinds het stoppen van afvalstort echter een weinig interessante voorraad.
- Voorraden van mijnbouw-afval die nog aanwezig zijn op de site. Deze voorraden worden na verloop van tijd weer interessant, als nieuwe technologieën in staat zijn om nog lagere concentraties op een economisch zinvolle manier te mijnen. Ook hier is voor Nederland niet veel te verwachten.
- "*Hibernating stocks*" – voorraden in winterslaap: producten of infrastructuur die niet langer in gebruik is, maar ook niet in het afvalstadium gekomen. Oude computers of mobiele telefoons in laatjes of op zolder, of niet langer in gebruik zijnde rails of elektriciteitskabels die gewoon zijn blijven liggen vallen in deze categorie. Dit kan voor Nederland mogelijk wel interessant zijn – groot voordeel van deze voorraden is dat ze niet meer in gebruik zijn en dus meteen geoogst kunnen worden. Op dit moment bestaat geen beeld van deze *hibernating stocks.*

De grootste voorraden zijn te verwachten in de eerste categorie: voorraden in gebruik. Deze zijn het onderwerp van dit rapport.

Kernvragen zijn

1. Hoeveel van welke materialen en grondstoffen zijn eigenlijk aanwezig in de maatschappij?
2. Wanneer komen deze materialen en grondstoffen beschikbaar voor recycling en hergebruik?
3. Wat is de kwaliteit van deze materialen en grondstoffen en voor welk doel kunnen ze worden aangewend?

Dit project richt zich vooral op vraag 1. Daarnaast wordt in dit rapport aandacht besteed aan vraag 2 voor de voorraden consumentengoederen. Voor enkele grote voorraden (tot nu toe: het

elektriciteitssysteem en gebouwen) worden scenario-studies verricht die apart gerapporteerd worden (van Oorschot et al., 2021; van Oorschot et al., in prep.).

In de voorraden-studie van 2019 is een inventarisatie gemaakt van materialen in het elektriciteitssysteem, in elektronica en in voertuigen (van Oorschot et al., 2020a). Daaruit is gebleken dat deze voorraden op zichzelf al aanzienlijk zijn: een ordegrootte die, per inwoner, overeenkomt met wat er nu bekend is over geologische voorraden. In 2020 is de voorraden-inventarisatie uitgebreid met drie nieuwe voorraden: gebouwen, elektronische machines en textiel. De voorraad in gebouwen wordt ingeschat als de grootste voorraad die we hebben. Het leeuwendeel zal bestaan uit beton, baksteen en andere constructiematerialen. Ook de hoeveelheid staal, koper, aluminium, en andere bouw-gerelateerde metalen als zink en lood zijn groot. De dit jaar toegevoegde voorraden zijn minder groot, maar wel relevant. Voor het gassysteem is een inschatting gemaakt van de voorraden van materialen erin die kan worden beschouwd als een nul-meting voor de warmtetransitie, maar tevens laat zien dat een grote hoeveelheid materialen binnen afzienbare tijd beschikbaar komt voor hergebruik of recycling. De rail-infrastructuur is onderdeel van onze transportinfrastructuur, ook een grote voorraad. Dit jaar hebben we tevens geprobeerd het overzicht van consumentengoederen compleet te krijgen.

Ook dit jaar is naast de inventarisatie van voorraden een aparte studie verricht naar scenario's voor de ontwikkeling van stromen en voorraden tot 2050: gebouwen. Deze scenariostudie wordt apart gerapporteerd en is een zeer gedetailleerde exercitie waarin ruimtelijke planning, bouw en sloop en verschillende opties voor materiaalgebruik in gebouwen zijn verwerkt (van Oorschot et al., in prep.). Volgend jaar wordt ook voor het gassysteem een dergelijke scenariostudie gepland, waarin de gevolgen van verschillende scenario's voor de warmtetransitie voor de materiaalstromen en -voorraden worden onderzocht.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de methode die gebruikt wordt bij het inschatten van de omvang van genoemde drie voorraden in de maatschappij. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van de case study naar het gassysteem. Hoofdstuk 4 bevat de rapportage van de case study naar het railsysteem, en in Hoofdstuk 5 wordt het onderzoek naar de voorraden in consumentengoederen gerapporteerd. In Hoofdstuk 6 worden de belangrijkste discussiepunten, conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek gerapporteerd. Referenties zijn te vinden in hoofdstuk 7, en het laatste deel van de rapportage bevat bijlagen met detailspecificaties.

2 Methode Inventarisatie Voorraden in de Maatschappij t.b.v. Ondersteuning van een Circulaire Economie beleid

2.1 Het voorraad-stroom systeem van de maatschappij.

Zoals in hoofdstuk 1 betoogd, is er een grote voorraad grondstoffen opgeslagen in allerhande toepassingen en producten in de maatschappij. Deze voorraad is de bron van grondstoffen voor een circulaire economie, waarin de extractie van primaire grondstoffen zo ver mogelijk is teruggedrongen.

Deze voorraad vertoont overeenkomsten, maar ook verschillen met de voorraad grondstoffen in een geologische mijn. Een belangrijk verschil is gelegen in de dynamiek van de stedelijke mijn. De geologische mijn is een voorraad in de grond op een bepaalde locatie, die planmatig gemijnd kan worden (uitstroom) en op een gegeven moment uitgeput is. De stedelijke mijn is ook een voorraad op een locatie, maar kan niet zomaar gemijnd worden: de voorraden zijn in gebruik. Met mijnen moet dus gewacht worden totdat de voorraden afgedankt worden. Anderzijds is van uitputting geen sprake omdat de voorraad ook steeds weer wordt aangevuld.

Een voorraad in de maatschappij kent dus instromen en uitstromen, en kan groeien of afnemen. Bij een groeiende voorraad wordt de instroom bepaald door twee dingen: enerzijds het vervangen van de afgedankte voorraden (compenseren voor uitstroom), en anderzijds de groei van de voorraad, bijvoorbeeld ten gevolge van een bevolkings- of welvaartstoename. De afgedankte producten (uitstroom) is wat beschikbaar komt voor reparatie, hergebruik, refurbishing of recycling. Het besluit om af te danken kan op vele manieren tot stand komen. Gewoonlijk wordt in voorraadinventarisaties gewerkt met een (gemiddelde) levensduur, waarna het product niet meer functioneert en dus wordt afgedankt. Planmatig afdanken is voor bepaalde voorraden zoals woningen of infrastructuur-elementen een meer gebruikte route. Herstructureringsplannen zijn in dat geval een betere sleutel tot het inschatten van de uitstroom

2.2 “Prospecting the urban mine”

Vraag 1, de vraag naar de hoeveelheid materialen in de stedelijke mijn, is in feite *prospecting the urban mine*, naar analogie van *prospecting* in de “gewone” mijnbouw. *Prospecting* is de fase waarin geologen een inschatting maken van de rijkdom en toegankelijkheid van het erts op een geselecteerde locatie, om te besluiten of het starten van een mijn op die locatie zinvol is. Datzelfde moet ook gebeuren voor de stedelijke mijn.

In de literatuur rondom het inschatten van stromen en voorraden van materialen komen we twee principieel verschillende benaderingen tegen om een inschatting te maken van voorraden in de maatschappij. De eerste benadering is een berekening van deze voorraden uit stroomgegevens. De

tweede benadering is een directe inventarisatie van voorraden die in gebruik zijn. In principe kunnen beide benaderingen tot goede resultaten leiden, en in theorie zouden de uitkomsten niet moeten verschillen. In de praktijk is de keuze voor een van beide vooral afhankelijk van de gegevensbasis. In het project worden beide benaderingen gebruikt voor de verschillende typen voorraden.

Hieronder worden beide benaderingen kort besproken.

2.2.1 Berekenen van voorraden uit stroomgegevens

Gegevens over stromen van grondstoffen – winning, productie, handel – zijn beschikbaar via statistieken. Gegevens over voorraden ontbreken grotendeels, of zijn versnipperd aanwezig. Dat maakt deze route een logische. Geologische diensten verzamelen gegevens over extractie van grondstoffen en volgen deze vaak tot het moment van de productie van materialen. De British Geological Survey produceert gegevens over extractie en handel van grondstoffen zowel als geraffineerde materialen voor alle landen ter wereld. Statistische bureaus hebben productie- en handelsdata van materialen zowel als producten. Input-output modellen koppelen extracties aan *supply chains*, en geven daarmee een beeld van hoe de grondstoffen zich over de wereldeconomie verspreiden. Zo kan een beeld worden geschetst van de eindvraag (final demand) naar materialen in een bepaald jaar. Vanaf dat moment worden de materialen onzichtbaar. Afvalstatistieken die zouden moeten beschrijven hoe de materialen uiteindelijk de gebruiksfase verlaten zijn vaak schaars, onvolledig en te geaggregeerd om van nut te zijn. In de Materiaalmonitor (Berkel et al, 2019) worden uitstromen geschat op basis van de afvalstatistieken, die in Nederland vrij volledig zijn, hoewel wel geaggregeerd.

In studies waarin voorraden worden ingeschat op basis van stromen, wordt gerekend met een *net-addition-to-stock*. Instromen zijn bekend, uitstromen worden ingeschat met behulp van een geschatte levensduur, en het verschil daartussen wordt geacht te worden toegevoegd aan de voorraad. Als de tijdreeksen maar lang genoeg zijn, kan door het optellen van alle *net-additions-to-stock* een inschatting worden verkregen van de voorraad zelf (zie o.a. Krausmann et al., 2017). Deze benadering wordt gebruikt wanneer het gaat over geaggregeerde categorieën van grondstoffen, zoals gebruikt in Material Flow Accounting: fossiele grondstoffen, biomassa, metalen, en mineralen. Er ontstaat zo een beeld hoe de voorraad zich ontwikkelt in termen van totale tonnen materiaal.

In formules:

$F_{out}(t) = F_{in}(t - L)$

$NAS(t) = F_{in}(t) - F_{out}(t) = F_{in}(t) - F_{in}(t - L)$

$S(t) = \Sigma\, NAS(t, t\text{-}1, \ldots t\text{-}L)$

Waarbij F_{in} (t) de instroom is op tijdstip t, F_{out} (t) de uitstroom op tijdstip t, L de levensduur is van de toepassingen van de grondstof in de maatschappij, NAS (t) de Net Addition to Stock, en S(t) de stock zelf op tijdstip t.

Hieruit volgt dat voor een stroom-benadering een tijdreeks nodig is die minimaal zo lang is als de levensduur van de toepassingen. De stroom kan gedefinieerd zijn in kg massa, in kg van een bepaald materiaal, of in termen van product of dienst. In het laatste geval is nog een vertaalslag nodig om vandaar tot een inschatting van de materiaalvoorraad te komen.

Een dergelijke stroom-gebaseerde benadering is ook gebruikt in het ProSUM project waar een inschatting wordt gemaakt van de stedelijke mijn voor elektronica, batterijen en personenauto's (ProSUM, 2019). De methode, inclusief alle classificaties, is gepubliceerd door Wagner et al. (2021).Waar bij de MFA accounts de rationale van deze benadering ligt in het geaggregeerde karakter van de inventarisatie, zo is dat bij deze producten het feit dat vooral de stromen van producten goed gedocumenteerd zijn in een grote mate van detail, en de levensduur relatief kort is. De MFA accounts hanteren typisch een top-down benadering: geaggregeerde categorieën van grondstoffen. In tegenstelling daarmee wordt in het ProSUM project een bottom-up benadering gehanteerd: een gelaagde classificatie gehanteerd met een centrale rol voor producten. Materiaalstromen (en –voorraden) worden daaruit berekend via gegevens over de samenstelling van deze producten.

In het kader van dit project wordt deze stroom-gerelateerde benadering toegepast voor de consumentengoederen case study.

2.2.2 Rechtstreekse inventarisatie van voorraden

Een meer rechtstreekse benadering gaat uit van het inventariseren van de voorraden zelf. Deze benadering wordt vooral gebruikt voor studies met betrekking tot de gebouwde omgeving: gebouwen, wegen, bruggen, kabels en leidingen. Daarbij spelen GIS systemen een belangrijke rol: hierop zijn gebouwen en structuren goed zichtbaar. In Nederland is de BAG (Bestand Adressen en Gebouwen) gekoppeld aan GIS, waardoor niet alleen gedetailleerde informatie beschikbaar is over het "product" in gebruik, maar ook over de locatie. Dit maakt ruimtelijke differentiatie goed mogelijk.

Een rechtstreekse inventarisatie van voorraden van materialen is eigenlijk altijd bottom-up, en verloopt via drie stappen:

a) Identificatie: in welke producten is het materiaal toegepast?
b) Kwantificering (1): hoeveel van deze producten zijn aanwezig in de maatschappij?
c) Kwantificering (2): In welke hoeveelheden zit het materiaal in deze producten verwerkt?

Ad a. Dit kan een lange lijst zijn, en het begrip "producten" moet breed worden opgevat, klein en groot, eenvoudig en complex, van een theelepeltje tot een gebouw of een snelweg. Zeker wanneer aansluiting gezocht moet worden bij standaard statistische classificaties, kan dit een ingewikkelde zaak zijn waar

afbakeningen en nadere definities essentieel kunnen zijn. Wat is een relevante eenheid? Is een schroef een product, of is het product een tafel waarin schroeven verwerkt zijn? Is het misschien soms handiger een functionele eenheid te definiëren, zoals dat gebruikelijk is bij de LCA methode die zich bij uitstek op producten richt? Bijvoorbeeld, “vierkante meter woonoppervlak” eerder dan “huis” of “gebouw”, of “MW capaciteit” eerder dan “windmolen” of “kolencentrale”? Er zitten veel kanten aan deze vraag.

Ad b. Het zijn de producten waarin het materiaal is toegepast. Indien mogelijk is het het handigst om gewoon te weten hoeveel producten er in omloop zijn, vooral als het gaat om relatief goed gedefinieerde producten zoals een windmolen, een auto, een koelkast of een mobiele telefoon.

Voor producten als auto’s en elektronica geldt dat er weliswaar veel diversiteit in is, maar dat het zinvoller lijkt om binnen deze categorieën subcategorieën te onderscheiden (kleine personenauto’s, grote personenauto’s, vrachtauto’s, busjes, enz.) dan toe te gaan naar een andere functionele eenheid (km personentransport).

Voor andere toepassingen is het definiëren van een functionele eenheid mogelijk wel zinvol. Een standaardgebouw definiëren is vermoedelijk niet zinvol. Een woongebouw kan een klein huisje zijn, of het kan een enorm appartementengebouw zijn. Een wooneenheid is al beter, hoewel ook hier grote verschillen in te vinden zijn, maar een wooneenheid heeft standaard zaken als een keuken, een badkamer en een verwarmingssysteem. Waarschijnlijk werkt het in dit geval beter om een m^2 woonoppervlak te hanteren en verschillende gebouwtypen te onderscheiden op basis van de gebouw-eigenschappen. Wellicht is het nuttig om bepaalde onderdelen apart te classificeren, zoals deuren of raamkozijnen. Deze zouden als geheel kunnen worden “geoogst” en hergebruikt.

Ad c. Om een materiaalgehalte van producten te bepalen, dient nader te worden vastgesteld wat een “materiaal” is. Is dat iets als “plastic” of “roestvrij staal”? Of hebben we het over “ijzer” of “niobium”? Ook hier kunnen we leren uit de benadering gekozen in het ProSUM project, waarin beide worden gespecificeerd: materialen en elementen. Daarmee wordt recht gedaan aan het feit dat materialen eigenlijk bijna altijd composieten of legeringen zijn, en tegelijkertijd gaat de informatie over elementen niet verloren, die relevant is met name voor het recyclings-potentieel. In bijlage A staat een beschrijving van de in ProSUM gehanteerde benadering.

Een rechtstreekse inventarisatie van voorraden levert, indien de gegevensbasis hiervoor voldoende is, vaak een veel nauwkeuriger beeld op dan een indirecte inschatting via stromen. Met name voor de kleinschaliger grondstoffen zoals kritische materialen levert een stroombenadering vaak onvoldoende op (Deetman et al., 2018). De verspreiding van deze materialen door de economie wordt niet bijgehouden en input output modellen zijn te grof en ongeschikt om te dienen als basis om deze verspreiding te modelleren. Wanneer we geïnteresseerd zijn in specifieke grondstoffen, is een rechtstreekse inventarisatie gewoonlijk de enige bruikbare optie. Maar ook voor voorraden met een lange levensduur zoals de gebouwde omgeving is een rechtstreekse voorraad-inventarisatie een goed idee. Om deze voorraden via een stroom-benadering in te schatten moeten de tijdreeksen met gegevens over in- en uitstromen van 100 – 500 jaar compleet zijn. Dat is niet het geval.

Het grootste nadeel van een rechtstreekse inventarisatie is dat het vaak lastig is om te bepalen wat er beschikbaar gaat komen uit de stedelijke mijn. Een geschatte levensduur van de toepassingen is essentieel, maar niet voldoende: we moeten ook weten hoe de levensduuropbouw is van de voorraad, of we moeten beschikken over lange tijdreeksen of gedetailleerde onderhouds- en afdankingsplannen. Deze laatste zijn bijvoorbeeld relevant voor de weg- en waterbouw, of voor de infrastructuur van onze energievoorziening.

Voor de case studies met betrekking tot het gassysteem en de spoorinfrastructuur wordt een rechtstreekse inventarisatie van de voorraden in de maatschappij gemaakt. De case study naar consumentengoederen hanteert een op in- en uitstromen gebaseerde benadering.

3 Case study Gassysteem

3.1 Inleiding

In een eerdere rapportage Voorraden in de Maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie is een inventarisatie gemaakt van meerdere voorraadgroepen met onder andere het elektriciteitssysteem. Net zoals het elektriciteitssysteem is het warmtesysteem onderhevig aan grote veranderingen ten gevolge van de energietransitie. In deze studie wordt gekeken naar de materiaalvoorraad in de huidige op aardgas infrastructuur, met als doel om inzicht te vergaren in de hoeveelheid materiaal die mogelijk beschikbaar komt in de toekomst als grondstof voor de circulaire economie.

Het is daarbij belangrijk om te noemen dat netbeheerders bezig zijn met het onderzoeken van de potentie voor de distributie van hernieuwbare gassen zoals waterstof in de bestaande aardgas infrastructuur (Netbeheer Nederland, 2018). Voor deze urban mine bestaan dus wellicht opties voor hergebruik, zowel als recycling. Een analyse daartvan zou aan bod kunnen komen in een vervolgstudie.

3.2 Methode & Data

Voor het berekenen van de materialen van het Nederlandse op aardgas gebaseerde warmtesysteem is er gekeken naar 3 onderdelen van het systeem: CV-ketels in woningen, aardgas pijpleidingen (infrastructuur) en aardgaswinning installaties.

Materialen in CV-ketels

Het onderzoek van Oliver-Solà et al. (2009) is gebruikt om de materialen in cv-ketels in Nederlandse woningen te berekenen. In dit onderzoek zijn de materialen in een cv-ketel beschreven, bestaande uit messing, brons, koper, gietijzer, PVC en staal. Voor de toepassing van de materiaalvoorraad in Nederland in 2020 is het aantal huishoudens in Nederland dat een cv-ketel gebruikt vermenigvuldigd met de benodigde materialen. Hierbij is aangenomen dat 90% van alle huishoudens in Nederland een cv-ketel gebruikt.

Materialen in het gasnetwerk

Voor de bepaling van de materialen in de Nederlandse aardgasinfrastructuur is gebruik gemaakt van ruimtelijk expliciete GIS-datasets van 7 van de 9 Nederlandse netbeheerders. Deze GIS-gegevens zijn verkregen via de websites van de netbeheerders of door een dataverzoek per e-mail, en bevatten de locatie en lengte van pijpleidingen in het aardgasnet in 2020. De dataset van netbeheerder Enexis bevat naast eerdergenoemde informatie ook nog verdere informatie over de leidingdiameter en het materiaal waar de leidingen van zijn gemaakt. In de Enexis dataset zijn de materialen SPVC, PVC, staal, PE, grijs

ijzer, nodulair gietijzer en asbestcement opgenomen. Door middel van een Python-script gebruikmakend van de GeoPandas-module zijn de gemiddelde materiaaldichtheden per meter pijplengte van de Enexis-GIS dataset geëxtrapoleerd en toegepast op de GIS-datasets van de andere netbeheerders. In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de netbeheerders en bijbehorende infrastructuur lengte berekend uit de GIS-datasets.

Officiële cijfers van de lengte van de gasinfrastructuur zijn gebruikt ter verificatie van de ontvangen gegevens van de netbeheerders. Schattingen van de lengte van de hoofdleidingen van de gasinfrastrucuur varieren van ruim 135.000 kilometer volgens Netbeheer Nederland (Netbeheer Nederland, 2020) tot 142.000 kilometer volgens het Compendium van de Leefomgeving (Compendium voor de Leefomgeving, 2020). Met de berekende lengte van 140,000 kilometer zijn de waardes uit onze analyse op basis van 7 van de 9 netbeheerders in lijn met de officiele cijfers. De ontbrekende data van netbeheerders Rendo en Coteq komt neer op zo'n 8,000 kilometer aan gasleidingen (Netbeheer Nederland, 2020). Om deze netbeheerders toch mee te kunnen nemen in de materiaalinventarisatie is de materiaalvoorraad geëxtrapoleerd op basis van de additionele lengte van de gas infrastructuur. De totale materiaalinventarisatie is uiteindelijk gebaseerd op 148.000 kilometer aan aardgas infrastructuur. Hiermee zitten de cijfers van de lengte van de gasinfrastructuur in Nederland uit deze analyse licht boven de officiele cijfers.

Tabel 3.1, netbeheerders en bijbehorende infrastructuur lengte zoals berekend in de GIS-datasets, de ontbrekende data (schuingedrukt) voor Rendo en Coteq is gebaseerd op de energiecijfers van netbeheer Nederland (Netbeheer Nederland, 2020):

Netbeheerder	**Infrastructuur lengte (km)**	**Pijplijn segmenten (aantal)**
Stedin	23,345	555,368
Liander	63,585	5,675,329
Enexis	49,431	968,147
Enduris	3,924	57127
Westland infra	6	248
Rendo	*3,492*	n.b.
Coteq	*4,389*	n.b.
Totaal	**148,172**	**7,256,219**

De Enexis-dataset bevat de materiaal informatie en de diameter en geometrie (GIS-locatie en vorm) van de aardgasleidingen. De wanddikte is toegevoegd op basis van documentatie van gasleiding fabrikant Walraven (Walraven, 2020), zie bijlage B voor de tabel met de wanddiktes per buis diameter. De doorsnede van de buis is vervolgens berekend met de volgende formule:

$$Pijpleiding\ doorsnede\ (m^2) = (\pi * r^2) - (\pi * (r - wanddikte)^2) \quad (1)$$

Om de massa van de materialen in het netwerk te berekenen, is het soortelijk gewicht voor alle genoemde materialen in de dataset opgenomen en de volgende formule gebruikt:

$$Massa\ pijpleiding\ (kg) = pijpleiding\ doorsnede\ (m^2) * lengte\ (m) * specifiek\ gewicht(kg/m^3) \quad (2)$$

De pijpleiding doorsnede en materiaal informatie van de Enexis-dataset zijn toegepast op de andere datasets door extrapolatie van de materiaaldichtheid en samenstelling per meter pijpleiding. In tabel 3.2 zijn de resultaten te zien: de dichtheden oftewel materiaalintensiteiten waarmee gewerkt is om tot een inschatting te komen over de totale hoeveelheid materiaal in de gasleidingen.

Materialen in het gaswinnings- en productiesysteem

De hoeveelheid materialen in de aardgasproductie-installaties is niet gebaseerd op gegevens m.b.t. aantallen installaties en de materiaalsamenstelling daarvan, maar is indirect berekend op basis van materiaalintensiteiten van de winning en productie van aardgas, gecombineerd met de totale aardgasproductie in Nederland.

Voor de materiaalintensiteiten zijn gegevens uit de EcoInvent 3.8 database gebruikt (EcoInvent, 2020). Daarbij gaat het niet om cradle-to-gate analyses, maar om de materialen die daadwerkelijk in het gaswinnings- en productiesysteem terecht komen. Deze EcoInvent-gegevens omvatten de materialen gebruikt voor aardgaswinningsinstallaties, voor de infrastructuur van pijpleidingen om het gasveld heen, en voor de aardgasverwerkingsfabriek. Een overzicht hiervan is toegevoegd in bijlage B. De materialen die hierin gerapporteerd worden zijn staal, cement en beton. De materialen zijn in de EcoInvent database gerapporteerd in kg materiaal benodigd per productie-eenheid aardgas in Nm3.

Voor het verkrijgen van de materiaalvoorraad in dit onderdeel hebben wij deze waardes vermenigvuldigd met de aardgasproductie van Nederland op land in 2020 van 7,79 miljard Nm^3 (Rijksoverheid, 2021). In bijlage B wordt een overzicht gegeven van de berekening van deze materiaalvoorraad.

3.3 Resultaten & discussie

3.3.1 Materiaalvoorraden in de onderdelen van het gassysteem van Nederland

Materialen in cv-ketels

De materiaalvoorraad in CV-ketels in woningen in 2020 wordt geschat op ca. 290 kiloton. Het grootste deel hiervan bestaat uit staal (61%), koper (19%) en PVC (15%). Messing (4%), brons (>1%) en gietijzer (>1%) zijn de kleinere materiaalgroepen in dit onderdeel van het huidige warmtesysteem. In tabel 3.4 zijn de hoeveelheden in kg opgenomen.

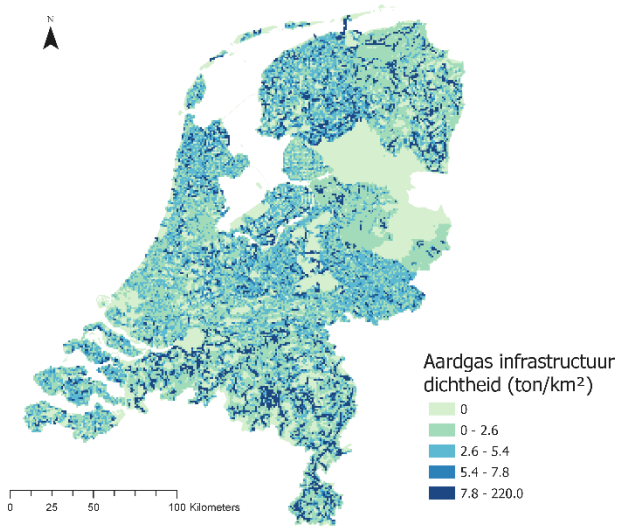
Materialen in de gasinfrastructuur

De totale materiaalvoorraad van de Nederlandse aardgasinfrastructuur bedroeg 752.5 kiloton in 2020. Hiervan bestaat het grootste deel van de gasleidingen uit staal (50%) en PVC en SPVC (37%). De kleinere

materiaalgroepen zijn grijs gietijzer (6%), nodulair gietijzer (4%) en PE (3%). Daarnaast zit er nog een kleine fractie asbest cement in de huidige gasinfrastructuur (>1%). Dit materiaal wordt al jaren uitgefaseerd door netbeheerders, en zal alleen nog in zeldzame gevallen in gebruik zijn.

Zoals zichtbaar in figuur 3.1 varieert de dichtheid van materialen in de Nederlandse aardgasinfrastructuur van 2.6 ton per vierkante kilometer tot 220 ton per vierkante kilometer. In de stedelijke omgeving is de materiaaldichtheid het hoogst, en de dichtheid loopt daarna weer sterk naar beneden in de buitengebieden. In figuur 3.1 is het ontbreken van data voor een deel van Drenthe en Overijssel zichtbaar.

Figuur 3.1, dichtheid van materialen in de Nederlandse aardgas infrastructuur in 2019:



Tabel 3.1 Overzicht van materialen in de Nederlandse aardgas infrastructuur:

Materiaal	SPVC	PVC	Staal	PE	Grijs gietijzer	Nodulair gietijzer	Asbest cement	Totaal
Voorraad (kiloton)	203.6	73.4	376.5	23.7	47.1	26.7	1.4	752.5
Massa percentage	27%	10%	50%	3%	6%	4%	0%	100%

Staal heeft in de landelijke analyse het hoogste massa percentage van de aardgas pijpleidingen, net zoals in de Enexis dataset. Kijkend naar de lengte van de infrastructuur per materiaal in de Enexis dataset (Tabel 2) wordt duidelijk dat het grootste deel van de lengte van het net (70%) bestaat uit SPVC en PVC. Door de hoge dichtheid van staal t.o.v. SPVC en PVC komt dit materiaal naar voren als een groter massapercentage, terwijl maar 15% van de lengte van de aardgasinfrastructuur bestaat uit staal. Daarnaast wordt staal veel

gebruikt voor de hoofdleidingen met grotere buisdiameters met meer massa per kilometer buislengte, terwijl SPVC en PVC meer worden gebruikt voor het distributienet met kleinere buisdoorsnedes.

De gemiddelde dichtheid van de gasinfrastructuur is 5.4 ton per km pijpleiding. Nodulair gietijzer, grijs gietijzer en staal hebben de hoogste dichtheid omdat deze materialen het hoogste soortelijk gewicht hebben. Daarnaast worden deze materialen ook relatief meer gebruikt voor de hoofdleidingen dan de distributieleidingen van het net.

Tabel 3.3 Materialen in de gasinfrastructuur voor Nederland, gebaseerd op de Enexis dataset

Materiaal	SPVC	PVC	Staal	PE	Grijs gietijzer	Nodulair gietijzer	Asbest Cement	Totaal
Voorraad (ton)	203,686	73,369	376,557	23,707	47,127	26,673	1,428	752,546
Lengte infrastructuur (km)	69,924	33,264	22,449	18,732	2,386	1,076	345	148,172
Lengte percentage	47%	22%	15%	12%	1.6%	0.7%	0.20%	100%
Materiaal dichtheid (ton/km)	3.1	2.3	17.7	1.3	20.9	26.2	4.4	5.4

Materialen in het gaswinnings- en productiesysteem

De materiaalvoorraad in aardgaswinningsinstallaties bedroeg in 2020 37 kiloton. Daarmee is dit onderdeel verreweg het kleinste deel van het gehele gassysteem. Deze installaties bestaan voornamelijk uit staal (72%). De andere materialen in dit onderdeel van het huidige warmtesysteem zijn beton (20%) en cement (8%). De hoeveelheden zijn weergegeven in tabel 3.4.

3.3.2 Totale materiaalvoorraden in het gassysteem van Nederland

De geaggregeerde resultaten van de voorraadinventarisatie staan in tabel 3.4, hieronder.

Het Nederlandse op aardgas gebaseerde warmtesysteem bevat in 2020 in totaal 1080 kiloton aan materiaal. Het grootste deel van deze voorraad bestaat uit staal (582 kiloton) en PVC/SPVC (320 kiloton). Kleinere materiaalgroepen zijn gietijzer (75 kiloton) en koper (55 kiloton), terwijl de kleinste materiaalgroepen PE, brons cement, messing en beton (>25 kiloton) zijn.

Het grootste deel van deze voorraad, 750 kiloton, bevindt zich in de aardgasleidingen (infrastructuur). De aardgasleidingen bestaan voornamelijk uit staal (50%) en PVC en SPVC (37%). De kleinere materiaalgroepen zijn grijs gietijzer (6%), nodulair gietijzer (4%) en PE (3%). Daarnaast zit er nog een kleine

fractie asbestcement in de huidige gasinfrastructuur (>1%). De op één na grootste voorraad (290 kiloton) bevindt zich in de cv-ketels in woningen en bestaat voornamelijk uit koper, brons, PVC en staal.

De aardgaswinningsinstallaties bestaan voornamelijk uit staal en vormen een relatief kleine voorraad (30 kiloton) in vergelijking met de rest van het op aardgas gebaseerde warmtesysteem. Daarnaast bevindt zich in dit onderdeel van het warmtesysteem een kleine voorraad beton (7.2 kiloton) en cement (3.1 kiloton).

Tabel 3.4 Overzicht van materialen in het Nederlandse of aardgas gebaseerde warmtesysteem (kiloton):

	Messing	Brons	Koper	Gietijzer	PE	SPVC + PVC	Staal	Beton	Cement	Asbest cement	Totaal
Infrastructuur	0	0	0	73.8	23.7	277	376.5	0	0	1.4	752.5
CV-ketels	12.6	1.6	54.8	1.2	0.0	42.8	178.1	0	0	0	291.3
Aardgaswinning Installaties	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6	7.2	3.1	0	36.9
Totaal	12.6	1.6	54.8	75.0	23.7	319.8	581.2	7.2	3.1	1.4	1080.7

3.4 Conclusies en discussie

In deze studie is de materiaalvoorraad van het Nederlandse op aardgas gebaseerde warmtesysteem onderzocht. De totale *urban mine* van het op aardgas gebaseerde warmtesysteem wordt in dit onderzoek geschat op 1080 kiloton. Ongeveer de helft van het warmtesysteem bestaat uit staal, terwijl PVC, gietijzer en koper daarna de grootste materiaalgroepen zijn. De kleinste materiaalgroepen bestaan uit PE, brons, cement, messing en beton (minder dan 25 kiloton). De aardgas pijpleidingen bevatten bijna 70% van de totale materiaalvoorraad van het warmtesysteem, terwijl CV ketels ruim een kwart van de totale materiaalvoorraad bevatten. De winning en verwerking van aardgas zelf neemt maar 3,5% van de totale materiaalvoorraad in beslag, en bestaat uit voornamelijk staal.

De totale lengte van het gasnet bestaat grotendeels uit SPVC en PVC (70%). Staal en PE hebben een aandeel van 15% en 12% van het totaal aantal kilometers gasleiding. Minder dan 3% van de lengte van het gasnet bestaat nog uit nodulair- of gietijzer. Door het hogere soortelijk gewicht van staal en gietijzer soorten komen deze in de voorraad analyse naar voren als de grootste voorraadgroepen, terwijl deze een relatief klein deel van de totale lengte van de gasinfrastructuur beslaan. Daarnaast wordt staal voornamelijk gebruikt in de hoofdleidingen van het gasnet, met grotere pijpleiding diameters en dus ook een hogere gewicht per lengte eenheid. De 15% in pijplengte van stalen pijpen gaat zo gepaard met de helft van het totale gewicht, en de 70% lengte van (S)PVC pijpen met slechts een derde van het gewicht. Kleinere materiaalgroepen zijn nodulair- en grijs gietijzer (samen 10%) en PE (3%). Minder dan 1% van de materiaal voorraad van de aardgas infrastructuur bestaat nog uit asbest-cement. De oudere gasleidingen van nodulair en grijs gietijzer en asbest-cement worden volgens de netbeheerders in de komende jaren

compleet uitgefaseerd en vervangen door gasleidingen van staal of kunststof (Netbeheer Nederland, 2021).

In de eerdere rapportage *Voorraden in de Maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie* (van Oorschot et al., 2020) wordt de totale hoeveelheid staal en ijzer in het elektriciteitsnet van Nederland in 2018 geschat op $7.07x10^5$ ton *(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2020)*. De inschatting van de materiaalvoorraden voor staal en ijzer in het op aardgas gebaseerde warmtesystem (gietijzer en nodulair ijzer) zijn respectievelijk $5.8x10^5$ en $7.7x10^4$ ton. Dit impliceert dat het elektriciteitsnet van een gelijke ordegrootte is als het op aardgas gebaseerde warmtesysteem.

De rol van gasinfrastructuur binnen de energietransitie

Netbeheerders onderzoeken het opnieuw inzetten van de gasinfrastructuur voor de distributie van waterstof en andere hernieuwbare gassen (Netbeheer Nederland, 2018). De energietransitie en gedeeltelijke elektrificatie van het warmtesysteem zal ervoor zorgen dat een deel van het gasnet overbodig zal worden. Een volledige uitfasering van de aardgas infrastructuur lijkt zeer waarschijnlijk. Gedeeltelijk kan deze infrastructuur worden gebruikt als bron van secundaire materialen in de CE, opnieuw ingezet worden voor de distributie van hernieuwbare gassen, of als *hibernating stock* onder de grond blijven liggen. Deze mogelijkheden kunnen worden onderzocht in een vervolgstudie.

Beperkingen van de gebruikte data

Voor het inschatten van de hoeveelheid materialen in cv-ketels geldt, dat dit is gebaseerd op een (ongefundeerde) schatting van het aantal ketels dat in gebruik is: 90% van de huishoudens. De gebruikte data m.b.t. de samenstelling van de cv-ketels is slechts op één bron gebaseerd en doet daarmee geen recht aan de variëteit in de op de markt zijnde ketels. Dat betekent dat onze inschatting moet worden geinterpreteerd als een ordegrootte-schatting.

Voor het modelleren van de materialen in de Nederlandse aardgasinfrastructuur zijn GIS-datasets gebruikt van 7 van de 9 netbeheerders. Hierdoor ontbreekt een deel van Drenthe en Overijssel in de analyse. Dit is gecompenseerd door de materiaal inventarisatie te extrapoleren over de netwerk lengte van het ontbrekende deel van de aardgasinfrastructuur. Daarnaast bevat alleen de Enexis dataset informatie over de pijpleiding diameter en het materiaal waarvan de pijpleidingen zijn gemaakt. De gemiddelde waardes van gewicht en materiaal per pijpleiding lengte hiervan zijn geëxtrapoleerd op de rest van de dataset voor de voorraad analyse van heel Nederland. In werkelijkheid kan het zijn dat de rest van de aardgasinfrastructuur een iets andere materiaalsamenstelling heeft dan de Enexis dataset bevat.

Helaas is er maar beperkt data beschikbaar voor het modelleren van de materialen in de gaswinningsinstallaties binnen Nederland. De materiaalvoorraad voor de productie van aardgas binnen Nederland is in dit rapport gebaseerd op de hoeveelheid geproduceerd aardgas per jaar, en niet op basis van GIS-data van aardgaswinningslocaties. Met de afgenomen productie van aardgas binnen Nederland van de afgelopen jaren kan de materiaalvoorraad van dit onderdeel onderschat zijn. Installaties die buiten gebruik zijn genomen maar nog wel op locatie staan zijn een voorbeeld van potentiële hibernating stocks die nu niet in de materiaalanalyse zitten door het gebruik van deze methode.

Conclusie

Het op aardgas gebaseerde warmtesysteem is een waardevolle urban mine. Een vergelijking met het elektriciteitssysteem is interessant. Beide systemen zijn van een vergelijkbare grootte als het gaat om het distributienet. Voor de rest verschillen ze sterk. Grote materiaalvoorraden zijn aanwezig in het productiesysteem van elektriciteit, terwijl voor gasproductie het productiesysteem bescheiden is in omvang. Voor apparatuur in woningen is het andersom. Voor elektriciteit zijn enkel wat bedrading en stopcontacten nodig. Anderzijds zijn voor het gassysteem cv-ketels nodig om gas om te zetten in warmte, die bij elkaar veel materiaal bevatten.

De materiaalvoorraad bestaan voornamelijk uit staal, SPVC, PVC en gietijzer. Bij afdanking zou deze voorraad een bron van secundaire materialen kunnen zijn. Daarnaast zou het bestaande gasnet ook op andere manieren nuttig ingezet kunnen blijven worden tijdens, en na de energietransitie. Bijvoorbeeld, gebouwen die niet op warmtepompen of warmtenetten aangesloten kunnen worden zouden gebruik kunnen blijven maken van het gasnet door middel van hernieuwbare gassen. Het is belangrijk om dergelijke mogelijkheden en implicaties hiervan voor materiaal stromen over tijd nader te onderzoeken in een vervolgstudie.

4 Case study Spoor-infrastructuur

4.1 Inleiding

De case study naar spoorinfrastructuur is uitgevoerd als een MSc thesis project voor de opleiding Industrial Ecology (Pieters, 2021). In deze samenvatting van de thesis wordt ingegaan op de materiaalvoorraad in de infrastructuur van spoorwegen in Nederland. Daaronder vallen (goederen)trein-, metro- en tramspoor, hun energievoorziening (zoals kabels en leidingen, bovenleiding en masten), stations, geluiddschermen en *kunstwerken*: de tunnels en bruggen die nodig zijn om de voertuigen te kunnen laten rijden. De voertuigen zelf zijn geen onderdeel van het onderzoek, die zijn in de vorige rapportage al geïnventariseerd (Van Oorschot et al., 2020).

Het Nederlandse spoor behoort tot het drukst bereden netwerk van de Europese Unie (CBS, 2009). De infrastructuur is in de periode 2000-2009 met 0,6% meer dubbelspoor en 0,6% minder enkelspoor maar nauwelijks veranderd (Wiedenhofer et al., 2015). Hoewel de absolute veranderingen aan het spoor relatief klein zijn, worden er jaarlijks circa 200 kilometer spoor (zo'n 2,7% van de totale lengte) en ongeveer 200.000 dwarsliggers vervangen (Quik et al., 2020). Naast de circa 7000 km treinspoor ligt er in Nederland ook zo'n 1000 km tram-, lightrail- en metrospoor. De grootte van het netwerk, het gebruik van waardevolle metaalsoorten zoals koper en de geplandheid van het onderhoud en vervanging van materialen bieden een interessante casus om de potentie van de stedelijke mijn van het spoor te onderzoeken.

De opbouw van deze samenvatting is als volgt. Als eerste wordt gerapporteerd over de manier waarop de gegevens zijn verzameld. Vervolgens is een schatting gemaakt van de materiaalvoorraad in het basisjaar 2018. Op basis van deze uitgangssituatie konden een tijdsdimensie en ruimtelijke dimensie aan het onderzoek worden toegevoegd. De historische voorraadontwikkeling (tijdsdimensie) en de geografische spreiding van de materiaalvoorraad (ruimtelijke dimensie) worden in de paragrafen na de uitgangssituatie beschreven. De reikwijdte van het onderzoek ging verder dan wat hier wordt gerapporteerd: in the thesis zijn ook een aantal scenario's tot 2050 gemodelleerd. De thesis is als bijlage E bij deze rapportage opgenomen.

4.2 Methode en data

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een bottom-up methode waarbij de beschikbare gegevens zoveel mogelijk rechtstreeks zijn opgehaald. Gegevens de lengte van het Nederlandse netwerk, kabels en leidingen en de kunstwerken konden worden opgehaald uit de TOP10NL geodatabase van 2018 en de database van ProRail in het Nationaal Georegister. Dit register kon worden uitgelezen met behulp van ArcGIS software.

Gegevens over gewichten ('materiaalintensiteiten' in ton/km) en de levensduur van de objecten zijn op twee manieren opgehaald. Als eerste kon op basis van levenscyclusanalyses (LCA's) van spoorobjecten die voor spoorbeheerder ProRail waren opgesteld een groot aantal materiaalintensiteiten worden afgeleid. In deze LCA's ontbraken gegevens over kabels en leidingen en de metro- en traminfrastructuur. Vervolgens zijn de ontbrekende materiaalintensiteiten verkregen uit een onderzoek naar de milieu-impact van het treinspoor in Duitsland, uitgevoerd door het Öko-Institut (Schmied et al., 2013) en uit een recent gepubliceerde wetenschappelijke publicatie over de materiaalvoorraad in het regionale openbaar vervoer in Wenen (Gassner et al., 2020).

Aangezien er geen volledig historisch overzicht beschikbaar was, zijn de historische lengtes, uitbreidingen en openings- en sluitingsdata van de spoorlijnen bepaald op basis van websites van spoorwegliefhebbers (zoals www.stationsweb.nl en www.railwiki.nl). Validatie van deze gegevens kon worden gedaan door de totale in- en uitstroom van het netwerk te vergelijken met het basisjaar 2018. Dit kwam overeen met de gegevens voor 2018 uit de TOP10NL geodatabase.

4.3 Resultaten

4.3.1 Materiaalvoorraad 2018

Met behulp van de verzamelde gegevens uit databases en de LCA's kon een schatting worden gemaakt van de materiaalvoorraad in het Nederlandse spoor in 2018. In 2018 bedroeg de totale voorraad van de spoorweginfrastructuur 71,7 megaton, wat overeenkomt met 4,15 ton materiaal per hoofd van de Nederlandse bevolking.

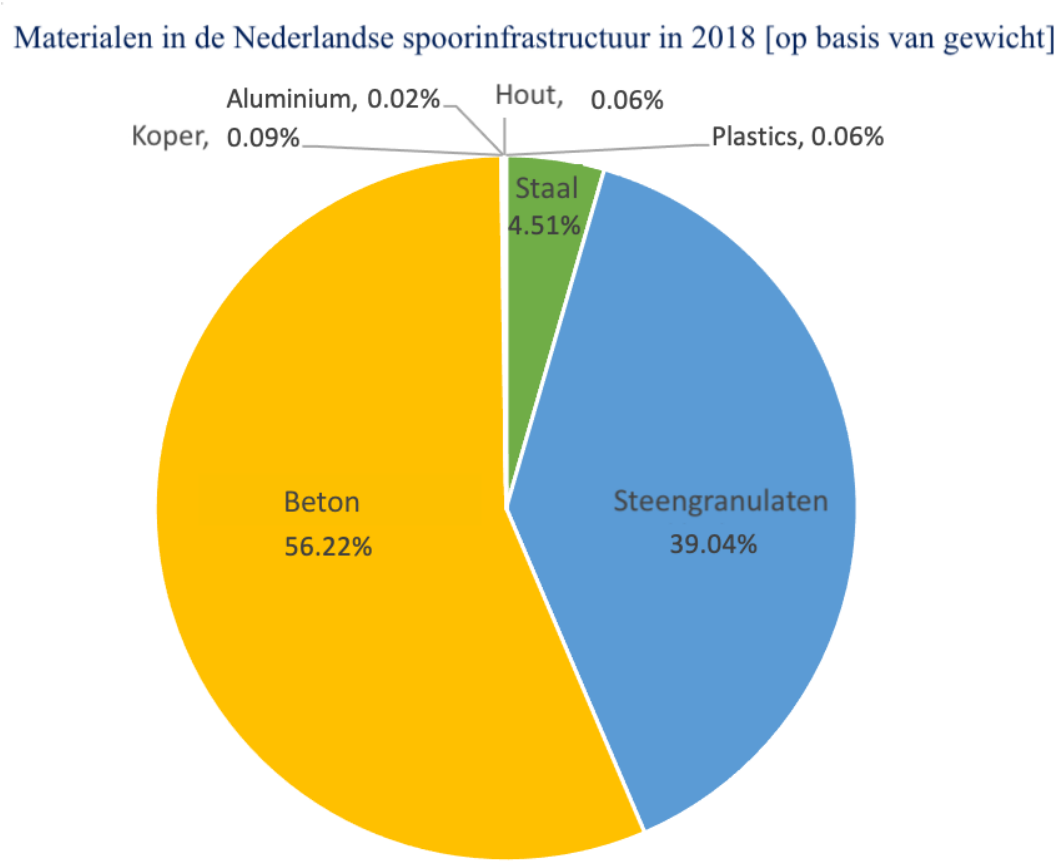
Materiaalcategorieën

De geïnventariseerde stoffen zijn verdeeld over zeven materiaalcategorieën: beton, steengranulaten (het ballastmateriaal tussen de sporen), staal, koper, aluminium, plastics en hout. Tot de categorie plastics behoren de materialen synthetische rubbers (EPDM), hogedichtheidpolyetheen (HDPE), polypropyleen (PP), glasvezelversterkte kunststoffen (GFRP), epoxy, polyvinylchloride (PVC), alkydharsen en poedercoatings. Het grootste deel van het gewicht bestond uit niet-metaalhoudende minerale producten zoals beton en ballast (steengranulaten). Beton heeft het grootste aandeel van meer dan de helft van het voorraadgewicht (zie figuur 4.1), gevolgd door steengranulaten met bijna 40%. Staal volgt op ruime afstand met 4,5% van het voorraadgewicht. Koper neemt .09% van het voorraadgewicht voor zijn rekening, hout en kunststoffen beide .06% en aluminium eindigt met het kleinste aandeel van .02%.

Hoewel het materiaalgewicht van koper en aluminium relatief laag is, is de marktwaarde op de tweedehandsmarkt veel hoger dan voor beton of ballastmateriaal. In 2016 was een kiloton tweedehands aluminium meer dan 200 keer meer waard dan een kiloton beton. Koper was in die periode 900 keer zoveel waard als beton (Lederer et al., 2016). Ondanks dit kleine aandeel hebben koper en aluminium

dus een relatief hoge economische waarde op de secundaire markt. De economische waardering speelt dan ook een belangrijke rol bij het onderzoeken van het potentieel van de stedelijke mijn.

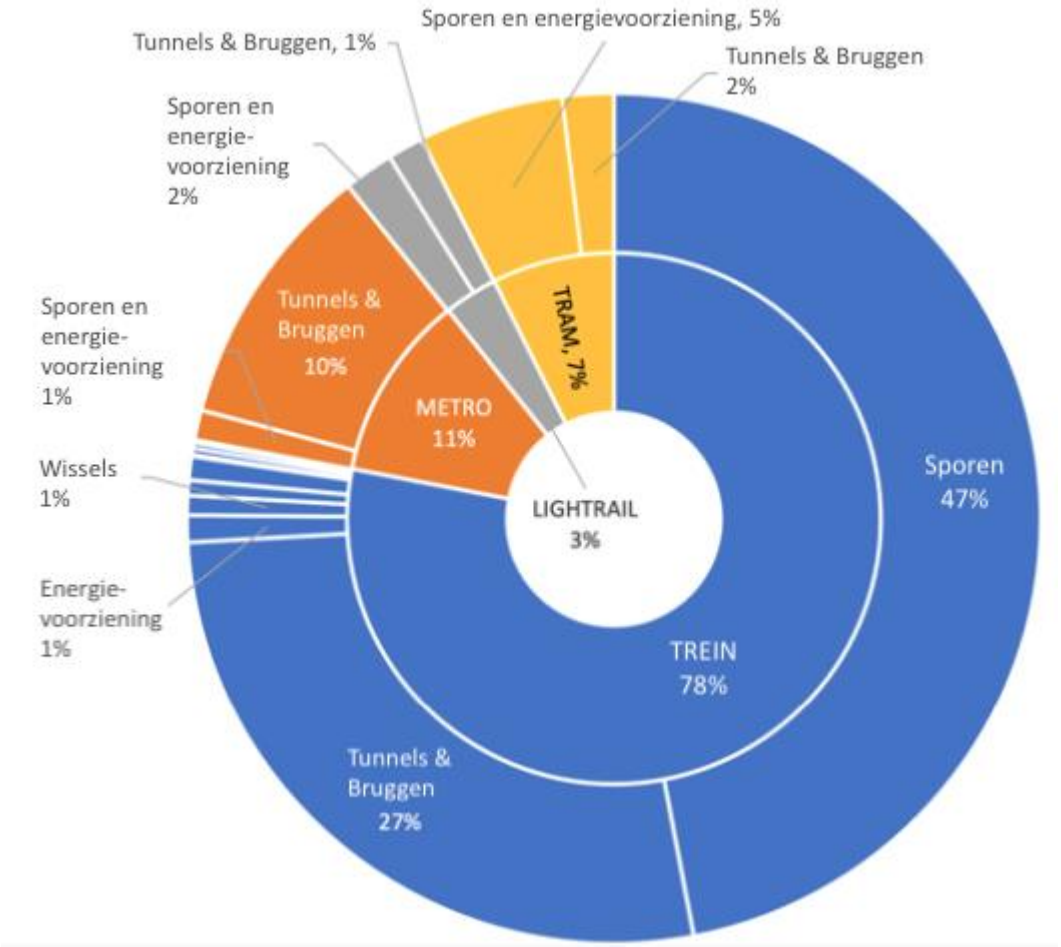
Figuur 4.1: Verdeling van de voorraad van materiaalcategorieën naar gewicht in de Nederlandse spoorinfrastructuur in 2018.



Objectcategorieën

Gesorteerd naar objectcategorie maken de sporen voor treinvervoer bijna de helft (47%) uit van het totale voorraadgewicht voor alle materialen in de schatting (zie figuur 4.2). De tunnels en bruggen van alle vervoersmodaliteiten bij elkaar opgeteld maken bijna 40% uit van het totale voorraadgewicht, maar hebben een levensduur van ten minste 100 jaar. Dit betekent dat de milieueffecten van de bouw- en onderhoudsfase van de levenscyclus van het object over een lange periode kunnen worden verdeeld. Met een aandeel van 47% en een relatief korte levensduur van 37 jaar vertonen spoorrails en het ballastmateriaal het grootste potentieel om het materiaalverbruik in de toekomst te verduurzamen.

Figuur 4.2: Totale voorraad verdeeld over objectcategorieën en vervoersmodaliteiten.

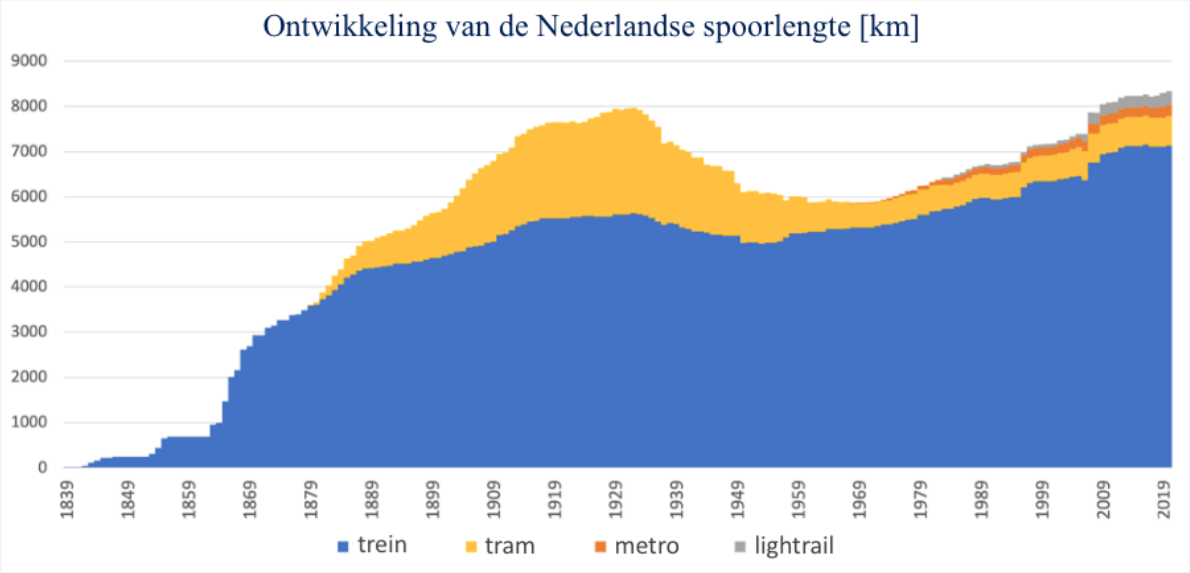


4.3.2 Historische ontwikkeling van de voorraad

Sinds de opening van de eerste Nederlandse spoorlijn tussen Amsterdam en Haarlem in 1839 is de spoorinfrastructuur in korte tijd snel gegroeid. Vooral toen de staat vanaf 1860 het voortouw in de aanleg nam. Figuur 4.3 laat zien dat de totale spoorlengte rond 1930 bijna even groot was als in 2020. Vanaf de jaren zestig tot de jaren zeventig nam de lengte van het spoor af, met name door uitdienststelling van regionale tramlijnen. Sinds de jaren zeventig groeit het treinnetwerk weer en zijn er ook andere spoormodaliteiten, zoals de metro en lightrail bijgekomen. In 2007 en 2009 was er sprake van een hoge instroom vanwege de opening van de Hogesnelheidslijn (HSL) van België naar Amsterdam en de Betuweroute voor goederentreinen. De huidige spoorlengte is met meer dan 8000 kilometer langer dan ooit.

In figuur 4.3 wordt de ontwikkeling van de historische voorraad gegeven in kilometer spoor. Op basis van de instroom (de bouw) van spoorlengte en de gemiddelde levensduur van de objecten kon een retrospectieve analyse van de uitstroom (sloop) van het spoor worden gedaan (zie figuur 4.4).

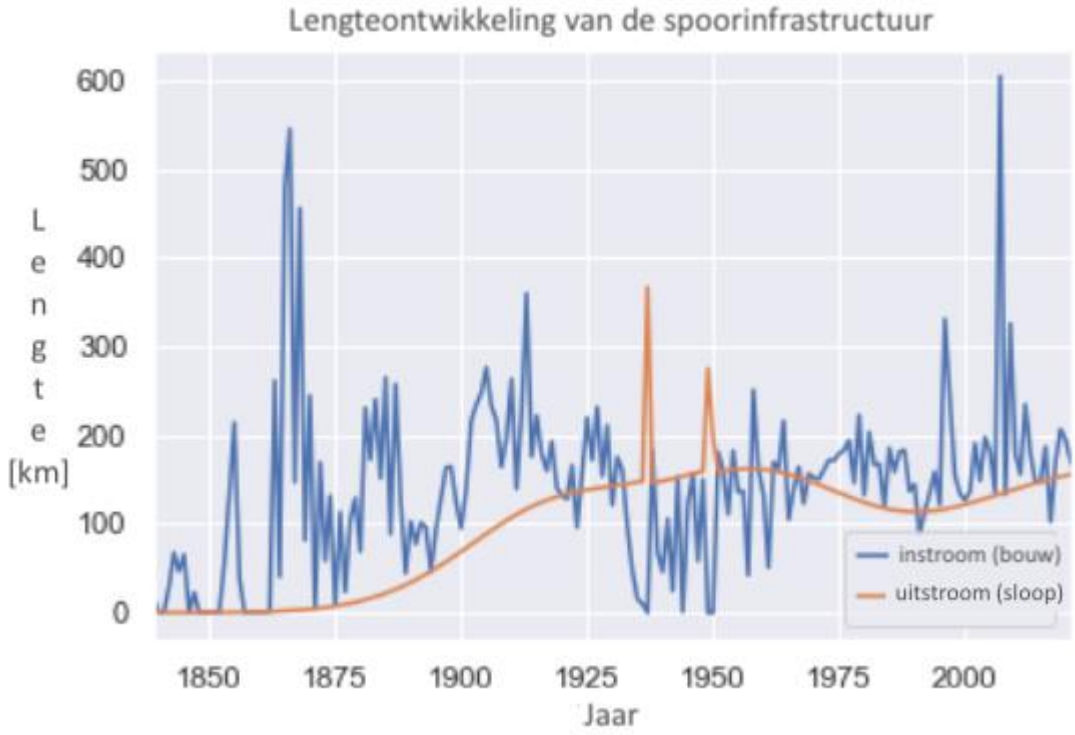
Figuur 4.3: Historische ontwikkelingen de Nederlandse spoorlengte*.



* De lengtes zijn verdeeld op basis vervoersmiddel dat het meest van het spoorstuk gebruik maakt wanneer er meerdere vervoersmodaliteiten van hetzelfde spoor gebruik maken.

Tussen de jaren dertig en de jaren zeventig heeft de sluiting van spoor- en tramlijnen geleid tot een grotere uitstroom (sloop) dan instroom (bouw) van het spoor. De uitschieters naar boven in de uitstroom (de oranje lijn in figuur 4.4) geven de jaren weer waarin de sluiting van deze lijnen tot een nog grotere uitstroom leidde dan de geplande buitendienststellingsstroom voor onderhoud op basis van de gemiddelde levensduur. In figuur 4.4 is te zien dat de uitstroom van spoormateriaal verder constant is dankzij de geplande vervangingsmomenten van gemiddeld 47 jaar na de bouw. Ook is te zien dat de uitstroom van het netwerk de laatste jaren langzaam toeneemt: de infrastructuur die zo'n 50 jaar terug is aangelegd is de komende tijd aan vervanging toe. Deze toename biedt kansen voor het circulair verwerken van de uitstroom.

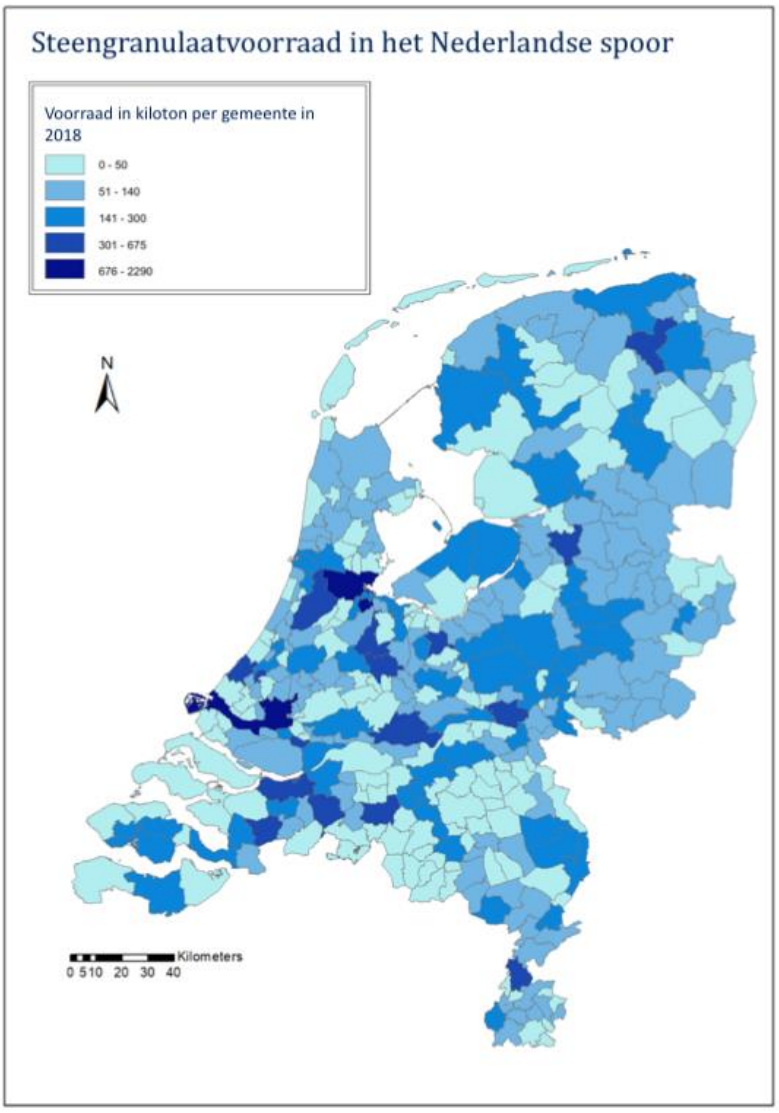
Figuur 4.4: historische instroom (bouw) en uitstroom (sloop) van het spoornetwerk tussen 1839 en 2020 op basis van een gemiddelde levensduur van 47 jaar.



4.3.3 Geografische spreiding van de voorraad

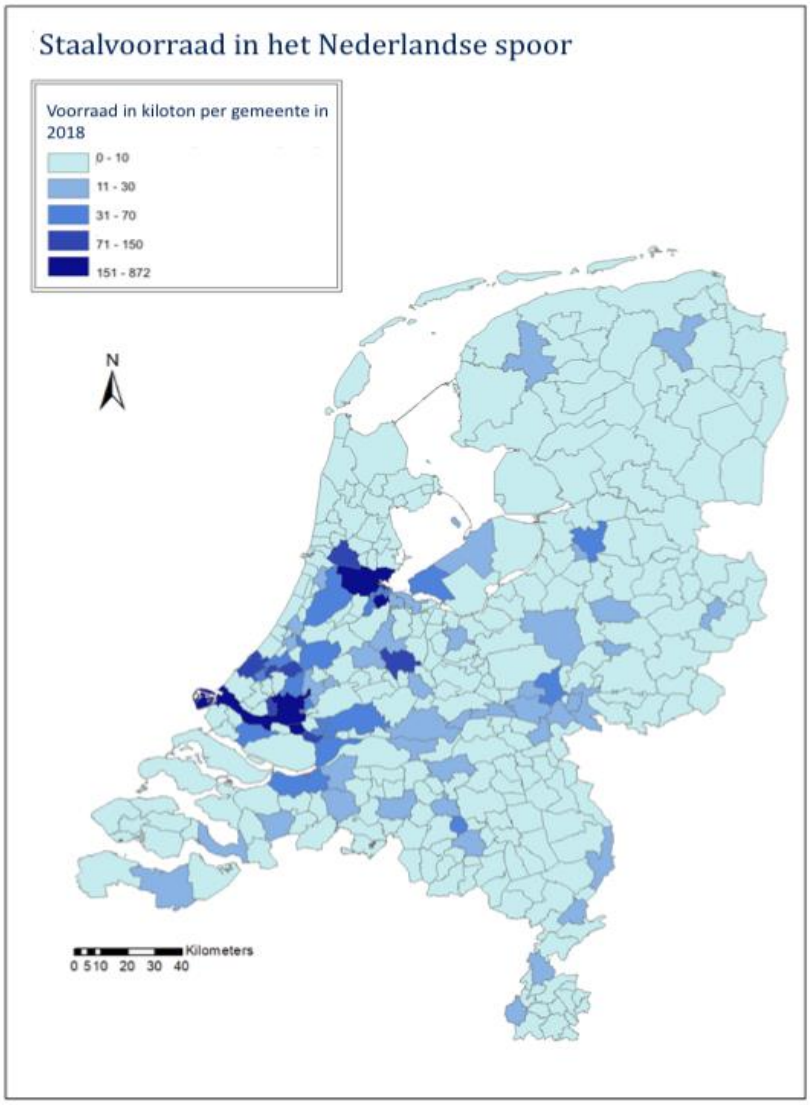
Dankzij de koppeling van de spoorlengtes aan geografische locaties kon een gedetailleerde schatting worden gemaakt van de locaties van de materiaalvoorraad in de spoorsector. Aan de hand van de drie grootste materiaalcategorieën (steengranulaat, beton en staal) is de ruimtelijke dimensie per gemeente in beeld gebracht. De ruimtelijke spreiding van steengranulaat over gemeenten (zie figuur 4.5) komt overeen met de ligging van de treinsporen. Dichtbevolkte regio's met een fijnmazig spoornetwerk, zoals Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Groningen, Breda, Tilburg, Zwolle en Amersfoort scoren hoog. Terwijl gemeenten met industriële spoorlijnen, zoals Overbetuwe, West Betuwe, Moerdijk, Roosendaal en Sittard-Geleen ook hoge dichtheden laten zien.

Figuur 4.5: verdeling van de steengranulaatvoorraad (ballast) over de gemeenten in Nederland in 2018.

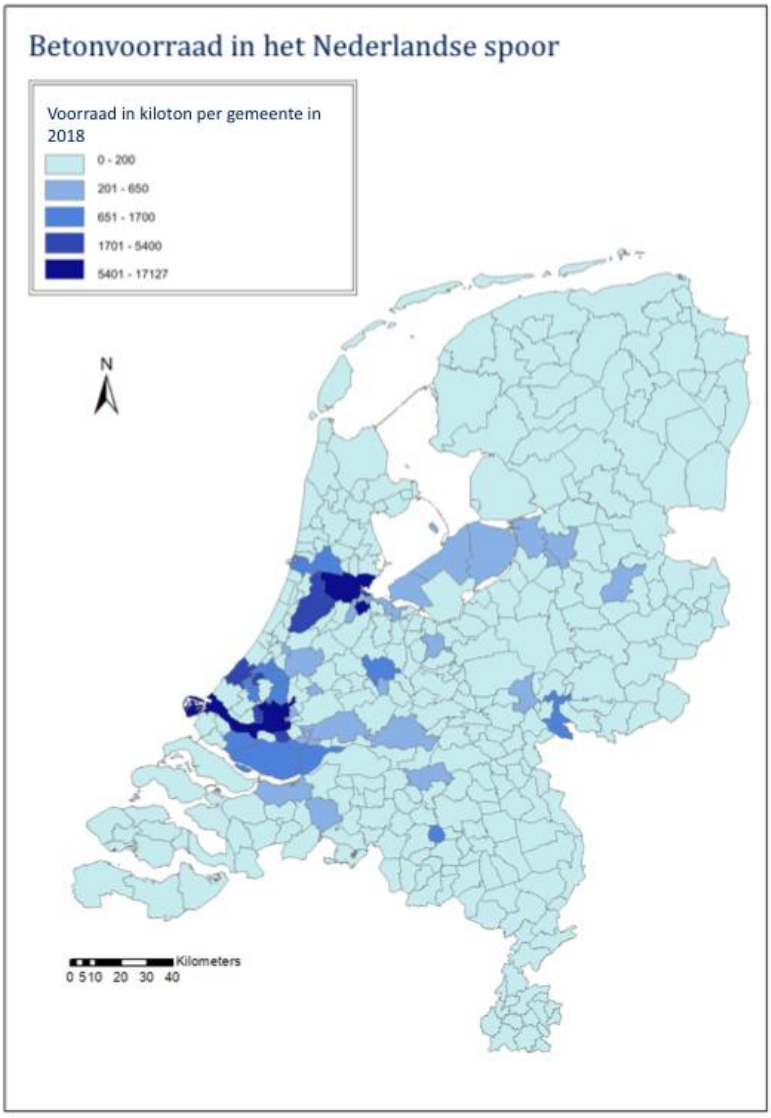


Figuur 4.6 en 4.7 laten een meer geconcentreerde verdeling voor staal en beton zien over gemeenten met veel spoortunnels en -bruggen. Vooral regio's die doorkruist worden door de tunnels en bruggen van de Hogesnelheidslijn (bijvoorbeeld Barendrecht, Zoetermeer, Alphen a/d Rijn, Hoeksche Waard, Dordrecht, Haarlemmermeer) en van de Betuwelijn (bijvoorbeeld Zevenaar, Zwijndrecht, Hendrik-Ido-Ambacht en Papendrecht) laten hogere massaconcentraties zien van beton en staal. Als laatste is het betongebruik in Amsterdam en Rotterdam is veel hoger vanwege de metrotunnels die zich binnen de gemeenten bevinden.

Figuur 4.6: verdeling van de staalvoorraad over de gemeenten in Nederland in 2018



Figuur 4.7: verdeling van de betonvoorraad over de gemeenten in Nederland in 2018.



4.3.4 Mogelijke inzet van afgedankte spoorinfrastructuur

Materiaal dat aan het einde van de levenscyclus van spoorweginfrastructuur vrijkomt, kan opnieuw binnen het spoorsysteem worden toegepast, bijvoorbeeld door hergebruik of recycling van de materialen. Er zijn verschillende circulaire opties voor veelgebruikte spoorwegconstructies van bijvoorbeeld beton, ballast (steengranulaat) en staal. Deze drie materiaalsoorten maken meer dan 99% uit van het materiaalgebruik in de spoorinfrastructuur.

Circa 30% van de huidige betonnen dwarsliggers in Nederland kan bijvoorbeeld aan het einde van hun levensduur worden hergebruikt op minder druk bereden stukken en opstelterreinen (Havik 2020).

Daarnaast liet een proef met het recyclen van betonnen dwarsliggers als basis in nieuw hoogwaardig beton veelbelovende resultaten zien, wanneer het gerecyclede betongranulaat als grof granulaat in constructiebeton wordt toegepast (Yang en Lim 2018).

Tijdens werkzaamheden wordt meestal de helft van de spoorballast vernieuwd, waardoor de levensduur kan worden verlengd (Weening and Vroege 2019). Verweerd spoorballast van porfiergesteente dat niet kan worden hergebruikt, wordt meestal nog hoogwaardig gerecycled als grindvervanger voor nieuw beton. Zo'n 4 tot 5% van het ballastmateriaal is echter zo fijn aan het eind van de levensduur, dat het niet herbruikbaar of recyclebaar is (Weening and Vroege 2019; Kiani et al 2008).

Een Britse levenscyclusanalyse naar spoorwegbeddingen vermeldt dat stalen spoorstaven in 85% van de gevallen gerecycled of hergebruikt kunnen worden (Kiani et al 2008). Hergebruik van stalen rails en wissels op spoorwegemplacementen is bijvoorbeeld mogelijk, omdat deze sporen minder zwaar worden belast en er lagere veiligheidseisen gelden (Havik 2020). Ook op minder druk bereden trajecten kunnen spoorstaven worden hergebruikt. In combinatie met sterkere staalsoorten zou de levensduur van de spoorrails hiermee zelfs kunnen verdubbelen (Internationaal Energieagentschap 2019; Milford et al. 2013). Als hergebruik niet mogelijk is, kan het staal worden gerecycled en vervolgens toegepast in allerhande producten, ook buiten het spoorsysteem.

4.4 Conclusies en discussie

De huidige materiaalvoorraad in de Nederlandse spoorweginfrastructuur wordt gedomineerd door zware niet-metaalhoudende materialen, zoals beton en ballastmateriaal. Met bijna de helft van het totale voorraadgewicht beslaat de spoorbaaninfrastructuur (de rails en spoorbedding) het grootste deel van de massa-inschatting. De gemiddelde levensduur van de infrastructuur op de spoorbaan is met 37 jaar bovendien kort in verhouding tot andere objecten zoals tunnels en bruggen. Koper, aluminium, hout en plastics hebben met minder dan 0,25% van het totaal slechts een klein massa-aandeel, maar niet-ijzerhoudende metalen hebben een relatief hoge economische waarde op de secundaire markt.

Uit de historische voorraadanalyse kan worden geconcludeerd dat, terwijl de instroom (bouw) van spoorweginfrastructuurmaterialen de afgelopen decennia fluctueerde, de uitstroom van materialen (sloopstromen) aan het begin van de 21e eeuw langzaam is toegenomen. De toenemende uitstroom markeert de onderhoudsstroom van objecten die aan het einde van hun levensduur zijn en biedt mogelijkheden voor nieuw beleid op het gebied van een circulaire economie.

Dit onderzoek heeft laten zien dat de geografische spreiding van de materiaalvoorraad geconcentreerd is. De materiaalvoorraad is gecentreerd in gemeenten met een hoge dichtheid aan kunstwerken zoals tunnels en bruggen en in gemeenten met een dicht stedelijk spoorwegnet van metro, lightrail en trams. Deze ruimtelijke concentratie geeft meer informatie over waar secundaire materialen uit de stedelijke mijn zouden kunnen worden gewonnen.

5 Case study Consumentenproducten

5.1 Inleiding

5.1.1 Achtergrond

In de circulaire economie zijn de voorraden aan producten en materialen in de maatschappij de *urban mine* van morgen. Elk jaar komen materialen en producten in de voorraden terecht en andere als afval vrij. Een deel ervan wordt naar het buitenland geëxporteerd. In de laatste jaren zijn al enkele voorraden in Nederland zoals gebouwen, elektronica en textiel door CBS en CML bepaald (van Oorschot et al., 2020 en van Oorschot et al., 2021).

Dit jaar ligt de nadruk van het onderzoek op voorraden van goederen waarmee consumenten vaak in contact komen en die nog niet in het kader van dit project onderzocht zijn. We inventariseren de voorraden van meubels, niet-elektrische kookapparatuur en diverse overige goederen zoals medische apparaten en sportartikelen.

In een circulaire economie wordt onder andere gestreefd naar het verlagen van extractie van grondstoffen uit het milieu door een zo groot mogelijk gedeelte van de vraag te voldoen via hergebruik, ofwel secundaire productie. Dit wordt ook wel aangeduid als het benutten van de “urban mine”: de voorraden van materialen die in onze maatschappij in gebruik zijn. Om te kunnen inschatten in hoeverre zo’n verschuiving naar secondaire productie mogelijk is, is het van belang een inschatting te hebben van de omvang van deze mijn, van de dynamiek ervan (op welk moment komt hoeveel beschikbaar voor recycling en hergebruik?) en van de kwaliteit ervan (is het materiaal herbruikbaar of herwinbaar?).

Dit rapport bevat data over de voorraad van de onderzochte productgroepen. De mogelijkheden van conversie van producten naar materialen hebben wij bekeken in de 2021 rapportage. Op dit moment zijn er nog geen conversietabellen beschikbaar, maar dat is hopelijk in 2023 wel het geval zijn.

5.1.2 Doelen

Doel van dit rapport is een inschatting te maken van:

- De producten in de categorieën meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen
- De hoeveelheden van deze producten die in gebruik zijn op dit moment

Om deze doelen te realiseren zijn de volgende onderzoeken uitgevoerd die worden behandeld in dit rapport:

1. Gemiddelde levensduur berekend voor meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen. Dit is uitgewerkt in paragraaf 5.**Error! Reference s ource not found.**.

2. Toepassing van de methodiek voor het berekenen van de voorraden meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen in de Nederlandse economie. De uitwerking hiervan vindt plaats in het restant van hoofdstuk 5.0.

5.2 Methode

Dit hoofdstuk omschrijft de selectie van producten binnen de onderzochte goederengroepen (meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen) en de methode die gebruikt is om de levensduren en voorraden te bepalen.

De volgende productcategorieën worden niet onderzocht omdat ze leiden tot dubbeltellingen, niet-relevante materialen bevatten of geen gegevens hierover beschikbaar is in de databronnen:

- Producten met korte levensduren (minder dan 12 maanden)
- Grondstoffen
- Halffabricaten
- Onderdelen van producten
- Infrastructuur
- Chemie industrie

De algemene methodiek is het bepalen van de op de markt gebrachte hoeveelheden door middel van data uit de CBS-productiestatistiek en Internationale Handel data. De CBS-productiestatistiek (PRODCOM) bevat binnenlandse productiecijfers. De Internationale Handel statistiek bevat internationale handelscijfers. Deze bronnen bevatten alle Nederlandse data, ook die het CBS vanwege geheimhouding niet mag publiceren. De consumptie wordt bepaald door de productie op te tellen bij de import en daar vervolgens de export van af te trekken.

Conversietabellen zijn nodig om de goederenclassificaties uit deze bronnen om te zetten naar de publicatiegroepen van de MateriaalMonitor. Hierbij wordt rekening gehouden met de selectie criteria zoals even hiervoor genoemd. Zie Tabel 5.2, Tabel 5.3 en Tabel 5.4 voor de MateriaalMonitor groepen die in dit rapport onderzocht zijn. De data is beschikbaar vanaf 2007 en wordt verder terug geëxtrapoleerd (tot 1980). Per MateriaalMonitor groep maken we zo een tijdreeks van de op de markt gebrachte producten. Zie voorbeelden hiervan in Put-on-market data voor enkele consumentenproducten, 2000-2020

Put-on-market **tijdreeks, niet-elektrische kookapparaten**

, Put-on-market tijdreeks; Slaapkamer meubelen, Put-on-market tijdreeks; Medische apparatuur en Put-on-market tijdreeks; Sportartikelen en sportmaterialen. Via levensduurprofielen wordt berekend wanneer dat afval wordt. De huidige voorraad kan berekend worden door de historische verkopen te verminderen met wat volgens het model inmiddels afval is geworden.

De hoeveelheid afval die per jaar vrijkomt wordt bepaald door een normaal verdeling te zetten op de consumptiecijfers. De variabelen van de normaalverdeling zijn de gemiddelde levensduur en de standaarddeviatie.

Voor elke categorie consumentengoederen volgens de MateriaalMonitor indeling is dus een gemiddelde levensduur nodig. Deze hebben wij bepaald door te kijken welke goederencodes uit de Internationale Handel data bij deze categorieën horen, want de MateriaalMonitor goederengroepen zijn te geaggregeerd om levensduren mee te bepalen. Van de Internationale Handel goederencodes hebben wij degene geselecteerd waarvan de importwaarden samen minstens 80% uitmaakten van de totale importwaarde van de MateriaalMonitor groep waar ze onder vallen. Via bronnen op internet (onder andere Consumentenbond, lijsten van verzekeringen) hebben wij voor deze selectie opgezocht wat de gemiddelde levensduur is. Door de hoeveelheid importen als weegfactor mee te nemen konden we daarna de gemiddelde levensduur per MateriaalMonitor groep berekenen. Uitzondering zijn de overige goederen. De gemiddelde levensduren van de producten in deze categorieën, behalve de medische instrumenten en apparaten, zijn geschat in een bijeenkomst van experts van CML, PBL en CBS.

Let op dat in dit rapport goederen behandeld worden met lange levensduren (tot ruim 40 jaar). Doordat de brondata pas vanaf 2007 beschikbaar is en er voor die tijd extrapolaties gebruikt worden, zijn de berekeningen van de uitstroom en de voorraad gebaseerd op de consumptie in veel jaren die geëxtrapoleerd zijn. Dat verhoogd uiteraard de onzekerheid.

Voor de levensduur normaal verdeling functie is vervolgens nog een standaarddeviatie nodig die de spreiding rond het gemiddelde weergeeft. Hier was geen informatie over te vinden. Deze parameter is daarom gevuld met een standaard waarde welke berekend wordt door de gemiddelde levensduur te delen door 2,5. Bij de normaal verdeling wordt verwacht dat 95% van de producten afval wordt tussen de gemiddelde levensduur – 2 x standaarddeviatie en de gemiddelde levensduur + 2 x standaarddeviatie. Wanneer er data beschikbaar komt om de standaarddeviatie op een betere manier te bepalen, kunnen wij deze eenvoudig invoegen.

Onze methodiek van de voorraden berekeningen kijkt naar tijdreeksen op het niveau van de MateriaalMonitor categorieën. Onrealistische uitkomsten worden gedetecteerd en via data correctietechnieken aangepast.

In onze uitkomsten is een deel van de invoer die door huishoudens binnen Europa online zijn aangekocht (bijvoorbeeld Duitse webshops) niet opgenomen, omdat die informatie niet in de Internationale Handel data zit. Dit betreft nu slechts een heel klein deel van de totale invoer, maar voor de toekomst kan dit belangrijker worden. Binnen het CBS is er onderzoek bezig naar het maken van cijfers hierover. Wanneer deze beschikbaar komen, kunnen we die meenemen in vervolgprojecten.

5.3 Resultaten

Zoals in het vorige hoofdstuk besproken, is de gemiddelde levensduur van in het verleden op de markt gebrachte producten nodig om de voorraad te bepalen uit de consumptie in het verleden. Deze staan beschreven in paragraaf 3.1. In paragraaf 3.2 staan de voorraad uitkomsten over meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen. In paragraaf 3.3 staan de uitgaande stromen uit de voorraden in 2020.

Om een idee te krijgen van wat voor goederen er in de MateriaalMonitor categorieën zitten staat in de volgende twee tabellen een aantal voorbeelden opgenomen.

Tabel 5.2 - Voorbeelden producten in niet-elektrische kookapparatuur

MM_code	MM Omschrijving	Voorbeelden
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	Niet-elektrische kachels, pannen, ovens en fornuizen

Tabel 5.3 - Voorbeelden producten per groep meubelen

MM_code	MM Omschrijving	Voorbeelden
3100100	Zitmeubelen	Stoelen
3101000	Bedrijfsmeubelen	Bureaus, kasten met deuren, luiken of kleppen
3102000	Keukenmeubelen	Ingerichte keuken units
3103000	Matrassen	Matrassen
3109120	Slaapkamermeubel.	Houten meubelen voor woonkamer en slaapkamer (exclusief stoelen)
3109900	Overige meubelen	Overige meubelen van hout of metaal, bijvoorbeeld tussenwanden in scholen

De groep 3109900 ‘Overige meubelen’ is een restgroep die bestaat uit meubelen van hout of metaal die niet in de andere groepen vallen. Het is moeilijk concrete voorbeelden te vinden. De data laat via gemiddelde gewichten zien dat het type producten dat in deze categorie valt enorm verschilt over de jaren.

Er is ook nog een groep meubeldelen met code ‘3100200’ wat niet is opgenomen in de tabel aangezien dit onderdelen van meubels zijn. Dit zijn onderdelen die horen bij meubels uit de andere categorieën.

Tabel 5.4 - Voorbeelden producten van de medische instrumenten en diverse overige categorieën

MM_code	MM Omschrijving	Voorbeelden
3210000	Sieraden/munten	Juwelen
3220000	Muziekinstrum.	Piano's, gitaren, drums
3230000	Sportartik.&-mater.	Fitness apparatuur, rolschaatsen
3240000	Spel/speelgoed	Flipperkast, computerspellen in speelhallen, knuffels, poppen
3250400	Bril/contactlenzen	Brillen, zonnebrillen, contactlenzen

3250900	Medische instrum/app	Operatietafels, massageapparaten, kunstmatige beademing en infuusapparatuur, apparaten voor het testen van psychologische geschiktheid
3299010	Teken-/schrijfartik.	whiteboards, blackboards, pennen
3299020	Ov.artikelen neg	Tandenborstels, kaarsen, Veiligheidshoofddeksels, Kerstartikelen, paraplu's

5.3.1 Levensduur

De berekende gemiddelde levensduren staan in onderstaande tabellen. De gemiddelde levensduren van de meubelen sluiten ongeveer aan bij de door Van Beijnum (2021) bepaalde levensduren.

Tabel 5.5 – Gemiddelde levensduur niet-elektrische kookapparatuur in jaren

MM Code	MM Omschrijving	Levensduur gemiddeld
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	13,63

Tabel 5.6 – Gemiddelde levensduur groep meubelen in jaren

MM Code	MM Omschrijving	Levensduur gemiddeld
3100100	Zitmeubelen	9,46
3101000	Bedrijfsmeubelen	16,22
3102000	Keukenmeubelen	18,58
3103000	Matrassen	11,87
3109120	Slaapkamermeubel.	16,43
3109900	Overige meubelen	14,22

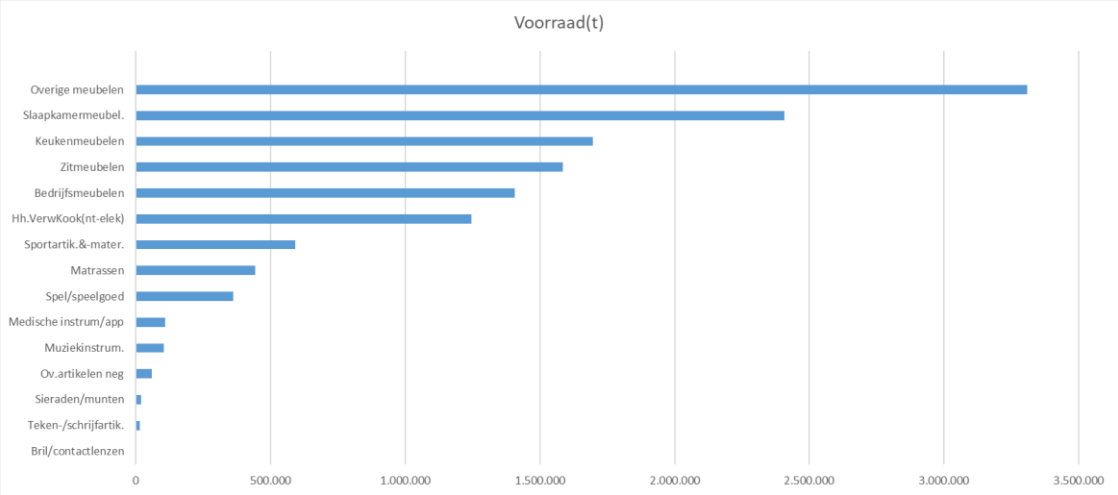
Tabel 5.7 – Gemiddelde levensduur medische instrumenten en diverse overige categorieën in jaren

MM Code	MM Omschrijving	Levensduur gemiddeld
3210000	Sieraden/munten	10,89
3220000	Muziekinstrum.	42,72
3230000	Sportartik.&-mater.	15,21
3240000	Spel/speelgoed	10,44
3250400	Bril/contactlenzen	2,17
3250900	Medische instrum/app	9,49
3299010	Teken-/schrijfartik.	3,91
3299020	Ov.artikelen neg	2,45

5.3.2 Totale voorraden 2020

In dit rapport worden een aantal diverse groepen bekeken. De volgende grafiek laat zien in welke groepen het meeste gewicht aanwezig is.

Figuur 5.1 - Voorraad alle groepen in dit rapport, 2020



Duidelijk is dat de categorie 'overige meubelen' de grootste groep is. Helaas is het type goederen hierin vrij vaag omschreven in de PRODCOM en de Internationale Handel data. De omschrijving is "Overige meubelen van hout of metaal" waarbij het dus gaat om meubelen die niet in één van de andere categorieën pasten.

Niet-elektrische kookapparatuur

De voorraad van de Niet-elektrische kookapparatuur staat in onderstaande tabel. Hierbij is het gewicht in duizenden kilo's (ton) weergegeven.

Tabel 5.8 - Voorraad 3.2.1 Niet-elektrische kookapparatuur in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad (t)	Voorraad (kg per inwoner)	Voorraad hoeveelheid (stuks)	Voorraad (stuks per inwoner)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	1.246.778	72	49.871.109	2,88

Gemiddelde gewichten

De Internationale Handel data bevat voor deze groep data afwisselend supplementaire data in kg en in stuks. Daarom zijn ze niet eenduidig op te tellen. Om toch een indicatie te geven van het aantal stuks (per inwoner) nemen we hier de gemiddelde gewichten mee zoals in onderstaande tabel.

Tabel 5.8 - Gemiddelde gewicht Niet-elektrische kookapparatuur

MM Code	MM Omschrijving	Gemiddeld gewicht (kg)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	25

Sensitiviteitsanalyse en commentaar

In de volgende tabel staat een sensitiviteitsanalyse van de impact van de berekende levensduur op de uitkomsten van de voorraad. Hierbij zijn de uitkomsten ook weergegeven indien de gemiddelde levensduur 30 procent lager en 30 procent hoger zou zijn als berekend. Dit zijn extreme verschillen. In de praktijk zullen slechts weinig werkelijke gemiddelde levensduren buiten dit bereik vallen.

Tabel 5.9 - Sensitiviteitsanalyse effect levensduur op voorraad Niet-elektrische kookapparatuur in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad(t), levensduur -30%	Voorraad(t)	Voorraad(t), levensduur +30%
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	842.467	1.246.778	1.619.916

Meubelen

De voorraad van de diverse groepen meubelen staat in onderstaande tabel. Hierbij is het gewicht in duizenden kilo's (ton) weergegeven, en ter indicatie ook het aantal kilo's per inwoner en de hoeveelheid stuks totaal en per inwoner.

Tabel 5.10 - Voorraad Meubelen in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad (t)	Voorraad (kg per inwoner)	Voorraad hoeveelheid (stuks)	Voorraad (stuks per inwoner)
3100100	Zitmeubelen	1.584.089	92	35.201.973	2,04
3101000	Bedrijfsmeubelen	1.405.794	81	11.246.352	0,65
3102000	Keukenmeubelen	1.697.387	98	48.496.772	2,80
3103000	Matrassen	443.953	26	29.596.861	1,71
3109120	Slaapkamermeubel.	2.408.622	139	120.431.081	6,97
3109900	Overige meubelen	3.309.819	191	132.392.758	7,66
Totaal		**10.849.663**	**628**	**377.365.797**	**21,83**

Gemiddelde gewichten

De Internationale Handel data bevat voor de meubelen alleen gegevens in gewicht. Aantallen staan er niet in. Om toch een indicatie te geven van het aantal stuks per inwoner nemen we hier de gewichten mee zoals in onderstaande tabel. Deze getallen zijn gevonden door te kijken naar gemiddelde gewichten van geproduceerde eenheden (PRODCOM statistiek) en naar online winkels. Producten die geïmporteerd worden kunnen anders van eigenschappen zijn als die in Nederland geproduceerd worden. Het is daarom alleen een grove indicatie.

Tabel 5.11 - Gemiddelde gewichten Meubelen

MM Code	MM Omschrijving	Gemiddeld gewicht (kg)
3100100	Zitmeubelen	45
3101000	Bedrijfsmeubelen	50
3102000	Keukenmeubelen	35
3103000	Matrassen	15
3109120	Slaapkamermeubel.	20
3109900	Overige meubelen	25

Sensitiviteitsanalyse en commentaar

Meubelen komen we overal tegen. In woningen en kantoren maar ook in bijvoorbeeld ziekenhuizen, stadions en hotels. Dus bij het aantal per inwoner moet daar ook aan gedacht worden.

Bedrijfsmeubelen

De groep genaamd ‘bedrijfsmeubelen’ bestaat uit onder andere bureaus en kasten met deuren en vinden we naast in bedrijven ook op vele andere plekken. In de tabel is de voorraad in stuks per inwoner opgenomen. Er waren in 2020 1,9 miljoen bedrijven (CBS, 2021a). Uitgedrukt in voorraad in stuks per bedrijf komt het dan uit op 6 stuks.

Overige meubelen

De groep 3109900 ‘Overige meubelen’ is een restgroep die bestaat uit meubelen van hout of metaal die niet in de andere groepen vallen. Een voorbeeld is tussenwanden in scholen. Voor de voorraadberekeningen van deze groep is alleen data vanaf 2012 gebruikt waarbij eerdere data is geëxtrapoleerd aan de hand van de koopkracht ontwikkeling. De brondata in gewichten van de eerdere jaren was onrealistisch hoog. Verder was nog een correctie nodig doordat een bedrijf met veel productie van SBI code was gewisseld, waardoor de producten bij een andere PRODCOM code werden ingedeeld.

Meubeldelen

De groep 'Meubeldelen' - welke niet in de tabel staat omdat het onderdelen van producten omvat - moet voor ongeveer 1200 Kton in de voorraad aanwezig zijn. Dit is niet precies, want de levensduur van de meubelen waarvoor ze gebruikt worden heeft invloed op de berekening terwijl we die niet weten. Berekening is nu uitgevoerd met een gemiddelde levensduur van ongeveer 10 jaar. Maar het geeft wel aan dat het om een grote hoeveelheid gaat.

Sensitiviteitsanalyse

In de volgende tabel staat een sensitiviteitsanalyse van de impact van de berekende levensduur op de uitkomsten van de voorraad. Hierbij zijn de uitkomsten ook weergegeven indien de gemiddelde levensduur 30 procent lager en 30 procent hoger zou zijn als berekend. Dit zijn extreme verschillen. In de praktijk zullen slechts weinig werkelijke gemiddelde levensduren buiten dit bereik vallen.

Tabel 5.12 - Sensitiviteitsanalyse effect levensduur op voorraad Meubelen in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad(t), levensduur - 30%	Voorraad(t)	Voorraad(t), levensduur + 30%
3100100	Zitmeubelen	1.143.641	1.584.089	2.017.399
3101000	Bedrijfsmeubelen	974.483	1.405.794	1.804.098
3102000	Keukenmeubelen	1.136.965	1.697.387	2.264.946
3103000	Matrassen	323.441	443.953	582.476
3109120	Slaapkamermeubel.	1.680.797	2.408.622	3.080.788
3109900	Overige meubelen	2.391.736	3.309.819	4.097.556

Medische instrumenten en diverse overige categorieën

Deze groep bevat vele diverse soorten producten. In onderstaande tabel staat de voorraad in tonnen. Hierbij is het gewicht in duizenden kilo's (ton) weergegeven, en ter indicatie ook het aantal kilo's per inwoner en de hoeveelheid stuks totaal en per inwoner.

Tabel 5.13 - Voorraad medische instrumenten en diverse overige categorieën in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad (t)	Voorraad (kg per inwoner)	Voorraad hoeveelheid (stuks)	Voorraad (stuks per inwoner)
3210000	Sieraden/munten	18.533	1	185.333.501	10,72
3220000	Muziekinstrum.	103.575	6	10.357.474	0,60
3230000	Sportartik.&-mater.	592.175	34	59.217.463	3,42
3240000	Spel/speelgoed	361.738	21	180.869.182	10,46
3250400	Bril/contactlenzen	1.948	0	64.927.162	3,76
3250900	Medische instrum/app	108.796	6	271.990.543	15,73

3299010	Teken-/schrijfartik.	14.681	1	5.243.220	0,30
3299020	Ov.artikelen neg	59.415	3	118.830.395	6,87
Totaal		**1.260.861**	**73**	**896.768.940**	**52**

Gemiddelde gewichten

De Internationale Handel data bevat voor de medische instrumenten en apparaten en voor diverse overige categorieën supplementaire data welke afwisselend in stuks en gewicht is uitgedrukt en daarom niet bij elkaar op te tellen is. Om toch een indicatie te geven van het aantal stuks per inwoner nemen we hier de gewichten mee zoals in onderstaande tabel. Deze getallen zijn gevonden door te kijken naar gemiddelde gewichten van geproduceerde eenheden en naar online winkels. Producten die geïmporteerd worden kunnen anders van eigenschappen zijn als die in Nederland geproduceerd worden. Het is daarom alleen een grove indicatie.

Tabel 5.14 - Gemiddelde gewichten Medische instrumenten en diverse overige categorieën

MM Code	MM Omschrijving	Gemiddeld gewicht (kg)
3210000	Sieraden/munten	0,1
3220000	Muziekinstrum.	10
3230000	Sportartik.&-mater.	10
3240000	Spel/speelgoed	2
3250400	Bril/contactlenzen	0,03
3250900	Medische instrum/app	0,4
3299010	Teken-/schrijfartik.	2,8
3299020	Ov.artikelen neg	0,5

Sensitiviteitsanalyse en commentaar

Hierna volgt een sensitiviteitsanalyse van de impact van de berekende levensduur op de uitkomsten van de voorraad op voorraad medische instrumenten en diverse overige categorieën. Hierbij zijn de uitkomsten ook weergegeven indien de gemiddelde levensduur 30 procent lager en 30 procent hoger zou zijn als berekend.

Tabel 5.15 - Sensitiviteitsanalyse effect levensduur op voorraad medische instrumenten en diverse overige categorieën in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Voorraad(t), levensduur -30%	Voorraad(t)	Voorraad(t), levensduur +30%
3210000	Sieraden/munten	11.129	18.533	27.625
3220000	Muziekinstrum.	78.190	103.575	110.971
3230000	Sportartik.&-mater.	429.362	592.175	741.890
3240000	Spel/speelgoed	266.977	361.738	468.035
3250400	Bril/contactlenzen	1.088	1.948	3.006
3250900	Medische instrum/app	87.409	108.796	127.107
3299010	Teken-/schrijfartik.	8.865	14.681	21.359
3299020	Ov.artikelen neg	36.072	59.415	80.199

Spel/speelgoed

Het gaat hier alleen om het niet-elektronische speelgoed. Het elektronische speelgoed is al berekend in het 2020 rapport (van Oorschot et al., 2020) over het verslagjaar 2017. Het ging hier om 6.469 ton aan game consoles en 7.870 ton aan overig elektronisch speelgoed.

5.3.3 In- en uitstromen gerelateerd aan de voorraden in 2020

De hoeveelheden in stuks zijn berekend via dezelfde gemiddelde gewichten als die in de tabellen van de vorige paragraaf staan.

Niet-elektrische kookapparatuur

Instroom
De POM (put-on-market) is de instroom van de voorraad in 2020. De POM van de Niet-elektrische kookapparatuur staat in onderstaande tabel.

Tabel 5.16 - Ingaande voorraad Niet-elektrische kookapparatuur in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Instroom (t)	Instroom (kg per inwoner)	Instroom hoeveelheid (stuks)	Instroom (stuks per inwoner)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	102.222	6	4.088.868	0,24

Uitstroom

De uitstroom van de voorraad in 2020 van de Niet-elektrische kookapparatuur staat in onderstaande tabel.

Tabel 5.17 - Uitgaande voorraad Niet-elektrische kookapparatuur in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Uitstroom (t)	Uitstroom (kg per inwoner)	Uitstroom hoeveelheid (stuks)	Uitstroom (stuks per inwoner)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	130.028	8	5.201.131	0,30

Meubelen

Instroom
De POM van de meubelen staat in onderstaande tabel.

Tabel 5.18 - Ingaande voorraad Meubelen in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Instroom (t)	Instroom (kg per inwoner)	Instroom hoeveelheid (stuks)	Instroom (stuks per inwoner)
3100100	Zitmeubelen	189.401	11	4.208.905	0,24
3101000	Bedrijfsmeubelen	113.371	7	906.965	0,05
3102000	Keukenmeubelen	139.567	8	3.987.638	0,23
3103000	Matrassen	58.483	3	3.898.886	0,23
3109120	Slaapkamermeubel.	147.192	9	7.359.608	0,43
3109900	Overige meubelen	336.347	19	13.453.870	0,78
Totaal		**984.361**	**57**	**33.815.873**	**1,96**

Uitstroom
De uitgaande voorraad in tonnen van de meubelen staat in onderstaande tabel.

Tabel 5.19 - Uitgaande voorraad Meubelen in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Uitstroom (t)	Uitstroom (kg per inwoner)	Uitstroom hoeveelheid (stuks)	Uitstroom (stuks per inwoner)
3100100	Zitmeubelen	188.868	11	4.197.056	0,24
3101000	Bedrijfsmeubelen	118.074	7	944.596	0,05
3102000	Keukenmeubelen	149.048	9	4.258.504	0,25
3103000	Matrassen	47.201	3	3.146.746	0,18
3109120	Slaapkamermeubel.	200.483	12	10.024.160	0,58
3109900	Overige meubelen	271.102	16	10.844.086	0,63

Totaal		**974.776**	**56**	**33.415.148**	**1,93**

Commentaar

Matrassen

Volgens StatLine (CBS, 2021b) is er in 2020 als gemeentelijk afval 15,6 duizend ton aan matrassen opgehaald/ingezameld. De uitkomst van ons model in de tabel hierboven laat 47,2 duizend ton zien. Gemeentelijk afval is alleen (voornamelijk) van huishoudens. Matrassen uit ziekenhuizen en hotels zitten hier niet in. De geschatte 47,2 duizend ton lijkt daarmee wel aannemelijk. Volgens Afval Circulair (Afval Circulair, 2021) worden veel matrassen nog niet gerecycled.

Medische instrumenten en diverse overige categorieën

Instroom

De POM van de medische instrumenten en diverse overige categorieën staat in onderstaande tabel.

Tabel 5.20 - Ingaande voorraad medische instrumenten en diverse overige categorieën in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Instroom (t)	Instroom (kg per inwoner)	Instroom hoeveelheid (stuks)	Instroom (stuks per inwoner)
3210000	Sieraden/munten	1.168	0	11.675.689	0,68
3220000	Muziekinstrum.	3.771	0	377.079	0,02
3230000	Sportartik.&-mater.	58.715	3	5.871.452	0,34
3240000	Spel/speelgoed	44.942	3	22.470.963	1,30
3250400	Bril/contactlenzen	1.002	0	33.394.888	1,93
3250900	Medische instrum/app	21.043	1	52.607.784	3,04
3299010	Teken-/schrijfartik.	2.582	0	922.033	0,05
3299020	Ov.artikelen neg	28.213	2	56.426.542	3,26
Totaal		**161.435**	**9**	**183.746.431**	**10,63**

Uitstroom

De uitgaande voorraad in tonnen van de medische instrumenten en diverse overige categorieën staan in onderstaande tabel.

Tabel 5.21 - Uitgaande voorraad medische instrumenten en diverse overige categorieën in tonnen, 2020

MM Code	MM Omschrijving	Uitstroom (t)	Uitstroom (kg per inwoner)	Uitstroom hoeveelheid (stuks)	Uitstroom (stuks per inwoner)
3210000	Sieraden/munten	3.136	0	31.362.399	1,81

3220000	Muziekinstrum.	1.316	0	131.603	0,01
3230000	Sportartik.&-mater.	49.123	3	4.912.261	0,28
3240000	Spel/speelgoed	39.963	2	19.981.565	1,16
3250400	Bril/contactlenzen	1.514	0	50.477.843	2,92
3250900	Medische instrum/app	8.669	1	21.672.415	1,25
3299010	Teken-/schrijfartik.	5.259	0	1.878.094	0,11
3299020	Ov.artikelen neg	29.483	2	58.966.154	3,41
Totaal		**138.463**	**8**	**189.382.335**	**10,95**

Commentaar

Medische instrumenten

De groep 'Medische instrumenten' is duidelijk groeiende. Deze laat tussen 2012 en 2020 een vervijfvoudiging van de instroom zien. In 2020 is de POM (put-on-market) met 30 procent gestegen ten opzichte van 2019.

Muziekinstrumenten

Er zijn ook veel meer muziekinstrumenten verkocht in 2020. De 3.771 ton is meer dan een verdubbeling vergeleken met 2018. Dit komt overeen met het bericht dat er meer muziekinstrumenten worden verkocht tijdens de lockdowns (NU.nl, 2020).4.5 Conclusies en aanbevelingen

5.5 Conclusies en discussie

In hoofdstuk 0 werden de gemiddelde levensduren van producten uit de productcategorieën meubelen, niet-elektrische kookapparatuur, medische apparaten en een aantal overige groepen gepresenteerd. Op basis van deze cijfers hebben we de hoeveelheden in de voorraden en de hoeveelheden aan in- en uitstromen berekend.

Onze resultaten geven aan dat de uitstroom van de onderzochte productgroepen uit de voorraden in potentie grondstoffen had kunnen leveren voor bijna alle van de in Nederland op de markt gebrachte producten in 2020. Voor niet-elektrische kookapparatuur is de uitstroom 127% van het gewicht van wat er op de markt gebracht is. Voor meubelen is de uitstroom 99% van wat er op de markt is gebracht. De uitstroom van Medische apparatuur is 41% van de instroom en bij de overige categorieën is dit 92%.

Terwijl de urban mine secundair materiaal voor productie kan leveren, is er op dit moment weinig productie in Nederland. In alle in dit rapport onderzochte productgroepen is binnenlandse productie aanwezig, maar in 2020 was het in totaal slechts 17% van de hoeveelheid die is geïmporteerd. Het zal dus ook niet mogelijk zijn deze materiaalkringlopen op nationale schaal volledig te sluiten. Met de huidige verdeling van binnenlandse en buitenlandse productie kan dit alleen globaal gedaan worden.

Alleen in de groep 3100100 – Zitmeubelen vindt het merendeel van de productie in Nederland plaats. En ook hier wordt het aandeel van buitenlandse productie de laatste jaren steeds groter. Daarnaast kan het afhankelijk van het materiaal en productontwerp nog steeds een uitdaging zijn uit de voorraden vrijkomende producten en materialen her te gebruiken. De kwaliteit van de uitgaande stromen is vooraf onbekend en vaak is het moeilijk verschillende materialen die in een product verwerkt zijn weer te scheiden.

De in deze rapportage gepresenteerde hoeveelheden voorraden geven een orde van grote aan. Verdere analyse van de resultaten kan meer inzicht geven in de betrouwbaarheid van de uitkomsten. Bijvoorbeeld door meer literatuur en andere data te vinden die deze resultaten kan bevestigen.

Verder veranderen ook de gemiddelde levensduren van producten over tijd (Bakker et al., 2014). Het zou goed zijn om die uitkomsten na een aantal jaar te evalueren. Nieuwe data over levensduren en hun ontwikkelingen kunnen ook aan de berekeningen gekoppeld worden om de kwaliteit van de uitkomsten te verbeteren.

Bij deze uitkomsten is geen uitsplitsing naar gebruikte materialen gemaakt omdat er op dit moment geen informatie over de afzonderlijke materialen beschikbaar is. Het wordt aanbevolen de berekende voorraden naar materialen uit te splitsen zodra er data over de materiaalsamenstelling van de producten beschikbaar komt.

Meer onderzoek is nodig om het daadwerkelijke potentieel van de voorraden te bepalen. Op dit moment is de kwaliteit van de producten in de voorraden en de moeite die nodig is om de materialen eruit terug te winnen en te hergebruiken nog niet bekend. (Huisman et al., 2017; Nakamura & Halada, 2014; Wallsten et al., 2013)

6 Conclusies, discussie, aanbevelingen

6.1 Conclusies

Voor de drie voorraden die we dit jaar bekeken hebben in het kader van dit project – het gassysteem, de spoorinfrastructuur en consumentenproducten – kan een zelfde conclusie worden getrokken als die uit het 2019 en 2020 onderzoek: we zijn erin geslaagd tot een redelijke eerste schatting te komen van de aard en omvang. Voor het gassysteem hebben we gebruik gemaakt van GIS data en van gegevens van de netbeheerders over omvang en samenstelling van de leidingen, aangevuld door data uit de literatuur en de LCA database Ecoinvent. Ook voor het railsysteem is gebruik gemaakt van GIS data, en van gegevens van de beheerders, ProRail maar ook de lokale vervoerders voor tram en metro. Voor de grotere structuren en systemen (gas, trein, maar ook elektriciteit en gebouwen) zijn veel geografische gegevens aanwezig over omvang, aantal, locatie en type. De materialensamenstelling is wat lastiger te vinden maar een redelijke schatting kon zeker gemaakt worden.

De kwantificering van de consumentenproducten zijn gebaseerd op statistieken verzameld door CBS, en geven een goed beeld van de voorraden op productniveau. Data over de materialensamenstelling van deze producten zijn niet verzameld. Waar voor elektronica gesteund kon worden op de in het ProSUM project verzamelde data, is dat niet mogelijk voor deze diverse groep producten.

De in dit onderzoek gemaakte kwantificering betreft een eerste inschatting. Op den duur is het belangrijk nauwkeuriger cijfers te genereren om een preciezer beeld te creëren van de bruikbaarheid van deze stedelijke mijn. In 6.2 wordt ingegaan op de onzekerheden, haken en ogen van deze exercitie en wordt een interpretatie van de resultaten toegevoegd. In 6.3 worden aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

Dit onderzoek naar voorraden is een eerste stap naar het in kaart brengen van de mogelijkheden om Nederlandse economie te transformeren naar een circulaire economie. Deze voorraden zijn als het ware de grondstof voor een circulaire economie. Vervolgvragen zijn gerelateerd aan

(1) De dynamiek van deze mijn, die totaal anders is als die van geologische mijnen
(2) De bruikbaarheid van de producten en materialen die uit deze mijn komen
(3) De voorwaarden waaronder deze geëxploiteerd kunnen worden in termen van infrastructuur, technologieën en verdienmodellen.

Vraag (1) is nu geland in een apart traject, waarin de ontwikkeling van de urban mine met in- en uitstromen wordt geplaatst in het kader van scenario-studies. In 2020 is gekeken naar de dynamiek van het elektriciteitssysteem en de in- en uitstromen van materialen (vraag en afdanking) onder verschillende scenario's tot 2050. In 2021 worden scenario's voor gebouwen ontwikkeld samen met PBL

en Metabolic, die ruimtelijk specifiek zijn en verschillende ontwikkelingsrichtingen voor de gebouwde omgeving beschrijven (van Oorschot et al., in prep.)

In de rapportage van van Oorschot et al. (2021) wordt ook enige aandacht besteed aan vraag (2) voor de afgedankte elementen van het elektriciteitssysteem. Dit blijkt een lastig en specialistisch onderwerp te zijn, waar product- en materiaalontwerpers een belangrijke rol te spelen hebben. Met name de lange levensduur van deze elementen speelt een rol: als deze producten afgedankt worden, zijn ze niet meer herbruikbaar omdat ze verouderd zijn, en heeft hoogwaardige recycling geen zin meer omdat ook de materialen verouderd zijn. Recycling “op de grote hoop” lijkt dan het beste alternatief te zijn. Dit vestigt nogmaals de aandacht op het belang van de inventarisatie van de *urban mine*, met name voor deze langlevende toepassingen. Het gaat er niet alleen om, het ontwerp van nieuwe systemen goed te krijgen. Het gaat er ook om, zo goed mogelijk om te gaan met wat er uit de oude systemen beschikbaar komt. Verwerkingsmethoden zullen (hopelijk) echt verschillend zijn voor oude en nieuwe systemen.

Voorraden in de maatschappij verdienen daarom een centrale plaats in een monitorings- en modelleringssysteem ter ondersteuning van een circulaire economie. In inventarisaties tot nu toe worden voorraden onderbelicht. De focus op stromen is logisch vanuit de huidige economische analyses, maar kan beschouwd worden als de uitkomst van een black box. Stromen zijn het resultaat van voorraaddynamiek. Om begrip te krijgen voor het systeem van materialen in de maatschappij is kennis van deze voorraaddynamiek essentieel. Datzelfde geldt daarmee voor het genereren van toekomstscenario’s voor grondstofgebruik. Zonder de dimensie van de voorraaddynamiek is het niet goed mogelijk zulke scenario’s door te rekenen op hun effectiviteit vanuit oogpunt van de circulaire economie.

6.2 Discussie

6.2.1 Discussie: data en onzekerheden

Een eerste constatering is dat het mogelijk bleek een inschatting te maken van de omvang van de drie voorraden waarover gerapporteerd wordt. Op productniveau was dit voor deze specifieke voorraden zelfs mogelijk op basis van standaard verzamelde, goed gedocumenteerde data.

Op materialenniveau is de database een stuk incompleter. Voor consumentenproducten is geen poging gedaan deze te verzamelen. Voor de grotere infrastructuursystemen is dat wel gelukt, met name dankzij de beheerders ervan bij wie die deze informatie aanwezig is. Op den duur is het van belang dat de informatie over productsamenstellingen niet in de keten verloren gaat, en ergens wordt geregistreerd. Een productpaspoort zou daarvoor een goed instrument zijn. In de tussentijd zal met name voor deze consumentenproducten een poging moeten worden gedaan materiaalgehaltes in te schatten, bijvoorbeeld via databases als Ecoinvent. Dan is in elk geval een eerste inschatting mogelijk. Vooral voor kleinere maar belangrijke materialen, zoals kritische materialen, is het belangrijk zicht te houden op de

producten waar ze in terecht komen. Deze materialen raken bij grove schattingen ondergesneeuwd bij de vele tonnen van staal, beton en andere constructiematerialen.

Een ander type data dat schaars is, is data over de levensduur van de toepassingen. In een rechtstreekse voorraad-inventarisatie zijn deze gegevens niet noodzakelijk. Wel is informatie over de levensduur nodig om iets te kunnen zeggen over de toekomstige uitstroom. In een stroom-gebaseerde benadering zoals gehanteerd voor consumentenproducten zijn levensduurgegevens wel essentieel: de voorraad wordt berekend op basis van in- en uitstromen, en deze laatste worden berekend uit de instromen met behulp van een levensduur. Voor consumentenproducten zijn daarom inschattingen gemaakt van de levensduur van de betreffende producten uit die categorieën. Deze benadering is echter lastig toe te passen voor een voorraad als gebouwen. Levensduren zijn zeer variëred en potentieel zeer lang, waardoor tijdreeksen geen soelaas bieden: niet lang genoeg, en geen voldoende indicatie voor een schatting van de levensduur. Dit punt zien we terugkomen in de literatuur. Voor extreem lang levende producten zoals gebouwen, wegen of elektriciteitskabels kan het beter zijn te werken met *obsolescence planning*: een geplande vervanging door de beherende instantie.

6.2.2 Discussie: methode

In het onderzoek zijn twee benaderingen gebruikt om een inschatting te maken van de voorraden in de maatschappij: een benadering gebaseerd op stromen, waarbij de voorraad wordt geschat als de cumulatieve *net-addition-to-stock*, en een rechtstreekse inventarisatie van de voorraad zelf, waarbij geen in- en uitstromen worden bepaald. In principe zijn beide benaderingen correct en zouden idealiter tot dezelfde resultaten moeten leiden. In de praktijk is gebleken dat er toch wel redenen kunnen zijn voor de keuze voor de ene of de andere benadering.

De stroomgebaseerde benadering is het meest nuttig wanneer het gaat om producten waarvoor de handels- en productiestatistieken goed zijn, de afvalstatistieken goed zijn, en de levensduur kort is. In zulke gevallen kan een redelijke schatting gemaakt worden gebaseerd op (openbare en) beschikbare statistieken, en is een aparte arbeidsintensieve voorraadschatting niet nodig.

De rechtstreekse benadering werkt het best voor voorraden met een lange levensduur, en voorraden waarvoor geldt dat de afdanking (en aanvulling) vooral planmatig verloopt. Dit is het geval voor gebouwen en infrastructuur. Data over in- en uitstromen zijn daarmee niet rechtstreeks te relateren aan voorraadgegevens, en daarmee is de stroom-gebaseerde benadering voor dit type voorraden moeilijk toepasbaar.

Het kan interessant zijn om beide benaderingen te checken via de ander. Komen voorraadschattingen die via verschillende routes zijn gemaakt met elkaar overeen? En de in- en uitstroomschattingen? Kan de ene benadering gebruikt worden om de ander aan te vullen of te valideren? In elk geval is een modelmatige (en dus levensduur-gebaseerde) benadering nodig om stromen te specificeren in

toekomstverkenningen, waar uit de aard der zaak geen data over beschikbaar zijn. Informatie over levensduren is ook vanuit dat oogpunt essentieel.

6.2.3 Discussie: voorraden in de maatschappij

Ook voor deze ronde voorraad-inventarisatie bleek het mogelijk een inschatting te maken van de omvang van de voorraden. Op productniveau hebben we ons kunnen baseren op goede bronnen van het Kadaster en het CBS. Deze bronnen worden ook langjarig bijgehouden. Op materiaalniveau is de database veel minder compleet. Hier is meer informatie echt wenselijk (zie Aanbevelingen).

Deze rapportage levert opnieuw enkele puzzelstukjes voor het kwantificeren van de Nederlandse *urban mine*. De grootste voorraad blijft met afstand de gebouwde omgeving. Van de nieuw onderzochte voorraden is de railinfrastructuur de grootste met ruim 70 miljoen ton. Ook deze voorraad bestaat voornamelijk uit constructiemineralen: beton en steen. Consumentenproducten voegen nog eens 13 miljoen ton toe. Het gassysteem is relatief licht – ongeveer 1 miljoen ton. Vermoedelijk is een belangrijke oorzaak hiervan het feit dat het gassysteem voor een groot deel uit kunststof bestaat. Voor staal is de bijdrage van de spoorinfrastructuur ruim 3 miljoen ton, minder dan voertuigen maar meer dan de energiesystemen. Voor aluminium en koper zijn alleen schattingen aanwezig voor het spoorsysteem. De ordegrootte is hetzelfde als die voor elektronica. Kritische materialen zijn in deze ronde niet geïnventariseerd.

Bij het nadenken over de stedelijke mijn en hoe deze het best te gebruiken, moeten we ook beseffen dat de Nederlandse industrie slechts een bescheiden rol speelt bij de productie van de in Nederland gebruikte producten. Zo is voor de groep consumentengoederen geconcludeerd dat maar liefst 83% wordt geïmporteerd. Dat betekent dat de Nederlandse industrie weinig invloed heeft op de aard en samenstelling van de Nederlandse stedelijke mijn. En het betekent ook dat het (her)gebruiken van de Nederlandse stedelijke mijn onherroepelijk zal leiden tot nieuwe industrie in Nederland, met wellicht gevolgen voor importen en exporten.

6.3 Aanbevelingen

Ook de derde fase van het onderzoek naar voorraden is succesvol geweest: we zijn erin geslaagd zinvolle kwantificeringen te maken voor de drie voorraden die in 2020 op het programma stonden: gebouwen, elektronische machines en textiel. Het beeld van de Nederlandse *urban mine* is daarmee weer een stukje completer.

6.3.1 Gebruik voorraad-informatie voor een circulaire economie beleid

Voorraden in de maatschappij zijn de grondstof voor een circulaire economie. In een grondstoffeninformatiesysteem kan informatie over deze voorraden dan ook niet ontbreken.

De omvang van deze voorraden kan als zodanig als indicator gebruikt worden. Een dergelijke indicator geeft de potentie aan voor het terugdringen van de vraag naar primaire grondstoffen.

Voorraden en voorraaddynamiek zijn bepalende factoren voor stromen. Zij zijn tevens de trait-d'union tussen de productie van goederen en diensten, en de productie van afval. Zij vertegenwoordigen het stadium van consumptie in de levenscyclus. Tegelijkertijd maakt de voorraaddynamiek duidelijk dat het bij consumptie niet altijd gaat om de aanschaf van nieuwe producten (de materiaalstromen), maar vaak juist om het gebruik van bestaande, reeds in het verleden aangeschafte producten (de voorraden). Voorraden bepalen stromen, en niet andersom. Op basis van dit inzicht kunnen voorraden op verschillende manieren worden geïntegreerd in toekomstverkenningen.

Bij het genereren van scenario's voor toekomstverkenningen m.b.t. de circulaire economie is het essentieel dat deze voorraaddynamiek in de modellen worden opgenomen. Daartoe zijn zeker aanknopingspunten, die o.i. met name gelegen zijn in de WLO scenario's. Deze scenario's vertalen algemene economische variabelen zoals welvaart en bevolking in functie-gerelateerde variabelen zoals woonoppervlak en transportbehoefte. Deze kunnen vervolgens weer worden vertaald in (stroom- en) voorraadgrootheden op productniveau, zoals woningen en passagiersvoertuigen. En die vervolgens weer in de materialen en grondstoffen die in deze producten zijn toegepast. Een dergelijke opzet maakt het ook mogelijk op al deze punten variaties in te bouwen en door te rekenen op hun effectiviteit. Kleinere auto's? Minder auto's? Andere materialen in de auto's? Langere levensduur van de auto's? Minder export en meer recyclen of (op onderdelen) hergebruiken in eigen land? Een andere *modal split*? Allemaal opties waarvoor een voorraadmodel noodzakelijk is.

Het onderzoek naar voorraden kan ook een verbindende factor worden in het nastreven van coherentie tussen de verschillende bestuurslagen. Het gebruik van GIS-systemen, een veel voorkomende tool met name op lokaal niveau, maakt het mogelijk voorraden aan een locatie toe te delen. Intussen zijn alle bouw- en infrastructuur gerelateerde voorraad-inventarisaties geheel GIS-gebaseerd: het elektriciteitssysteem, het gassysteem, de spoorinfrasctructuur, en de gebouwen. Het zou interessant zijn om te onderzoeken hoe ook de mobiele voorraden in een GIS systeem kunnen worden opgenomen. Voor producten als voertuigen is een link te maken via de eigenaars. Consumentproducten kunnen wellicht op basis van huishoudens aan een locatie worden gekoppeld. De gegevensbasis is dan in elk geval op alle schaalniveaus dezelfde, een goed startpunt voor verdere beleidsvorming. Provinciale en gemeentelijke overheden kunnen op hun eigen schaalniveau aanvullingen of nadere specificaties toevoegen.

6.3.2 Uitbreiding inventarisatie

Uitbreiding scope aan voorraden

In totaal zijn er nu negen voorraden geïnventariseerd: in 2019 het elektriciteitssysteem, voertuigen en elektronica, in 2020 gebouwen, elektronische machines en textiel, in dit jaar het gassysteem, de spoorweginfrastructuur, en de grote en diverse groep van consumentenproducten. Het overzicht is daarmee nog steeds niet compleet.

Wellicht de grootste nog niet geïnventariseerde voorraad betreft de transportinfrastructuur – wegen, bruggen, tunnels. Deze voorraad zal met name uit zand, beton en asfalt en staal bestaan, met wat koper, zink en aluminium als het wegenmeubilair wordt meegenomen. Een interessant aspect van deze voorraad is dat het momenteel een *sink* vormt voor grote hoeveelheden bouw- en sloopafval.

In de grote categorie infrastructuur kan het ook interessant zijn de water-infrastructuur (drinkwatervoorziening incl. leidingen, en het rioolsysteem) in kaart te brengen. Daarnaast kan de informatie-infrastructuur in de vorm van servers, datastations en kabels relevant zijn. Hieraan is bij ons weten nog nooit systematisch aandacht gegeven.

Hibernating stocks tenslotte is een voorraad die zich kenmerkt door onzichtbaarheid. Uit het 2019 kwam naar voren dat een grote *hibernating stock* van koper en aluminium onder de grond ligt, in de vorm van elektriciteitskabels en –leidingen. Voor gebouwen lijkt de *hibernating stock* beperkt te zijn. Voor de gasinfrastructuur is het ons niet gelukt daarvan een beeld te vormen.

Uit het onderzoek van de afgelopen drie jaar is gebleken dat op productniveau het vrij aardig lukt een beeld te krijgen van de voorraden. Dat ligt een stuk lastiger voor het materiaalniveau, de link naar de grondstoffen.

Aandacht voor in- en uitstromen

Uiteindelijk zijn het niet de voorraden zelf, maar de uitstroom daaruit die rechtstreeks van belang is: de grondstof voor een circulaire economie. In dit onderzoek zijn in- en uitstromen gespecificeerd voor consumentenproducten, omdat deze inventarisatie via een stroom-gebaseerde methode tot stand is gebracht. Voor het elektriciteitssysteem is een aparte rapportage gewijd aan in- en uitstromen in verschillende scenario's tot 2050 (van Oorschot et al., 2021). Dit jaar is dat ook gedaan voor gebouwen in een samenwerking tussen PBL, CML en Metabolic (van Oorschot et al., in prep.).

Vervolgens is het nodig om inzicht te krijgen in de huidige bestemming van deze uitstromen. Hoeveel daarvan wordt nu al op een of andere wijze opnieuw ingezet? Valt dat percentage nog omhoog te krijgen? Waar ligt het knelpunt hierbij? Is dat de inzameling, is het de samenstelling van de afvalberg, is het de (on)mogelijkheid van scheiding van afvalstromen?

Of zijn er aanzienlijke stromen van afval, of tweedehands producten, naar het buitenland zodat Nederland de greep op de afvalverwerking verliest? Het lijkt erop dat dit het geval is, voor verschillende typen voertuigen en ook voor elektronica. Hieraan is in een aparte rapportage aandacht besteed (Tunn & Delahaye, 2020).

Voor importen geldt hetzelfde. Dit jaar is geconstateerd dat voor consumentenproducten slechts 17% in Nederland wordt geproduceerd, de overige 83% wordt geïmporteerd. Dat betekent dat de materialen die uit de urban mine beschikbaar komen in Nederland hun bestemming vermoedelijk niet in Nederland zullen vinden. *Urban mining* is een activiteit die zich niet per se aan landsgrenzen zou hoeven houden: als in het buitenland recycling of andere vormen van opwerking plaatsvinden is het óók goed. Wel liggen hier kansen voor een nieuwe sector van de Nederlandse industrie, die op dit moment in ieder geval niet benut worden. Hierin zou via een circulaire economie beleid belangrijke veranderingen kunnen worden aangebracht.

Een verder punt is de complexe samenstelling van de afvalstroom, zelfs al wordt deze gescheiden ingezameld. Producten kunnen beter ontworpen worden vanuit oogpunt van circulariteit. *Design for robustness* om de levensduur te verlengen, of *design voor disassembly* om hergebruik van onderdelen of recycling van materialen beter mogelijk te maken. Het materiaalontwerp zelf verdient ook aandacht. Er zijn duizenden soorten staal met verschillende eigenschappen en samenstellingen. Die allemaal samen recyclen leidt tot kwaliteitsverlies en zorgt ervoor dat primaire productie noodzakelijk blijft. Een inventarisatie naar de kwaliteit van de uitstroom en de mogelijkheden deze te verbeteren door een beter ontwerp van producten en materialen is essentieel, en zou prioriteit moeten krijgen.

In de Materiaalmonitor wordt op geaggregeerd productniveau de toevoeging en onttrekking aan de voorraden al meegenomen. Door het toevoegen van voorraadgegevens aan de Materiaalmonitor worden de materiaalstromen van, naar en binnen de Nederlandse economie op macro-niveau gepresenteerd naast de daadwerkelijk stock. Dit plaatst de voorraden, en de potentie om daar materialen uit te halen, in het perspectief met de import, export en de verwerking van materialen in Nederland. Het raamwerk van de Materiaalmonitor biedt ook de mogelijkheid om een koppeling te maken in het GRIS tussen de voorraden en ander onderzoek dat in het kader van het werkprogramma wordt uitgevoerd, zoals het onderzoek naar onze afhankelijkheid van import van kritische materialen, of de milieu-impact gerelateerd aan het Nederlandse grondstofgebruik.

Aandacht voor verwerkingsmogelijkheden van de uitstroom uit de urban mine

Of goed gebruik gemaakt kan worden van de materialen die uit de *urban mine* beschikbaar komen, hangt in hoge mate af van de verwerkingsmogelijkheden die er zijn. Het gaat daarbij om recycling van materialen, maar ook om hergebruik van producten, van refurbishing en remanufacturing, en van levensduurverlenging middels reparatie of middels een ander afdankgedrag bij consumenten en bedrijven. Deze circulaire sector staat nog in de kinderschoenen en is versnipperd. Er zijn technologische aspecten, die te maken hebben met scheiding en terugwinning van materialen, en met het ontwerp van producten en materialen. Er zijn organisatorische aspecten, die te maken hebben met logistiek. Er zijn economische aspecten, die te maken hebben met markten voor tweedehands producten en materialen. Er zijn sociale aspecten, die te maken hebben met gedrag, acceptatie en veiligheid. En tenslotte zijn er

milieu-aspecten, die te maken hebben met emissies uit vervoers- dismantling- en recycling processen die nodig zijn voor het opnieuw op de markt zetten van deze producten en materialen.

Na drie jaar voorraadonderzoek kunnen we wel concluderen dat we bij langlevende en sterk veranderende voorraden, zoals die in het elektriciteit- en warmtesysteem, te maken hebben (of krijgen) met het feit dat wat er uit oude toepassingen beschikbaar komt irrelevant is geworden voor gebruik binnen dezelfde toepassingen. Hergebruik en andere re-opties op productniveau zijn daarmee niet langer mogelijk. Recycling van de materialen is daarmee de enige relevante optie geworden.

6.3.3 Data en onzekerheden

Uit dit onderzoek is gebleken dat drie grote brokken informatie nodig zijn, namelijk (1) hoeveelheid producten, (2) materiaalsamenstelling van deze producten, en (3) levensduren. Van deze drie bleek ook dit jaar weer de eerste het best beschikbaar.

Voor de levensduren bleek de staat van informatie het slechtst. De in de literatuur gevonden waarden berusten bijna allemaal op aannames, er is weinig empirisch onderzoek gedaan. Vaak wordt gewerkt met een levensduurdistributie, om recht te doen aan het verschijnsel dat een type product korter of langer kan meegaan. De parameters van deze distributie zijn ook dikwijls niet op empirische bevindingen gestoeld, maar op aannames. Het onderzoek van dit jaar heeft levensduurschattingen geleverd voor consumentenproducten, een waardevolle aanvulling op de schaarse database.

Voor zeer lang levende producten, zoals gebouwen, gasleidingen of elektriciteitskabels, is ook nauwelijks te spreken van een levensduur. Hier is eerder *obsolescence planning* van belang. Wanneer wordt een stuk spoorweg vervangen? Wanneer een huis afgebroken? Wanneer een pijpleiding afgedankt? Gewoonlijk zijn deze toepassingen niet kapot of op, maar voldoen ze niet meer aan moderne eisen en worden volgens een planning vervangen.

De onzekerheden in de voorradeninventarisatie zijn dus groot. Aan voldoende data voor een nette onzekerheidsanalyse om een bepaalde bandbreedte aan resultaten aan te geven ontbreekt het eigenlijk ook. Wat wel kan, is een gevoeligheidsanalyse voor bepaalde aannames. Die kunnen dan op hun beurt gecheckt worden aan andere wel beschikbare gegevens, bijvoorbeeld stroomgegevens over bepaalde materialen. Voor toekomstverkenningen komt daar nog eens bij dat de toekomst inherent onzeker is. Het doorrekenen van verschillende scenario's kan inzicht bieden in de bandbreedte van de resultaten. Dit is in Van Oorschot et al. (2020c) ook gedaan.

Langzamerhand groeit het beeld van de Nederlandse urban mine als een belangrijke bron van materialen en producten voor de circulaire economie. Het is van belang dat dit onderzoek niet op zichzelf blijft staan maar geïntegreerd wordt in het grotere beeld: wat willen we als Nederland èn wat kunnen we om de beleidsdoelstellingen te realiseren?

7 Referenties

Afval Circulair(2021), Matrassen, [Online] Zoals gevonden op https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalstromen-ketens/matrassen/ [28/10/2021].

Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., Den Hollander, M. (2014). Products that go round: Exploring product life extension through design. Journal of Cleaner Production, 69, 10-16.

Beijnum, B. van (2021), The cost of comfort: waking up to furniture waste: Researching material use in European household furniture using dynamic stock analysis. MSc thesis Leiden/Delft Master Industrial Ecology

CBS (2021a), Aantal bedrijven per bedrijfstak, [Online] Zoals gevonden op https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/81589NED/table?dl=58BE1 [28/10/2021].

CBS (2021b), Gemeentelijke afvalstoffen; matrassen. Zoals gevonden op https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83558NED/table?dl=5871F [28/10/2021].

CBS. 2009. Netherlands has busiest railway network in the EU. Webpagina. CBS Statistics Netherlands. February 26. https://www.cbs.nl/en-gb/news/2009/09/netherlands-has-busiest-railway-network-in-the-eu. Geraadpleegd op 23 september 2020.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2020). *Voorraden in de maatschappij grondstoffenbasis voor een circulaire economie* [Webpagina]. Centraal Bureau voor de Statistiek. https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2021/03/voorraden-in-de-maatschappij-grondstoffenbasis-voor-een-circulaire-economie

Compendium voor de Leefomgeving. (2020). *Woningen in buisleidingstroken, 2000-2019 |*. https://www.clo.nl/indicatoren/nl2136-hoofdnetwerk-buisleidingen

Gassner, A., J. Lederer, and J. Fellner. 2020. Material stock development of the transport sector in the city of Vienna. Journal of Industrial Ecology: jiec.13024.

Havik, M. 2020. Ketenanalyse Hergebruik Betonnen dwarsliggers. De Duurzame Adviseurs, March 24. https://www.voestalpine.com/railpro/static/sites/railpro/.downloads/nl/co2_documente n/Ketenanalyse-dwarsliggers-voestalpine-Railpro-4.A.1-2020.pdf. Accessed April 2, 2021.

Huisman, J., Leroy, P., Tertre, F., Söderman, M.L., Chancerel, P., Cassard, D., Løvik, A.N., Wäger, P., Kushnir, D., Rotter, S. and Mählitz, P. (2017), Prospecting secondary raw materials in the urban mine and mining wastes.

Internationaal Energieagentschap. 2019. Material efficiency in clean energy transitions. OECD, April 11. https://www.oecd-ilibrary.org/energy/material-efficiency-in-clean-energy-transitions_ aeaaccd8-en. Accessed April 13, 2021.

Kiani, M., Parry, T., & Ceney, H. 2008. Environmental life-cycle assessment of railway track beds. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability 161(2): 135-142.

Lederer, J., F. Kleemann, M. Ossberger, H. Rechberger, and J. Fellner. 2016. Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits: The Case Study of Vienna's Subway Network. Journal of Industrial Ecology 20(6): 1320–1333.

Milford, R.L., S. Pauliuk, J.M. Allwood, and D.B. Müller. 2013. The Roles of Energy and Material Efficiency in Meeting Steel Industry CO2 Targets. Environmental Science & Technology 47(7): 3455–3462.

Nakamura, T. and Halada, K. (2015), Potential of Urban Mine. In Urban Mining Systems (pp. 7-29). Springer, Tokyo.

Netbeheer Nederland. (2018). *Toekomstbestendige gasdistributienetten*. https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributienetten_133.pdf

Netbeheer Nederland. (2020). *Energie in Cijfers | Hoofdstuk 1: Kerngegevens energienetten*. https://energiecijfers.info/hoofdstuk-1/

Netbeheer Nederland. (2021). *Grijs gietijzeren gasleidingen onder de loep—Netbeheer Nederland*. https://www.netbeheernederland.nlnieuws/grijs-gietijzeren-gasleidingen-onder-de-loep-1291

NU.nl (2020), Lockdowns maken de muzikant in ons los: instrumentenverkoop door het dak, [Online] Zoals gevonden op https://www.nu.nl/economie/6092995/lockdowns-maken-de-muzikant-in-ons-los-instrumentenverkoop-door-het-dak.html [28/10/2021].

Oorschot, J. van, B. Roelofs, J. van der Horst & E. van der Voet (2021). Dynamiek van de voorraden in het elektriciteitssysteem: scenario's voor in- en uitstromen tot 2050. CML Universiteit Leiden.

Oorschot, J. van, E. van der Voet, V. van Straalen, V.S.C. Tunn & R. Delahaye (2021). Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie deel II, CML / CBS.

Oorschot, J. van, J. van der Zaag, E. van der Voet, V. van Straalen & R. Delahaye (2020). Voorraden in de maatschappij; de grondstoffenbasis voor een circulaire economie. Geraadpleegd van: https://www.universiteitleiden.nl/nieuws/2020/01/de-stad-als-urban-mine

Oorschot, J. van et al. (in prep.)

PBL. (2021, January 19). *Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER)*. PBL Planbureau voor de Leefomgeving. https://www.pbl.nl/monitoring-circulaire-economie/icer

Pieters, L.I., 2021. Towards a Circular Economy: Material Changes in the Dutch Railway Infrastructure until 2050. MSc thesis Leiden/Delft Mater Industrial Ecology, defended spring 2021.

Quik, J.T.K., E. Dekker, and M. Montforts. 2020. Safety and sustainability analysis of railway sleeper alternatives : Application of the Safe and Sustainable Material Loops framework. Rapport. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, September 7. https://rivm.openrepository.com/handle/10029/624353. Geraadpleegd op 3 februari 2021.

Schmied, M., M. Mottschall, and A. Löchter. 2013. Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland. Berlin: Öko-Institut - Institute for Applied Ecology. https://www.oeko.de/oekodoc/1852/2013-520-de.pdf. Geraadpleegd op 4 december 2020.

Wagner, M.A., J. Huisman, A.N. Løvik, H. Habib, P. Mählitz, E. van der Voet (2021). Methodology to Prospect Electronics Compositions and Flows, illustrated by material trends in Printed Circuit Boards. Journal of Cleaner Production S0959-6526(21)01383-4, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127164

Wallsten, B., Carlsson, A., Frändegård, P., Krook, J. and Svanström, S. (2013), To prospect an urban mine–assessing the metal recovery potential of infrastructure “cold spots” in Norrköping, Sweden. Journal of Cleaner Production, 55, pp.103-111.

Walraven. (2020). *Buisafmetingen en -gewichten*. Walraven Nederland.

Weening, M. and G.-J. Vroege. 2019. Ongetoetst LCA rapport voor Ballast: Opgesteld door SGS Search Consultancy in opdracht van ProRail.

Wiedenhofer, D., J.K. Steinberger, N. Eisenmenger, and W. Haas. 2015. Maintenance and Expansion: Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25. Journal of Industrial Ecology 19(4): 538–551.

Yang, S. and Y. Lim. 2018. Mechanical strength and drying shrinkage properties of RCA concretes produced from old railway concrete sleepers using by a modified EMV method. Construction and Building Materials 185: 499–507

Bijlagen

Bijlage A ProSUM urban mining methode

In het ProSUM project wordt gebruik gemaakt van een classificatiesysteem ontwikkeld aan de United Nations University, genaamd UNU keys. Dit systeem sluit aan op de classificaties van de nationale handels- en productiestatistieken, maar onderscheidt vijf hiërarchische niveaus (Wagner et al., 2021):

- Flow
- Product
- Component
- Material
- Element

Een Flow is in deze classificatie het totaal aan producten dat in een jaar op de markt wordt gebracht (POM, Put On Market), in kg product. Een component is een onderdeel van een product dat apart wordt geproduceerd en soms in meerdere producten gebruikt wordt, zoals bijvoorbeeld een weerstand, een capacitator of een printed circuit board. Een material is een legering of composiet, zoals roestvrij staal of messing, dat is opgebouwd uit verschillende elementen.

Dit (bottom-up) classificatiesysteem is bruikbaar voor zowel de rechtstreekse voorraadinventarisatie als de stroomgebaseerde benadering. Deze indeling is ontwikkeld voor de in ProSUM meegenomen producten: elektronica, batterijen en personenauto's. Voor andere typen voorraden zoals gebouwen of infrastructuur voldoet deze mogelijk niet geheel en zijn aanpassingen nodig.

In dit project worden beide benaderingen gebruikt: de stroom-gebaseerde benadering in de elektronica-case study en de rechtstreekse voorraad-inventarisatie in de case study over het elektriciteitssysteem. In de toegevoegde case study over voertuigen worden beide benaderingen geïntegreerd: er wordt zowel van voorraad-informatie als van stroom-informatie gebruik gemaakt. Dit is mogelijk vanwege de over het algemeen goede gegevensbeschikbaarheid van zowel voorraden als stromen. Op die manier onststaat een beeld van de voor- en nadelen van beide benaderingen en kan wellicht meer gezegd worden over de toepasbaarheid van beide. In de discussie komen we hierop terug.

Van de UNU key classificatie wordt vooralsnog geen gebruik gemaakt. Hoewel interessant, zou het voor het doel van dit project te ver voeren te proberen deze classificatie ook op andere productgroepen toe te passen. Voor de langere termijn is dit wel een interessant pad om te bewandelen.

Bijlage B. Data gebruikt voor de omrekening van de lengte van leidingen naar de hoeveelheid materiaal

Tabel B.1, pijpleiding wanddikte (s) gebruikt voor de berekening van de pijpleiding doorsnede in formule 1 (Walraven, 2020):

Stalen buis (naadloos)				Gewicht			L
D			s	leeg	gevuld	geïsoleerd	(max.)*
(mm)	(")	(DN)	(mm)	(kg / m)	(kg / m)	(kg / m)	m
10,2	1/8	6	1,6	0,34	0,38	0,53	1,25
13,5	1/4	8	1,8	0,52	0,60	0,77	1,50
17,2	3/8	10	1,8	0,68	0,83	1,02	2,25
21,3	1/2	15	2,0	0,96	1,19	1,40	2,75
26,9	3/4	20	2,3	1,40	1,79	2,22	3,00
33,7	1	25	2,6	1,99	2,63	3,12	3,50
42,4	1 1/4	32	2,6	2,55	3,64	4,39	3,75
48,3	1 1/2	40	2,6	2,93	4,39	5,39	4,25
60,3	2	50	2,9	4,11	6,44	8,03	4,75
76,1	2 1/2	65	2,9	5,24	9,12	11,70	5,50
88,9	3	80	3,2	6,76	12,10	15,72	6,00
114,3	4	100	3,6	9,83	18,83	24,25	6,00
139,7	5	125	4,0	13,40	27,02	33,05	6,00
168,3	6	150	4,5	18,20	38,37	43,66	6,00
219,1	8	200	6,3	33,10	67,75	72,95	6,00
273,0	10	250	6,3	41,40	96,11	104,15	6,00
323,9	12	300	7,1	55,50	131,57	141,56	6,00
355,6	14	350	8,0	68,60	160,95	170,74	6,00
406,4	16	400	8,8	86,30	207,05	217,91	6,00
457,0	18	450	10,0	110,00	262,67	274,44	6,00
508,0	20	500	11,0	135,00	323,79	335,87	6,00
610,0	24	600	12,5	184,00	457,26	471,16	6,00

Tabel B2 Gegevens over de gasinfrastructuur van het Enexis gasleidingennetwerk:

Materiaal	SPVC	PVC	Staal	PE	Grijs gietijzer	Nodulair gietijzer	Asbest cement	Totaal
Voorraad (ton)	71,759	25,848	132,662	8,352	16,603	9,397	503	256,124
Lengte infrastructuur (km)	23,327	11,097	7,489	6,249	796	359	115	49,431
Lengte percentage	47%	22%	15%	12%	1.6%	0.7%	0.2%	100%
Materiaal dichtheid (ton/km)	3.1	2.3	17.7	1.3	20.9	26.2	4.4	5.4

Tabel B3, kg materiaal benodigd per Nm3 aardgas productie (EcoInvent 3.8):

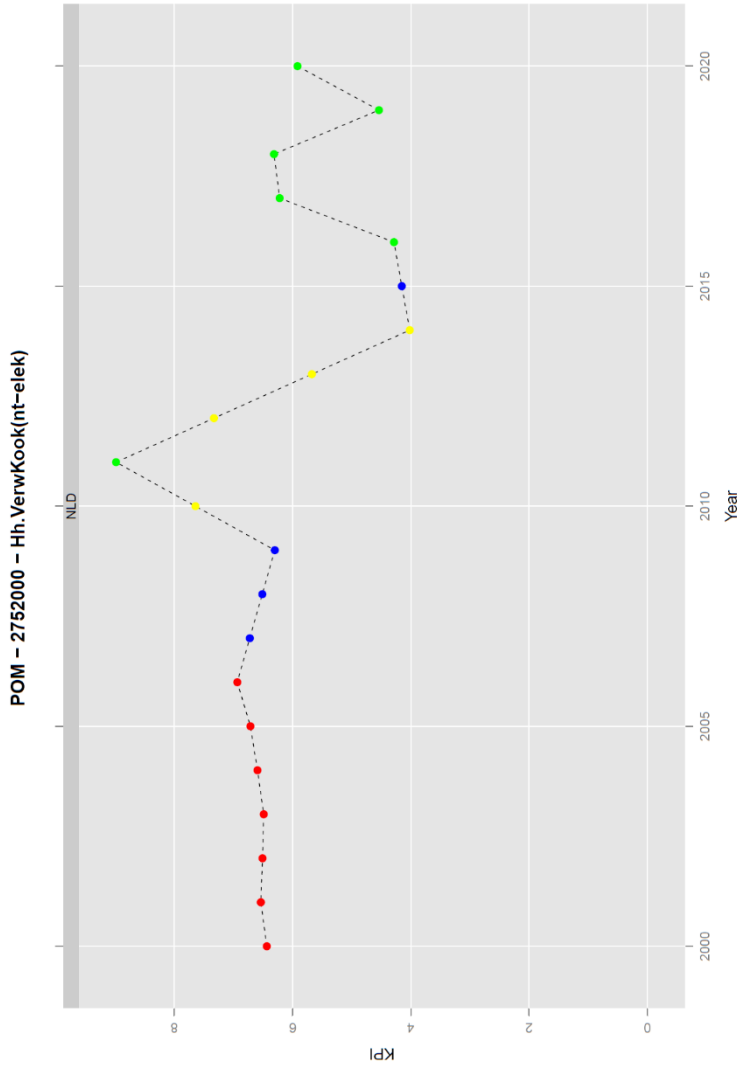
	Staal	Cement	Beton
Onshore aardgaswinningsinstallatie	4.24E-04	4.04E-04	
Pijpleiding infrastructuur om gasveld	1.00E-03		
Aardgasverwerkingsfabriek	2.00E-03		9.29E-04
Totaal:	3.42E-03	4.04E-04	9.29E-04

Met een onshore jaarproductie van 7.77+E09 Nm3 aardgas binnen Nederland voor 2020 zijn de volgende materiaalvoorraden berekend voor aardgaswinnings installaties:

	Staal (ton)	Cement (ton)	Beton (ton)
Totaal:	2.66E+04	3.14E+03	7.22E+03

Bijlage C. Put-on-market data voor enkele consumentenproducten, 2000-2020

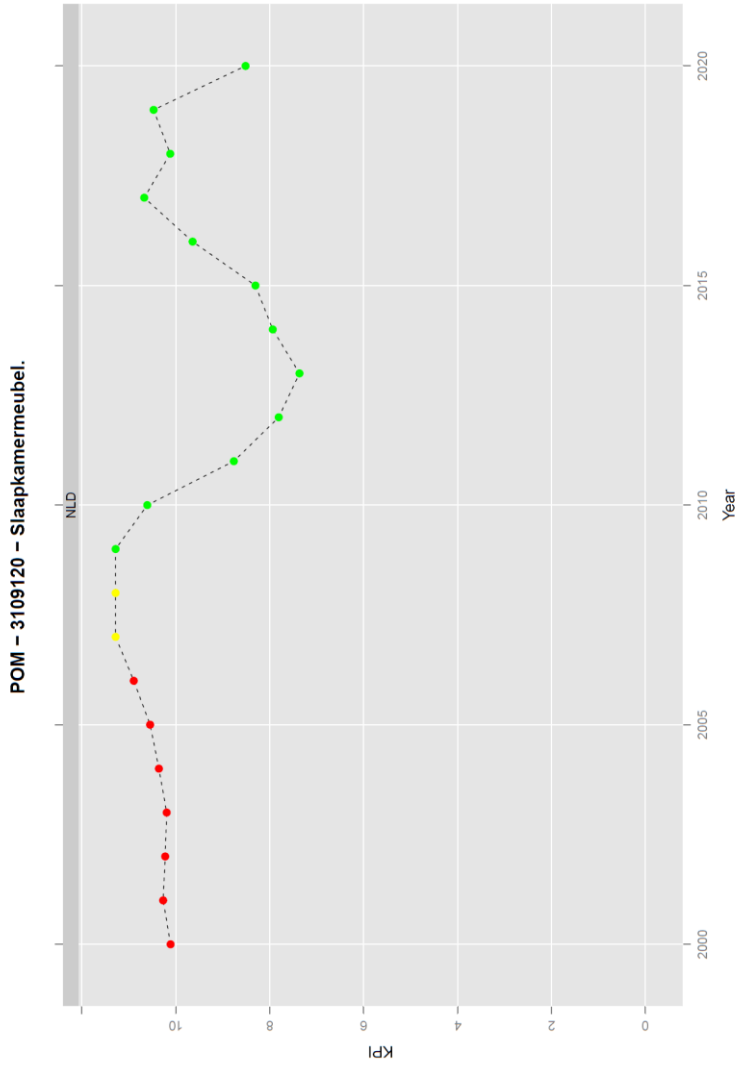
Put-on-market tijdreeks, niet-elektrische kookapparaten



KPI = kilo's er inwoner

Groene bollen komen direct uit de brondata. Rode bollen zijn van jaren waarover geen brondata is. Deze zijn gemaakt door de tijdreeks door te trekken op basis van koopkracht. Gele en blauwe bollen zijn door op diverse manieren aangepaste datapunten. Het kan bijvoorbeeld zijn dat oorspronkelijke data 0 was of juist onrealistisch hoog.

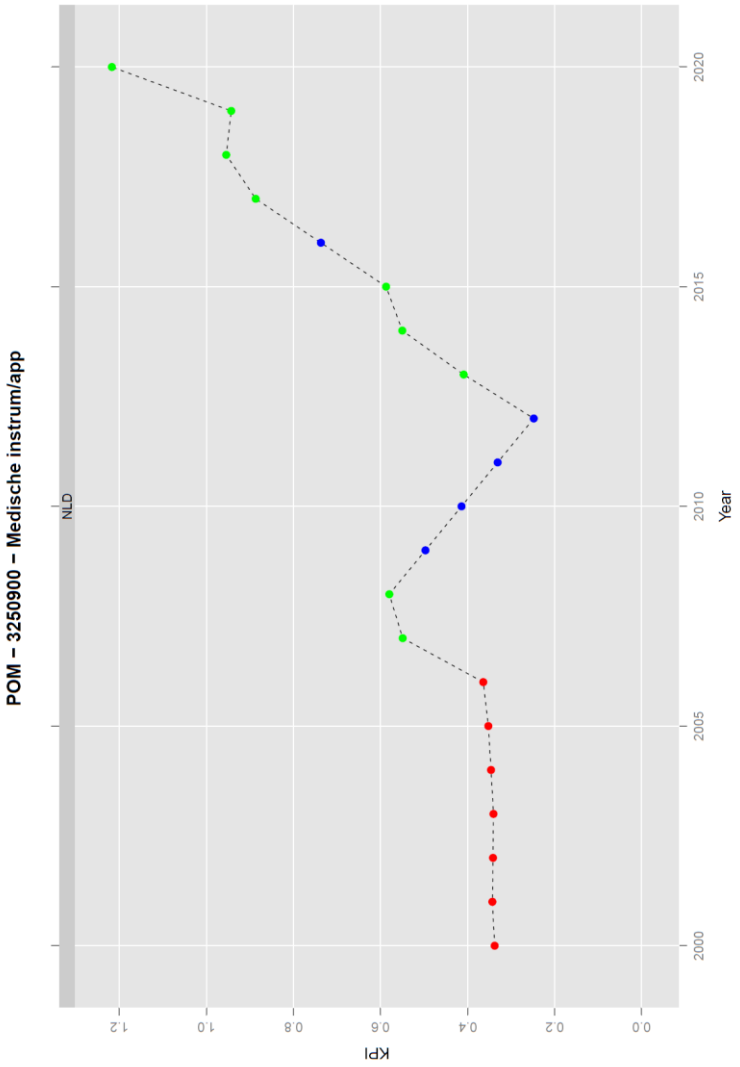
Put-on-market tijdreeks; Slaapkamer meubelen



KPI = kilo's er inwoner

Groene bollen komen direct uit de brondata. Rode bollen zijn van jaren waarover geen brondata is. Deze zijn gemaakt door de tijdreeks door te trekken op basis van koopkracht. Gele bollen zijn aangepaste datapunten. Het kan bijvoorbeeld zijn dat oorspronkelijke data 0 was of juist onrealistisch hoog.

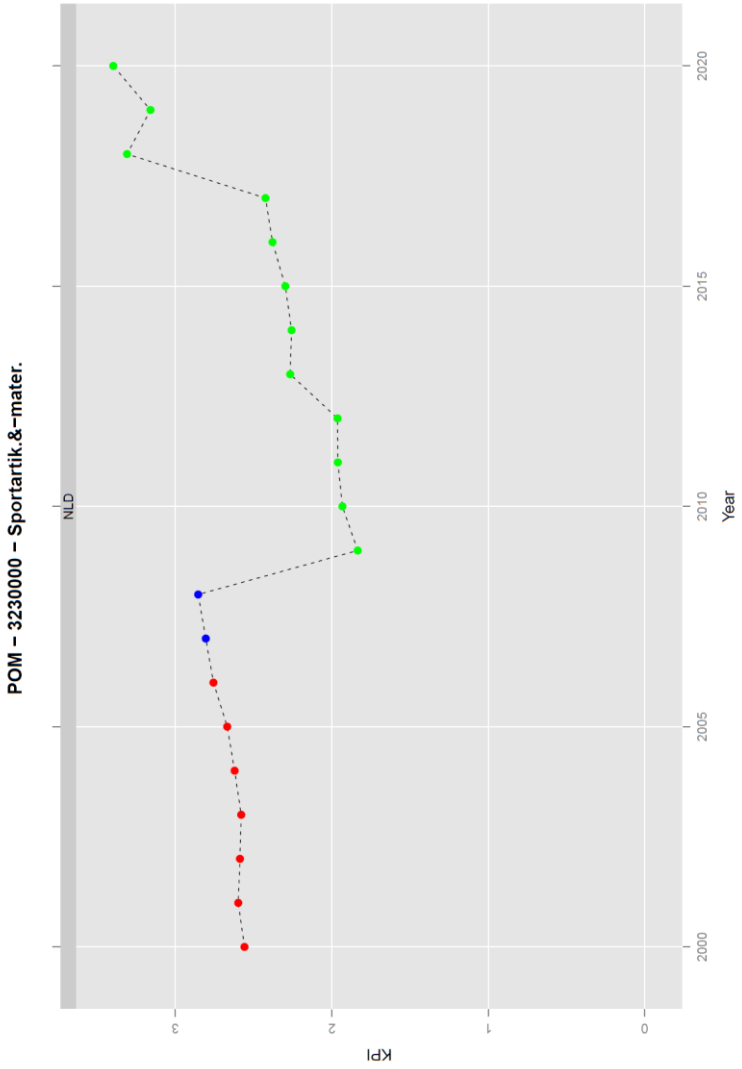
Put-on-market tijdreeks; Medische apparatuur



KPI = kilo's er inwoner

Groene bollen komen direct uit de brondata. Rode bollen zijn van jaren waarover geen brondata is. Deze zijn gemaakt door de tijdreeks door te trekken op basis van koopkracht. Blauwe bollen zijn aangepaste datapunten. Het kan bijvoorbeeld zijn dat oorspronkelijke data 0 was of juist onrealistisch hoog.

Put-on-market tijdreeks; Sportartikelen en sportmaterialen



KPI = kilo's er inwoner

Groene bollen komen direct uit de brondata. Rode bollen zijn van jaren waarover geen brondata is. Deze zijn gemaakt door de tijdreeks door te trekken op basis van koopkracht. Blauwe bollen zijn aangepaste datapunten. Het kan bijvoorbeeld zijn dat oorspronkelijke data 0 was of juist onrealistisch hoog.

Bijlage D – Links tussen MateriaalMonitor classificatie en Internationale Handel-goederengroepen

Deze bijlage laat alle koppelingen tussen de Internationale Handel goederengroepen (CN) en de MateriaalMonitor (MM) classificatie zien. Daarmee kan in detail gekeken worden welke producten onder de categorieën vallen die in dit rapport besproken zijn.

Niet-elektrische kookapparatuur

MM_code	MM Omschrijving	CN	CN Omschrijving
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73218900	Stoves, heaters, grates, fires, wash boilers, braziers and similar domestic appliances, of iron or steel, for solid fuel or other non-electricsource of energy (excl. liquid or gaseous fuel, and cooking appliances, whether or not
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73211900	Appliances for baking, frying, grilling and cooking and plate warmers, for domestic use, of iron or steel, for solid fuel or other non-electric source of energy (excl. liquid or gaseous fuel, and large cooking appliances)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73219000	Parts of domestic appliances non-electrically heated of heading 7321, n.e.s.
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73211190	Appliances for baking, frying, grilling and cooking and plate warmers, for domestic use, of iron or steel, for gas fuel or for both gas and other fuels (excl. cooking appliances with oven, separate ovens and large cooking appliances)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73218100	Stoves, heaters, grates, fires, wash boilers, braziers and similar appliances, of iron or steel, for gas fuel or for both gas and other fuels (excl. cooking appliances, whether or not with oven, separate ovens, plate warmers, central heating boilers, geys
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73211200	Appliances for baking, frying, grilling and cooking and plate warmers, for domestic use, of iron or steel, for liquid fuel (excl. large cooking appliances)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73229000	Air heaters and hot-air distributors, incl. distributors which can also distribute fresh or conditioned air, non-electrically heated, incorporating a motor-driven fan or blower, and parts thereof, of iron or steel
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73211110	Appliances for baking, frying, grilling and cooking with oven, incl. separate ovens, for domestic use, of iron or steel, for gas fuel or for both gas and other fuels (excl. large cooking appliances)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	73218200	Stoves, heaters, grates, fires, wash boilers, braziers and similar appliances, of iron or steel, for liquid fuel (excl. cooking appliances, whether or not with oven, separate ovens, plate warmers, central heating boilers, geysers, hot water cylinders and

2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	84191900	Instantaneous or storage water heaters, non-electric (excl. instantaneous gas water heaters and boilers or water heaters for central heating)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	74181010	Cooking or heating apparatus of a kind used for domestic purposes, non-electric, and parts thereof, of copper (excl. hot water heaters and geysers)
2752000	Hh.VerwKook(nt-elek)	84191100	Instantaneous gas water heaters

Meubelen

MM_code	MM Omschrijving	CN	CN Omschrijving
3100100	Zitmeubelen	94016100	Upholstered seats, with wooden frames (excl. convertible into beds)
3100100	Zitmeubelen	94017900	Seats, with metal frames (excl. upholstered, swivel seats with variable height adjustments and medical, dental or surgical furniture)
3100100	Zitmeubelen	94018000	Seats, n.e.s.
3100100	Zitmeubelen	94017100	Upholstered seats, with metal frames (excl. seats for aircraft or motor vehicles, swivel seats with variable height adjustments and medical, dental or surgical furniture)
3100100	Zitmeubelen	94016900	Seats, with wooden frames (excl. upholstered)
3100100	Zitmeubelen	94013000	Swivel seats with variable height adjustments (excl. medical, surgical, dental or veterinary, and barbers' chairs)
3100100	Zitmeubelen	94014000	Seats Other than garden Seats or camping equipment, convertible into beds
3100100	Zitmeubelen	94015900	Seats of cane, osier or similar materials (excl. of bamboo or rattan)
3100100	Zitmeubelen	94015300	Seats of rattan
3100100	Zitmeubelen	94015200	Seats of bamboo
3100200	Meubeldelen	94039030	Parts of furniture, of wood, n.e.s. (excl. seats)
3100200	Meubeldelen	94019080	Parts of seats, not of wood, n.e.s.
3100200	Meubeldelen	94039010	Parts of furniture, of metal, n.e.s. (excl. of seats and medical, surgical, dental or veterinary furniture)
3100200	Meubeldelen	94039090	Parts of furniture, n.e.s. (excl. of metal or wood, and of seats and medical, surgical, dental or veterinary furniture)
3100200	Meubeldelen	94019030	Parts of seats, of wood, n.e.s.
3101000	Bedrijfsmeubelen	94033011	Desks for offices, with wooden frames
3101000	Bedrijfsmeubelen	94031091	Cupboards with doors, shutters or flaps
3101000	Bedrijfsmeubelen	94031098	Metal furniture for offices, of > 80 cm in height (excl. tables with special fittings for drawing of heading 9017, cupboards with doors, shutters or flaps, and seats)
3101000	Bedrijfsmeubelen	94036030	Wooden furniture for shops (excl. seats)

3101000	Bedrijfsmeubelen	94033019	Wooden furniture for offices, of <= 80 cm in height (excl. desks and seats)
3101000	Bedrijfsmeubelen	94031058	Metal furniture for offices, of <= 80 cm in height (excl. desks, and tables with special fittings for drafting of heading 9017)
3101000	Bedrijfsmeubelen	94033099	Wooden furniture for offices, of > 80 cm in height (excl. cupboards)
3101000	Bedrijfsmeubelen	94031051	Office desks, with metal frames
3101000	Bedrijfsmeubelen	94031093	Filing, cardindex and Other cabinets
3101000	Bedrijfsmeubelen	94033091	Cupboards with doors, shutters or flaps; filing, cardindex and other cabinets
3109900	Overige meubelen	94036090	Wooden furniture (excl. for offices or shops, kitchens, dining rooms, living rooms and bedrooms, and seats)
3109900	Overige meubelen	94032080	Metal furniture (excl. for offices, medical, surgical, dental or veterinary furniture, beds and seats)
3109900	Overige meubelen	94037000	Furniture of plastics (excl. medical, dental, surgical or veterinary, and seats)
3109900	Overige meubelen	94032020	Metal beds (excl. hospital beds with mechanical fittings)
3109900	Overige meubelen	94038900	Furniture of other mareials, including cane, osier or similar materials (excl. of bamboo, rattan, metal, wood and plastics, and seats and medical, surgical, dental or veterinary furniture)
3109900	Overige meubelen	94038200	Furniture of bamboo (excl. seats and medical, surgical, dental or veterinary furniture)
3109900	Overige meubelen	94038300	Furniture of rattan (excl. seats and medical, surgical, dental or veterinary furniture)
3102000	Keukenmeubelen	94034010	fitted kitchen units
3102000	Keukenmeubelen	94034090	Other
3109120	Slaapkamermeubel.	94036010	Wooden furniture for dining rooms and living rooms (excl. seats)
3109120	Slaapkamermeubel.	94035000	Wooden furniture for bedrooms (excl. seats)
3103000	Matrassen	94041000	Mattress supports
3103000	Matrassen	94042910	Mattresses with spring interiors
3103000	Matrassen	94042190	Mattresses of cellular plastics
3103000	Matrassen	94042990	Mattresses, stuffed or internally filled with any material (excl. cellular rubber or plastics, with spring interior, and pneumatic or water mattresses and pillows)
3103000	Matrassen	94042110	Mattresses of cellular rubber

Medische apparatuur

MM_code	MM Omschrijving	CN	CN Omschrijving
3250900	Medische instrum/app	90189084	Instruments and appliances used in medical, surgical or veterinary sciences, n.e.s.

3250900	Medische instrum/app	90191010	Electrical vibratorymassage apparatus
3250900	Medische instrum/app	90191090	Mechano-therapy appliances; massage apparatus; psychological aptitude-testing apparatus (excl. electrical vibratory-massage apparatus)
3250900	Medische instrum/app	94029000	Operating tables, examination tables, and other medical, dental, surgical or veterinary furniture (excl. dentists' or similar chairs, special tables for X-ray examination, and stretchers and litters, incl. trolley-stretchers)
3250900	Medische instrum/app	90192000	Ozone therapy, oxygen therapy, aerosol therapy, artificial respiration or Other therapeutic respiration apparatus
3250900	Medische instrum/app	90189050	Transfusion and infusion apparatus used in medical sciences
3250900	Medische instrum/app	90189010	Instruments and apparatus for measuring blood-pressure
3250900	Medische instrum/app	90183190	Syringes, with or without needles, used in medical, surgical, dental or veterinary sciences (excl. of plastic)
3250900	Medische instrum/app	90219090	Articles and appliances, which are worn or carried, or implanted in the body, to compensate for a defect or disability (excl. artificial parts of the body, hearing aids, incl. parts and accessories, and complete pacemakers for stim
3250900	Medische instrum/app	90211010	Orthopaedic appliances
3250900	Medische instrum/app	90184990	Instruments and appliances used in dental sciences, n.e.s.
3250900	Medische instrum/app	94021000	Dentists', barbers' or similar chairs and parts thereof
3250900	Medische instrum/app	90189030	Renal dialysis equipment (artificial kidneys, kidney machines and dialysers)
3250900	Medische instrum/app	90185010	Ophthalmic instruments and appliances, non-optical, n.e.s.
3250900	Medische instrum/app	90189060	Anaesthetic apparatus and instruments
3250900	Medische instrum/app	90185090	Ophthalmic instruments and appliances, optical, n.e.s.
3250900	Medische instrum/app	84192000	Medical, surgical or laboratory sterilizers
3250900	Medische instrum/app	90184910	Burrs, discs, drills and brushes, for use in dental drills
3250900	Medische instrum/app	90211090	Splints and other fracture appliances
3250900	Medische instrum/app	90189020	Endoscopes used in medical, surgical or veterinary sciences
3250900	Medische instrum/app	90189075	apparatus for nerve stimulation
3250900	Medische instrum/app	90184100	dental drill engines, whether or Not combined on a Single base With Other dental equipment
3250900	Medische instrum/app	84211920	Centrifuges of a kind used in laboratories
3250900	Medische instrum/app	90189040	Diathermic apparatus (excl. ultraviolet or infra-red apparatus)

3250900	Medische instrum/app	90251120	Clinical or veterinary thermometers, liquid-filled, for direct reading

Overige productgroepen

Het aantal koppelingen tussen de Internationale Handel goederengroepen (CN) en de MateriaalMonitor (MM) classificatie is voor de Overige productgroepen te groot om hier in het geheel af te drukken. In onderstaande tabel staat per MM groep een selectie van de CN goederencodes die samen ten minste 80% van de totale importhoeveelheid (in gewicht) uitmaken van de betreffende MM groep.

MM_code	MM Omschrijving	CN	CN Omschrijving
3210000	Sieraden/munten	71179000	Imitation jewellery (excl. jewellery, of base metal, whether or not clad with silver, gold or platinum)
3210000	Sieraden/munten	71171900	Imitation jewellery, of base metal, whether or not plated with precious metal (excl. cuff links and studs)
3210000	Sieraden/munten	71132000	Articles of jewellery and parts thereof, of base metal clad with precious metal (excl. articles > 100 years old)
3210000	Sieraden/munten	71131900	Articles of jewellery and parts thereof, of precious metal other than silver, whether or not plated or clad with precious metal (excl. articles > 100 years old)
3220000	Muziekinstrum.	92011010	Upright pianos New
3220000	Muziekinstrum.	92060000	Percussion musical instruments (for example, drums, xylophones, cymbals, castanets, maracas)
3220000	Muziekinstrum.	92071030	Digital pianos, with keyboard
3220000	Muziekinstrum.	92079010	Guitars, the sound of which is produced, or must be amplified, electrically
3220000	Muziekinstrum.	92029030	Guitars
3220000	Muziekinstrum.	92029080	Mandolins, zithers and other string musical instruments (excl. with keyboard, those played with a bow and guitars)
3220000	Muziekinstrum.	92099400	Parts and accessories for musical instruments, the sound of which is produced, or must be amplified, electrically, n.e.s.
3220000	Muziekinstrum.	92079090	Accordions and musical instruments without keyboards, the sound of which is produced, or must be amplified, electrically (excl. guitars)
3220000	Muziekinstrum.	92099970	Parts and accessories for musical instruments e.g. cards, discs and rolls for mechanical instruments, for fairground organs, mechanical street organs and other musical instruments, n.e.s. (excl. metronomes, tuning forks, pitch pi
3220000	Muziekinstrum.	92011090	Upright pianos Used
3230000	Sportartik.&-mater.	95067030	Roller skates, incl. skating boots with rollers attached
3230000	Sportartik.&-mater.	95069110	Exercising apparatus with adjustable resistance mechanisms

3230000	Sportartik.&-mater.	95069190	Articles and equipment for general physical exercise, gymnastics or athletics (excl. exercising apparatus with adjustable resistance mechanisms)
3230000	Sportartik.&-mater.	95069990	Articles and equipment for sport and outdoor games n.e.s; swimming and paddling pools
3240000	Spel/speelgoed	95043010	Games with screen, operated by coins, banknotes, bank cards, tokens or by other means of payment
3240000	Spel/speelgoed	95043020	Games without screen, operated by coins, banknotes, bank cards, tokens or by other means of payment (excl. bowling alley equipment)
3240000	Spel/speelgoed	95030095	Plastic toys, n.e.s.
3240000	Spel/speelgoed	95030070	Toys, put up in sets or outfits (excl. electric trains, incl. accessories, scale model assembly kits, construction sets and constructional toys, and puzzles)
3240000	Spel/speelgoed	95030010	Tricycles, scooters, pedal cars and similar wheeled toys, and dolls' carriages (excl. normal bicycles with ball bearings)
3240000	Spel/speelgoed	95030099	Toys, n.e.s.
3240000	Spel/speelgoed	95044000	Playing cards
3250400	Bril/contactlenzen	90013000	Contact lenses
3250400	Bril/contactlenzen	90049010	Spectacles, goggles and the like, corrective, protective or other, with lenses of plastics (excl. spectacles for testing eyesight, sunglasses, contact lenses, spectacle lenses and frames and mountings for spectacles)
3250400	Bril/contactlenzen	90015080	Spectacle lenses of materials (excl. glass), partly finished
3250400	Bril/contactlenzen	90041091	Sunglasses with lenses of plastics, not optically worked
3250400	Bril/contactlenzen	90049090	Spectacles, goggles and the like, corrective, protective or other (other than with lenses of plastics and excl. spectacles for testing eyesight, sunglasses, contact lenses, spectacle lenses and frames and mountings for spectacles)
3250400	Bril/contactlenzen	90031100	Frames and mountings for spectacles, goggles or the like, of plastics
3299010	Teken-/schrijfartik.	96100000	Slates and boards, with writing or drawing surfaces, whether or not framed
3299010	Teken-/schrijfartik.	96121010	Typewriter or similar ribbons, inked or otherwise prepared for giving impressions, whether or not on spools or in cartridges, of plastics (excl. woven of textile materials)
3299010	Teken-/schrijfartik.	96121080	Typewriter or similar ribbons, inked or otherwise prepared for giving impressions, whether or not in spools or cartridges, made from fibres or paper (excl. those made from man-made fibres of subheading 9612.10.20)
3299010	Teken-/schrijfartik.	96082000	Felt-tipped and other porous-tipped pens and markers
3299010	Teken-/schrijfartik.	96091090	Pencils and crayons, with leads encased in a rigid sheath (excl. with leads of graphite)
3299010	Teken-/schrijfartik.	96081092	Ball-point pens with replaceable refill (excl. with liquid ink)
3299010	Teken-/schrijfartik.	96099090	Pencils, writing or drawing chalks and tailors' chalks

3299010	Teken-/schrijfartik.	96081099	Ball-point pens (excl. with replaceable refill, and with liquid ink)
3299020	Ov.artikelen neg	96032100	Tooth brushes, including dentalplate brushes
3299020	Ov.artikelen neg	34060000	Candles, tapers and the like
3299020	Ov.artikelen neg	65061080	Safety headgear, whether or not lined or trimmed (other than of plastics)
3299020	Ov.artikelen neg	95051090	Christmas articles (excl. of glass, candles and electric lighting sets, natural Christmas trees and Christmas tree stands)
3299020	Ov.artikelen neg	36069090	Metaldehyde, hexamethylenetetramine and similar products in tablets, sticks or similar forms, for use as fuel; alcohol-based fuels and prepared fuels of a similar kind, whether solid or in paste form; resin torches, firelighters and the like
3299020	Ov.artikelen neg	76151080	Table, kitchen or other household articles and parts thereof, and pot scourers and scouring or polishing pads, gloves and the like, of uncast aluminium (excl. cans, boxes and similar containers of heading 7612, articles manufactured from foil of a thickne
3299020	Ov.artikelen neg	66011000	Garden or similar umbrellas (excl. beach tents)
3299020	Ov.artikelen neg	96039091	Roadsweeping brushes; household type brooms and brushes, including shoe brushes and clothes brushes; brushes for grooming animals
3299020	Ov.artikelen neg	95059000	Festival, carnival or other entertainment articles, incl. conjuring tricks and novelty jokes, n.e.s.
3299020	Ov.artikelen neg	42032910	Protective gloves of leather or composition leather, for all trades
3299020	Ov.artikelen neg	96063000	Button moulds and other parts of buttons; button blanks
3299020	Ov.artikelen neg	96039099	Mops and leather dusters; prepared knots and tufts for broom or brush making; squeegees of rubber or similar flexible materials; brooms and brushes, n.e.s.