



Vlaanderen
is materiaalbewust



KRITIEKE MATERIALEN IN DE VLAAMSE ENERGIETRANSITIE

CIRCULAIRE ECONOMIE EN KLIMAAT

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

WWW.OVAM.BE

OVAM



KRITIEKE MATERIALEN
IN DE VLAAMSE
ENERGIETRANSITIE

Circulaire economie en klimaat / 7.02.2020



DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|--|--|
| 1 <i>Titel van publicatie</i>
Kritieke materialen in de Vlaamse
energietransitie: circulaire economie en
klimaat | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i>
2020 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
Kritieke materialen, circulaire economie,
klimaat, energie, energietransitie,
zonnepanelen, windmolens, batterijen,
Vlaanderen, energieplan, regeerakkoord |
| 5 <i>Samenvatting:</i> / | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 45 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i>
3 tabellen en 27 figuren |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> 2020 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i> /
Koen Breemersch (VITO), An Vercalsteren
(VITO), Bart Mantels (VITO), Tom Rommens
(VITO) | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Wim Raes (OVAM), Koen Smeets (OVAM),
John Wante (OVAM) |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> / | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:

ovam.be

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

1	Inleiding.....	5
2	Beschrijving ambities energieplan	6
3	Beschrijving model.....	9
3.1	Zonne-energie	9
3.2	Omvormers	10
3.3	Windturbines	11
3.4	Batterijen	12
3.5	Samenbrengen van schattingen	15
4	Resultaten	17
4.1	Zilver	18
4.2	Goud	19
4.3	Boor	21
4.4	Kobalt	22
4.5	Koper	24
4.6	Dysprosium	25
4.7	Gallium	27
4.8	Indium	28
4.9	Lithium	30
4.10	Mangaan	31
4.11	Neodymium	33
4.12	Nikkel	34
4.13	Lood	35
4.14	Praseodymium	37
4.15	Terbium	38
4.16	Tellurium	39
4.17	Zink	40
5	Conclusies.....	41
	Appendix: Gebruikte bronnen model.....	43
	Appendix: Schattingen Weibull model	45

1 INLEIDING

Welke materialen zijn nodig voor de Vlaamse energietransitie? Wat zijn de mondiale voorraden van deze materialen? Hoe kan recycling bijdragen aan de vraag naar de verschillende materialen?

Een duurzame Vlaamse energietransitie is een belangrijke component in de realisatie van de Vlaamse klimaatdoelstellingen. In dit kader zetten het Vlaams energieplan en het Vlaams regeerakkoord 2019-2024 de klijtlijnen uit van de Vlaamse energietransitie van 2020 tot 2030. Centraal in deze energietransitie staan de verdere uitbreiding van het Vlaamse *onshore* windmolenpark, de toename in zonnepanelen en eveneens een uitrol van opslagsystemen voor energie.

De verschillende technologieën bevatten echter verschillende (kritieke) metalen, waardoor deze energietransitie eveneens een aanzienlijke vraag inhoudt naar deze materialen. Gezien het mondiale belang van de energietransitie in de verschillende economieën, is mogelijke druk op de materialenvoorraad dus een belangrijk aandachtspunt. Dit kan mettertijd een belangrijke rem vormen op de verdere implementatie van bepaalde technologieën door de hoge prijs van cruciale materialen ten gevolge van de schaarsheid van de materialen. Bovendien gaat de vraag gepaard met een toegenomen ontginning, hetgeen eveneens een druk op het milieu uitoefent.

Deze studie vertrekt vanuit de compositie en levensduur van de verschillende duurzame energietechnologieën, gekoppeld met de geplande uitbreiding van het energieopwekkingsvermogen van deze technologieën zoals voorzien in het Vlaamse energieplan en het regeerakkoord 2019-2024. Op basis hiervan wordt een inschatting bekomen van de vraag naar verschillende materialen tot 2030. Deze vraag wordt vergeleken met de mondiale voorraden van deze materialen. Bovendien wordt nagegaan wat kan gerealiseerd worden in termen van het terugdringen van de primaire vraag naar de verschillende materialen via de recycling van de energietechnologieën die het einde van hun functioneel leven bereiken.

2 BESCHRIJVING AMBITIES ENERGIEPLAN

De ambities in Vlaams regeerakkoord 2019-2024 liggen in lijn met deze van het Vlaams energieplan¹. Enkel de ambities uit het energieplan worden in dit hoofdstuk toegelicht.

Het Vlaams energieplan voorziet een lineair traject tussen 2021-2030 voor de toename in de energieopwekkingscapaciteit van verschillende duurzame technologieën. Hoewel vijf verschillende technologieën specifiek worden vermeld, kijkt deze studie naar de technologieën die het meest intensief gebruik maken van specifieke kritieke materialen, nl. **zonne-energie** en **onshore windturbines**. De onderstaande tabel geeft de evolutie weer van het totaal geïnstalleerd vermogen van alle verschillende groene stroom-opwekkers in Vlaanderen zoals dat wordt beoogd in het Vlaams energieplan.

Tabel 1: Vooropgestelde productie van groene elektriciteit volgens Vlaams energieplan 2021-2030

Totaal vermogen (MWe)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Zon	3.600	3.900	4.200	4.500	4.800	5.100	5.418	5.736	6.053	6.371	6.689
Wind (onshore)	1.414	1.52	1.630	1.738	1.846	1.954	2.062	2.170	2.278	2.386	2.494
Waterkracht	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Biomassa	546	500	455	410	365	320	275	229	184	139	94
Biogas	144	146	148	150	152	155	157	159	161	163	165
Totaal	5.708	3.072	6.437	6.802	7.167	7.532	7.915	8.298	8.680	9.063	9.446

De vooropgestelde toename van opwekking van zonne-energie gaat eveneens gepaard met een toename in het aantal **omvormers** die noodzakelijk zijn om de zonne-energie op het net te kunnen zetten. Wij nemen drie omvormers met verschillende capaciteit mee in onze analyse: 2,5kW, 20kW en 1500kW. Om te berekenen hoeveel omvormers er nodig zijn van elke capaciteit, maken we een ruwe voorspelling van het vermogen van de verschillende zonne-energie installaties. Concreet veronderstellen we dat de installaties waarvan het vermogen kleiner is dan 10kW in residentiële toepassingen wordt gebruikt en gemiddeld één omvormer van 2,5 kW nodig heeft². Voor zonne-energie installaties met een vermogen tussen de 10 kW en 40 kW wordt verondersteld dat één omvormer met een capaciteit van 20 kW nodig is. Installaties tussen 40 en 250 kW hebben 4 omvormers van 20 kW nodig, installaties tussen 250 en 750 kW hebben een totaal vermogen van 400kW aan omvormers nodig en installaties groter dan 750 kW hebben een transformator van 1500kW nodig. Er wordt bovendien verondersteld dat het aandeel van het vermogen dat door zonnepanelen in elke vermogensklasse wordt gegenereerd, gelijk is aan deze tussen 2015 en 2018. Met andere woorden, tussen 2019 en 2030 wordt in onze oefening een constante verdeling van de toegenomen capaciteit aan zonne-energie verondersteld over de verschillende capaciteitscategorieën (<10kW, 10-40 kW, 40-250kW, 250-750kW, >750kW) die gelijk is aan

¹ energiesparen.be/Vlaams_energieplan

² Dit betekent dat we veronderstellen dat de gemiddelde installatie eerder klein van aard is en rond de 3kW bedraagt.

deze tussen 2015 en 2018. Op deze manier is het mogelijk om een schatting te bekomen van het aantal omvormers die nodig zijn tussen 2019 en 2030.

Wat betreft de **opslag van energie** stelt het energieplan dat *'Opslag op distributieniveau kan dienen om het distributienet te ondersteunen als alternatief voor de klassieke dimensionering van het net op basis van piekvermogens. Daarnaast is er ook de nodige aandacht voor opslag op lange termijn om ook de seizoensverschillen te overbruggen en een oplossing te bieden voor langdurige perioden met onvoldoende aanbod van zonne- en windenergie.'* Verder worden er geen kwantitatieve doelstellingen voorgesteld. In dit kader is het noodzakelijk dat zelf scenario's worden gecreëerd die het mogelijk maken om de toegenomen impact van de energieopslag in kaart brengen. Tabel 2 kwantificeert deze scenario's. Er worden drie verschillende toepassingen voorzien voor energieopslag. Eerst is er de **residentiële opslag** waarbij Vlaamse huishoudens zelf overgaan tot de opslag van energie, doorgaans opgewekt via zonnepanelen. Er worden hier drie scenario's gedefinieerd die verschillende ontwikkelingen in opslagcapaciteit dekken. (1) Indien uiteindelijk de terugdraaiende meter toch niet wordt afgeschat, is de economische stimulans voor het overgaan tot de aankoop van een residentiële batterij slechts beperkt. Daarom wordt hier uitgegaan van een jaarlijkse groeivoet van de opslagcapaciteit met 10%. Hierdoor blijft de opslagcapaciteit op residentieel niveau veeleer beperkt. (2) In het gemiddelde residentiële scenario neemt de groei van opslagcapaciteit sneller toe ten gevolge van de afschaffing van de terugdraaiende meter. Concreet wordt verondersteld dat hierdoor na 2021 een versnelde groei met 60% toeneemt die vervolgens gradueel uitvlakt tot 15% in 2030. (3) Tot slot nemen we ook nog een maximaal scenario mee. Hierbij wordt niet alleen verondersteld dat de terugdraaiende meter wordt afgeschaft maar eveneens dat het huidige subsidiebeleid blijft en tot 2025 de uitrol van residentiële energieopslagcapaciteit ondersteunt. Hierdoor neemt de groei van de opslagcapaciteit in 2021 toe tot 200%, hetgeen vervolgens afneemt tot 50% in 2024 en vervolgens wederom uitvlakt tot 15% in 2030. Deze scenario's zijn zeer uiteenlopend, maar gezien de onduidelijkheid van het energieplan omtrent de mate waarin het beleid de residentiële energieopslag zal ondersteunen, is dit de enige manier om de impact van de residentiële energieopslag te vertalen in cijfers. De verschillende scenario's geven blijk van de bestaande onzekerheid omtrent de toekomst van residentiële batterijen.

Naast het luik van de residentiële energieopslag is er ook nog de **industriële energieopslag**, waarbij de industrie zelf de eigen opgewekte energie gaat opslaan. Hier is geen terugdraaiende teller verondersteld en ook geen specifieke subsidies. Er wordt verondersteld dat de jaarlijkse groeivoet in de opslagcapaciteit 35% bedraagt in 2021 en vervolgens uitvlakt tot 10% in 2030.

Momenteel zijn er twee **grid-batterijen** beschikbaar (Terhills Lanklaar en Ruien Energy Storage) die ervoor zorgen dat de overcapaciteit aan energie geproduceerd op bepaalde momenten wordt opgeslagen en zo zorgen voor de stabilisatie van het elektrisch netwerk. Het opgenomen scenario veronderstelt dat dit gestaag blijft verder groeien aan een groeivoet van 10% per jaar. Deze grid batterijen zijn zo complementair met de residentiële en industriële groene energie, die wordt gegenereerd maar niet zou worden opgeslagen. Echter, een duidelijk zicht krijgen op de werkelijke evolutie van deze vorm van energieopslag is ook hier uitsluitend berust op eigen assumpties rond de evolutie aangezien ook hier geen specifieke doelstellingen beschikbaar zijn.

Tabel 2: Geconstrueerde scenario's voor energieopslag in Vlaanderen (in MWh opslagcapaciteit)

Toepassing	Scenario	Tot 2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Residentieel	Minimaal	8	8,8	9,7	10,6	11,7	12,9	14,2	15,6	17,1	18,9	20,7
Residentieel	Gemiddeld	8	8,8	14,1	21,4	31	43,1	57,8	75,1	93,9	112,7	129,6
Residentieel	Maximaal	8	24	48	84	126	180,2	246,8	325,8	410,6	492,7	566,6
Industrieel	-	15	20,3	26,9	35,3	45,2	56,5	68,9	82	95,1	107,4	118,2
Grid	-	144	158,4	174,2	191,7	210,8	231,9	255,1	280,6	308,7	339,5	373,5

3 BESCHRIJVING MODEL

In deze sectie beschrijven we hoe de doelstellingen van het energieplan en het regeerakkoord vertaald worden via een model naar de uiteindelijke berekeningen van het aantal benodigde kritieke materialen.

3.1 ZONNE-ENERGIE

Het model kent overeenstemmingen met het model uitgewerkt in het kader van de opdracht rond voorraadbeheer³. Voor de zonnepanelen worden drie verschillende types zonnepanelen geanalyseerd, nl. silicium, CIGS en CdTe zonnepanelen. Voor elk van de zonnepanelen worden uitsluitend de kritieke metalen meegenomen en worden materialen zoals bv. glas niet beschouwd. De selectie van de metalen gebeurt aan de hand van de beschikbare gegevens in de wetenschappelijke literatuur⁴. Per MW aan capaciteit wordt vervolgens een schatting gebruikt van de massa aan metalen die aanwezig zijn. Zo kan dit gemakkelijk worden verbonden aan de vermogensdoelstellingen van het energieplan en het regeerakkoord. Er wordt wel verondersteld dat de markt van de zonnepanelen verder zal evolueren en dat silicium zonnepanelen, waarvoor op basis van Viebahn et al. (2015) wordt geschat dat deze in 2010 een marktaandeel van 94,8% hebben, tegen 2030 een aandeel zullen hebben van 97%. De alternatieve zonnepanelen, nl. CIGS en CdTe, worden voorspeld af te nemen aan belang en tegen 2030 zullen uitsluitend CIGS zonnepanelen nog een marktaandeel van 3% bezitten. Al deze voorspellingen zijn berust op de geraadpleegde literatuur (zie appendix), maar uiteraard is het onmogelijk exact te weten welke technologische vooruitgang zal plaatsvinden in tussentijd en welke markttrends zich zullen manifesteren. Er wordt verondersteld dat het huidige niveau van technologie behouden blijft. Concreet betekent dit dat er geen efficiëntiewinsten meer worden gerealiseerd tot 2030. Hoewel dit onwaarschijnlijk is, lijken de meeste efficiëntiewinsten voor zonnepanelen reeds gerealiseerd.

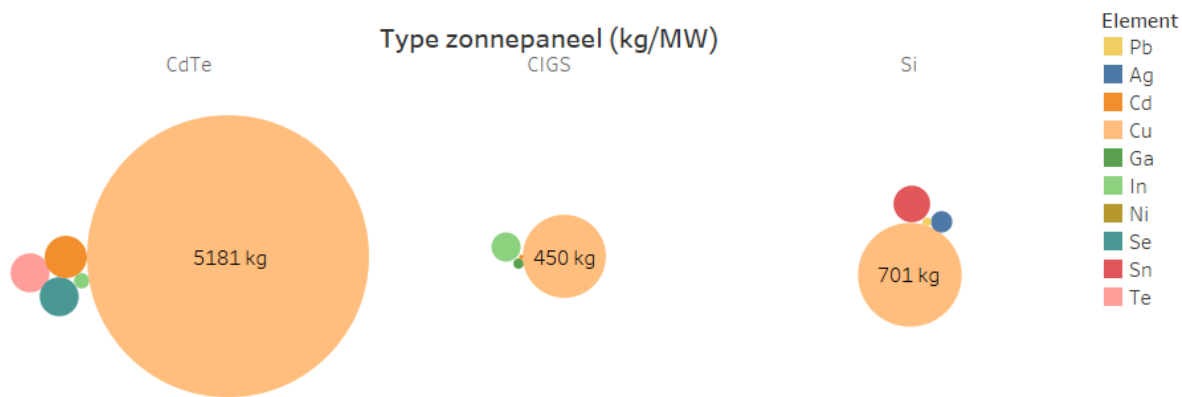
Deze mix aan technologieën kan zoals gesteld dus worden gekoppeld aan de vermogensdoelstellingen van het energieplan en regeerakkoord. Echter, aangezien er ook reeds een aanzienlijke voorraad bestaat van zonnepanelen die reeds in gebruik zijn bij huishoudens, wordt niet alleen de toekomstige voorraad gebruikt maar ook de historische. Deze data wordt vervolgens gekoppeld aan een Weibull-voorspellingsmodel dat aangeeft wat de verwachte levensduur is van de zonnepanelen. Zo bekomen we een inschatting van hoeveel vermogen er wegvalt in de toekomst en aldus dient vervangen te worden om zo het totale vermogen op het pad van de doelstellingen te houden. Het 'oud' vermogen dat uitvalt wordt verondersteld vervangen te worden met de technologiemix, nl. de marktaandelen van de verschillende types zonnepanelen, van het jaar in hetwelk de zonnepanelen worden vervangen. Het vermogen aan zonnepanelen van 2010 dat dus reeds technisch zou falen in 2029 wordt verondersteld vervangen te worden met een vermogen aan zonnepanelen gelijk aan dat van 2029. Voor zonnepanelen bestaan er uiteenlopende schattingen omtrent de parameters die de vorm van de Weibull-functie bepalen. Zo zorgt de vormparameter van de Weibull functie ervoor dat een schatting wordt bekomen of zonnepanelen eerder vroeger of eerder later in hun totale gemiddelde levensduur komen te falen. Hoewel de schattingen van de parameter wijzen op een toegenomen waarschijnlijke uitval van de zonnepanelen later in

³ ovam.be/voorraadbeheer-van-metalen

⁴ Het is dus mogelijk dat bepaalde relevante metalen missen, maar gebrekkige gegevens omtrent deze metalen maakt een nauwkeurige inschatting moeilijk en onzeker.

hun levensduur, is er toch wat diversiteit in de exacte vorm van de Weibull-curve. Om deze diversiteit te incorporeren wordt een schatting gedaan met de gemiddelde, de minimale en de maximale vormparameter van de Weibull curve, zo wordt een breed spectrum aan schattingen bekomen⁵. Deze schatting wordt in de appendix verder toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

Het vermogen dat tot 2030 komt weg te vallen wordt verondersteld vervolgens gerecycleerd te worden aan de recyclagepercentages die eveneens uit de literatuur werden bekomen. Op basis van de historische samenstelling van het vermogen dat wegvvalt weten we eveneens welke materialen in dit vermogen vervat zitten. Zo beschikken we over maximale inschattingen omtrent de massa aan kritieke metalen dat kan heringeschakeld worden om zo te voldoen aan de heersende vraag naar kritieke metalen als gevolg van de energietransitie.



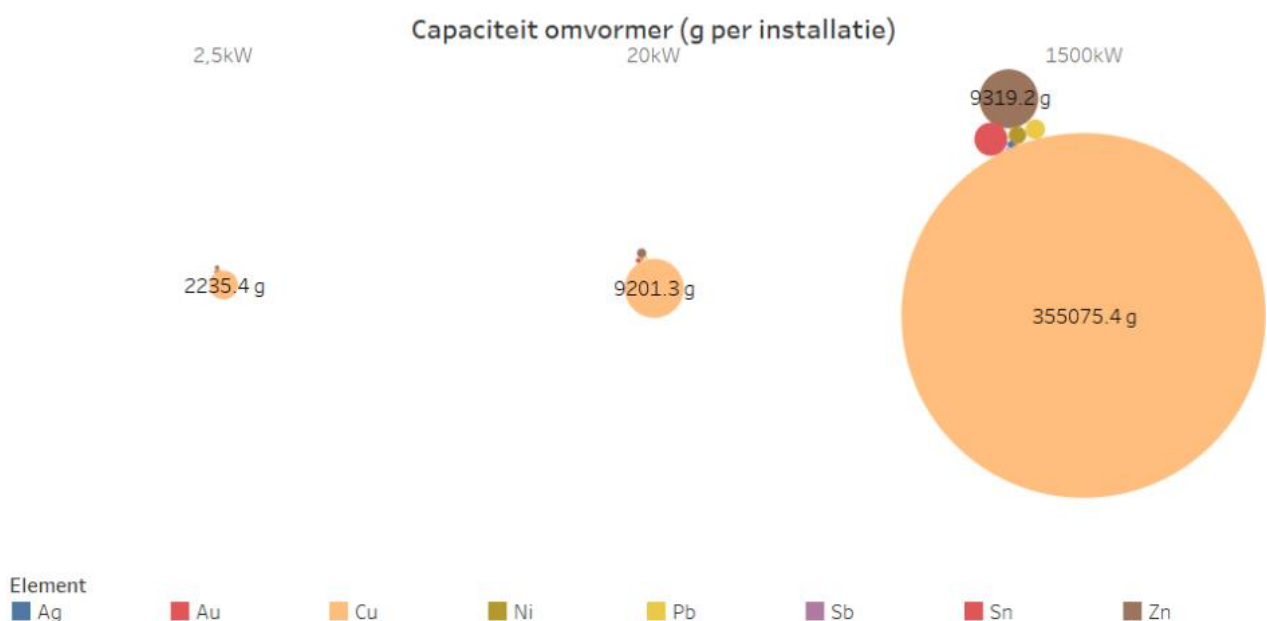
Figuur 1: Samenstelling zonnepanelen - kritieke metalen (in kg per MW capaciteit)

3.2 OMVORMERS

Voor de omvormers is er een gemiddelde materialensamenstelling beschikbaar per omvormer dat werd bekomen uit de Ecoinvent database. Deze inschatting lijkt echter niet correct te zijn voor de omvormers met de grootste capaciteit nl. 1500kW. Om deze te schatten wordt daarom gekeken naar de verhouding van de totale massa van een omvormer met capaciteit 20 kW ten opzichte van een omvormer met capaciteit van 2,5 kW. Hier is het namelijk mogelijk om te zien dat deze niet proportioneel toeneemt maar dat er bepaalde ‘schaalvoordelen’ zijn waardoor de grotere installaties relatief tot het vermogen minder materialen nodig hebben. Dit opschalingsvoordeel wordt vervolgens geëxtrapoleerd naar een installatie met een capaciteit van 1500 kW.

⁵ De Weibull verdeling heeft volgende vorm: $f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \left(\frac{k}{\lambda}\right) \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$ waarbij k de vormparameter voorstelt en λ de schaalparameter die de gemiddelde levensduur capteert.

Het afgeleide aantal omvormers dat bekomen werd op basis van de grootte van de verschillende zonnepaneel installaties kan dus direct worden gerelateerd aan de materialensamenstelling per omvormer. Schattingen van de levensduur van een omvormer zijn beschikbaar in de literatuur. Echter, schattingen met betrekking tot de vormparameters van de Weibull distributie ontbreken. Daarom worden de schattingen uitgevoerd aan de hand van minimale, gemiddelde en maximale vormparameters om zo een spectrum te bekomen dat het betrouwbaarheidsinterval weerspiegelt. Verder blijven de principes van het model zoals beschreven voor de zonnepanelen van toepassing.



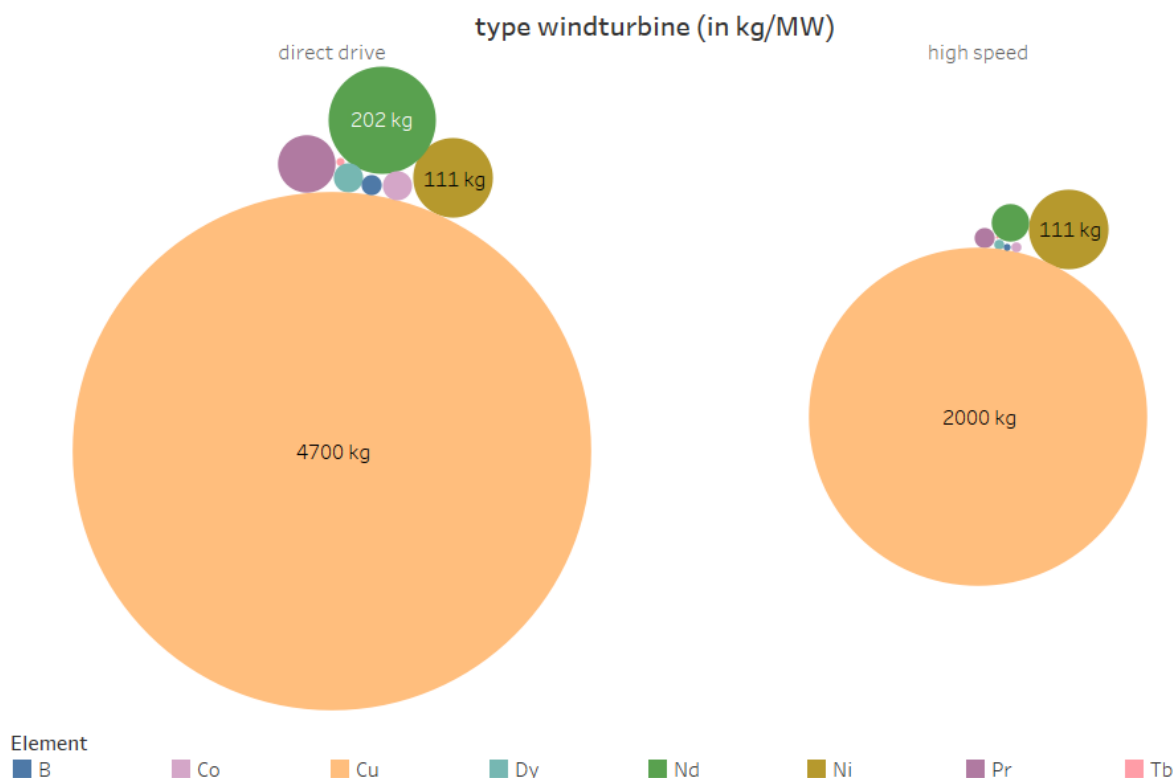
Figuur 2: Samenstelling van verschillende capaciteiten aan omvormers - kritiek metalen (in gram per installatie)

3.3 WINDTURBINES

De brede principes van het functioneren van het model zijn ook hier van toepassing. Er wordt daarom slechts ingegaan op enkele punten die specifiek van toepassing zijn voor de windturbines.

Voor windturbines wordt verondersteld dat de turbines met permanente magneet de markt gradueel komen te domineren tegen 2030, met een marktaandeel van 90%. Binnen deze categorie bedraagt het aandeel van direct drive windturbines 40% en van high speed windturbines 50%. Wederom zijn deze assumpties gemaakt op basis van prognoses in de wetenschappelijke literatuur. Elk van dit type windturbine heeft een verschillende massa aan metalen nodig per MW van capaciteit, waarvan de meest kritieke zich in de permanente magneet bevinden. Bij het uitvallen van 'oude' capaciteit, waarbij een systeem zonder permanente magneet werd gebruikt, komen dus weinig van de kritieke metalen die in een permanente magneet zitten opnieuw beschikbaar dankzij recyclage.

Hoewel er wel schattingen beschikbaar zijn van de gemiddelde levensduur van windturbines, zijn de eigenlijke parameters van de Weibull van windturbines slechts weinig onderzocht. Vooral de vorm-parameter is ook hier een probleem, maar ditmaal door het ontbreken van goede schattingen. Daarom wordt ook hier een minimale, maximale en gemiddelde parameter gebruikt die een bereik aan schattingen opleveren voor de geschatte faling van windturbines.



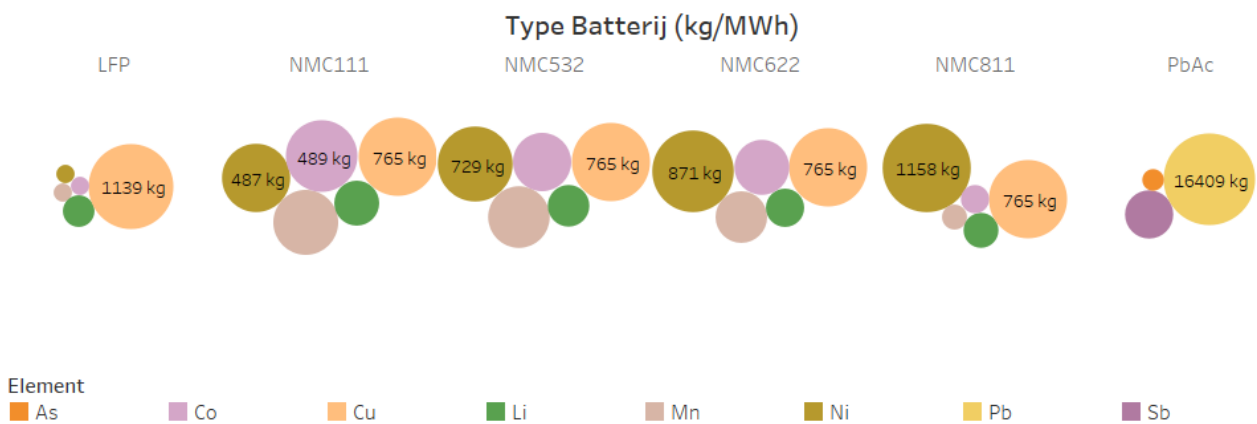
Figuur 3: Samenstelling windturbine - kritiek metalen (in kg per MW capaciteit)

3.4 BATTERIJEN

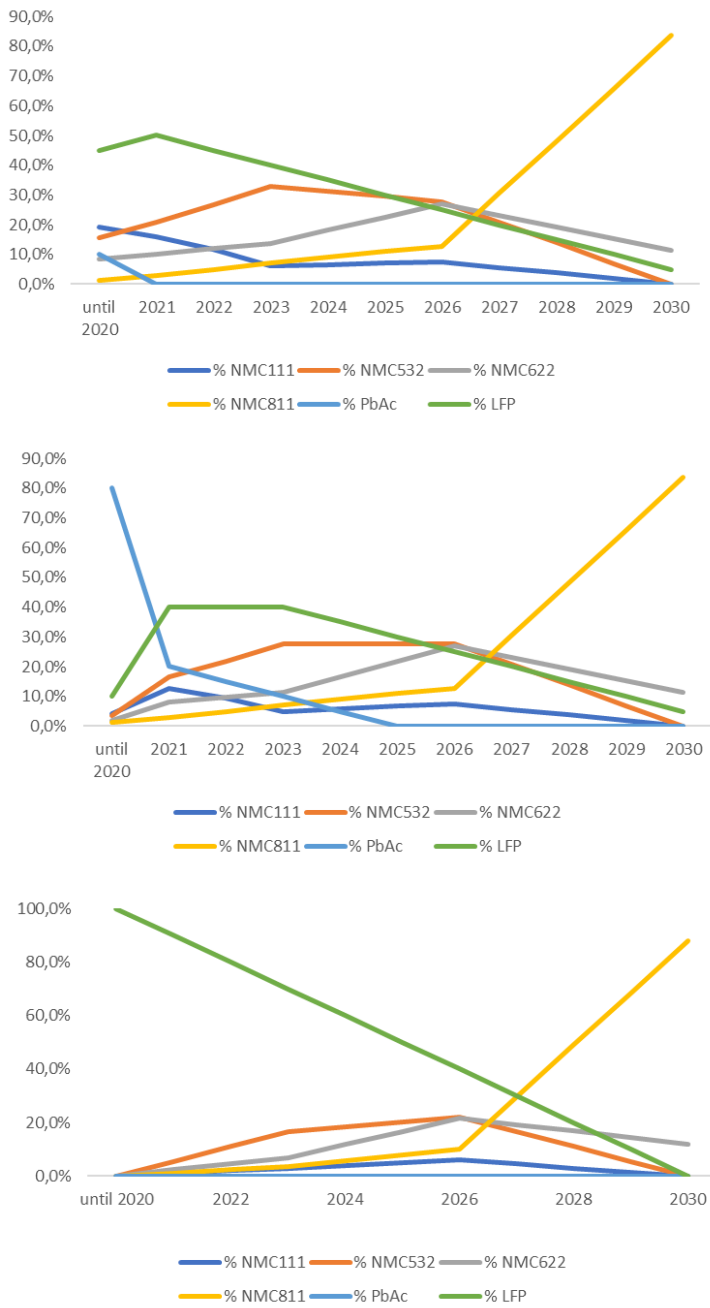
In totaal worden drie verschillende types batterijen opgenomen in de analyse, nl. Nikkel-Mangaan-Kobalt batterijen (NMC), Lithium-IJzer-fosfaat batterijen (LFP) en Loodzuur batterijen (PbAc). Van de NMC batterijen worden er vier verschillende types opgenomen, waarbij de verhoudingen van nikkel, mangaan en kobalt telkens anders liggen, nl. NMC111, NMC532, NMC811 en NMC622. Deze verschillende types aan batterijen verschillen qua energiedensiteit. Zo hebben loodzuur batterijen een energiedensiteit van 40 Wh/kg batterij, LFP batterijen hebben een huidige energiedensiteit van 100 Wh/kg waarvan verwacht wordt dat deze zal toenemen tot 134 Wh/kg in 2030 en NMC batterijen hebben een energiedensiteit van 150 Wh/kg waarvan wordt verwacht dat deze verder zal toenemen tot 222 Wh/kg terwijl deze verder ontwikkelen.

Figuur 5 geeft weer welke verdeling van de verschillende batterijen wordt verondersteld in het model voor de residentiële batterijen (boven), de industriële batterijen (midden) en de grid batterijen (onder). Concreet wordt verwacht dat de batterijen met een lagere energiedensiteit gradueel uitgefaseerd zullen worden en worden vervangen met NMC batterijen. Ook hier is het moeilijk om een exacte blik te krijgen op wat de exacte evolutie zal zijn en wordt teruggevallen op eigen interne expertise rond de huidige staat van de batterijenmarkt.

Op basis van deze data en de geconstrueerde scenario's in tabel 2 kan vervolgens een inschatting worden bekomen van de totale capaciteit die van elke batterij op de markt komt. Echter, de levensduur van een batterij is direct gebonden aan het aantal cycli van ontlading die een batterij ervaart. Naarmate het aantal ontladingen toeneemt, neemt de opslagcapaciteit van de specifieke batterij af, totdat deze een grens bereikt vanaf dewelke het gebruik van de batterij niet meer aangewezen is. We gebruiken het aantal cycli van de verschillende batterijen en veronderstellen dat elke batterij tijdens één dag één volle cyclus van opladen en ontladen doorgaat. Zo worden de totale cycli van de levensduur van een batterij vertaald naar een geschatte gemiddelde levensduur. De eigenlijke levensduur zal echter eveneens afhangen van de condities waarin de batterij zich bevindt en variatie in het aantal cycli in de levensduur is dus mogelijk. Daarom wordt ook hier gebruik gemaakt van de Weibull-functie voor het schatten van de levensduur. Ook hier schatten we de levensduur aan de hand van verschillende vormparameters. Echter, de vormparameters die hier worden aangewend zijn allen zeer hoog. Dit betekent dat wordt verwacht dat er weinig vroege falen van batterijen plaatsvindt, maar dat de falen geconcentreerd zijn naar het einde van de gemiddelde levensduur van de batterij.



Figuur 4: Samenstelling verschillende types batterijen - kritiek metalen (uitgedrukt in kg/MWh)



Figuur 5: Samenstelling marktaandeel verkoop batterijen van 2020 tot 2030 voor residentiële batterijen (boven), industriële batterijen (midden) en grid batterijen (beneden)

3.5 SAMENBRENGEN VAN SCHATTINGEN

Voor elk van de verschillende technologieën levert het model uiteindelijk een berekening af van de benodigde massa aan materialen op jaarbasis en dit zowel voor de bijkomstige capaciteit, de vervanging van oude capaciteit en de terugwinning van materialen en het verlies bij recyclage. Deze data bekomen we voor volgende lijst van 17 metallische elementen:

- Zilver
- Goud
- Boor
- Kobalt
- Koper
- Dysprosium
- Gallium
- Indium
- Lithium
- Mangaan
- Neodymium
- Nikkel
- Lood
- Praseodymium
- Terbium
- Tellurium
- Zink

Zoals eerder aangegeven werd de lijst samengesteld op basis van beschikbare informatie in de wetenschappelijke literatuur. Door ontbrekende informatie in de geconsulteerde literatuur of studies, die ongekend zijn door de auteurs, kunnen sommige metalen, die tevens relevant zijn voor de energietransitie nog missen. Deze lijst is dus niet exhaustief maar wel degene waaromtrent de meeste betrouwbaarheid bestaat gegeven de beschikbare informatie.

Onderstaande tabel geeft de verschillende Weibull parameters in het model en de geschatte recyclage efficiënties summier weer. Bij de recyclage wordt voor elk element telkens twee cijfers gerapporteerd. Het eerste cijfer verwijst naar de recyclage-efficiëntie in 2020 terwijl het tweede cijfer de geschatte recyclage-efficiëntie in 2030 beschrijft.

Tabel 3: Samenvatting relevante parameters model.

		Zonne- panelen	Omvormers	Wind- turbines	Batterij					
					PbAc	LFP	NMC111	NMC532	NMC622	NMC811
Weibull parameters	Gemiddelde levensduur (Weibull schaalparameter)	30	12,5	20	1750 cycli	3500 cycli	3500 cycli	3500 cycli	3500 cycli	3500 cycli
	Minimale Weibull vormparameter	2,4928	3	5	15	15	15	15	15	15
	Gemiddelde Weibull vormparameter	5,3759	7	7	20	20	20	20	20	20
	Maximale Weibull vormparameter	14,41	10	10	30	30	30	30	30	30
Recyclage efficiëntie in 2020/2030	Zilver	0,95/0,95	0,99/0,99	-	-	-	-	-	-	-
	Goud	0,99/0,99	-	-	-	-	-	-	-	-
	Boor	0/0	-	0/0	-	-	-	-	-	-
	Kobalt	-	-	0,97/0,98	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99
	Koper	0,95/0,95	0,99/0,99	0,98/0,98	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99
	Dysprosium	0,95/0,95	-	0,93/0,93	-	-	-	-	-	-
	Gallium	0,9/0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Indium	0,9/0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lithium	-	-	-	-	0/0,8	0/0,8	0/0,8	0/0,8	0/0,8
	Mangaan	-	-	-	-	0/0,99	0/0,99	0/0,99	0/0,99	0/0,99
	Neodymium	0,95/0,95	-	0,94/0,94	-	-	-	-	-	-
	Nikkel	0,41/0,41	0,99/0,99	0,98/0,98	-	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99	0,98/0,99
	Lood	-	0,99/0,99	-	-	0,99/0,99	-	-	-	-
	Praseodymium	0,95/0,95	-	0,96/0,96	-	-	-	-	-	-
	Terbium	0/0	-	0/0	-	-	-	-	-	-
Tellurium	0,95/0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zink	-	0/0	-	-	-	-	-	-	-	

4 RESULTATEN

In deze sectie presenteren we de resultaten van de analyse. Er worden telkens verschillende facetten belicht. Eerst en vooral wordt een figuur met de **cumulatieve vraag** voorgesteld. Er wordt een bereik voorgesteld van de cumulatieve vraag op basis van de vorm van de Weibull-curve, zo wordt een betrouwbaarheidsinterval weergegeven. Deze cumulatieve vraag representeert uitsluitend de totale vraag naar een element en houdt geen rekening met het mogelijke hergebruik van het element via recyclage.

Op basis van de gemiddelde **totale cumulatieve vraag tegen 2030** wordt vervolgens weergegeven voor welke toepassingen het specifieke element wordt gebruikt. Zo wordt een inzicht bekomen in het belang van zonnepanelen, omvormers, windturbines en batterijen in de totale cumulatieve vraag. Aangezien er verschillende scenario's zijn voor de implementatie van residentiële batterijen, worden deze figuren uitsluitend voor een gemiddeld opname scenario getoond om zo alles overzichtelijk te houden.

Daarna wordt de **jaarlijkse vraag** getoond naar een bepaald element op basis van het nieuwe vermogen dat moet geïnstalleerd worden om de doelstellingen van het energieplan te halen en op basis van het vermogen dat moet vervangen worden doordat een bepaalde toepassing afgedankt werd.⁶ Voor het vermogen dat het einde van diens levensduur heeft bereikt, wordt eveneens weergegeven **hoeveel er gerecycleerd** kan worden op basis van recyclage-efficiënties gerapporteerd in de wetenschappelijke literatuur en onder de veronderstelling dat alle gefaald vermogen volledig wordt ingezameld. Zo wordt weergegeven hoeveel er gerecycleerd wordt en welke fractie bij recyclage verloren gaat.

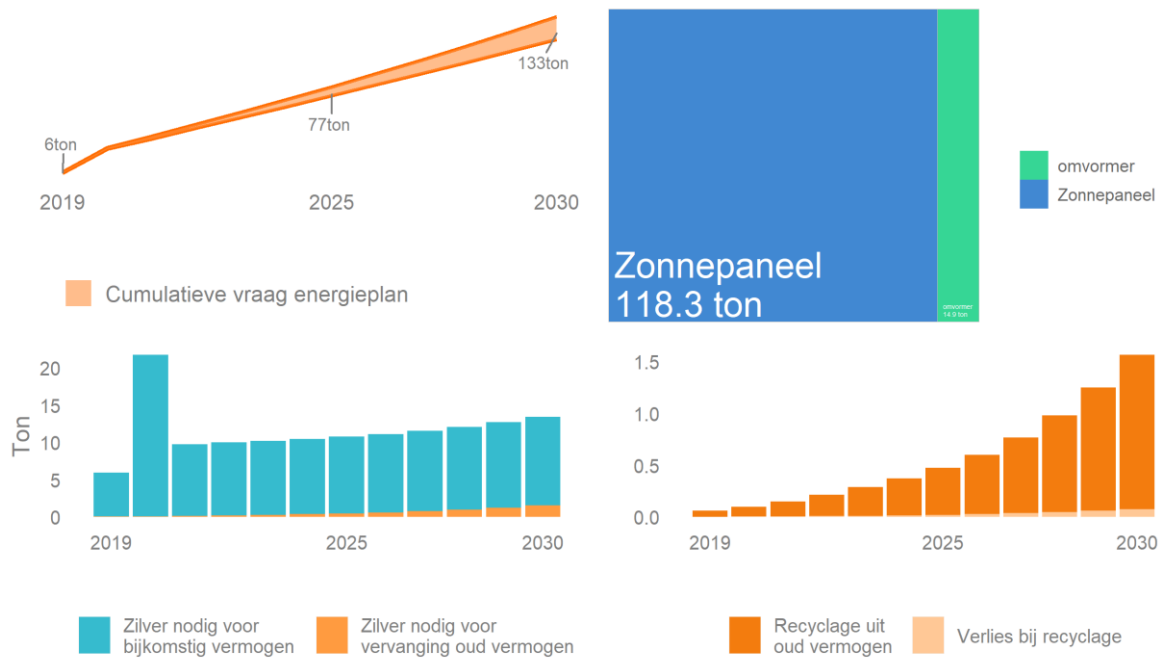
Tot slot wordt ook nog weergegeven hoe de **totale cumulatieve vraag tegen 2030** zich verhoudt **ten opzichte van de reserves** en, indien data beschikbaar, de *totale resources*. Naar de definitie van de US Geological Services zijn *reserves* een inventaris van de mineralen in de voorraden van mijnbedrijven die op een economisch haalbare manier kunnen ontmijnd worden. *Resources* worden dan weer gezien als een verzameling van de reserves (die al dan niet economisch haalbaar kunnen ontgonnen worden), voorlopig nog niet ontdekte voorraden⁷ en gerecycleerde mineralen. Er wordt in de figuur niet gewerkt met de totale mondiale reserves en resources maar met die fractie van de reserves en resources waar Vlaanderen a rato van diens populatie-aandeel in de wereldbevolking aanspraak op kan maken. Het betreft hier dus veeleer een *reserve-* en *resource-budget*.

⁶ Dit wordt uitsluitend voor het energieplan doorgerekend om zo niet een overvloed aan figuren weer te geven.

⁷ De inschatting voor voorlopig niet ontdekte voorraden gebeurt op basis van bodemanalyses van gronden die niet reeds worden geëxploiteerd en betreft dus een ruwe schatting.

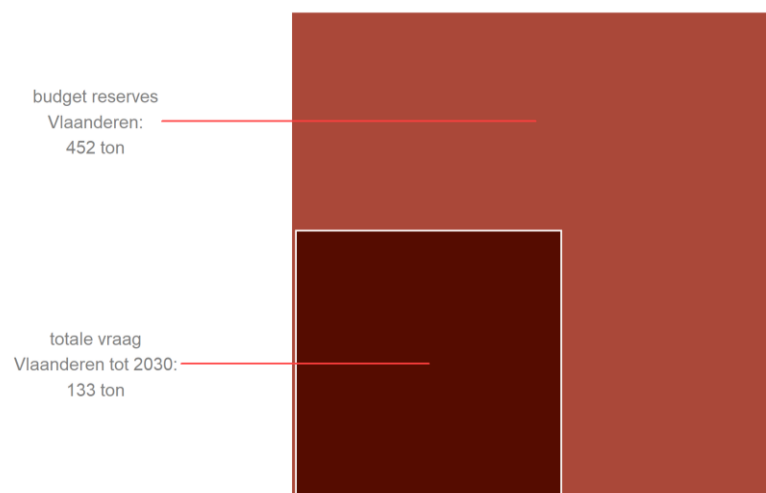
4.1 ZILVER

Zilver wordt als metaal voornamelijk ingezet in de productie van elektrische en elektronische toepassingen, juwelen en tafelzilver, en munten en medailles. De gemiddelde cumulatieve vraag naar zilver dat noodzakelijk is ter realisatie van het energieplan bedraagt gemiddeld tussen de 127 en 148 ton tegen 2030. Het overgrote deel (89%) van deze vraag is noodzakelijk om te voldoen aan de vraag naar additionele zonnepanelen, aangezien zilver een element is dat vervat zit in de meest gebruikte silicium-zonnepanelen. Gezien de lange levensduur van zonnepanelen, moet slechts een beperkte fractie aan oud vermogen vervangen worden met nieuw vermogen. Indien de zonnepanelen optimaal worden ingezameld en gerecycleerd, kan ook bijna al het zilver worden teruggewonnen en dienen ter vermindering van het ontminen van primair zilver. Cumulatief bedraagt de terugwinning bij optimale recyclage 6,51 ton. Hoewel zilver ook nog in andere elektrische en elektronische applicaties wordt gebruikt⁸, neemt de vraag naar zilver tegen 2030 reeds meer dan een kwart van het Vlaamse reserve-budget voor zijn rekening. Aangezien de energie-transitie ook verder wordt gezet na 2030 kan het huidige reservebudget onder de huidige technologie dus onder druk komen te staan.



Figuur 6: Cumulatieve en jaarlijkse vraag naar zilver en samenstelling van de totale vraag.

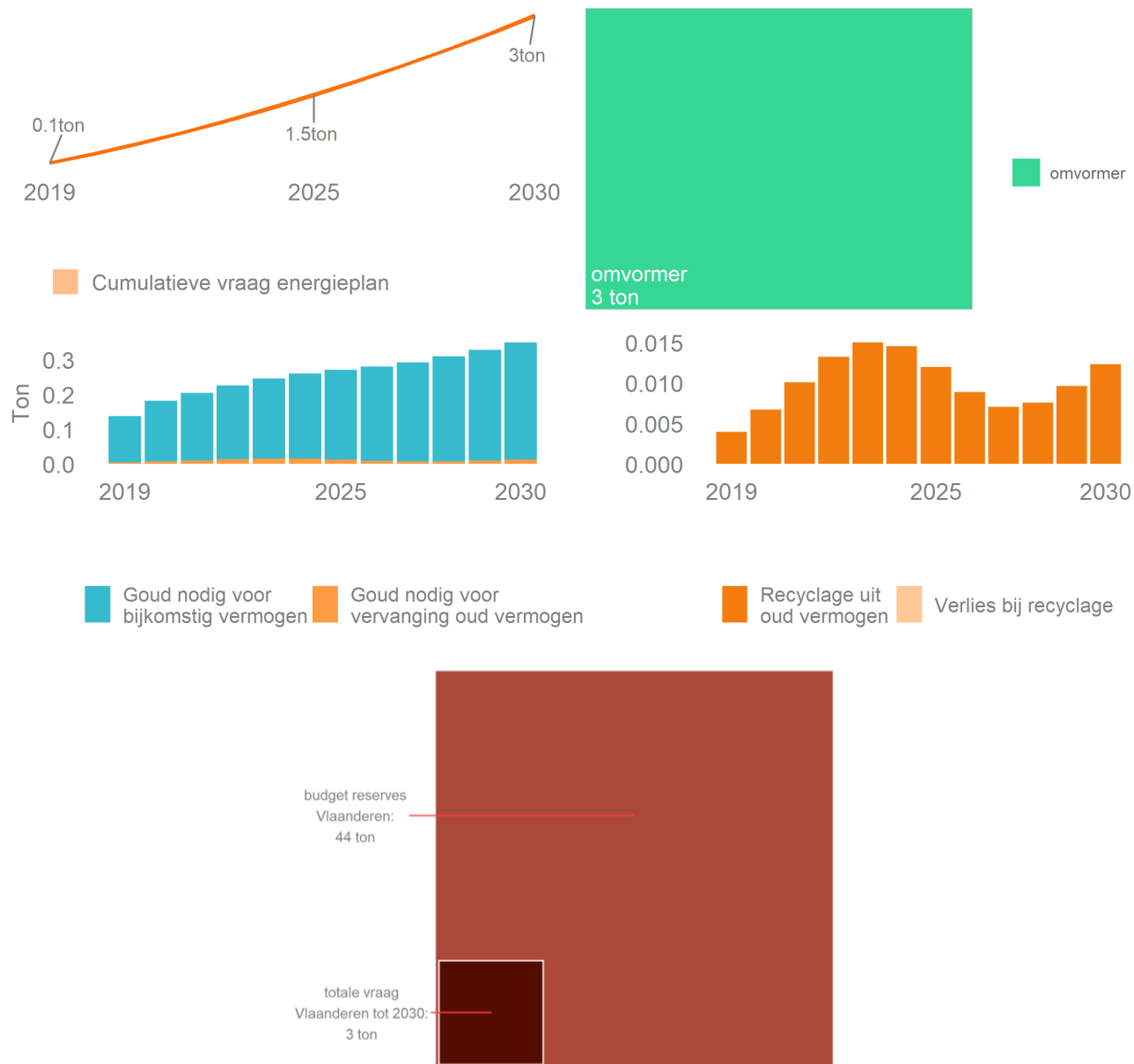
⁸ Het zilver in de omvormers maakt deel uit van het *printed circuit board*, hetgeen ook in verschillende andere elektrische en elektronische apparatuur wordt gebruikt.



Figuur 7: Fractie van de totale reserves aan zilver beschikbaar voor Vlaanderen (wereldproductie van zilver bedroeg 27.000 ton in 2018).

4.2 GOUD

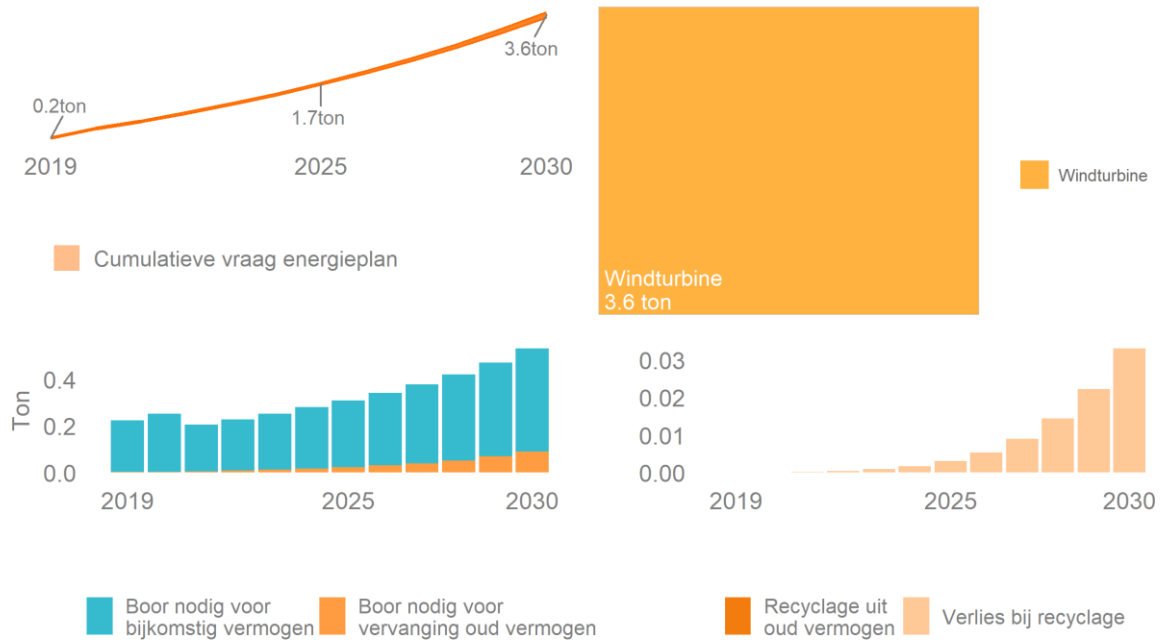
De voornaamste toepassingen van goud zijn het gebruik in elektrische en elektronische apparatuur en juwelen. In het kader van het energieplan vloeit de vraag naar goud uitsluitend voort uit de vraag naar omvormers. De *Printed Circuit Boards* in deze omvormers bevatten namelijk verschillende kritieke metalen. Gegeven het grote aantal omvormers dat noodzakelijk is, leidt dit tot een aanzienlijke toename in al deze kritieke metalen. De cumulatieve vraag tegen 2030 bedraagt ongeveer 2,97 ton, hetgeen een kleine 7% is van het totale reservebudget waarop Vlaanderen recht heeft op basis van diens populatie. Het goud dat vrijkomt kan wel worden teruggewonnen via recyclage. Gezien de kortere levensduur van omvormers ten opzichte van zonnepanelen is dit dus een belangrijke manier om de druk op de reserves in te tomen. Tot 2030 kan een totaal van 0,12 ton worden gerecycleerd uit omvormers die afgedankt worden.



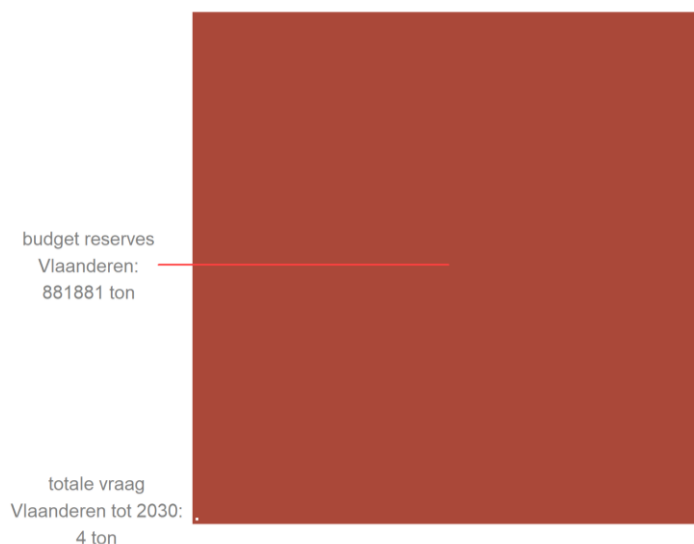
Figuur 8: Totale vraag naar goud, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan goud beschikbaar voor Vlaanderen (wereldproductie bedroeg 3.260 ton in 2018)

4.3 BOOR

Boor wordt voornamelijk gebruikt in de glas en keramiek industrie. Op basis van de wetenschappelijke literatuur werd vastgesteld dat boor als element in het kader van de energietransitie uitsluitend in windturbines wordt toegepast. Aangezien het vermogen aan windturbines hoger ligt in het regeerakkoord dan in het energieplan, is er dan ook meer boor nodig om te voldoen aan de vermogensuitbreiding beschreven in het regeerakkoord. Concreet is er cumulatief 3,5 tot 3,6 ton nodig tegen 2030 om te voldoen aan de doelstellingen van het energieplan. Echter, er werden geen recyclage-efficiëntiegraden teruggevonden voor boor waardoor verondersteld wordt dat het boor dat aanwezig is in windturbines die tegen 2030 obsolete zullen zijn, niet kan gerecycleerd worden en verloren is. Hoewel dit problematisch is, stelt de totale Vlaamse cumulatieve vraag tegen 2030 slechts een minuscule fractie voor ten opzichte van het totale budget aan reserves. In deze zin zijn er dus geen problemen te verwachten voor boor in het kader van de energietransitie.



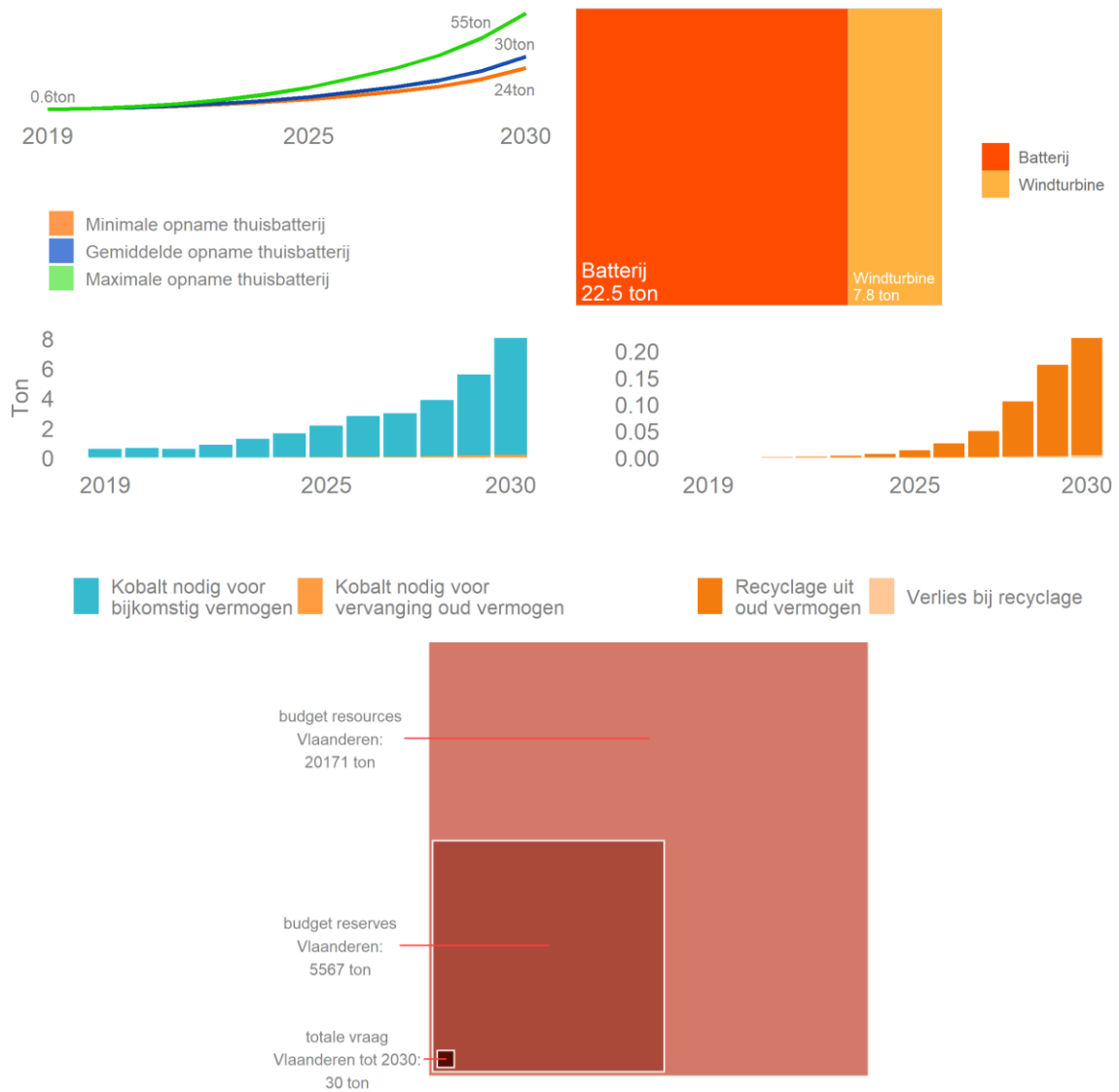
Figuur 9: Cumulatieve vraag naar boor, jaarlijkse vraag naar boor en samenstelling van de totale vraag.



Figuur 10: Fractie van de totale reserves aan boor beschikbaar voor Vlaanderen (data productie in VS missend, schatting in 2018 bedroeg meer dan 3.300 ton).

4.4 KOBALT

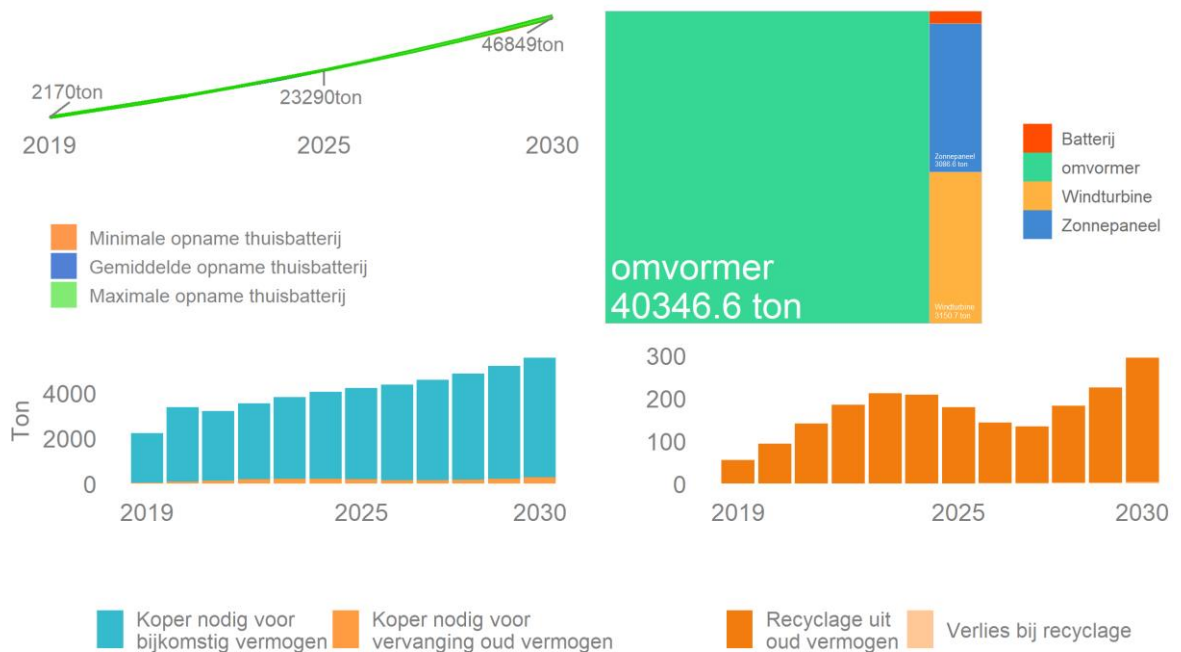
Kobalt wordt gebruikt in metaallegeringen en verscheidene andere metallische en chemische toepassingen. Hoewel kobalt ook wordt gebruikt voor windturbines, is het als element voornamelijk van belang in batterijen. Aangezien er echter weinig zicht is op de effectieve uitrol van bv. de residentiële opslagcapaciteit, werden drie verschillende opname scenario's geconstrueerd (zie sectie 2). Bij de lage opname van residentiële batterijen, bedraagt de cumulatieve vraag naar kobalt gemiddeld 24 ton in het kader van het energieplan. De gemiddelde opname van residentiële batterijen leidt tot een gemiddelde cumulatieve vraag naar kobalt van 30,3 ton en in het geval van een hoge opname van residentiële thuisbatterijen, bedraagt de vraag naar kobalt 54,7 ton. Verder worden in Figuur 11 de resultaten getoond wanneer er een gemiddelde opname van de residentiële opslagcapaciteit plaatsvindt. Zoals aangegeven vloeit het merendeel van de vraag voort uit de vraag naar batterijen. Hoewel er wordt verondersteld in de analyse dat de levensduur van de batterijen verder toeneemt tot 2030, leidt de kortere levensduur van de batterijen ten opzichte van bv. zonnepanelen en windturbines ertoe dat goede recyclage ertoe kan leiden dat grote fracties worden teruggewonnen. Tegen 2030 kan bij optimale recyclage 0,6 ton worden teruggewonnen. In totaal stelt de cumulatieve vraag naar kobalt onder een scenario van de gemiddelde opname van thuisbatterijen slechts een kleine fractie voor van het totale Vlaamse budget aan kobalt. Noteer echter dat batterijen ook in andere aspecten van de duurzaamheidstransitie relevant zijn (bv. elektrische voertuigen). Bovendien is de markt van de batterijen een zeer technologisch dynamische markt waardoor nieuwe technologieën tevens aan de horizon kunnen verschijnen.



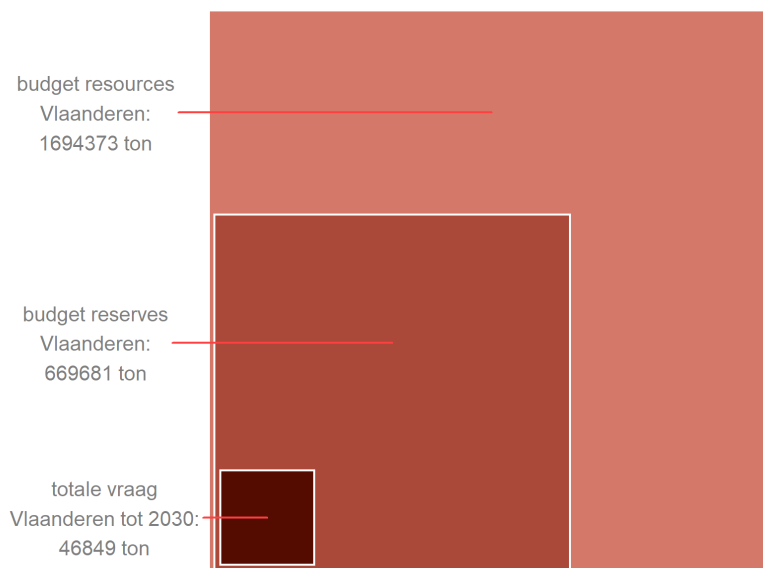
Figuur 11: Totale vraag naar kobalt, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan kobalt beschikbaar voor Vlaanderen (productie bedroeg 140.000 ton in 2018 en was voornamelijk afkomstig uit Congo).

4.5 KOPER

Koper geniet een brede waaier aan toepassingen, zoals bv. in de bouw, transport, elektrische en elektronische producten, consumentengoederen en industriële machines. Koper wordt eveneens toegepast in batterijen, waardoor net zoals bij kobalt een analyse voor de drie verschillende scenario's van opname wordt weergegeven. De variatie tussen de verschillende schattingen is echter beperkt, aangezien koper eveneens een belangrijk onderdeel vormt van de omvormers, de windturbines en zonnepanelen. De totale cumulatieve vraag naar koper schommelt tussen de 46.592 en 47.493 ton afhankelijk van de opname van de batterijen. Figuur 12 toont aan dat er visueel geen wezenlijk verschil is tussen het verloop van de vraag naar koper tegen 2030. Het overgrote deel is noodzakelijk voor de omvormers die worden geïnstalleerd bij zonnepaneelinstallaties. Dit koper kan goed gerecycleerd worden, al geldt ook hier dat slechts een kleine fractie van koper tegen 2030 kan worden gerecupereerd via recyclage, nl. 2042 ton. In totaal neemt de vraag naar koper tegen 2030 ongeveer 7% in beslag van het totale Vlaamse budget aan wereldreserves. Ook hier geldt de opmerking dat koper ook voor vele andere toepassingen wordt ingeschakeld, alsook noodzakelijk is voor het verderzetten van de energietransitie tot 2050.



Figuur 12: Totale vraag naar koper en samenstelling van de totale vraag.

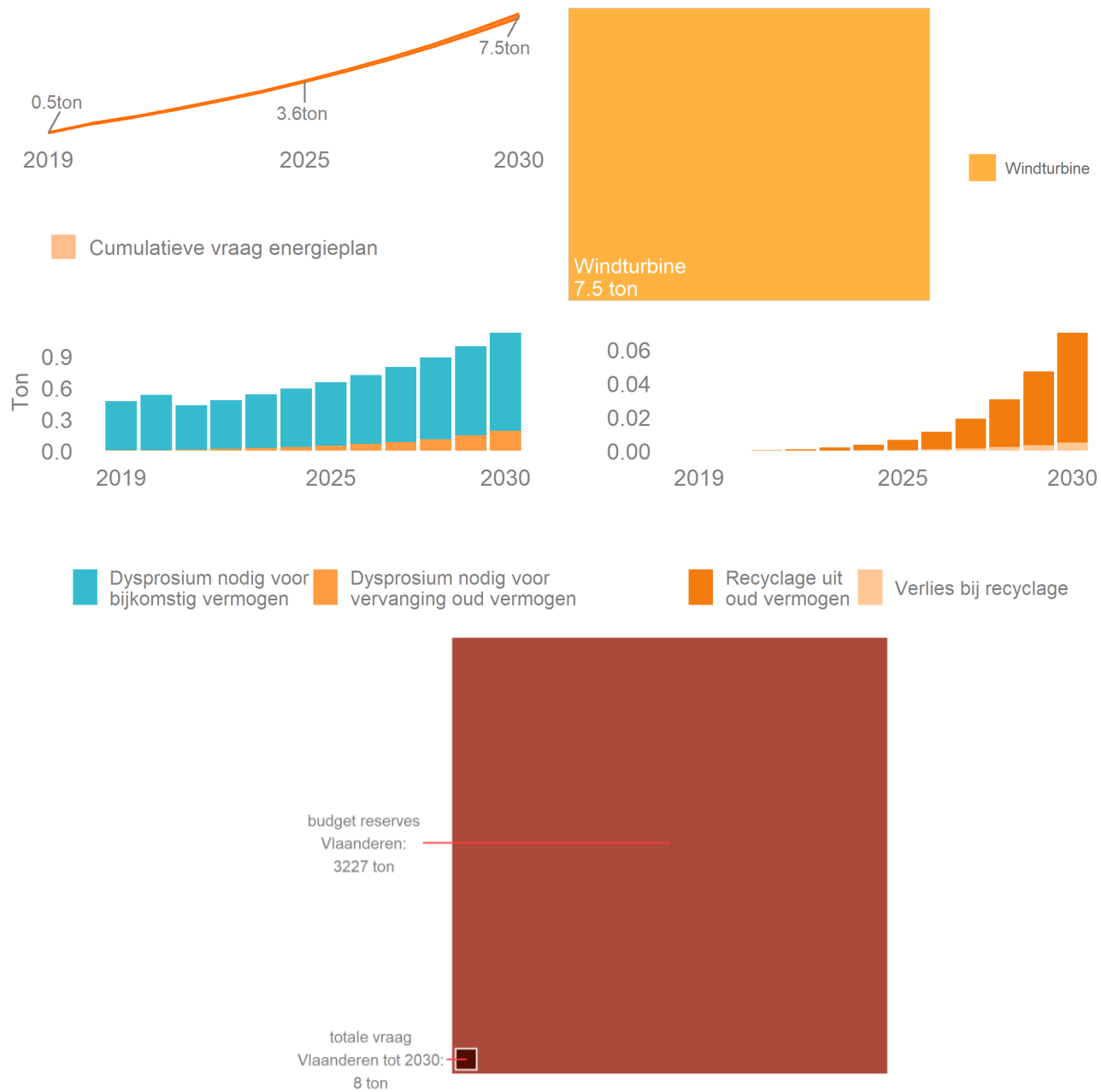


Figuur 13: Fractie van de totale reserves aan koper beschikbaar voor Vlaanderen (globale productie bedroeg 21 miljoen ton in 2018).

4.6 DYSPROSIUM

Net als voor boor, komt dysprosium in het kader van de energietransitie uitsluitend voor als relevant element in de windturbines. Concreet zou er voor het energieplan tussen de 7,41 en 7,63 ton dysprosium nodig zijn. Tegen 2030 wordt duidelijk dat reeds een deel van de capaciteit aan windturbines moet vervangen worden, waardoor dysprosium reeds aanwezig in oude toepassingen vrij zou komen. De hoge efficiëntie van het recyclageproces leidt ertoe dat, mits toepassing van correcte inzameling en recyclagetechniek, 0,18 ton van dit dysprosium kan hergebruikt worden na recyclage. Aangezien dysprosium één van de zeldzame kritieke metalen is, die voornamelijk in China worden geproduceerd, kan dit de importafhankelijkheid doen afnemen. Echter, voor de groep van de verschillende zeldzame kritieke metalen is weinig geweten omtrent de exacte reserves die voorhanden zijn⁹. Op basis van beschikbare data wordt geschat dat de cumulatieve vraag tot 2030 slechts een beperkt deel in zou nemen van het Vlaamse 'materiaalbudget' van dysprosium. De importafhankelijkheid van China maakt dat de strategische zeldzame kritieke metalen een belangrijke groep vormen om desalniettemin waakzaam over te zijn.

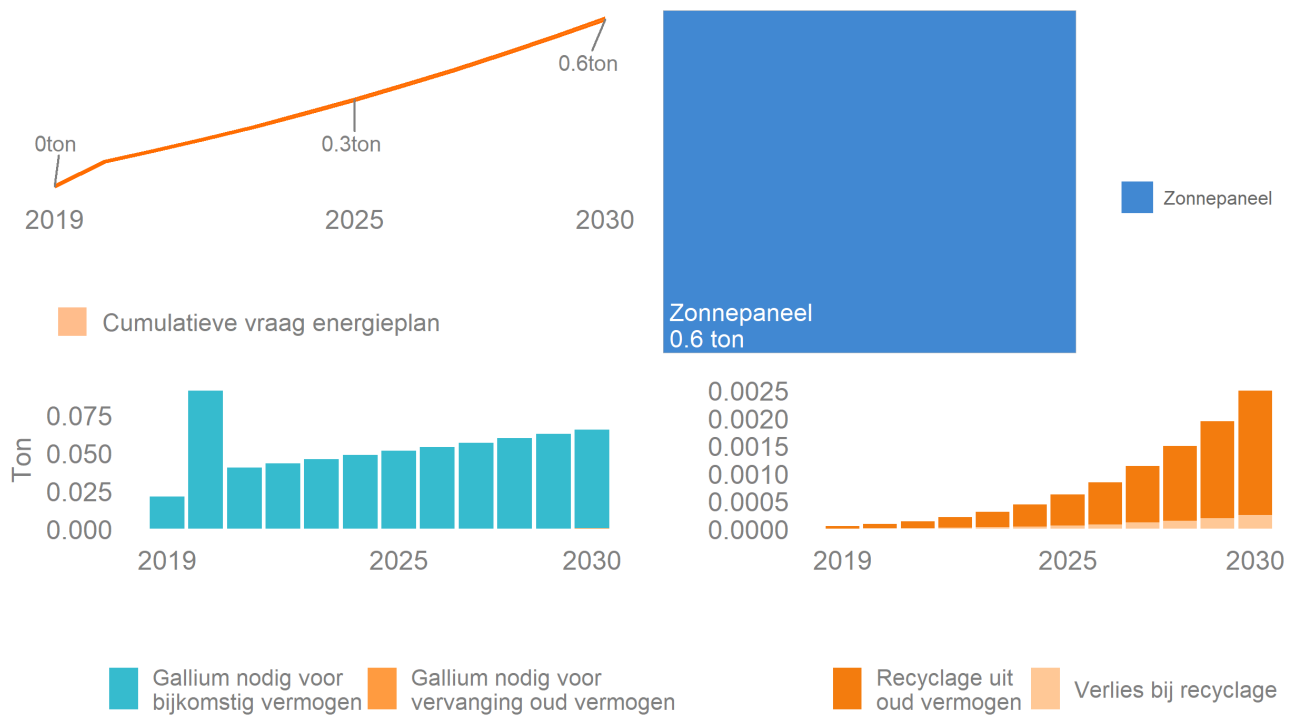
⁹ Voor de meeste bronnen wordt voor de reserves en de voorraden beroep gedaan op data van de US Geological Services. Voor de zeldzame kritieke metalen wordt uitsluitend een gezamenlijke schatting voor alle kritieke metalen voorzien. Echter, andere (minder betrouwbare) bronnen geven brede schattingen voor de specifieke zeldzame kritieke metalen en deze worden hier gebruikt. Zie ook bronnenlijst in annex.



Figuur 14: Totale vraag naar dysprosium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan dysprosium beschikbaar voor Vlaanderen.

4.7 GALLIUM

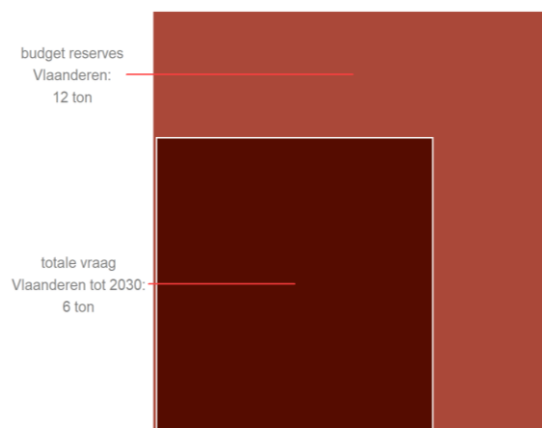
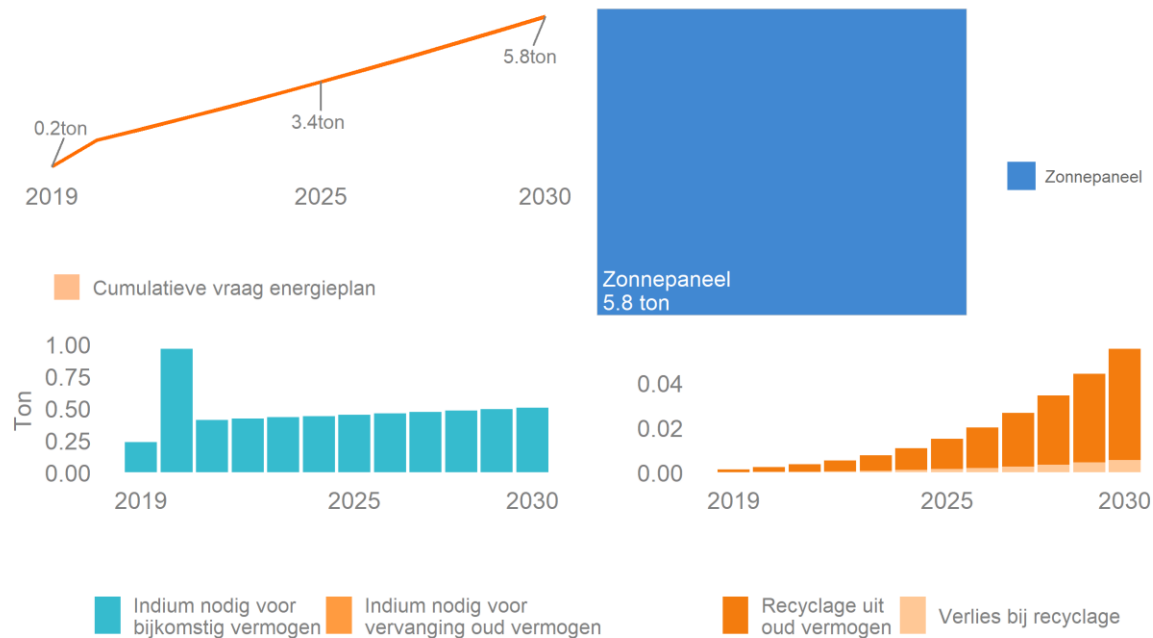
Gallium wordt onder andere gebruikt in chips, LEDs en opto-elektronische apparatuur (bv. laser diodes). Gallium wordt als element ook aangewend in zonnepanelen en meer concreet in de CIGS zonnepanelen, een type zonnepaneel dat gebruik maakt van verschillende kritieke metalen. Concreet maakt dit type zonnepaneel slechts een klein aandeel uit van de totale zonnepanelen markt en er wordt verondersteld dat dit beperkte aandeel ook zal standhouden tot 2030. De werkelijke evolutie in de vraag naar dit type zonnepaneel is moeilijk exact te voorspellen. Op basis van de assumpties in het model wordt de cumulatieve vraag tot 2030 naar gallium geschat op 0,64 ton. Aangezien er geen reservedata beschikbaar zijn met betrekking tot Gallium is het onmogelijk om de vraag naar gallium relatief te bekijken tot het totale Vlaamse reserve budget. Deze onzekerheid omtrent de eigenlijke voorraden aan gallium is een belangrijke drijver van de volatiliteit in de markt van Gallium. De cumulatieve recyclage tegen 2030 van gallium dat vrijkomt uit afgedankte zonnepanelen bedraagt 9kg.



Figuur 15: Totale vraag naar gallium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan gallium beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 410 ton in 2018)

4.8 INDIUM

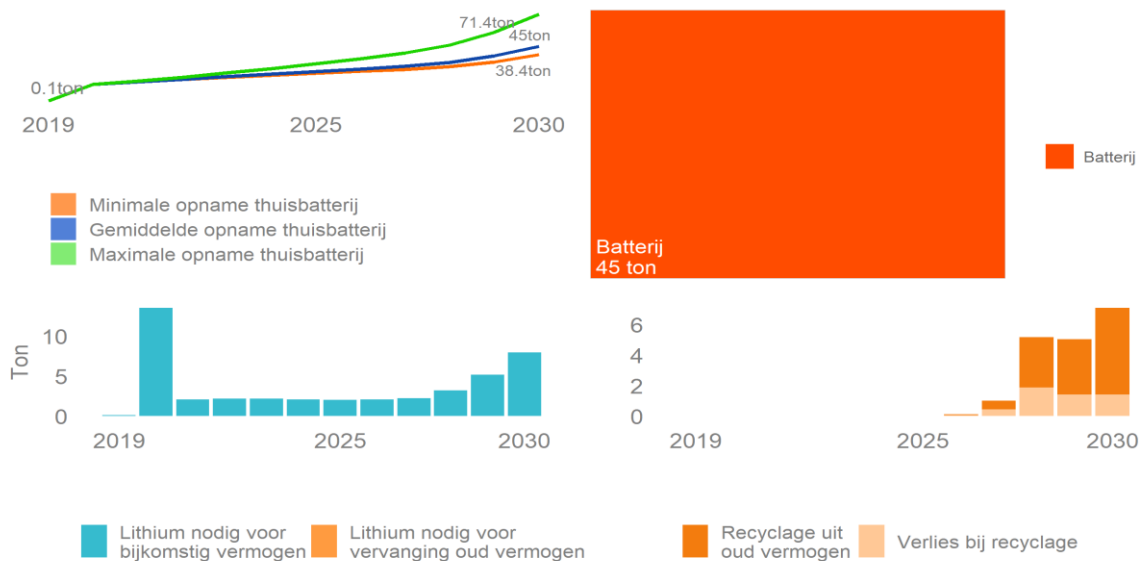
Indium wordt mondiaal voornamelijk aangewend als indium-tinoxide dat wordt gebruikt in bv. flat-panel displays. Indium maakt in het kader van de energietransitie eveneens deel uit van de CIGS zonnepanelen en in mindere mate ook van de CdTe zonnepanelen. Voor dit laatste type zonnepanelen projecteren we momenteel een uitdoofscenario in termen van het marktaandeel van deze zonnepanelen, zodat deze tegen 2030 geen deel meer uitmaken van de verkoopmix. Ook hier kan aldus worden gesteld dat er aanzienlijke onzekerheid bestaat door de onzekere evolutie van de marktaandelen van de verschillende types zonnepanelen. Er moet worden opgemerkt dat er mogelijkheden bestaan om indium te vervangen met germanium in zonnepanelen. Voorlopig wordt dit echter niet meegenomen in de analyse. De totale cumulatieve vraag tot 2030 wordt geschat op ongeveer 5,76 ton. Door de relatief lange levensduur van zonnepanelen is het ook hier duidelijk dat het meeste indium afkomstig zal zijn van primaire bronnen in plaats van secundaire bronnen (indien enkel wordt gekeken naar het indium in afgedankte zonnepanelen, waarvan in totaal 0,20 ton kan worden gerecycleerd tegen 2030). Zelfs onder een uitdoofscenario voor de CdTe zonnepanelen en een beperkt aandeel voor CIGS zonnepanelen moet worden onderstreept dat de cumulatieve vraag naar indium tegen 2030 ongeveer de helft van het totale Vlaamse budget aan indium zou opsouperen. Aangezien indium ook in andere toepassingen wordt gebruikt, leidt de energietransitie, die wordt uiteengezet in het energieplan en regeerakkoord tot druk op de beschikbare reserves. Net als gallium, dat voorkomt in zink- en aluminium-erts, is indium een bijproduct van zinkverwerking. Dit maakt het exact inschatten van de reserves zeer moeilijk. De beschikbare schattingen die werden gebruikt in onze analyse zijn afkomstig uit een Lokanc et al. (2013) en betreft de inschatting voor het jaar 2013. Het is dus noodzakelijk om het relatieve aandeel in het totale Vlaamse budget met de nodige voorzichtigheid te interpreteren.



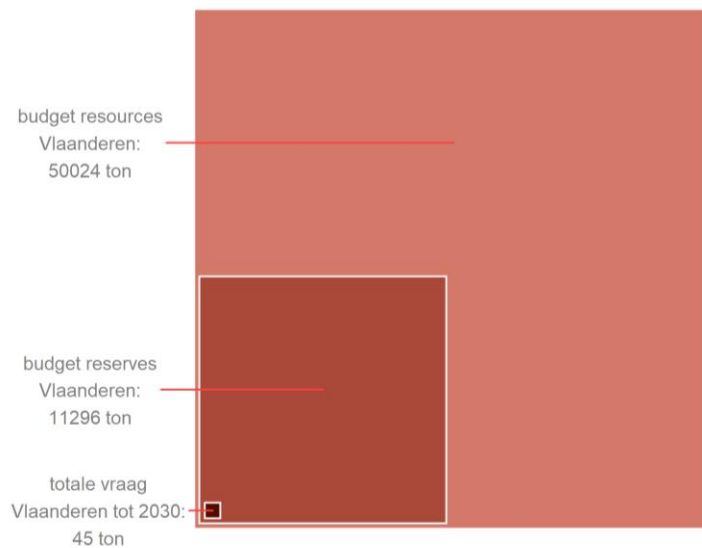
Figuur 16: Totale vraag naar indium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan indium beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 750 ton in 2018)

4.9 LITHIUM

De voornaamste toepassingen van lithium zijn voornamelijk batterijen, gevolgd door gebruik in bv. keramiek en glas. Lithium is een centraal element in het vergroten van de opslagcapaciteit van het Vlaamse elektriciteitsnetwerk. Hoewel er evolutie bestaat in het type lithium batterij dat op de markt aangeboden zal worden, veronderstelt ons model verder niet dat er geheel nieuwe types batterijen tegen 2030 op de markt zullen verschijnen. Het is echter duidelijk dat de evolutie van de residentiële opslagcapaciteit een belangrijk element zal zijn in het bepalen hoe de vraag naar lithium tot 2030 zal evolueren. Een scenario met lage opname leidt tot een gemiddelde cumulatieve vraag tegen 2030 van 38,4 ton, terwijl een scenario met hoge opname geassocieerd is met een vraag van 71,4 ton. In een gemiddeld scenario, bedraagt de vraag 45,0 ton. Gezien de momenteel beperkte opslagcapaciteit, zal het hoeveelheid vrijgekomen lithium in de eerste helft van 2020 beperkt zijn maar in de tweede helft drastisch toenemen. Net als bij sommige andere elementen is de economische haalbaarheid van recyclage een relevante factor in het realiseren van het recyclagepotentieel. Dit is één van de redenen waarom de recyclage-efficiëntie laag wordt ingeschat in 2020, terwijl deze wordt verondersteld verder toe te nemen tot 2030. Zo zijn er dus aanzienlijke verliezen van lithium tijdens het recyclageproces. Tegen 2030 wordt bij een gemiddelde opname van thuisbatterijen de totale hoeveelheid lithium dat via recyclage kan worden teruggewonnen op 13,3 ton geschat.



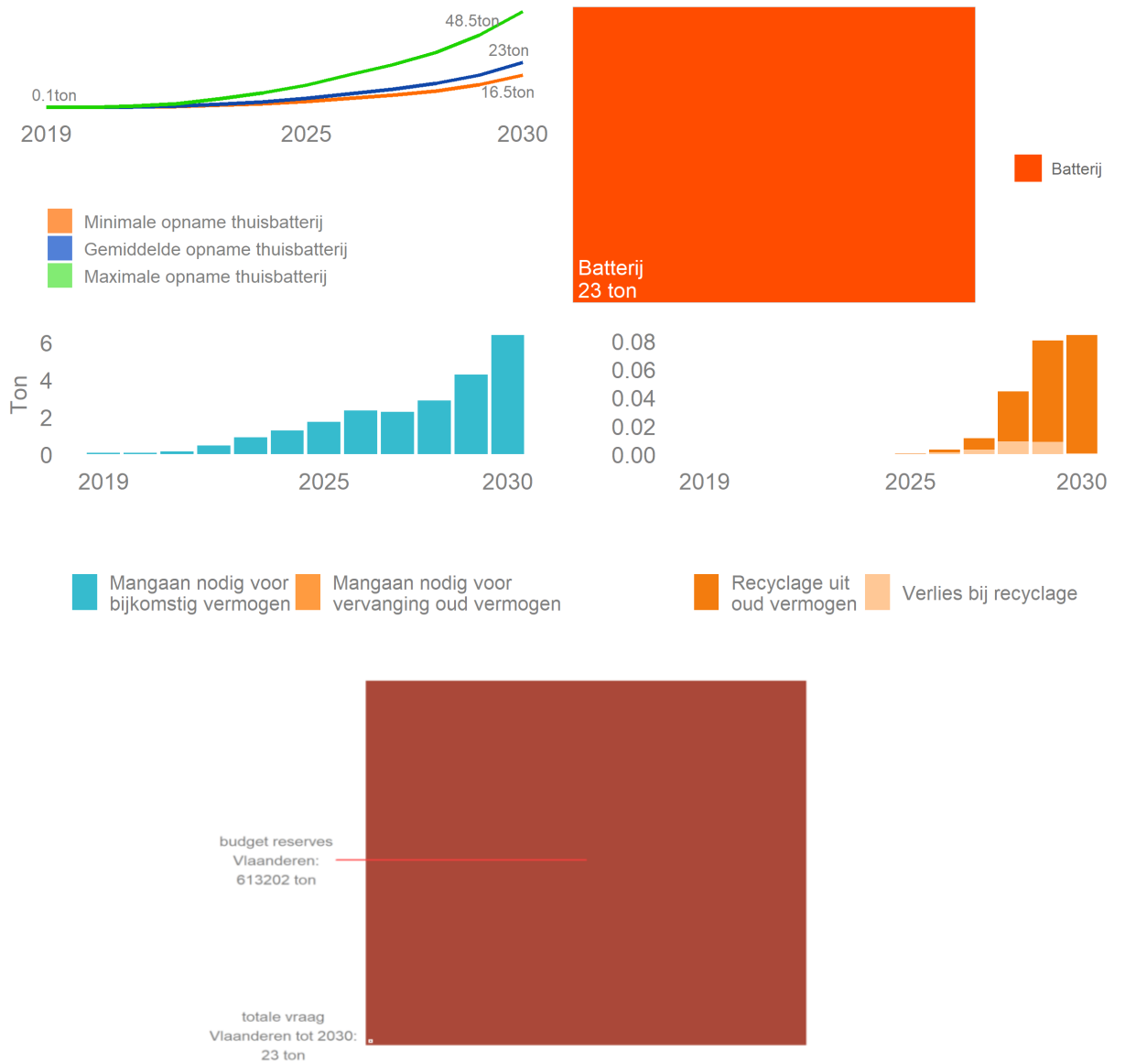
Figuur 17: Totale vraag naar lithium en samenstelling van de totale vraag.



Figuur 18: Fractie van de totale reserves aan lithium beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 85.000 ton in 2018).

4.10 MANGAAN

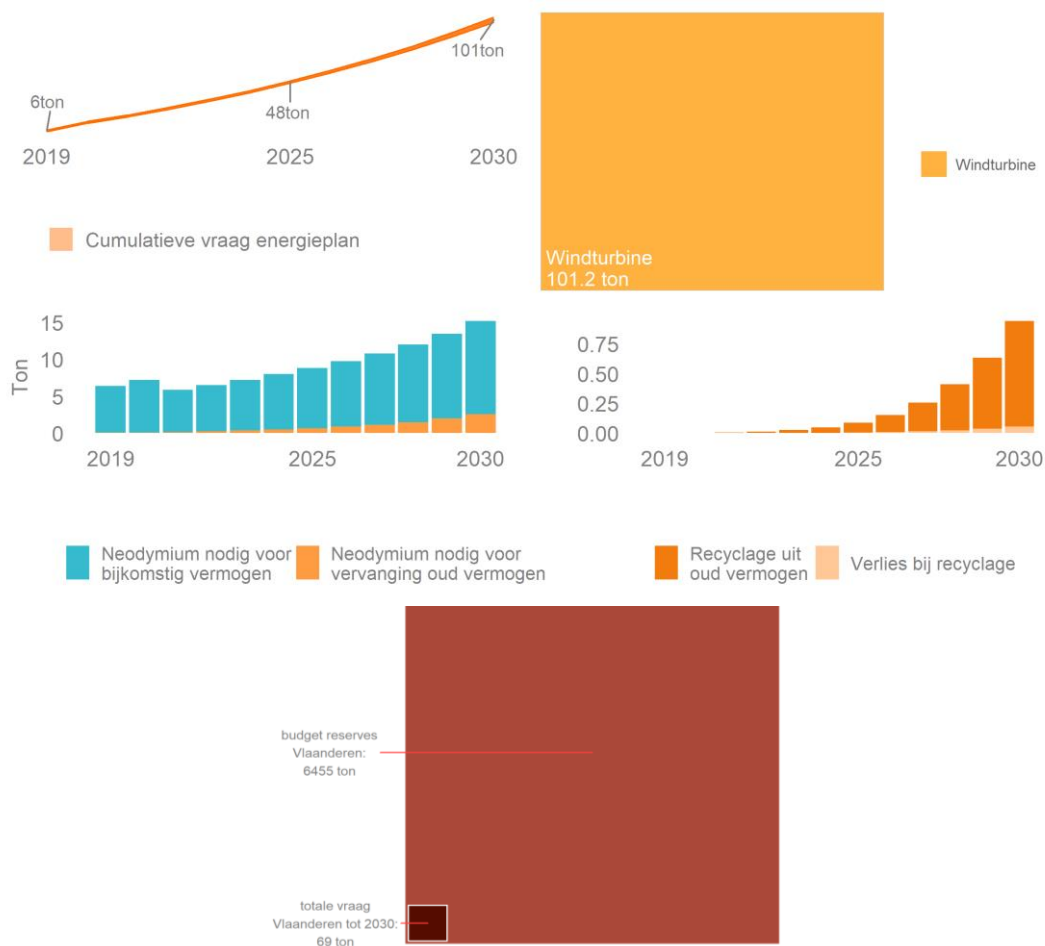
Mangaan is net als lithium van belang bij de productie van lithium batterijen. Andere toepassingen betreffen het gebruik in de productie van staal voor de bouw, transport en machines, of als meststof en veevoeding. Het gebruik van mangaan varieert afhankelijk van de opname van thuisbatterijen tussen de 16 en 49 ton bij de implementatie van het energieplan. Echter, de totale massa noodzakelijk in het kader van het uitbreiden van de opslagcapaciteit is slechts een zeer kleine fractie van het totale Vlaamse budget aan mangaan in de wereldreserves. De cumulatieve recyclage tegen 2030 uit afgedankte batterijen zou 0,20 ton bedragen indien recyclage economisch haalbaar zou zijn.



Figuur 19: Totale vraag naar mangaan, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan mangaan beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 18 Mton in 2018).

4.11 NEODYMIUM

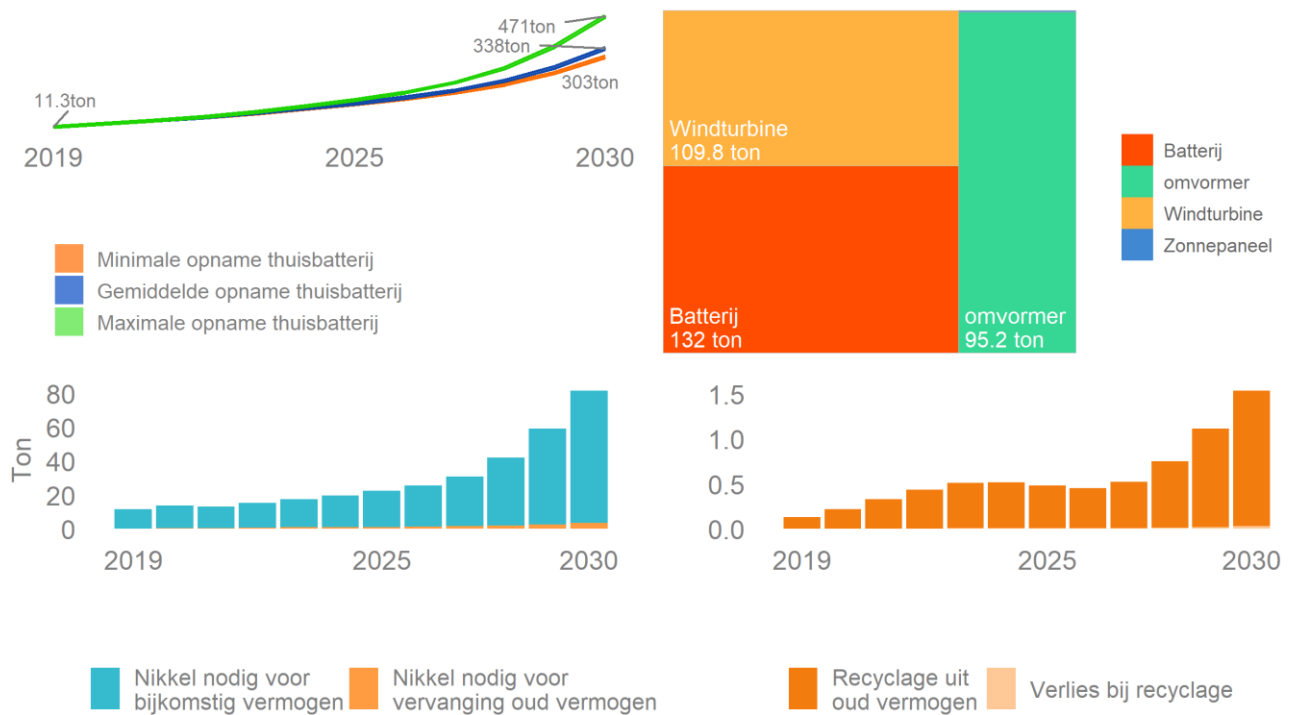
Neodymium is net als dysprosium een zeldzaam kritiek metaal dat wordt aangewend in de permanente magneet van windturbines. De gemiddelde cumulatieve vraag naar het element bedraagt 101 ton in het kader van het Vlaams energieplan. Ook hier geldt dat het aanwenden van secundair neodymium een steeds groter aandeel kan vervullen van de totale vraag naar neodymium aangezien een steeds grotere fractie aan neodymium in voormalige windturbines beschikbaar wordt. Tot 2030 wordt het potentieel van recyclage op 2,4 ton geschat. Wat betreft de vraag geldt ook hier dat er veel onzekerheid bestaat omtrent de exacte beschikbare reserves aan neodymium. Hoewel de huidige cumulatieve vraag iets meer dan een procent beslaat van het totale Vlaamse budget, maakt het bevoorradingsrisico dat dit desalniettemin een belangrijk metaal blijft in termen van voorraadbeheer. China is namelijk een belangrijke leverancier van de zeldzame kritieke metalen.



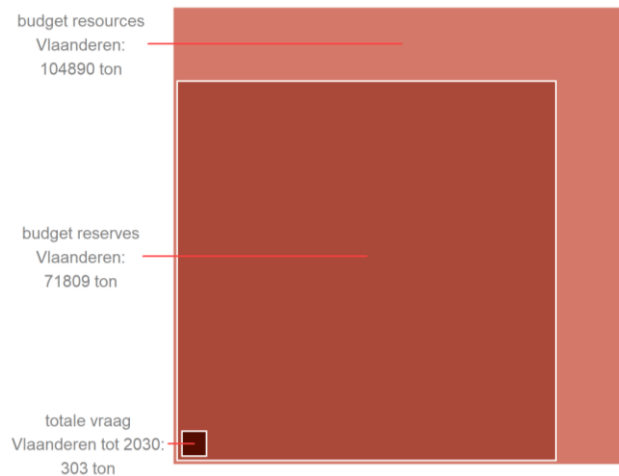
Figuur 20: Totale vraag naar neodymium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan neodymium beschikbaar voor Vlaanderen

4.12 NIKKEL

Nikkel wordt voornamelijk gebruikt in de productie van staal en non-ferro legeringen. In het kader van het energieplan wordt nikkel gebruikt in windturbines, batterijen, de omvormers van zonnepanelen en in mindere mate in zonnepanelen. Aangezien batterijen een belangrijke toepassing vormen van nikkel, varieert de cumulatieve vraag naar nikkel navenant de opname van residentiële opslagcapaciteit. Terwijl de cumulatieve vraag naar nikkel 301 tot 305 ton tegen 2030 bedraagt bij een minimale opname van thuisbatterijen in het scenario van het energieplan, bedraagt deze bij maximale opname 470 tot 474. Er is wel een aanzienlijk potentieel, zeker na 2030, voor het terugwinnen van nikkel via recyclage. Bij een scenario van gemiddelde opname van batterijen bedraagt de totale mogelijke recyclage van nikkel 6,9 ton. Zo kan de druk op de primaire vraag naar nikkel worden beperkt. Als fractie van het Vlaamse budget aan reserves eist de energietransitie tussen de 0,3% en 0,7% van het Vlaamse budget aan nikkel op, afhankelijk van het scenario (energieplan/regeerakkoord en minimale/gemiddelde/maximale opname batterijen).



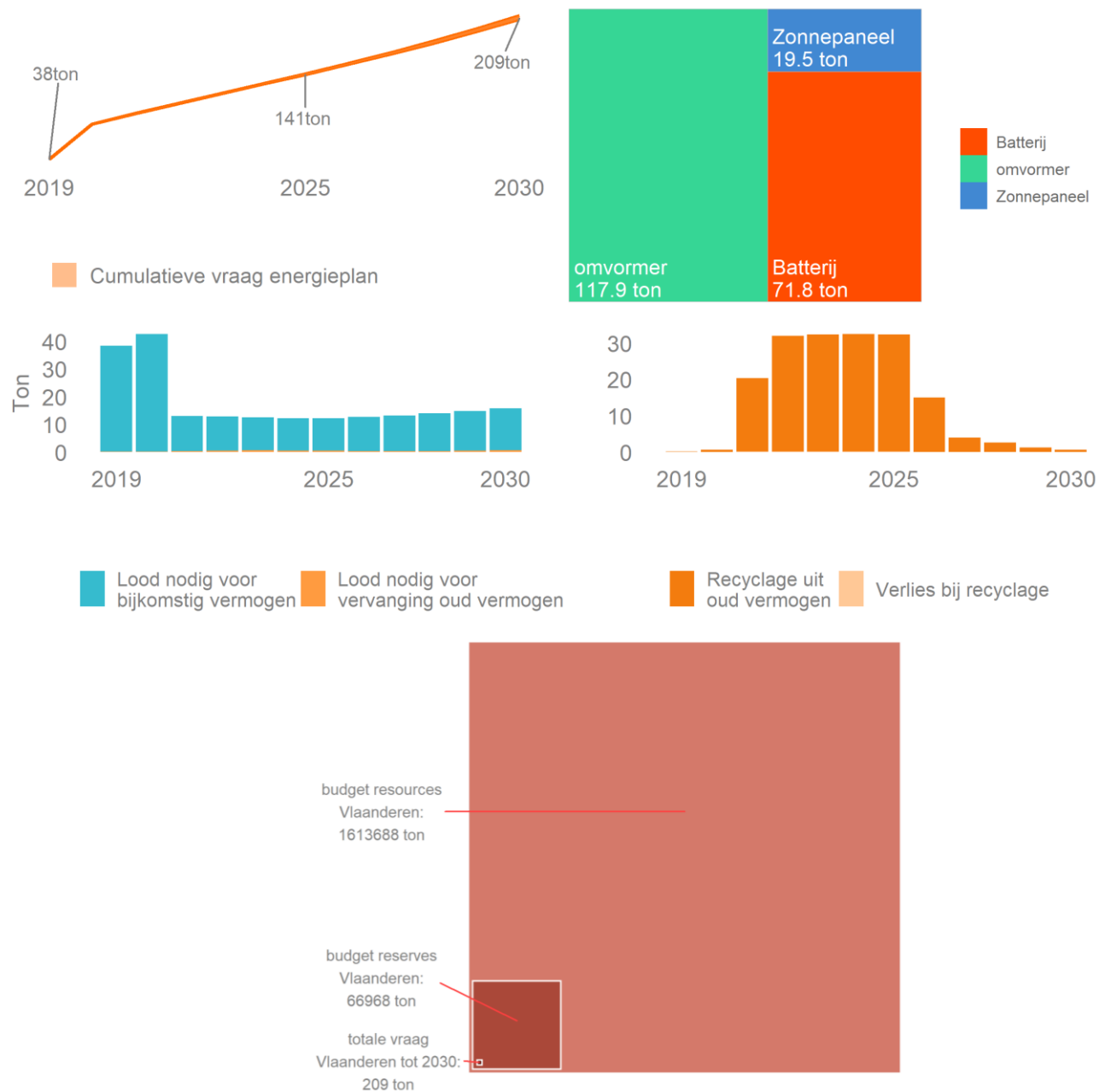
Figuur 21: Totale vraag naar nikkel en samenstelling van de totale vraag



Figuur 22: Fractie van de totale reserves aan nikkel beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 2,3 Mton in 2018).

4.13 LOOD

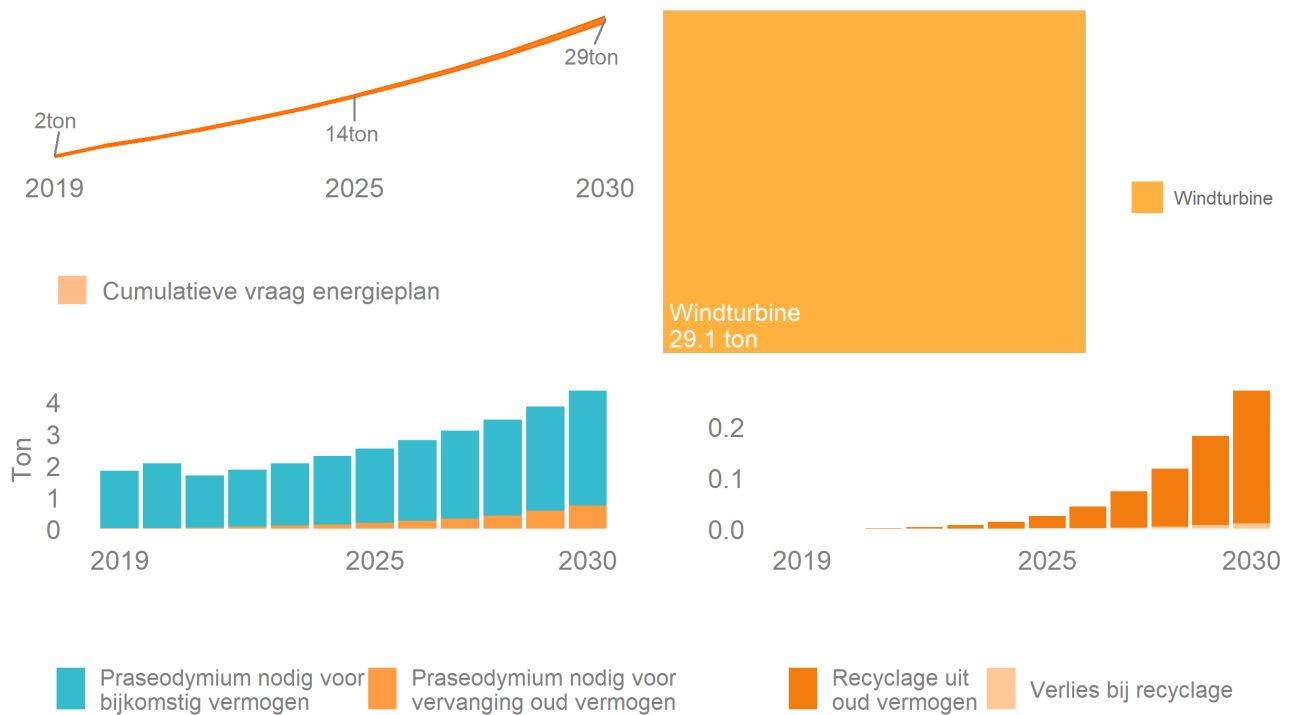
Loodzuur batterijen zijn één van de voornaamste huidige toepassingen van lood. Figuur 23 toont dat in het kader van het energieplan ook omvormers en zonnepanelen relevante goederen zijn voor de toepassing van lood. Gegeven de lage energiedensiteit van loodzuur batterijen wordt verondersteld in het model dat deze technologie voor batterijen snel zal plaats maken voor meer efficiënte batterijen maar dat er initieel nog een lage opname van deze batterijen plaatsvindt. Gegeven het lagere aantal cycli dat dit type van batterij aankan (en dus de lagere gemiddelde levensduur), komt veel van dit lood ook weer vrij in de eerste helft/midden van de jaren 2020 en hiervan kan 173 ton worden gerecycleerd. Ook hier bedraagt de additionele vraag van de energietransitie slechts een beperkt aandeel van het totale Vlaamse budget.



Figuur 23: Totale vraag naar lood, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan lood beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 4,4 Mton in 2018).

4.14 PRASEODYMIUM

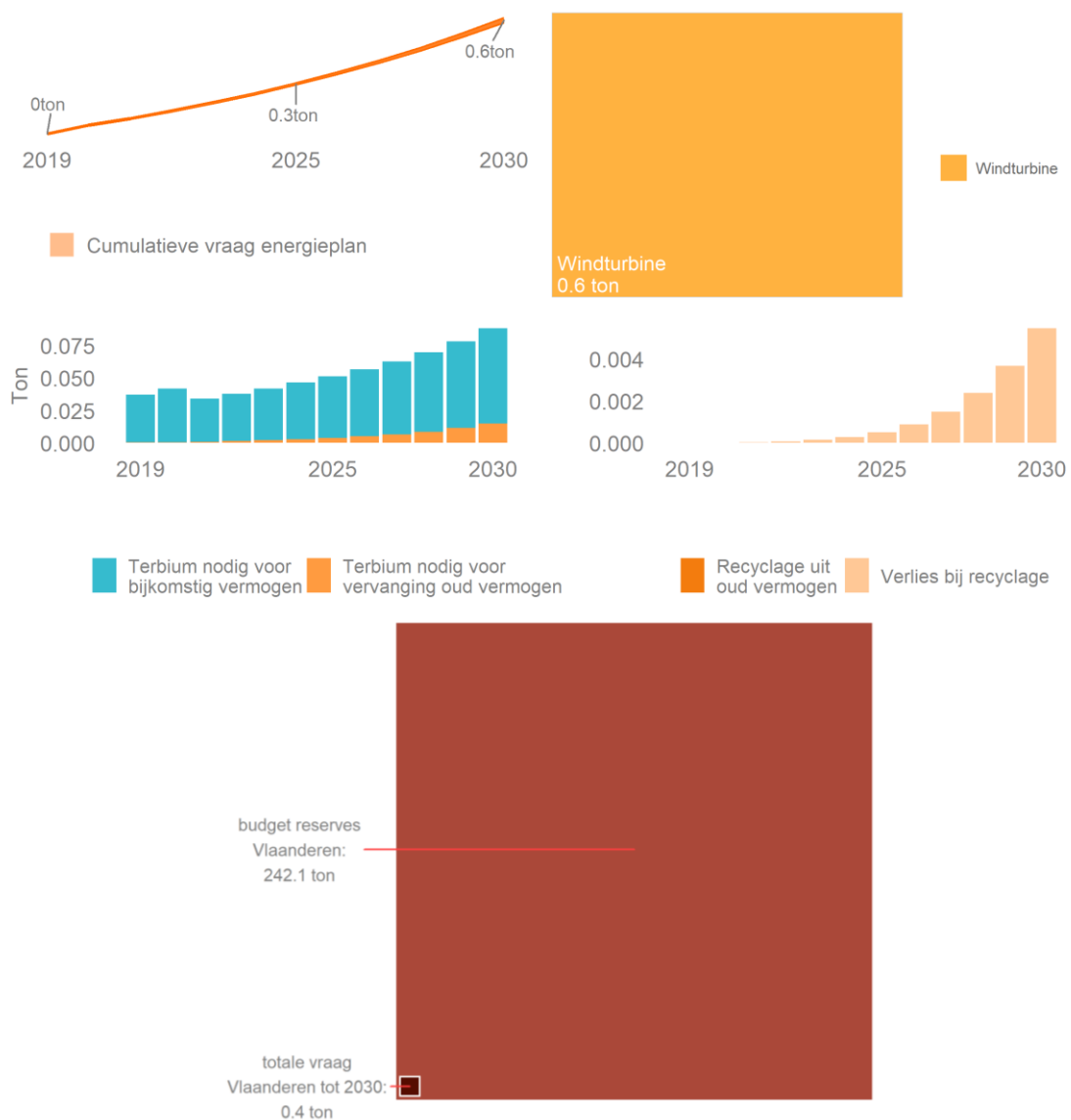
Ook praseodymium maakt deel uit van de zeldzame kritieke metalen en is noodzakelijk als element in de permanente magneet van windturbines. Dezelfde onzekerheid betreffende de reserves is dus ook van toepassing op dit element. De cumulatieve vraag bevindt zich rond de 29 ton. Tegen 2030 kan maximaal 0,71 ton worden teruggewonnen uit de recyclage van afgedankte windturbines.



Figuur 24: Totale vraag naar praseodymium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan praseodymium beschikbaar voor Vlaanderen

4.15 TERBIUM

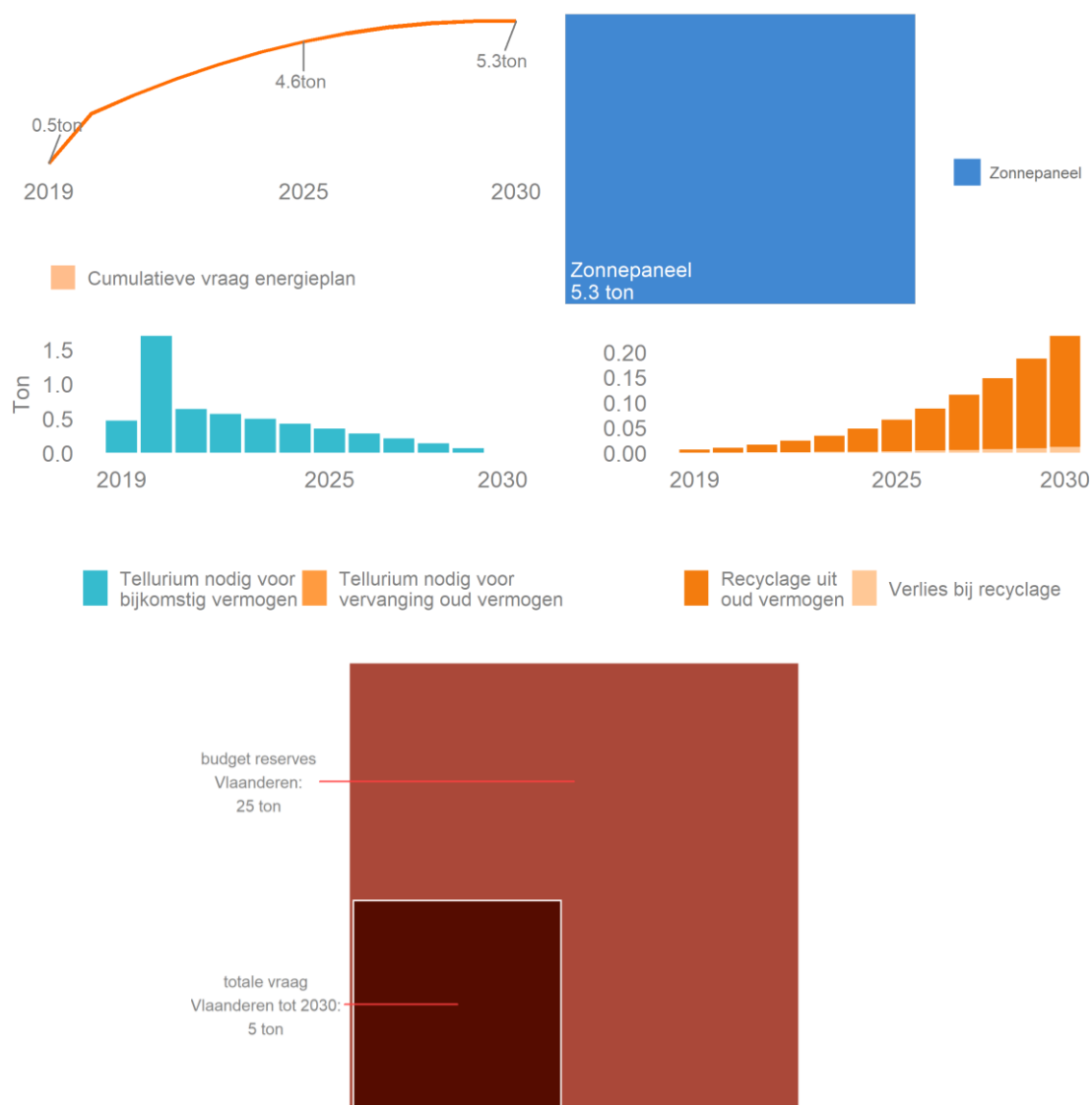
Ook voor terbium gelden dezelfde opmerkingen als voor praseodymium. Er werd geen recyclage-efficiëntiegraad voor dit element teruggevonden, waardoor wordt verondersteld dat het metaal op het einde van het leven van de toepassing waarin deze vervat zit (nl. windturbines), verloren gaat.



Figuur 25: Totale vraag naar terbium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan terbium beschikbaar voor Vlaanderen

4.16 TELLURIUM

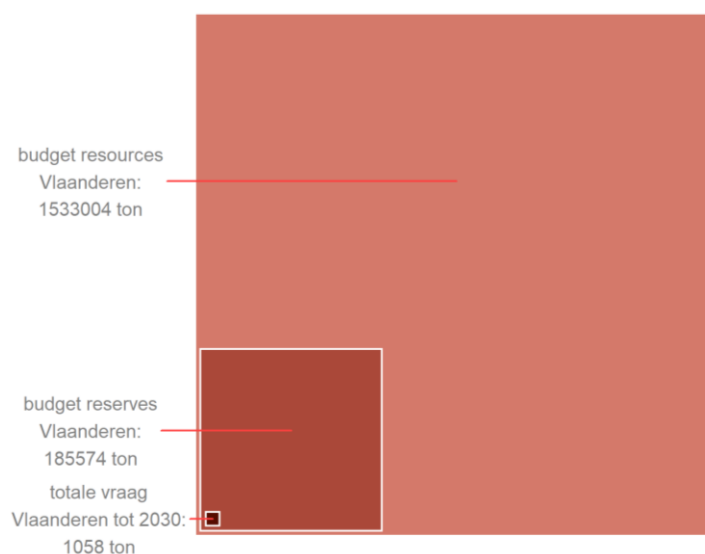
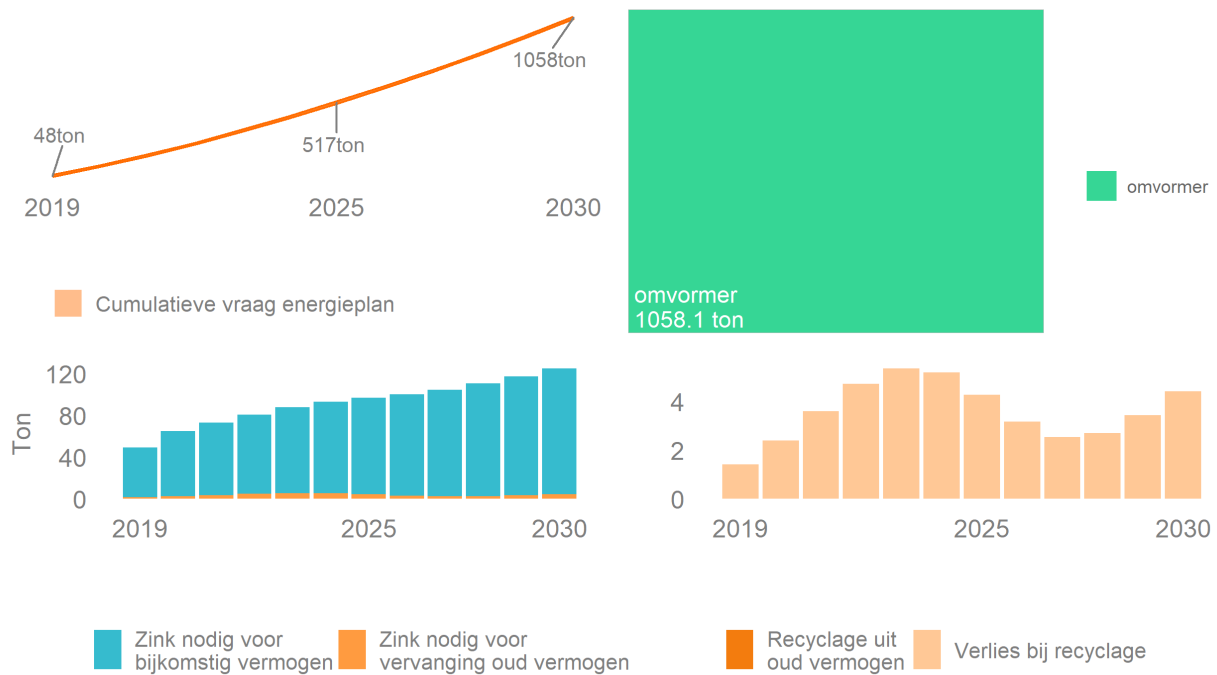
Tellurium wordt gebruikt voor zonnepanelen en in legeringen. Tellurium maakt deel uit van de CdTe zonnepanelen waarvan ons model veronderstelt op basis van inschattingen in de wetenschappelijke literatuur dat deze tegen 2030 geen marktaandeel meer bezitten. Dit verklaart de afvlakkende structuur van de cumulatieve vraag tegen 2030. Het metaal zal wel nog een tijd vrijkomen door de afdanking van zonnepanelen die technisch falen en zo kan na recyclage maximaal 0,93 ton worden teruggewonnen. Ondanks het verdwijnen van deze zonnepanelen, neemt de cumulatieve vraag nog steeds een aanzienlijk deel van het Vlaamse budget voor zijn rekening.



Figuur 26: Totale vraag naar tellurium, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan tellurium beschikbaar voor Vlaanderen (mondiale productie bedroeg 440 ton in 2018).

4.17 ZINK

Tot slot rest er nog zink dat voornamelijk wordt gebruikt bij het galvaniseren en bij de productie van messing, brons en zink-gebaseerde legeringen. Zink is een bestanddeel in de omvormers van energie gegenereerd door zonnepanelen.



Figuur 27: Totale vraag naar zink, samenstelling van de totale vraag en fractie van de totale reserves aan zink beschikbaar voor Vlaanderen (totale mondiale productie bedroeg 13Mton in 2018).

5 CONCLUSIES

De voorgaande analyse bekeek in totaal 17 verschillende metalen. In deze sectie worden de overlappende conclusies besproken.

In het geval van **zilver, goud, koper, indium en tellurium** is het duidelijk dat de cumulatieve vraag in het kader van **het energieplan** tegen 2030 reeds aanzienlijke **extra druk uitoefent op de reserves** waarop Vlaanderen recht heeft. Voor indium en tellurium kan hierbij wel de kanttekening worden gemaakt dat beide materialen in het kader van het Vlaams energieplan worden aangewend in types zonnepanelen die slechts zeer kleine marktaandeelen bezitten. Bovendien kan indium nog worden vervangen met andere kritieke metalen (germanium) om zo de druk op de reserves te verminderen. De vraag naar zilver, koper en goud komt echter bovenop de vraag naar deze elementen als onderdeel van elektrische en elektronische apparatuur en andere toepassingen. In dit kader wordt **inzetten op inzameling en recyclage een belangrijke factor**, gezien de hoge recyclage efficiëntie voor deze materialen. De brede waaier aan toepassingen impliceert een hoge voorraad van deze materialen in de 'urban mine' die de druk op primaire ontginning kan verlichten.

In het geval van **nikkel, lood, zink, lithium, kobalt en de verschillende materialen uit de zeldzame kritieke metalen groep (neodymium, terbium, dysprosium en praseodymium)** is de additionele druk op de reserves waarop Vlaanderen recht zou hebben volgens diens bevolkingspercentage, gering. Hoewel de zeldzame kritieke metalen wijdverspreid aanwezig zijn in de aardkorst, zijn deze op slechts een beperkt aantal plekken voldoende geconcentreerd om ontginning economisch haalbaar uit te voeren. Aangezien China dergelijke concentraties kent, is dit een belangrijke leverancier. Dit zorgt echter eveneens voor **bevoorradersrisico's** waardoor deze elementen extra aandacht genieten en het belangrijk is hun toepassing in de brede economie goed in kaart te brengen. Lithium en kobalt staan centraal bij de uitbreiding van de energieopslagcapaciteit in de nabije toekomst. Hoewel alternatieve batterij-technologieën ertoe kunnen leiden dat de druk op de reserves voor deze elementen gestaag afneemt na 2030, blijft het belangrijk om in het achterhoofd te houden dat deze elementen ook voor de batterijen van elektrische voertuigen worden aangewend. Voor lithium is tevens de recyclage-efficiëntie lager waardoor meer lithium verloren gaat. Nikkel en zink worden tevens aangewend voor verschillende types metallurgische toepassingen. Ook hier geldt dus dat een aanzienlijke voorraad reeds ter beschikking is in huidige toepassingen, waarvoor het belangrijk wordt om dit in te zamelen bij afdanking en efficiënt te recycleren.

Tot slot zijn er nog gallium, boor en mangaan. In het geval van **gallium** bestaat grote **onzekerheid** betreffende de beschikbare reserves. In dit kader lijkt het gewaarborgd om de terugwinning van gallium uit bestaande applicaties zoveel als mogelijk te realiseren opdat wordt vermeden dat problemen met de bevoorrading zich manifesteren. **Boor en mangaan** worden eveneens in verschillende toepassingen aangewend, maar de **vraag naar deze materialen in het kader van het energieplan** blijft algemeen zeer **beperkt** ten opzichte van het 'Vlaamse budget' van de totale voorraad.

De voorgaande analyse maakt duidelijk dat de energietransitie die wordt uiteengezet in het energieplan de vraag naar verschillende kritieke metalen verder doet toenemen. Technologische evoluties in de verschillende duurzame energie applicaties kunnen in de toekomst nog de exacte vraag naar bepaalde materialen beïnvloeden. Echter, het is duidelijk dat de materialenvoetafdruk van de verschillende elementen een belangrijke additionele druk vormen op de reserves. Aangezien de energietransitie verder zal worden gezet na 2030 met het doel tot het realiseren van klimaat-neutrale energieproductie in 2050 is continue monitoring van druk op de materialen van belang. Tekort aan bepaalde materialen kan de bredere bevoorrading en energietransitie nefast beïnvloeden en belangrijk zijn bij het vastleggen op welke technologieën de energietransitie zich moet focussen. Bovendien kan schaarste aan materialen ook de energietransitie in ontwikkelende economieën op de helling zetten waardoor deze minder snel de overstap maken van veel meer vervuilende energie productie. Het is eveneens belangrijk om in te zetten op energie-efficiëntie om zo de toename in vraag naar elektriciteit voor o.a. het verwarmen van woningen en transport worden, zoveel mogelijk te beperken.

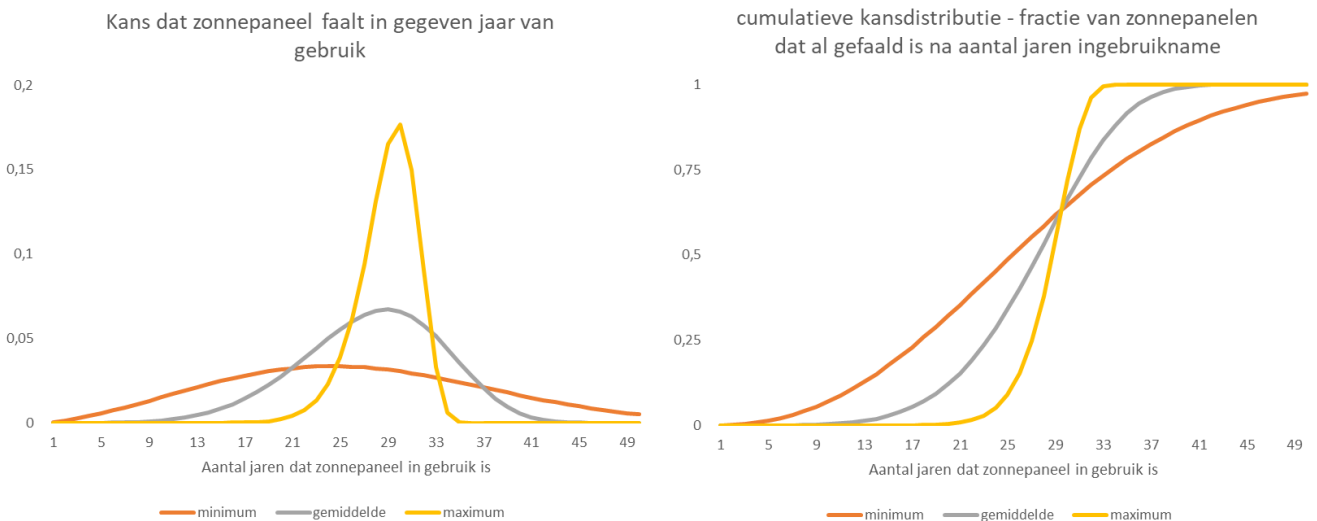
APPENDIX: GEBRUIKTE BRONNEN MODEL

Doelstellingen energieplan			
Auteur	Studie/bron	Instelling/journal, jaar.	Toepassing in model
	Vlaams Energie- en klimaatplan 2021-2030	Vlaams Parlement, 2019	Bepaling scenario's vermogen energietechnologieën
Weibull voorspellingsfunctie			
Auteur	Studie/bron	Instelling/journal, jaar.	Toepassing in model
Faulstich, S., Berkhout, V., Mayer, J., Siebenlist, D.	Modelling the failure behavior of wind turbines	Journal of Physics: Conference Series 749, 2016	Weibull Windturbines
Weckend, S., Wade, A., Heath, G.	End-of-life management solar photovoltaic panels	IRENA, 2016	Weibull zonnepanelen
	Battery storage for renewables: Market status and technology outlook	IRENA, 2015	Afleiden structuur Weibull batterijen
Recyclage data			
Auteur	Studie/bron	Instelling/journal, jaar.	Toepassing in model
Latunussa, C.E.L., Mancini, L., Blengini, G.A., Ardente, F., Pennington, D.	Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels	KRC Technical Reports, 2016	Data recyclage zonnepanelen
Rocchetti, L., Amato, A., Beolchini, F.	Printed Circuit board recycling: A patent Review	Journal of Cleaner Production, 2018	Recyclage PCB van omvormers
Melin, H.	State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review	Swedish Energy Agency, 2019	Recyclage Li-ion batterijen
Aarti, K., Manish, K.S., Swati, P., Sushanta, K.S.	Recovery of rare earths from spent NdFeB magnets of wind turbine	Waste Management, 2018	Recyclage NdFeB magnet windturbines
Velazquez-Martinez, A., Valio, J., Santasalo-Aarnio, A., Reuter, M., Serna-Guerrero, R.	A critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective	Batteries, 2019	Recyclage batterijen

Samenstelling van windturbines, zonnepanelen en batterijen			
Auteur	Studie/bron	Instelling/journal, jaar.	Toepassing in model
Viebahn, P., Soukup, O., Samadi, S., Teubler, J., Wiesen, K., Ritthoff, M.	Assessing the need for critical minerals to shift the German energy system towards a high proportion of renewables	Renewable and Sustainable Energy Review, 2015.	Samenstelling windturbine en zonnepanelen. Toekomstbeeld evolutie verschillende technologieën voor windturbines en zonnepanelen.
	BatPac – composition batteries	CIRCUSOL, 2019	Samenstelling verschillende types batterijen
Elshkaki, A., Graedel, T.E.	Dynamic Analysis of the global metals flows and stocks in electricity generation technologies	Journal of Cleaner Production, 2013	Samenstelling zonnepanelen
Manberger, A., Stenqvist, B.	Global Metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development	Energy Policy, 2018	Samenstelling zonnepanelen
Voorraden en reserves			
	Mineral Commodity Summaries 2019	US Geological Survey, 2019	Data voorraden
Lokanc, M., Eggert, R., Redlinger, M.	The availability of Indium: the present, medium term and long term	OSTI.gov, 2015	Schatting voorraad indium
	Rare Earths report (beschikbaar via https://resourceworld.com/rare-earths-report/)	Resourceworld, 2018	Voorraad dysprosium

APPENDIX: SCHATTINGEN WEIBULL MODEL

De Weibull verdeling bestaat uit een vormparameter voorstelt en een schaalparameter die de gemiddelde levensduur capteert. Onze schatting bestaat er uit om de vormparameter te doen variëren en om zo verschillende schattingen te bekomen van de faling van specifieke applicaties. Noteer dat de gemiddelde levensduur, bepaald door de schaalparameter, ongewijzigd blijft. Dit betekent dat na een periode van bv. 15 jaar voor een applicatie met een gemiddelde levensduur van 10 jaar de totale faling niet substantieel verschilt ongeacht de gekozen vormparameter: het totaal aantal falingen zal altijd (op kleine verschillen na) overeenstemmen. Ter illustratie tonen we hieronder de kansdichtheid- en de cumulatieve dichtheidistributie van zonnepanelen. Na 50 jaren zijn zo goed als alle zonnepanelen gefaald in alle drie de Weibull-verdelingen. Echter, de Weibull-functie met de minimum vormparameter (2,49) voorspelt veel meer gespreide falingen, terwijl de Weibull-functie met de maximum vormparameter (14,41) een duidelijke piek kent op 30 jaar. De Weibull-functie met maximale vormparameter veronderstelt dus dat de meeste zonnepanelen falen rond het zelfde moment. De Weibull-functie met de gemiddelde parameter zit tussen deze twee extremen.



Aangezien de analyse in deze studie op een termijn tot 2030 wordt uitgevoerd en verschillende applicaties een levensduur hebben die de periode overschrijdt, kunnen verschillende vormparameters dus aanleiding geven tot schommelingen op de korte termijn die een soort betrouwbaarheidsinterval van de schatting weergeven.